THE

LAST CODEX

Se tutto andasse perduto, è da qui che ricominceremmo.

Le invenzioni dell'umanità: che cosa sono, come funzionano e come ricostruirle.

Edizione da stampare del 14 ottobre 2026
https://lastcodex.org

Indice

I Sopravvivenza

Utensili di pietra 3,3 milioni di anni fa · 5
Controllo del fuoco 1 milione di anni fa · 9
Corda e cordame 50.000 anni fa · 13

II Insediamento

Arco e frecce 62.000 anni fa · 18
Ceramica 18.000 anni fa · 23
Pane 12.400 anni fa · 27
Calce e malta di calce 10.000 anni fa · 31
Acqua potabile c. 8400 a.C. · 35
Mattoni c. 7500 a.C. · 40
Tessitura c. 6700 a.C. · 44
Salagione c. 6050 a.C. · 48
Irrigazione c. 6000 a.C. · 52
Formaggio c. 5500 a.C. · 57
Aratro c. 5000 a.C. · 61
Carbone di legna c. 4500 a.C. · 65
Tintura c. 4200 a.C. · 69
Arco e volta c. 3500 a.C. · 73
Birra c. 3500 a.C. · 78
Ruota e asse c. 3500 a.C. · 82
Scrittura c. 3300 a.C. · 86
Vela c. 3200 a.C. · 90
Sapone c. 2800 a.C. · 94
Numerazione posizionale c. 2050 a.C. · 98
Concia delle pelli c. 1500 a.C. · 102
Meridiana c. 1500 a.C. · 106
Rotazione delle colture c. 700 a.C. · 110
Serratura e chiave c. 700 a.C. · 115

III Mestieri e città

Tornio da vasaio c. 4000 a.C. · 120
Bronzo c. 3300 a.C. · 124
Misure e campioni c. 3000 a.C. · 128
Vetro c. 2500 a.C. · 133
Siderurgia del ferro c. 1200 a.C. · 137
Acciaio c. 1000 a.C. · 141
Acquedotto c. 690 a.C. · 146
Gru e carrucola c. 515 a.C. · 150
Ingranaggi c. 300 a.C. · 154
Ruota idraulica c. 300 a.C. · 158
Pompa a pistone c. 270 a.C. · 162
Calcestruzzo romano c. 200 a.C. · 166
Carta c. 150 a.C. · 170
Distillazione c. 300 · 174
Collare da tiro c. 480 · 178
Polvere nera c. 850 · 182
Mulino a vento c. 900 · 186
Filatoio c. 1000 · 190
Bussola c. 1088 · 194
Occhiali c. 1286 · 197
Orologio meccanico c. 1300 · 201
Torchio da stampa c. 1440 · 205

IV Scienza e industria

Navigazione astronomica c. 1460 · 210
Microscopio c. 1590 · 214
Cannocchiale 1608 · 218
Termometro e barometro c. 1654 · 222
Macchina a vapore 1712 · 227
Mongolfiera 1783 · 231
Vaccinazione 1796 · 235
Pila 1800 · 240
Locomotiva a vapore 1804 · 244
Conserve e pastorizzazione 1810 · 248
Bicicletta 1817 · 252
Cemento Portland 1824 · 256
Fotografia c. 1827 · 260
Turbina idraulica 1827 · 264
Macchina da cucire 1830 · 268
Generatore elettrico 1831 · 272
Motore elettrico 1834 · 276
Refrigerazione 1834 · 280
Telegrafo elettrico 1837 · 284
Gomma vulcanizzata 1839 · 288
Anestesia 1846 · 292
Igiene e antisepsi 1847 · 297
Accumulatore al piombo 1859 · 301

V Era elettrica

Cemento armato c. 1848 · 306
Motore a combustione interna 1876 · 311
Telefono 1876 · 315
Lampadina a incandescenza 1879 · 319
Turbina a vapore 1884 · 323
Trasformatore 1885 · 328
Alluminio 1886 · 333
Turbina eolica 1887 · 337
Radio c. 1895 · 342
Radiografia 1895 · 346
Aeroplano 1903 · 350
Penicillina 1928 · 354
Transistor 1947 · 359
Computer 1948 · 363
Cella solare 1954 · 367
Reidratazione orale 1968 · 372

I

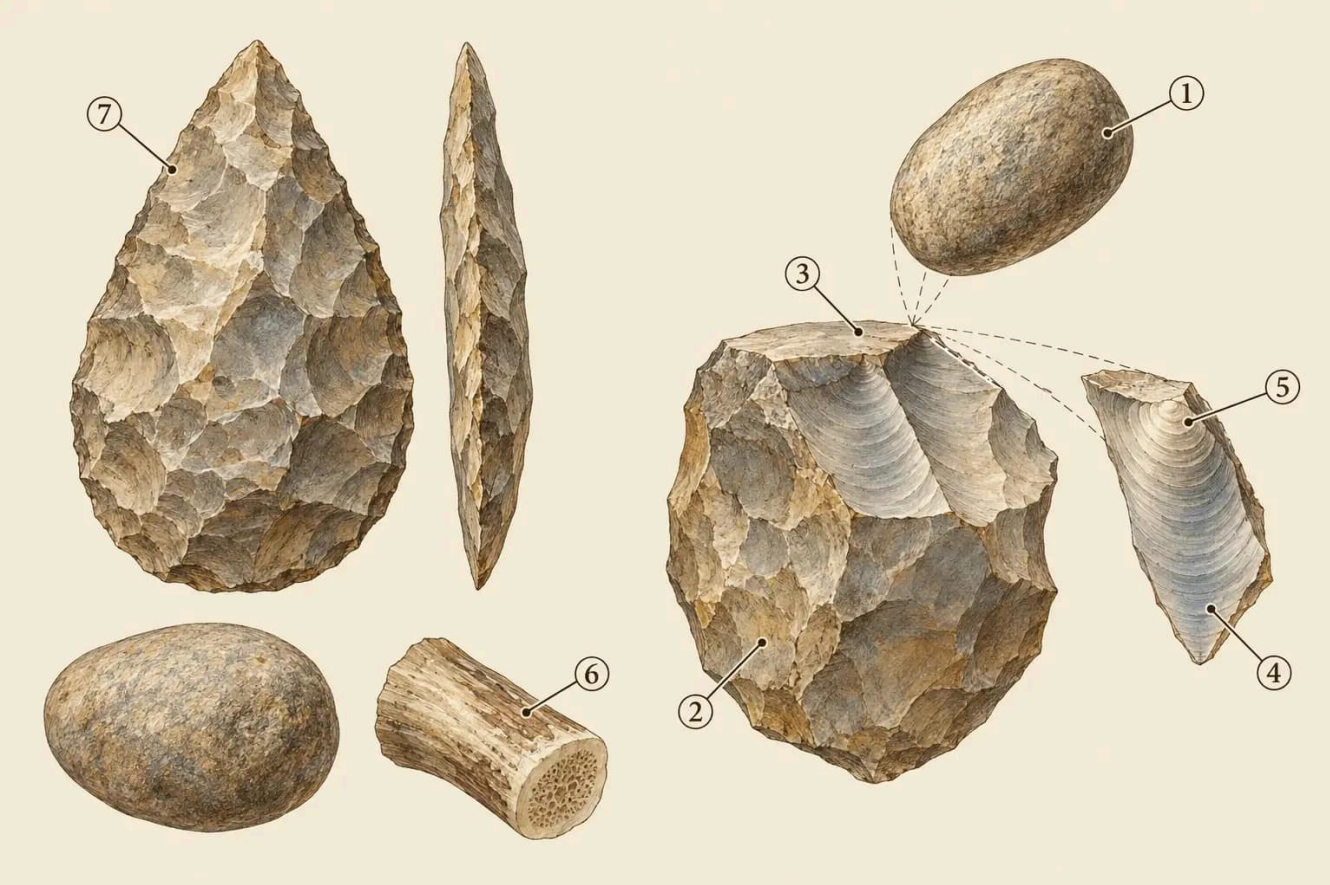
Sopravvivenza

Utensili di pietra

Il primo tagliente

3,3 milioni di anni fa · Preistoria · Sopravvivenza

Porta a: Arco e volta (p. 73), Arco e frecce (p. 18), Carbone di legna (p. 65), Irrigazione (p. 52), Concia delle pelli (p. 102), Calce e malta di calce (p. 31), Serratura e chiave (p. 115), Misure e campioni (p. 128), Aratro (p. 61), Ruota e asse (p. 82), Scrittura (p. 86)



1 Percussore 2 Nucleo 3 Piano di percussione 4 Scheggia 5 Bulbo di percussione 6 Percussore tenero in corno 7 Amigdala (bifacciale)

La maggior parte degli utensili di pietra sono pezzi di roccia spezzati in modo controllato per ottenere un margine tagliente che taglia, raschia o spacca. Sono la tecnologia più antica che si conosca: i primi risalgono a circa 3,3 milioni di anni fa, e alcuni si fabbricavano ancora nel Novecento.

Che cos'è

Vale come tale qualunque pietra usata come strumento, dal semplice percussore alla macina, ma la maggior parte è stata modellata staccando schegge per ottenere un filo o una punta. Il più semplice è una scheggia tagliente staccata da un ciottolo e usata subito per tagliare la carne o scortecciare un ramo. I più raffinati, come una sottile punta di lancia o un'ascia levigata, richiedevano ore di lavoro esperto.

Per gran parte della storia umana la pietra è stata il principale materiale duro disponibile. Legno, osso, pelle e fibre si lavoravano con margini di pietra. E poiché la pietra si conserva quasi per sempre, questi utensili sono anche la principale testimonianza che gli archeologi hanno della vita dei primi esseri umani.

Come funziona

Le buone pietre da utensili sono dure, fragili e a grana finissima, senza venature interne: selce, ossidiana (un vetro vulcanico) e alcune quarziti. Se una di queste pietre viene colpita vicino a un bordo, il colpo apre una frattura a forma di cono, la stessa che un pallino lascia in un vetro di finestra. La frattura si curva verso la superficie e libera una scheggia. Questa rottura a forma di conchiglia si chiama frattura concoide e produce margini molto sottili e taglienti.

Lo scheggiatore colpisce il nucleo su una superficie piana, il piano di percussione, vicino al bordo. Dove il piano di percussione incontra la faccia del nucleo, l'angolo deve essere inferiore a 90 gradi, altrimenti il colpo schiaccia soltanto il bordo. La scheggia staccata porta i segni del colpo: un rigonfiamento arrotondato subito sotto il punto d'impatto, il bulbo di percussione, e sottili onde che se ne allontanano. Sul nucleo resta il negativo incavato, che può fare da piano di percussione per il colpo successivo.

Ritocco a pressione: una punta di palco stacca piccole schegge dal bordo, mentre il cuoio protegge il palmo.

Tre tecniche permettono di dosare il risultato. Il percussore duro, di solito un ciottolo di quarzite, stacca schegge grandi e spesse. Il percussore tenero, in corno, osso o legno duro, stacca schegge più lunghe e sottili e serve ad assottigliare e modellare. Il ritocco a pressione spinge una punta di corno contro il bordo finché una piccola scheggia salta via; dà la forma finale e un filo dritto e vivo.

Come fabbricarlo

La scheggiatura si impara con la pratica, e le prime ore producono soprattutto pietra rotta. Servono noduli di selce, oppure blocchi di ossidiana o di vetro spesso di bottiglia; due o tre percussori di peso diverso; un percussore in corno di cervo e una punta di palco; un cuscinetto di cuoio spesso; occhiali protettivi; guanti di cuoio; e un telo per raccogliere gli scarti.

Scegliere la pietra. Cercare un nodulo senza crepe, buchi o zone a grana grossa. Picchiettarlo con un sassolino: un suono chiaro indica pietra sana, un suono sordo difetti nascosti.

Trovare un piano di percussione. Individuare un bordo dove due superfici si incontrano con meno di 90 gradi. Colpire poco all'interno di quel bordo, pochi millimetri per una scheggia sottile e di più per una spessa, con un colpo breve e deciso che prosegue verso l'esterno, lontano dal nucleo. Appoggiare il nucleo sul cuscinetto sulla coscia, mai nel palmo nudo.

Fare un utensile su scheggia. Una sola buona scheggia è già un coltello. Si usa così com'è, o se ne ritocca il dorso con piccoli colpi per impugnarla meglio.

Modellare un'amigdala. Girare attorno a un nodulo piatto staccando schegge alternativamente da una faccia e dall'altra, così che il bordo diventi una linea sinuosa al centro del pezzo. Passare al percussore in corno per assottigliare le facce. Prima di ogni colpo, abradere leggermente il bordo con una pietra ruvida perché non si sbricioli.

Rifinire a pressione. Tenere il pezzo sul cuscinetto, premere la punta di palco verso il basso e verso l'interno sul bordo e staccare piccole schegge una dopo l'altra per raddrizzare e affilare il filo.

> **Sicurezza.** Le schegge appena staccate tagliano più di un rasoio e schizzano via veloci. Portare sempre occhiali protettivi e proteggere mani e cosce con il cuoio. Lavorare all'aperto o in un locale ben ventilato e non respirare la polvere fine: la selce è silice, e anni di polvere causano la silicosi, che uccise molti scheggiatori di pietre focaie. Raccogliere gli scarti sul telo, inumidire la polvere invece di spazzarla a secco e mettere le schegge taglienti in una scatola o un secchio chiuso. Tenere lontani bambini e animali.

Storia ed evoluzione

Utensili olduvaiani: un ciottolo dal margine frastagliato, le schegge ricavate e il percussore.

Gli utensili di pietra più antichi che si conoscano vengono da Lomekwi 3, a ovest del lago Turkana, in Kenya. Hanno circa 3,3 milioni di anni, più dei più antichi fossili noti del genere *Homo*. L'équipe ha trovato 149 nuclei, schegge, percussori e possibili incudini, ottenuti con gesti semplici, vicini alla frantumazione. Non si sa chi li abbia fatti; *Kenyanthropus* e *Australopithecus* vivevano allora nella regione.

Gli utensili dell'Olduvaiano compaiono in diversi siti dell'Africa orientale da circa 2,6 milioni di anni fa, e forse già 2,9 milioni di anni fa a Nyayanga, in Kenya: ciottoli da cui si staccavano poche schegge, le schegge taglienti stesse e percussori. Circa 1,7 milioni di anni fa, sempre in Africa orientale, compaiono le prime amigdale universalmente accettate, grandi utensili lavorati su entrambe le facce a forma di goccia, con un lungo margine tagliente. Si continuò a fabbricarle per più di un milione di anni, in Africa, in Europa e in Asia.

Più tardi gli scheggiatori impararono a preparare un nucleo in modo che un solo colpo staccasse una scheggia di forma prevista. Circa 200.000 anni fa si fissavano punte su aste di legno per farne lance, e perforatori e raschiatoi di pietra servivano a lavorare pelli e legno. In Europa e in Asia occidentale, tra circa 50.000 e 10.000 anni fa, la lama lunga e sottile divenne il supporto standard. I microliti, piccoli segmenti di lama inseriti in fila in manici e frecce, compaiono nell'Africa meridionale circa 71.000 anni fa e si diffusero in molte regioni alla fine dell'ultima glaciazione.

Nel Neolitico le lame d'ascia venivano levigate sull'arenaria per renderle più resistenti.

Gli agricoltori del Neolitico, da circa il 10.000 a.C., levigavano asce di pietra per disboscare. Il metallo sostituì la pietra lentamente e mai del tutto. A Brandon, in Inghilterra, si scheggiarono pietre focaie per fucili fino al Novecento, e lame di ossidiana si usano ancora in alcuni interventi chirurgici delicati perché il loro filo è più fine di quello dei bisturi d'acciaio.

Dati chiave

Utensili di pietra più antichi
Circa 3,3 milioni di anni, Lomekwi 3 (Kenya)

Prime amigdale
Circa 1,7 milioni di anni fa, Africa orientale

Vita dell'amigdala
Prodotta per più di un milione di anni

Un mestiere litico tardivo
Pietre focaie per fucili, prodotte in quantità a Brandon (Inghilterra) fino al Novecento

Fonti

1. Stone Tools · Smithsonian National Museum of Natural History, Human Origins Program https://humanorigins.si.edu/evidence/behavior/stone-tools
2. Scientists Discover World's Oldest Stone Tools · Columbia Climate School, State of the Planet https://news.climate.columbia.edu/2015/05/20/scientists-discover-worlds-oldest-stone-tools/
3. Small, lethal tools have big implications for early modern human complexity · Arizona State University https://news.asu.edu/content/small-lethal-tools-have-big-implications-early-modern-human-complexity
4. Stone tool · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_tool
5. Knapping · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Knapping
6. Introducing a new experimental design for controlled studies of flake formation: results for exterior platform angle, platform depth, angle of blow, velocity, and force · Journal of Archaeological Science https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.05.004
7. A Synthesis of the Dibble et al. Controlled Experiments into the Mechanics of Lithic Production · Journal of Archaeological Method and Theory https://doi.org/10.1007/s10816-022-09586-2
8. The results of lithic experiments performed on glass cores are applicable to other raw materials · Archaeological and Anthropological Sciences https://doi.org/10.1007/s12520-019-00963-9

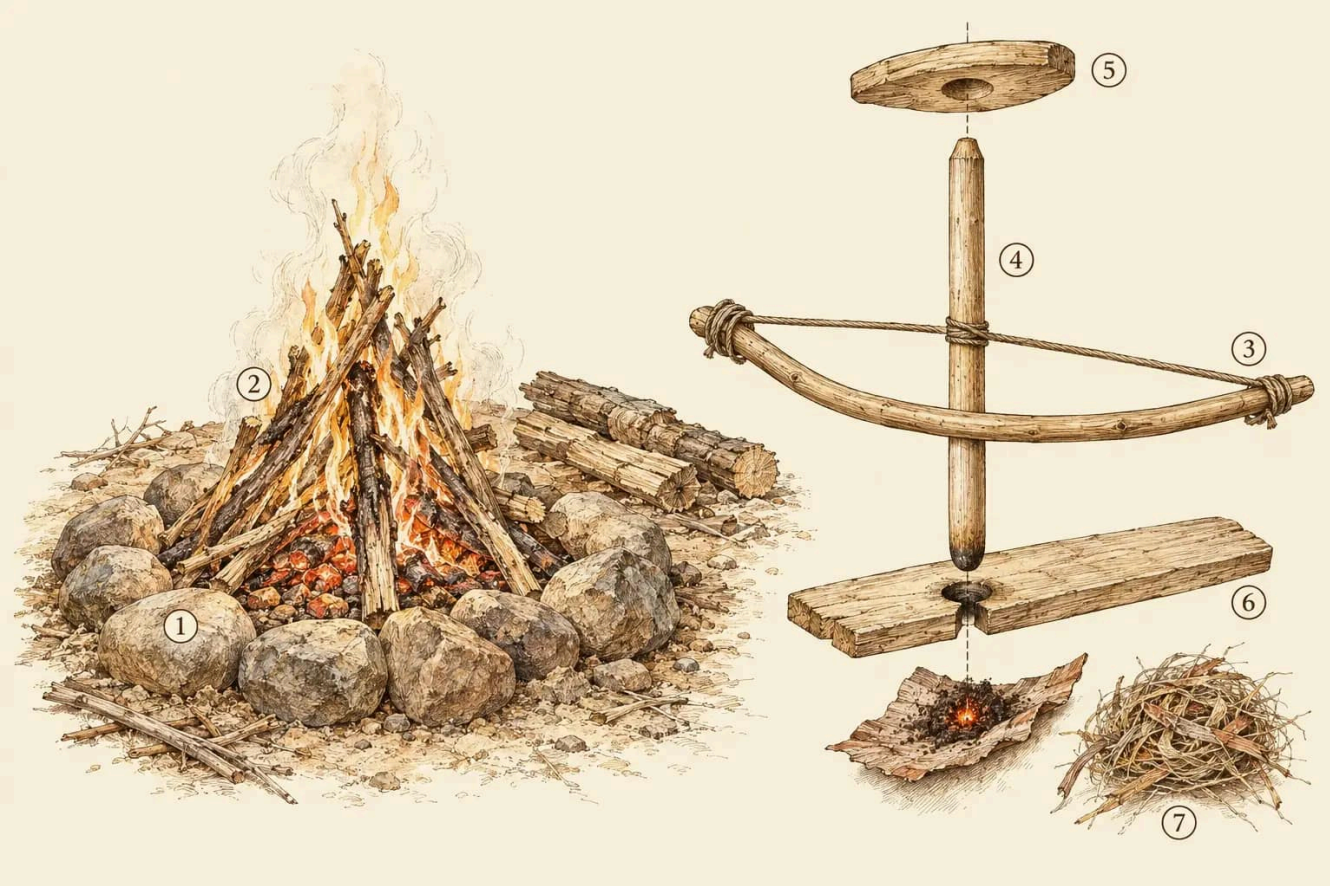
Fatti verificati il 2026-10-11

Controllo del fuoco

Luce, calore e cottura

1 milione di anni fa · Preistoria · Sopravvivenza

Porta a: Pane (p. 27), Bronzo (p. 124), Conserve e pastorizzazione (p. 248), Carbone di legna (p. 65), Distillazione (p. 174), Acqua potabile (p. 35), Tintura (p. 69), Polvere nera (p. 182), Mongolfiera (p. 231), Concia delle pelli (p. 102), Calce e malta di calce (p. 31), Ceramica (p. 23), Calcestruzzo romano (p. 166), Sapone (p. 94), Gomma vulcanizzata (p. 288)



1 Pietre del focolare 2 Legna da ardere 3 Archetto 4 Fuso 5 Impugnatura di pressione 6 Tavoletta e tacca 7 Nido di esca

Controllare il fuoco significa tenere viva una fiamma, trasportarla e infine accenderla a piacere. Gli antenati dell'uomo usavano il fuoco già almeno un milione di anni fa, e ne ricavavano calore, luce, protezione e cibo cotto.

Che cos'è

Il fuoco è una reazione chimica: un combustibile si combina con l'ossigeno dell'aria e libera calore e luce. Controllarlo è stato un apprendimento per gradi. Prima si trattava di conservare un fuoco acceso dalla natura, dopo un fulmine o un incendio di boscaglia. Poi di trasportarlo e alimentarlo per giorni. Infine di accenderlo quando serviva.

Il fuoco scalda di notte e permette di vivere in regioni più fredde. Illumina le grotte, tiene lontani gli animali, indurisce la punta delle lance di legno e cuoce il cibo. Carne e tuberi cotti sono più teneri e forniscono più energia alla digestione rispetto a quelli crudi.

Come funziona

Un fuoco ha bisogno di tre cose insieme: combustibile, ossigeno e calore sufficiente a mantenere la reazione. Se ne manca una, si spegne.

Il legno non brucia direttamente. Il calore lo scompone prima in gas infiammabili e lascia carbone di legna. I gas bruciano nella fiamma sopra il legno, mentre sotto il carbone arde rosso. Per questo un fuoco si costruisce dal piccolo al grande: i rametti sottili e secchi si scaldano in fretta, rilasciano gas e portano in temperatura i rami più grossi.

Esistono due modi tradizionali diffusi per accendere il fuoco. I metodi a frizione strofinano un legno contro un altro finché si raccoglie una polvere di legno fine e rovente che comincia a brillare. Il trapano a mano fa ruotare un bastoncino tra i palmi; il trapano ad archetto, disegnato nella tavola, fa lo stesso lavoro con una corda avvolta attorno al fuso, più in fretta e con meno fatica. Quella polvere incandescente è una brace. Posata in un nido di erba secca e corteccia sfilacciata e soffiata piano, diventa fiamma.

La selce battuta sulla pirite fa scintille abbastanza calde da far arroventare l'esca secca.

I metodi a percussione producono scintille. Quando lo spigolo duro di una selce colpisce la pirite, ne strappa granelli minuscoli che bruciano nell'aria. Selce contro selce non dà quasi nulla. Le scintille sono piccole e brevi, quindi serve un'esca che prenda facilmente, come lo strato interno del fungo dell'esca, essiccato e battuto fino a renderlo morbido e soffice.

Come farlo

Con il trapano a mano, i palmi fanno ruotare un bastoncino avanti e indietro finché la segatura nella tacca comincia a brillare.

Il trapano ad archetto è il metodo a frizione più affidabile da imparare. Servono un coltello o una scheggia di pietra affilata, una cordicella e legno secco, morto e semitenero, come salice, tiglio, pioppo o cedro.

Preparare il focolare. Scegliere un terreno nudo e piano, lontano da rami bassi ed erba secca. Sgombrare da erba, foglie e rametti un cerchio di circa tre metri di diametro e circondare la buca di pietre. Raccogliere tutto prima: due manciate di esca, un fascio di rametti sottili come una matita, poi bastoni grossi come un pollice e come un polso.

Intagliare l'attrezzatura. Il fuso è un bastoncino dritto di circa 20 cm, grosso come un pollice, arrotondato in alto e smussato in basso. La tavoletta è un pezzo piatto spesso circa 2 cm. L'impugnatura di pressione è un pezzo di legno più duro o una pietra grande quanto il palmo, con un piccolo incavo sulla faccia inferiore; un po' di grasso o una foglia verde nell'incavo impedisce alla cima del fuso di scaldarsi. L'archetto è un bastone rigido e leggermente curvo, lungo quanto un braccio, con la corda appena abbastanza lenta da fare un giro attorno al fuso; una volta inserito il fuso, deve stringerlo bene.

Bruciare l'incavo e intagliare la tacca. Forare un incavo poco profondo vicino al bordo della tavoletta finché diventa nero, poi tagliare una tacca a V dall'incavo fino al bordo, circa un ottavo del cerchio. Mettere un pezzo di corteccia sotto la tacca per raccogliere la polvere.

Forare. In ginocchio, un piede sulla tavoletta e il polso che regge l'impugnatura appoggiato allo stinco, premere con costanza sull'impugnatura e muovere l'archetto con passate lunghe e regolari. Accelerare quando l'incavo fuma. Quando la tacca è piena di polvere scura che continua a fumare da sola, la brace c'è.

Far nascere la fiamma. Versare la brace nel nido, chiuderlo e soffiare piano finché divampa. Posarlo nella buca, appoggiarvi sopra i rametti a cono e aggiungere legna grossa solo quando i rametti bruciano bene.

> **Sicurezza.** Nell'erba secca o con il vento il fuoco corre più veloce di una persona. Non accendere mai fuochi in caso di siccità, divieto o vento forte, e tenere a portata di mano acqua o terra smossa. Non circondare la buca con ciottoli di fiume bagnati: l'acqua intrappolata può farli esplodere. Non lasciare mai un fuoco incustodito. Per spegnerlo, annaffiarlo, rimestare la cenere e annaffiarlo di nuovo finché tutto, comprese le braci sepolte, è freddo al tatto. Esercitarsi solo all'aperto: un fuoco libero in un riparo o in una grotta riempie l'aria di fumo e di monossido di carbonio, che possono uccidere.

Storia ed evoluzione

Le tracce di fuoco più antiche e accertate in un contesto umano vengono dalla grotta di Wonderwerk, in Sudafrica. Nel 2012 un'équipe vi ha trovato cenere microscopica e ossa bruciate in strati di circa un milione di anni, insieme a strumenti di pietra acheuleani, probabilmente opera di *Homo erectus*. Uno studio pubblicato nel 2026 ha individuato ossa bruciate più in basso nella stessa sequenza, in strati datati tra 1,07 e 1,79 milioni di anni fa, a circa 30 metri all'interno della grotta, dove nessun incendio naturale poteva arrivare. Indizi più antichi in Kenya, verso 1,5 milioni di anni fa, si basano su suoli arrossati che potrebbero spiegarsi anche con un fuoco naturale.

A Gesher Benot Ya'aqov, in Israele, semi, legno e gruppi di selci bruciate suggeriscono fuochi tenuti in punti fissi circa 790.000 anni fa. I focolari ben riconoscibili diventano frequenti solo tra circa 400.000 e 300.000 anni fa, in Africa, nel Vicino Oriente e in Europa. Fino ad allora gli esseri umani probabilmente raccoglievano il fuoco dagli incendi naturali e lo tenevano acceso.

Gli archeologi leggono i fuochi antichi in sezione: cenere e carbone sopra una terra arrossata dal calore.

La prova più antica di accensione viene da Barnham, nel Suffolk (Inghilterra), pubblicata nel 2025. Circa 400.000 anni fa, qualcuno vi scaldò più volte la stessa chiazza di argilla oltre i 700 °C, lasciando amigdale spaccate dal fuoco e due frammenti di pirite, un minerale così raro in quel paesaggio che vi fu probabilmente portato di proposito. Il record precedente, in siti neandertaliani della Francia settentrionale, risaliva a circa 50.000 anni fa.

Dati chiave

Tracce più antiche di uso del fuoco
Circa 1 milione di anni fa, grotta di Wonderwerk (Sudafrica), forse fino a 1,8 milioni

Prova più antica di accensione
Circa 400.000 anni fa, Barnham (Inghilterra)

Uso abituale
Diffuso da circa 400.000-300.000 anni fa

Temperatura del focolare di Barnham
Oltre 700 °C

Fonti

1. Control of fire by early humans · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Control_of_fire_by_early_humans
2. Evidence that human ancestors used fire one million years ago · ScienceDaily (University of Toronto) https://sciencedaily.com/releases/2012/04/120402162548.htm
3. Early humans were bringing fire into caves 1.8 million years ago · ScienceDaily (Hebrew University of Jerusalem) https://sciencedaily.com/releases/2026/06/260623083123.htm
4. Evidence of Hominin Control of Fire at Gesher Benot Ya'aqov, Israel (Science, 2004) · Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/evidence-of-hominin-control-of-fire-at-gesher-benot-yaaqov-israel/
5. Earliest fire making, dating back 400,000 years, unearthed in Suffolk · Natural History Museum, London https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2025/december/earliest-fire-making-dating-back-400-000-years-unearthed-in-suffolk-england.html
6. Research shows humans making fire 350,000 years earlier than thought · University of Liverpool https://news.liverpool.ac.uk/?p=131468
7. Wood Handbook, chapter 4: Moisture Relations and Physical Properties of Wood (FPL-GTR-190) · USDA Forest Service, Forest Products Laboratory https://research.fs.usda.gov/download/treesearch/37428.pdf
8. The Physics of Fire by Friction · University of Dayton (Bradley D. Duncan) https://ecommons.udayton.edu/ece_fac_pub/418
9. Lighting a fire using friction requires an understanding of some physics principles · University of Dayton Magazine https://udayton.edu/magazine/2023/12/lighting-fire.php
10. Ignition of Wood (Vytenis Babrauskas) · Fire Science and Technology Inc., via CFITrainer.net https://www.cfitrainer.net/programs/35a84de0-e505-4899-be34-f31de9d9d570/document/2005_CCAI_Wood_ignition.pdf

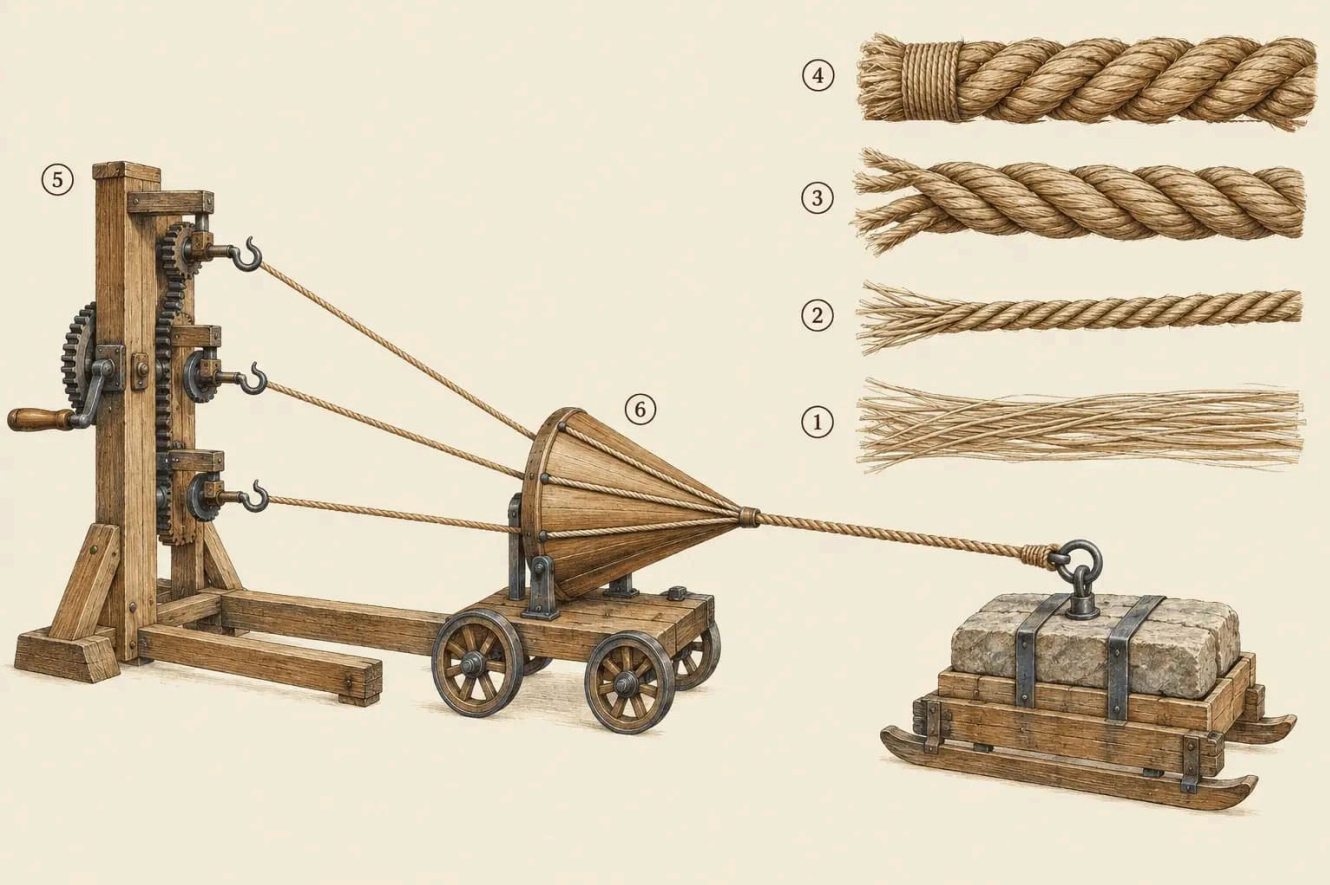
Fatti verificati il 2026-10-11

Corda e cordame

Fibre ritorte che tengono tutto

50.000 anni fa · Preistoria · Sopravvivenza

Porta a: Arco e frecce (p. 18), Gru e carrucola (p. 150), Acqua potabile (p. 35), Tintura (p. 69), Collare da tiro (p. 178), Irrigazione (p. 52), Misure e campioni (p. 128), Aratro (p. 61), Vela (p. 90), Filatoio (p. 190), Tessitura (p. 44), Mulino a vento (p. 186)



1 Fibre 2 Filo 3 Legnolo 4 Cavo a tre legnoli 5 Manovella e ganci 6 Pigna (cono guida)

Una corda tradizionale è fatta di fibre corte ritorte in fili, i fili in legnoli e i legnoli in corda, fino a formare una linea molto più lunga e resistente di qualsiasi fibra singola. I Neanderthal ritorcevano già cordicelle più di 40.000 anni fa, e da allora la corda serve a legare, trainare, sollevare e attrezzare.

Che cos'è

Una corda è una linea lunga e flessibile che resiste alla trazione. La corda tradizionale è fatta di fibre lunghe ciascuna da pochi centimetri a un metro circa: steli e foglie di piante, corteccia interna, tendini o peli di animali. A tenerle insieme è la torsione. Le corde sintetiche moderne possono usare filamenti continui, e molte sono intrecciate anziché ritorte.

La corda sottile si chiama cordicella, spago o filo. La corda lega carichi, traina barche e pietre, tende reti e trappole e arma le navi a vela.

Come funziona

Una fibra da sola è debole e corta. Quando se ne ritorcono molte insieme, la torsione le preme l'una contro l'altra e l'attrito impedisce che scivolino via. Tirando il filo, questo si stringe e preme di più: più è caricato, meglio tiene.

Un filo ritorto da solo tende a svolgersi. La soluzione è ritorcerlo di nuovo nel senso opposto. Le fibre si filano in un senso per fare il filo; più fili si ritorcono nel senso contrario per formare un legnolo; tre legnoli si commettono di nuovo nel primo senso per formare il cavo. La torsione residua di ogni stadio tira in senso opposto a quella dello stadio che contiene: le forze si bilanciano e la corda mantiene la forma. Il cavo a tre legnoli costruito così si chiama cavo piano.

Avvolgimento inverso: ogni ciocca si ritorce in un senso e poi si avvolge sull'altra nel senso opposto.

La stessa regola vale alla scala più piccola. Nell'avvolgimento inverso, un semplice metodo a mano, due ciocche di fibra vengono ritorte ciascuna in un senso e poi avvolte l'una sull'altra nel senso opposto: ne esce una cordicella a due capi che non si disfa. Una corda lunga si fa allo stesso modo, in grande: una manovella ritorce i legnoli e un blocco di legno scanalato, la pigna, li tiene separati finché si commettono dietro di essa.

Come fabbricarla

Le buone fibre da corda sono lunghe e robuste: ortica, lino, canapa, corteccia interna di tiglio o di salice, foglie di tifa, oppure spago di cotone o di canapa comprato per esercitarsi.

Preparare la fibra. Tagliare steli d'ortica a fine estate, con i guanti. Schiacciarli, aprirli, togliere il midollo legnoso e staccare la pelle esterna con le sue fibre. Lasciarle seccare, poi inumidirle leggermente prima dell'uso. La corteccia di tiglio deve restare in acqua per diverse settimane prima che gli strati fibrosi si separino.

Fare una cordicella a mano. Prendere una ciocca e piegarla poco lontano dalla metà, così che i due capi abbiano lunghezze diverse. Stringere la piega. Ritorcere la ciocca superiore allontanandola da sé, poi portarla sopra quella inferiore verso di sé. Ripetere spostando la presa. Quando una ciocca si esaurisce, accostarle un nuovo ciuffo di fibre e ritorcerlo insieme; i capi sfalsati evitano che due giunte cadano nello stesso punto.

Allestire una corderia. Per una corda più grossa, fissare un telaio con tre ganci che una manovella fa girare insieme. Tendere tre tratti uguali di cordicella o di filo da quei ganci fino a un unico gancio girevole montato su una slitta zavorrata, all'altra estremità. Bloccare per ora il girevole con un perno e mettere la pigna tra i legnoli proprio accanto alla slitta, un legnolo in ogni scanalatura.

Ritorcere e commettere. Girare la manovella nel senso che stringe la torsione già presente nel filo, finché ogni legnolo è duro e si attorciglia appena lo si allenta. Togliere allora il perno perché il gancio girevole possa ruotare. Continuare a girare mentre un aiutante porta lentamente la pigna verso il telaio: dietro di essa i legnoli si commettono da soli nel senso opposto, e la slitta avanza man mano che la corda si accorcia.

Rifinire i capi. Legare stretto ogni estremità con spago sottile, una legatura, prima di tagliarla, altrimenti i legnoli si scommettono.

> **Sicurezza.** Una corda sotto carico accumula energia; se si spezza, i capi tornano indietro con violenza, quindi non stare mai sulla linea di una corda in tensione. Non usare corde fatte in casa per arrampicare, per sollevare persone o per carichi sopra la testa di qualcuno. Anche la manovella accumula torsione: tenerla quando ci si ferma, altrimenti gira all'indietro. Usare guanti per le ortiche e quando la corda scorre tra le mani.

Storia ed evoluzione

L'attrezzo in avorio di Hohle Fels, ricostruito: le fibre fatte passare nei quattro fori vengono ritorte in corda.

La più antica prova diretta di una cordicella viene dall'Abri du Maras, un riparo sotto roccia dell'Ardèche, in Francia. Nel 2020 i ricercatori hanno descritto un frammento di circa 6 mm attaccato a uno strumento di pietra, fatto di tre ciocche di fibre di corteccia interna, probabilmente di conifera, ritorte e poi unite tra loro. Ha tra 41.000 e 52.000 anni ed è opera dei Neanderthal, che quindi sapevano ritorcere in due sensi opposti.

Nella grotta di Hohle Fels, nella Germania sud-occidentale, gli scavatori hanno recuperato una striscia d'avorio di mammut lunga circa 20 cm, con quattro fori circondati da solchi a spirale, datata a 35.000-40.000 anni fa. Nel 2024 Nicholas Conard e Veerle Rots lo hanno interpretato come un probabile attrezzo da cordaio: nelle scanalature restavano fibre vegetali, e un bastone simile della vicina grotta di Geißenklösterle ha solchi consumati come dal passaggio di fibre. Con repliche, squadre di quattro o cinque persone hanno prodotto circa 5 metri di corda robusta in 10 minuti; le foglie di tifa davano ottimi risultati.

Le società agricole produssero corde su scala molto più ampia. Gli Egizi facevano corde di giunco, papiro, fibra di palma e lino, e squadre che tiravano funi spostavano le pietre dei monumenti. A Wadi Gawasis, un porto faraonico sul Mar Rosso, gli archeologi hanno trovato rotoli di cavi navali, accuratamente annodati e riposti in grotte scavate per le spedizioni verso il paese di Punt.

In Europa, dal Medioevo all'Ottocento, le marine a vela producevano i loro cavi nelle corderie, edifici abbastanza lunghi da commettere una corda intera in un solo pezzo. La corderia dell'arsenale di Chatham, in Inghilterra, è lunga quasi 350 metri, e lì si fanno corde da più di 400 anni. La corda di nylon comparve durante la Seconda guerra mondiale, e dagli anni Cinquanta le fibre sintetiche presero il posto della canapa e dell'abacà nella maggior parte degli usi.

La gassa d'amante forma un occhio fisso, il nodo parlato lega a un palo, il nodo piano stringe un fascio; non va usato per unire due corde sotto carico.

Dati chiave

Cordicella più antica conosciuta
41.000-52.000 anni, Abri du Maras (Francia)

Probabile attrezzo da cordaio antico
35.000-40.000 anni, Hohle Fels (Germania)

Costruzione abituale
3 legnoli, torsione invertita a ogni stadio

Ritmo preistorico (attrezzo ricostruito)
Circa 5 m di corda in 10 minuti, con 4-5 persone

Fonti

1. Neanderthal cord weaver · CNRS https://www.cnrs.fr/en/press/neanderthal-cord-weaver
2. Rope making in the Aurignacian of Central Europe more than 35,000 years ago · Science Advances (PubMed Central) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10830101/
3. Archaeologist Kathryn Bard's amazing Egyptian digs · Boston University https://www.bu.edu/articles/2009/archaeologist-kathryn-bard%e2%80%99s-amazing-egyptian-digs/
4. The Ropery · The Historic Dockyard Chatham https://thedockyard.co.uk/attractions/the-ropery
5. Rope · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Rope
6. Ropewalk · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ropewalk
7. The ancient art of laying rope · Europhysics Letters (arXiv) https://arxiv.org/abs/1004.0814
8. Plymouth Cordage Company Ropewalk · Mystic Seaport Museum https://mysticseaport.org/?p=355570
9. Hawser-laid · Practical Boat Owner https://www.pbo.co.uk/nautical-almanac/glossary-of-nautical-terms/hawser-laid-9204
10. Three strand hawser laid rope · Lifting Equipment Engineers Association https://copsule.leeaint.com/copsule/en-GB/latest/id-b54f2a33-5063-40e7-f243-517683d1bf63.html

Fatti verificati il 2026-10-11

II

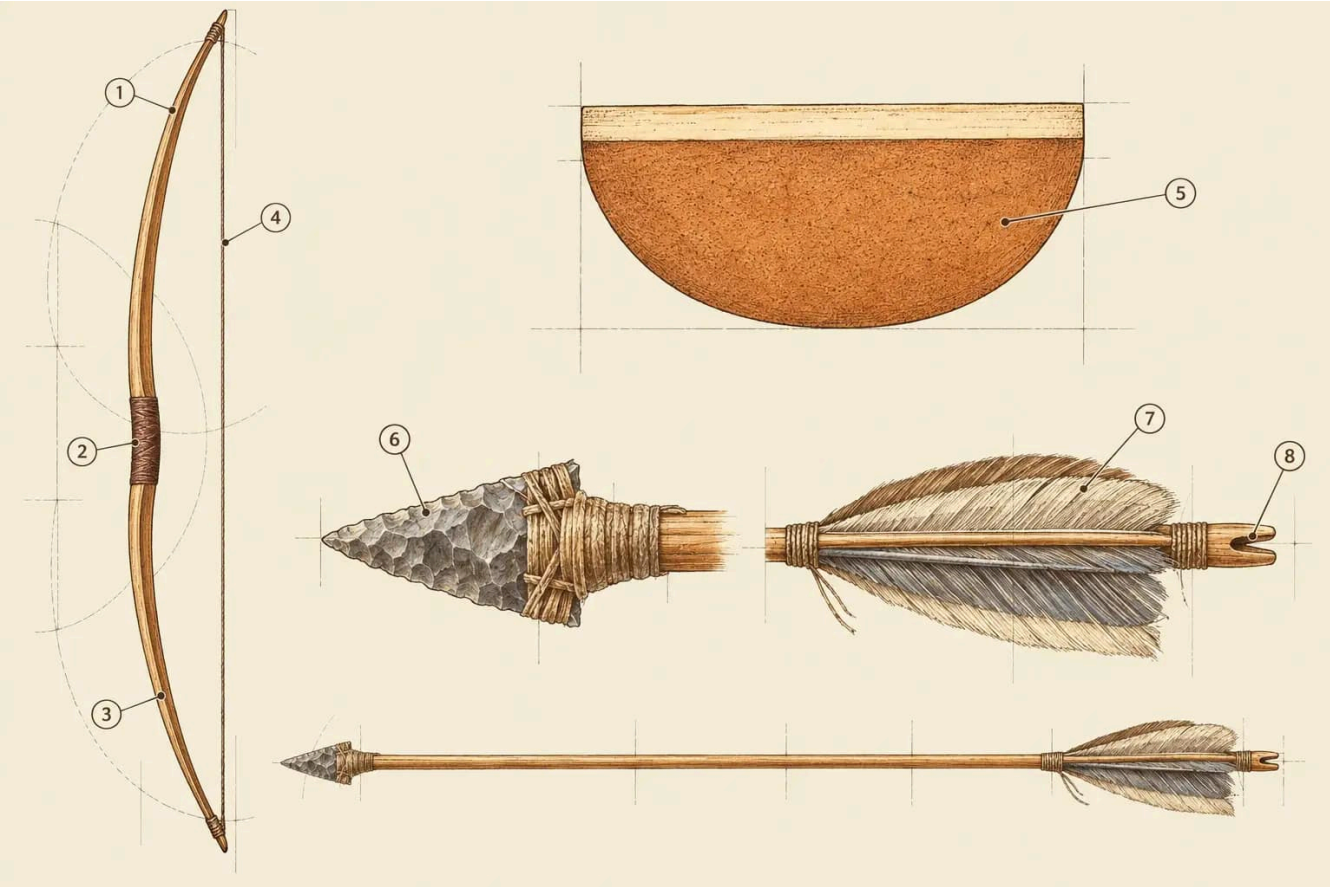
Insediamento

Arco e frecce

Energia immagazzinata e liberata

62.000 anni fa · Preistoria · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)



1 Flettente superiore 2 Impugnatura 3 Flettente inferiore 4 Corda 5 Sezione di un flettente: alburno sul dorso, durame sul ventre 6 Punta di selce legata con tendine 7 Impennaggio 8 Cocca

L'arco accumula nei flettenti piegati lo sforzo delle braccia dell'arciere e lo restituisce in una frazione di secondo, scagliando la freccia molto più veloce e più lontano di quanto potrebbe lanciarla una mano. Piccole punte di pietra trovate in Sudafrica fanno pensare che si tirassero frecce già circa 64.000 anni fa, e l'arco rimase un'arma da caccia e da guerra finché non lo sostituirono le armi da fuoco.

Che cos'è

Un arco è un'asta flessibile, di solito di legno, con una corda tesa tra le due estremità, e funziona come una molla tenuta in mano. Tirando la corda l'asta si piega; quando la si lascia, l'asta torna dritta e la corda spinge avanti la freccia. La freccia è un fusto leggero e diritto, con una punta acuminata davanti e penne dietro che la fanno volare con la punta in avanti.

L'arco della tavola è un arco semplice, ricavato da un solo pezzo di legno, del tipo del longbow inglese: un'asta di tasso alta più o meno quanto l'arciere, piatta sul dorso e tondeggiante sul ventre, così che la sezione ricorda una D.

Molti archi uniscono invece più materiali. Gli archi compositi dell'Asia sono fatti di corno, legno e tendine incollati insieme, e diversi popoli del Nordamerica incollavano uno strato di tendine lungo il dorso di un arco di legno.

Come funziona

Le due facce di un arco piegato lavorano in senso opposto. Il dorso, il lato opposto all'arciere, si allunga; il ventre, rivolto verso l'arciere, si comprime. Il legno resiste a entrambe le sollecitazioni, quindi lo sforzo speso per tendere l'arco si accumula nei flettenti come energia elastica, come in una molla caricata. Un arco da caccia richiede di solito una trazione di circa 180-270 newton (40-60 libbre) all'allungo completo, e i pesanti archi da guerra molto di più.

Il tasso si presta all'arco semplice perché il suo tronco contiene due tipi di legno. L'alburno chiaro, sotto la corteccia, sopporta bene la trazione, mentre il durame, più scuro, sopporta bene la compressione. Gli arcai lasciano quindi uno strato di alburno sul dorso e il durame sul ventre, come mostra la sezione della tavola. Con la maggior parte degli altri legni l'arco si ricava tutto dall'alburno o tutto dal durame, e il dorso segue un solo anello di crescita per l'intera lunghezza.

Quando l'arciere lascia la corda, i flettenti scattano in avanti e la corda spinge la freccia. Non tutta l'energia accumulata arriva alla freccia, perché anche i flettenti e la corda si muovono e ne trattengono una parte. Flettenti leggeri, che si piegano in modo uniforme, ne sprecano meno di quelli pesanti. Le frecce scoccate da archi di legno partono di solito a 40-60 metri al secondo.

La spinta è così brusca che la freccia si flette e vibra mentre parte, girando attorno all'impugnatura dell'arco. Gli arcieri lo chiamano paradosso dell'arciere. Perché la freccia voli dritta, la sua rigidità, detta spine, deve essere adatta al libbraggio dell'arco, tenendo conto della lunghezza della freccia e del peso della punta, che cambiano entrambi quanto il fusto si flette. Le penne posteriori creano resistenza dietro il punto di equilibrio della freccia, così ogni oscillazione riporta la punta sulla linea di volo, come fanno le alette di una freccetta. Una punta più pesante sposta in avanti il punto di equilibrio e stabilizza il volo, ma fa anche flettere di più il fusto.

Come costruirlo

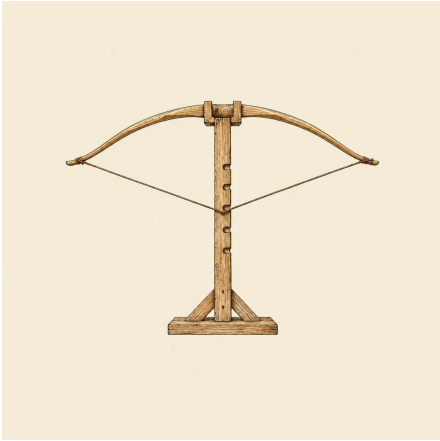
Per un arco semplice servono un'accetta o una plana, una raspa, un raschietto, un coltello, una corda lunga, una bilancia a molla e un tiller: un palo verticale con un appoggio per l'impugnatura in cima e una serie di tacche lungo tutta l'altezza.

Scegliere l'asta. Prendere un pezzo a fibra diritta di un legno tenace ed elastico, come tasso, maclura, olmo, frassino, hickory o acero, senza nodi né torsioni. Spaccarlo dal tronco invece di segarlo, perché la fibra corra per tutta la lunghezza. Sigillare le estremità e lasciarlo asciugare lentamente al riparo per diversi mesi, meglio ancora un anno.

Preparare il dorso. Il dorso è il lato che stava sotto la corteccia. Sulla maggior parte dei legni si toglie la corteccia e si segue un solo anello di crescita per tutta la lunghezza, senza mai tagliarlo: un anello interrotto è il punto in cui l'arco si rompe. Sul tasso si lascia un sottile strato di alburno.

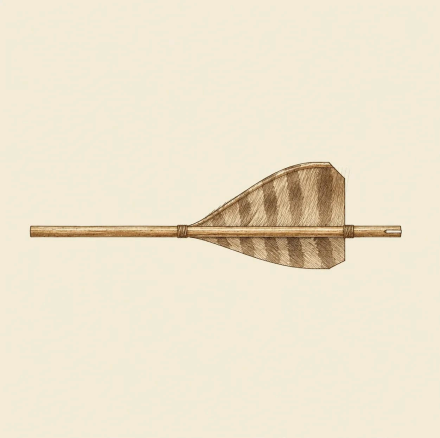
Sbozzare la forma. Tracciare una linea centrale e disegnare il profilo: un'impugnatura stretta e spessa al centro e flettenti che si assottigliano verso le punte. Per un longbow l'asta è lunga circa quanto l'arciere è alto. Togliere legno solo dal ventre, finché ogni flettente si piega un poco quando la punta poggia a terra e si spinge sull'impugnatura.

Fare il tillering. Incidere le scanalature per la corda vicino alle punte, montare una corda lunga e appoggiare l'arco per l'impugnatura sul tiller. Tirare la corda giù una tacca alla volta, leggere la trazione sulla bilancia e studiare la curva. Non tirare mai più forte del libbraggio che si vuole ottenere, altrimenti l'asta non finita si affatica troppo. I due flettenti devono piegarsi in archi regolari e uniformi, senza tratti rigidi o punti dove la curva si stringe di colpo. Lasciar risalire piano la corda e togliere l'arco dal tiller prima di lavorarlo con un attrezzo: non raschiare mai un flettente sotto carico. Poi raschiare il ventre dove un flettente è troppo rigido, pochi trucioli alla volta, e piegare l'arco una dozzina di volte tra un passaggio e l'altro. Fermarsi poco prima di raggiungere l'allungo completo e il libbraggio voluto. È la fase più lenta. Un breve tratto che piega più del resto, una cerniera, subisce uno sforzo eccessivo, ed è lì che un arco tende a creparsi.



Sul tiller l'arco viene teso un po' di più a ogni passaggio, e l'arcaio può confrontare la curva dei due flettenti.

Fare la corda. Torcere la corda con filo di lino, canapa, tendine o poliestere moderno, con un'asola fissa a un capo e un nodo del boscaiolo all'altro. Ad arco incordato, la corda deve stare a circa la larghezza di una mano dall'impugnatura. Rimettere l'arco incordato sul tiller con la sua corda definitiva e tenderlo per gradi fino all'allungo completo: i due flettenti devono ancora piegarsi in modo uniforme e la bilancia deve segnare il libbraggio previsto. Togliere gli ultimi trucioli solo dove questa prova rivela un punto rigido, ogni volta con la corda allentata e l'arco tolto dal tiller.



Tre penne della stessa ala, incollate e legate alle due estremità, mantengono la freccia sulla sua traiettoria.

Fare le frecce. Tagliare polloni diritti di corniolo, viburno o nocciolo, oppure ricavare i fusti spaccando un tronco diritto. Raddrizzarli su un calore moderato e raschiarli fino a renderli tondi. Dividerli per rigidità, tagliarli alla stessa lunghezza e montare punte dello stesso peso, così che le frecce tirate con lo stesso arco volino allo stesso modo. Ogni freccia deve essere abbastanza lunga per l'allungo completo, con la punta ancora davanti all'arco a corda tesa. Intagliare dietro la cocca per la corda. Davanti, legare una punta di pietra, osso o metallo con tendine e una colla come il catrame di betulla, oppure usare una punta smussata di legno per l'allenamento. Incollare tre penne della stessa ala lungo il fusto, vicino alla cocca e a distanze uguali, e legarne le estremità.

> **Sicurezza.** Un arco è un'arma qualunque sia il suo libbraggio. Non mirare mai a nessuno e tirare solo in un campo con un battifreccia dietro il bersaglio e nessuno oltre. Non lasciare mai una corda tesa senza freccia: l'energia finisce nell'arco, che può rompersi e lanciare schegge. Proteggere gli occhi durante il tillering e le prove, controllare prima di ogni sessione che arco, corda, fusti e cocche non abbiano crepe, e usare frecce abbastanza lunghe e rigide per l'arco. La polvere di tasso è tossica e le altre polveri di legno possono danneggiare i polmoni e la pelle: aspirare la polvere dove si produce e, quando si raspa o si carteggia, portare una mascherina antipolvere ben aderente con un filtro adatto, anche all'aperto; fare attenzione alla fonte di calore quando si raddrizzano i fusti. La caccia con l'arco è regolamentata o vietata in molti Paesi.

Storia ed evoluzione

Archi e frecce sono fatti di legno, tendine e penne, materiali che si conservano di rado, così il tiro con l'arco più antico si ricostruisce dalle punte di pietra. Nella grotta di Sibudu, nel KwaZulu-Natal, in Sudafrica, piccole punte di pietra di circa 64.000 anni fa mostrano danni da impatto, tracce di sangue e di osso e resti della colla di resina vegetale che le fissava a un fusto, il che fa pensare che armassero frecce. Alcuni ricercatori hanno proposto punte di freccia più antiche, di circa 74.000 anni fa, a Shinfa-Metema 1 in Etiopia, un'interpretazione che altri studi devono ancora confermare. In Europa la prova probabile più antica viene dalla Grotte Mandrin, nel sud della Francia: punte di selce di circa 54.000 anni fa, lasciate da esseri umani moderni e troppo piccole per essere state lanciate a mano.

I fusti di freccia più antichi che si conoscano, in pino, vengono da Stellmoor, vicino ad Amburgo, e hanno circa 12.000 anni. L'arco completo più antico, in olmo, è stato trovato nella torbiera di Holmegaard, in Danimarca, e risale a circa il 7000 a.C. Ötzi, l'uomo morto sulle Alpi circa 5.300 anni fa, portava un arco di tasso non finito e una faretra di pelle di cervo con 14 frecce; solo due erano finite, con punte di selce e penne fissate con catrame di betulla e fibre vegetali.

Nelle steppe dell'Asia e nel Vicino Oriente gli arcai svilupparono l'arco composito, formato da un sottile nucleo di legno con corno incollato sul ventre e tendine sul dorso. È più corto di un arco semplice della stessa potenza, cosa che lo rendeva adatto agli arcieri sui carri e a cavallo, e armò gli Sciti, gli Unni, i Mongoli e i Turchi ottomani.

Senza corda l'arco composito si curva in avanti, lontano dall'arciere; incordarlo lo piega all'indietro e accumula energia prima ancora della trazione.

Nell'Europa occidentale il longbow di tasso servì gli eserciti inglesi a Crécy nel 1346 e ad Azincourt nel 1415. La nave da guerra di Enrico VIII, la *Mary Rose*, affondata nel 1545, ha restituito 172 longbow, ognuno ricavato da un solo pezzo di tasso e lungo fino a 2,11 m. Le armi da fuoco erano più lente da caricare, ma un soldato imparava a usarle molto più in fretta di quanto servisse per formare un arciere, e nel corso del Cinquecento e del Seicento le armi da fuoco cacciarono l'arco dai campi di battaglia europei. Rimase un'arma da caccia in molte parti del mondo, e il tiro con l'arco divenne uno sport, praticato oggi con archi in fibra di vetro e carbonio e con archi compound a carrucole.

Dati chiave

Punte di freccia antiche
Circa 64.000 anni fa, grotta di Sibudu, Sudafrica

Arco completo più antico
Holmegaard, Danimarca, in olmo, circa 7000 a.C.

L'equipaggiamento di Ötzi
Arco di tasso non finito di 1,82 m, 14 frecce di cui 2 finite

Longbow della Mary Rose (affondata nel 1545)
172 recuperati, libbraggio stimato tra 65 e 175 libbre (290-780 N)

Fonti

1. Indications of bow and stone-tipped arrow use 64 000 years ago in KwaZulu-Natal, South Africa · Antiquity (Lombard and Phillipson, 2010) https://resolve.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/indications-of-bow-and-stonetipped-arrow-use-64-000-years-ago-in-kwazulunatal-south-africa/89AF638BE5E64CEAC63363EFDD4D5E8F
2. Surviving a volcanic supereruption may have facilitated human dispersal out of Africa · University of Texas at Austin https://news.utexas.edu/2024/03/20/surviving-a-volcanic-supereruption-may-have-facilitated-human-dispersal-out-of-africa/
3. Earliest likely evidence for bow and arrow use in Europe, 54,000 years ago, found in southern France · Popular Archaeology https://popular-archaeology.com/article/earliest-likely-evidence-for-bow-and-arrow-use-in-europe-54000-years-ago-found-in-southern-france/
4. How old is the bow and arrow? · World Archery https://www.worldarchery.sport/news/166330/
5. Ötzi's equipment · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/equipment/
6. The longbows of the Mary Rose · Mary Rose Trust https://maryrose.org/ship/bows1.htm
7. Standardised Equipment or Specialist Groups? The Role of Archery Aboard Mary Rose · University of Southampton (Parkes, PhD thesis, 2024) https://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/500151/
8. On the Mechanics of the Bow and Arrow · Rijksuniversiteit Groningen (Kooi, PhD thesis, 1983) https://www.bio.vu.nl/thb/users/kooi/thesis.pdf

Fatti verificati il 2026-10-12

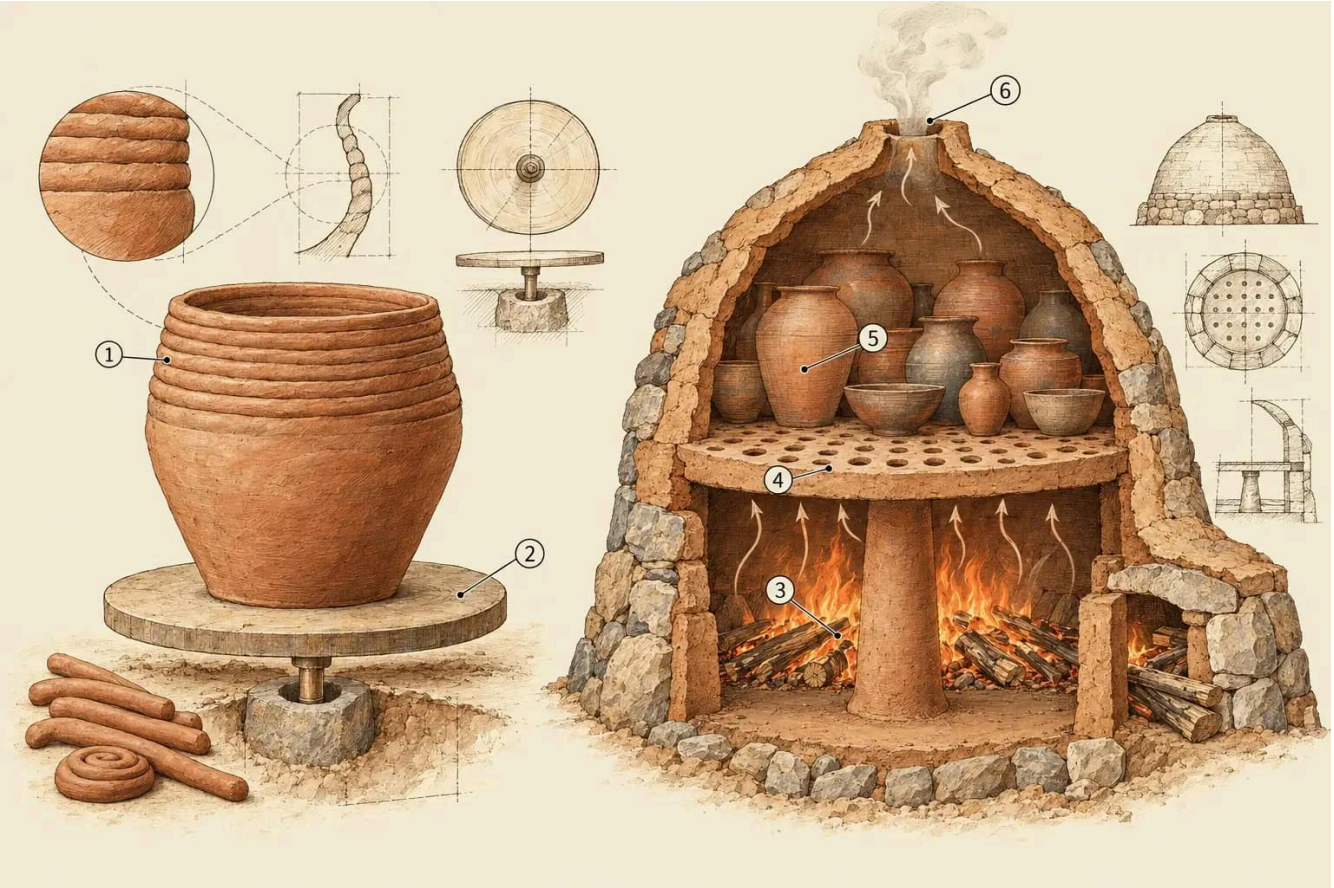
Ceramica

Argilla trasformata in pietra dal fuoco

18.000 anni fa · Preistoria · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9)

Porta a: Birra (p. 78), Bronzo (p. 124), Formaggio (p. 57), Distillazione (p. 174), Acqua potabile (p. 35), Tintura (p. 69), Vetro (p. 133), Misure e campioni (p. 128), Carta (p. 170), Tornio da vasaio (p. 120), Salagione (p. 48), Sapone (p. 94), Scrittura (p. 86)



1 Colombini di argilla 2 Tornietto 3 Camera di combustione 4 Piano forato 5 Vasi nella camera di cottura 6 Sfiatatoio

La ceramica è argilla modellata quando è umida e poi cotta finché non si trasforma in modo permanente in un materiale duro, simile alla pietra. Gruppi di raccoglitori della Cina meridionale facevano vasi di argilla, probabilmente per cucinare, già circa 20.000 anni fa, molto prima dell'agricoltura.

Che cos'è

La ceramica comprende tutti gli oggetti fatti di argilla e induriti dal fuoco, dalle pentole e dalle giare alle lucerne e alle tegole. I vasai dividono i loro prodotti in tre gruppi secondo l'impasto e la temperatura di cottura: la terracotta porosa, il gres compatto e la porcellana bianca e vetrosa.

Una pentola di argilla grossolana, ben smagrata, si può scaldare lentamente sul fuoco, quindi il cibo si può bollire e stufare oltre che arrostire, e le giare chiuse da un coperchio e tenute in un luogo asciutto proteggono il grano dai topi.

La tavola mostra come si modella e si cuoce un vaso: costruito a mano con colombini di argilla, poi cotto in una semplice fornace a tiraggio verticale.

Come funziona

L'argilla è formata da cristalli piatti microscopici, per lo più silicati di alluminio. Da bagnate, le scaglie scivolano l'una sull'altra su sottili veli d'acqua, perciò l'argilla si lascia modellare e mantiene la forma. Asciugando, le scaglie si compattano e il vaso si ritira di qualche punto percentuale. L'argilla secca è soda, ma con la pioggia tornerebbe fango.

Nel fuoco, tra i 450 e i 650 °C circa secondo il tipo di argilla, l'acqua legata dentro i cristalli viene espulsa e la loro struttura si disgrega; da quel momento l'argilla non si può più ammorbidire in acqua. A temperature ancora più alte i granuli cominciano a fondersi nei punti di contatto. La terracotta resta porosa. Alle temperature del gres una parte dell'impasto fonde in un vetro che riempie i pori, così il vaso trattiene l'acqua anche senza invetriatura. La porcellana, fatta con un impasto bianco ricco di caolino e cotta ad alta temperatura, diventa dura e leggermente traslucida.

Un antico vaso giapponese Jōmon, con la superficie segnata facendo rotolare una cordicella ritorta sull'argilla umida.

Una cottura all'aperto: i vasi vengono sepolti nel combustibile e cotti a terra, senza fornace.

I vasai mescolano all'argilla un degrassante, come sabbia, conchiglie frantumate o cocci macinati. Il degrassante apre l'impasto perché il vapore possa uscire e riduce le crepe mentre il vaso asciuga e si scalda.

Le prime ceramiche venivano cotte in falò o in fosse poco profonde, a 600–900 °C. La fornace trattiene il calore. In quella a tiraggio verticale della tavola, il fuoco arde in una camera di combustione in basso e i gas caldi salgono attraverso i fori di un piano di argilla, passano intorno ai vasi impilati ed escono da uno sfiatatoio in cima. I vasi non stanno più in mezzo al combustibile che brucia, quindi il calore è più uniforme e più facile da regolare, e si crepano meno vasi.

Come farlo

Con argilla scavata dal terreno, pochi attrezzi semplici e un falò si può ottenere una buona terracotta. I passaggi che seguono sono una traccia.

Trovare e preparare l'argilla. Arrotolare un cilindretto sottile e piegarlo ad anello: se non si crepa, l'argilla è abbastanza plastica. Stemperarla in acqua fino a ottenere una barbottina, lasciar depositare i sassi, travasare la parte superiore e farla asciugare finché si può impastare. Incorporare sabbia o cocci frantumati, partendo da circa un quarto del volume dell'argilla, e cuocere qualche piccolo provino per correggere la miscela.

Costruire a colombino. Appiattire un disco per il fondo. Arrotolare colombini spessi come un dito e posarli uno alla volta, pizzicando e lisciando ciascuno sul precedente, all'interno e all'esterno. Lavorare su un'asse o su un tornietto, per poter ruotare il vaso. Assottigliare e regolarizzare le pareti battendole con una paletta di legno contro una pietra tenuta all'interno.

Asciugare lentamente. Tenere il vaso al riparo dal sole e dal vento per una settimana o più. Quando è duro come il cuoio, si può strofinare la superficie con un ciottolo liscio per lucidarla. Cuocerlo solo quando è del tutto secco e non è più fresco al tatto.

Cuocere. Scaldare i vasi accanto al fuoco per un'ora o due, girandoli. Poi impilarli sulla brace, coprirli di legna e sterco e alimentare il fuoco per diverse ore. Lasciare raffreddare tutto lentamente nella cenere prima di estrarre i vasi.

> **Sicurezza.** Cuocere solo all'aperto, lontano dagli edifici: sgomberare il terreno, tenere acqua a portata di mano, fare attenzione al vento e stare fuori dal fumo. L'argilla umida può scoppiare e scagliare frammenti taglienti, e la cenere calda resta pericolosa per ore. La polvere di argilla secca contiene silice fine che danneggia i polmoni: pulire a umido invece di spazzare. I vasi fatti in questo modo vanno considerati sperimentali e tenuti lontani dal cibo, a meno che l'argilla e il pezzo finito non siano stati analizzati. Non usare mai invetriature di composizione ignota: il piombo può passare negli alimenti.

Storia ed evoluzione

L'argilla cotta è più antica dei vasi. A Dolní Věstonice, nell'attuale Repubblica Ceca, tra il 29.000 e il 25.000 a.C. circa si facevano statuette di argilla cotta, ma nessun recipiente.

I vasi più antichi conosciuti vengono dalla grotta di Xianrendong, nella provincia cinese del Jiangxi. Nel 2012 un gruppo guidato da Wu Xiaohong e Ofer Bar-Yosef datò i cocci più antichi, alcuni con tracce di fuliggine e bruciature che fanno pensare alla cottura di cibi, a circa 20.000–19.000 anni fa, nel pieno dell'ultima glaciazione. Alcuni studiosi ritengono gli strati della grotta troppo rimaneggiati per avere certezze, ma le ceramiche antiche di altre zone dell'Asia orientale confermano che i raccoglitori dell'era glaciale facevano vasi. A Ōdai Yamamoto, nel Giappone settentrionale, cocci con residui di cibo carbonizzato sono stati datati tra 16.500 e 15.000 anni fa circa, secondo lo studio. Nel Vicino Oriente avvenne il contrario: i primi villaggi agricoli fecero a meno dei vasi per oltre duemila anni.

La più antica fornace da ceramica conosciuta in Medio Oriente, a Yarim Tepe nell'Iraq settentrionale, risale al 6000 a.C. circa o a poco prima. Verso il 3500 a.C. i vasai del Vicino Oriente usavano tornietti lenti per dare forma ai vasi a colombino. Il tornio veloce, abbastanza pesante da continuare a girare mentre il vasaio tirava su il vaso da un blocco di argilla, arrivò nel III millennio a.C.

Prima del 2000 a.C. le fornaci cinesi potevano raggiungere circa 1.000 °C, e le fornaci a drago, costruite in salita sui fianchi delle colline, arrivavano a 1.300 °C. Ciò rese possibile il gres e, entro l'epoca della dinastia Tang (618–907), la porcellana bianca.

Un antico tornio da vasaio: una pesante testa di legno che gira su un perno infisso in una pietra.

Dati chiave

Vasi più antichi conosciuti

Grotta di Xianrendong, Cina, circa 20.000–19.000 anni fa

Più antica fornace da ceramica conosciuta in Medio Oriente

Yarim Tepe, Iraq, ca. 6000 a.C. o poco prima

Punto di non ritorno

Circa 450–650 °C, secondo l'argilla: non si ammorbidisce più in acqua

Temperature di cottura

Terracotta 600–1.200 °C, gres 1.100–1.300 °C, porcellana fino a 1.400 °C

Fonti

1. Pottery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pottery
2. Kiln · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kiln
3. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
4. Oldest pottery comes from Chinese cave · Science News https://sciencenews.org/?p=8772
5. The First Pots (Top 10 Discoveries of 2012) · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/january-february-2013/collection/top-10-2012-neolithic-china-pottery/top-10-discoveries-of-2012/
6. Firing Clay: The Lowdown on the Ceramic Firing Process · Ceramic Arts Network https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Firing-Clay-The-Lowdown-on-the-Ceramic-Firing-Process
7. Quartz Inversion · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/quartz+inversion
8. Water Smoking · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/water+smoking
9. Red heat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Red_heat

Fatti verificati il 2026-10-11

Pane

Grano macinato, acqua e calore

12.400 anni fa · Preistoria · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9)

Porta a: Birra (p. 78)

1 Macina a sella 2 Impasto lievitato 3 Cupola del forno 4 Piano di cottura 5 Brace 6 Pala da forno

Il pane è un impasto di cereali macinati e acqua, spesso lievitato, cotto finché non diventa solido. Cacciatori-raccoglitori in Giordania cuocevano già un pane piatto circa 14.400 anni fa, prima che qualcuno coltivasse i cereali.

Che cos'è

Il pane è farina mescolata con acqua, formata e cotta a calore secco. Quasi sempre si aggiunge sale. La maggior parte dei pani è anche lievitata: il lievito o il lievito madre riempiono l'impasto di piccole bolle di gas, così cresce e in cottura dà una mollica soffice e piena di alveoli. I pani piatti non lievitati saltano questo passaggio e cuociono in pochi minuti su una pietra rovente o contro la parete di un forno.

I cereali cotti si conservano male e quelli crudi sono difficili da digerire. Il pane li trasforma in un cibo facile da portare con sé e che si conserva per giorni, e in molte diete fornisce la maggior parte delle calorie. La tavola segue la sequenza antica: il grano macinato su una macina a sella, l'impasto lasciato lievitare in una madia di legno, le pagnotte cotte sul piano di un forno a cupola.

Monococco, dicocco e orzo, i cereali dei primi pani del Vicino Oriente.

Come funziona

La farina di frumento contiene due famiglie di proteine, glutenine e gliadine. Quando si aggiunge acqua e si impasta, si legano formando il glutine, una rete elastica che si allunga e trattiene il gas. Le proteine di segale e orzo non formano la stessa rete elastica; il pane di segale sta insieme soprattutto grazie all'amido e alle gomme, ed è per questo che questi pani sono compatti.

I lieviti, funghi unicellulari presenti sui cereali e nell'aria, si nutrono degli zuccheri liberati dall'amido. Producono anidride carbonica e un po' di alcol. Il gas si raccoglie in minuscole sacche trattenute dal glutine e l'impasto si gonfia. Il lievito madre unisce lieviti selvatici e batteri lattici, che danno un sapore acidulo e aiutano il pane a conservarsi.

In forno il gas e l'acqua dell'impasto si espandono e nei primi minuti la pagnotta cresce rapidamente. Tra 60 e 80 °C circa l'amido assorbe acqua e si gonfia, e le proteine si rapprendono; la schiuma morbida diventa una mollica soda. In superficie, dove l'impasto si asciuga e si scalda molto di più, zuccheri e proteine reagiscono e imbruniscono formando la crosta. Il pane è cotto quando il centro si avvicina ai 100 °C.

Il forno a legna sfrutta il calore accumulato. Il fuoco arde dentro la cupola finché la muratura non è calda in profondità, poi la brace viene spostata di lato o tolta e si infornano le pagnotte con la pala. Le pareti spesse restituiscono calore per un'ora o più.

Come farlo

Servono frumento, un modo per macinarlo, un lievito madre e un forno. I passaggi che seguono servono per due pagnotte di frumento a lievito madre; segale e orzo richiedono ricette diverse.

Fare la farina. Macinare tra due pietre chicchi puliti e asciutti di frumento o di farro spelta. Per un pane più leggero, setacciare via la crusca grossa.

Avviare il lievito madre. In un barattolo mescolare pesi uguali di farina integrale e acqua, coprire senza chiudere e tenere al caldo. Ogni giorno tenerne circa 100 g, buttare il resto e rinfrescare con 100 g di farina e 100 g di acqua, a una temperatura tra 20 e 27 °C. Dopo cinque-dieci giorni dovrebbe fare bolle e raddoppiare entro poche ore dal rinfresco.

Impastare. Per due pagnotte occorrono 1 kg di farina, 650–700 g di acqua, 20 g di sale e circa 200 g di lievito madre attivo. Lavorare per dieci minuti, finché l'impasto è liscio ed elastico.

Far lievitare. Lasciare l'impasto coperto da quattro a otto ore secondo la temperatura, poi dividerlo in due. Formare con ciascuna metà una pagnotta tonda e ben tesa e farla lievitare di nuovo in un cestino infarinato o in un panno per una-tre ore, finché è cresciuta di circa la metà e l'impronta lasciata da un dito risale lentamente.

Scaldare il forno. Bruciare legna dura e secca in una cupola di argilla o di mattoni per una o due ore, finché la fuliggine sull'interno della cupola non è bruciata e la muratura appare chiara. Togliere la brace, passare il piano con un panno umido, poi infornare le pagnotte con la pala. Cuocere per circa 40 minuti; battuto, il fondo deve suonare vuoto.

> **Sicurezza.** Il piano e le pareti del forno provocano ustioni gravi: usare una pala lunga e guanti spessi, e non sporgersi mai dentro la bocca. Lavorare all'aperto, perché un fuoco che cova in una stanza chiusa produce monossido di carbonio. Buttare i cereali ammuffiti o con i corpi neri a forma di corno della segale cornuta, velenosi. Tenere pulito il barattolo del lievito madre; se compare una muffa qualsiasi, buttare tutto il lievito e scottare il barattolo con acqua bollente.

Storia ed evoluzione

Una pagnotta carbonizzata sepolta dal Vesuvio nel 79 d.C., incisa in otto porzioni prima della cottura.

Nel 2018 un gruppo guidato da Amaia Arranz-Otaegui descrisse briciole carbonizzate provenienti da due focolari di Shubayqa 1, un sito della Giordania nord-orientale frequentato da cacciatori-raccoglitori natufiani circa 14.400 anni fa. Al microscopio elettronico risultarono un alimento simile a un pane piatto, fatto di cereali selvatici come il monococco mescolati con tuberi macinati di lisca marittima, preparato circa 4.000 anni prima che nella regione nascesse l'agricoltura.

Nell'antico Egitto il pane si faceva con il farro dicocco, che andava pestato per liberare i chicchi dalle glume prima di macinarlo su macine a sella. L'archeobotanica Delwen Samuel esaminò al microscopio pani essiccati e trovò cellule di lievito conservate in un pane del 1400 a.C. circa, la più antica prova diretta dell'uso del lievito nella panificazione.

A Roma fare il pane diventò un mestiere. Gli archeologi hanno documentato 39 panifici a Pompei, con mulini di pietra mossi da asini e forni a cupola, e si sono conservate pagnotte carbonizzate durante l'eruzione del 79 d.C. Plinio il Vecchio annotò che Galli e Iberi usavano la schiuma della birra per far lievitare un pane più leggero.

Per secoli i più mangiarono pani grossolani di segale, orzo o cereali misti, mentre il pane bianco di frumento fine era un lusso. Nell'Ottocento i mulini a cilindri resero economica la farina bianca, e il lievito di birra industriale sostituì la pasta avanzata e la schiuma dei birrai. Nel 1961 il processo Chorleywood, in Gran Bretagna, sostituì la lunga prima fermentazione con pochi minuti di impastatura meccanica intensa, e la maggior parte del pane industriale britannico si fa ancora così.

Un mulino pompeiano: la pietra superiore a clessidra gira su un cono fisso e il grano viene macinato tra le due.

Dati chiave

Pane più antico conosciuto

Shubayqa 1, Giordania, circa 14.400 anni fa

Prima prova diretta di lievito nel pane

Pani egizi, ca. 1400 a.C.

Impasto tipico

100 parti di farina, 60–75 di acqua, circa 2 di sale

Cottura

Circa 40 minuti a 220–250 °C per una pagnotta di circa 900 g

Fonti

1. Bread · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bread
2. Flatbread Baked 14,400 Years Ago Found in Jordan · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/natufian-flatbread-jordan-06210.html
3. 3500 year old bread and beer from the New Kingdom Egypt · UCL Researchers in Museums https://blogs.ucl.ac.uk/researchers-in-museums/2017/02/09/3500-year-old-bread-and-beer-from-the-new-kingdom-egypt
4. Digging Deeper into Pompeii's Past · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/july-august-2019/collection/pompeii-industry-bakeries/digging-deeper-into-pompeiis-past/
5. Adjusting Bake Times in New Ovens · BAKERpedia https://bakerpedia.com/?p=39416
6. Yeast Kill · BAKERpedia https://bakerpedia.com/processes/yeast-kill/
7. Relating Bread Baking Process Operating Conditions to the Product Quality: a Modelling Approach · Chemical Engineering Transactions https://doi.org/10.3303/CET1439289

Fatti verificati il 2026-10-11

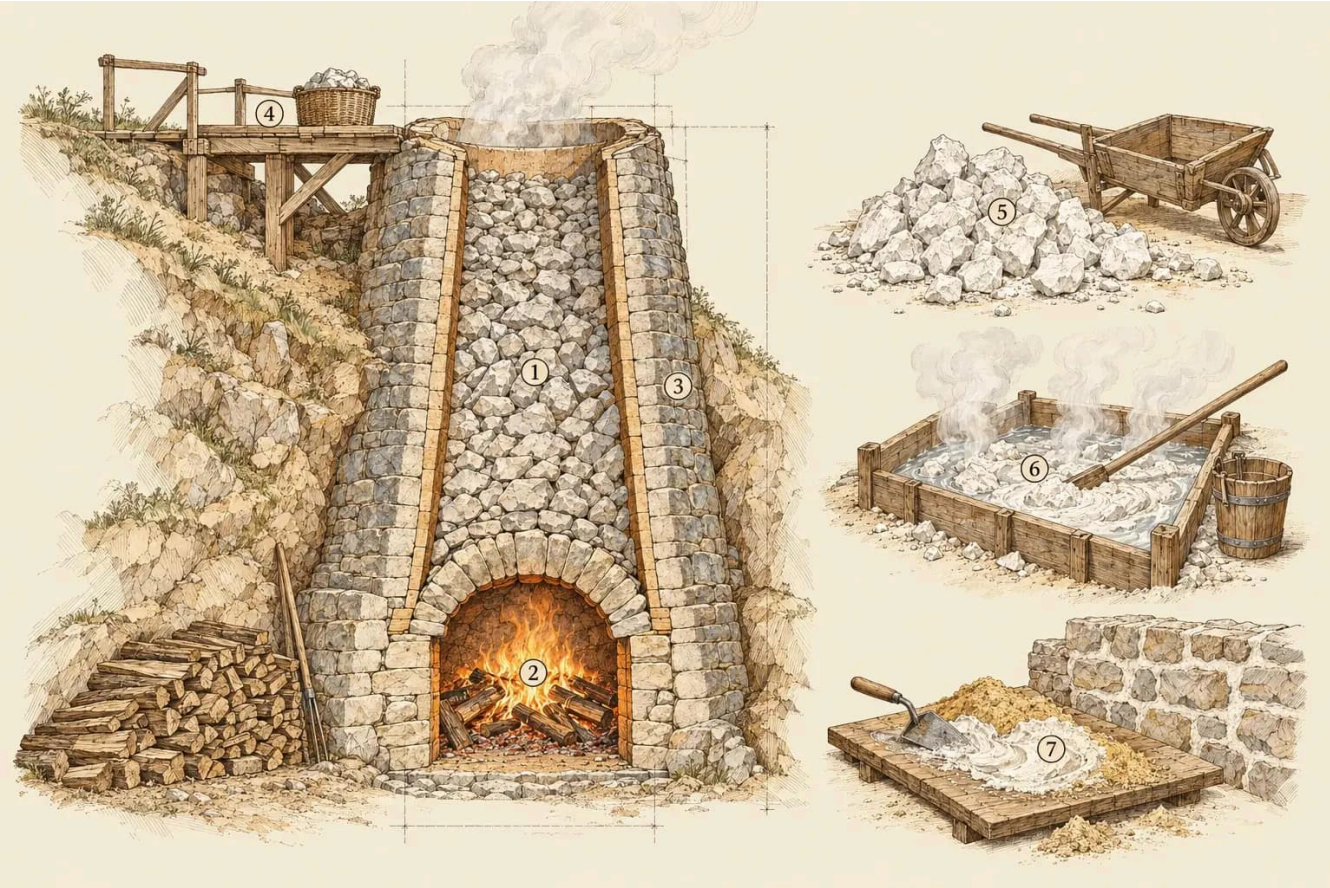
Calce e malta di calce

Pietra cotta che torna pietra

10.000 anni fa · Preistoria · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9), Utensili di pietra (p. 5)

Porta a: Acquedotto (p. 146), Cemento Portland (p. 256), Calcestruzzo romano (p. 166)



1 Carica di pietra calcarea 2 Fuoco di legna sotto l'arco di pietre 3 Spessa parete della fornace con il rivestimento interno 4 Piano di carico in cima 5 Calce viva sfornata 6 Fossa di spegnimento: acqua, vapore e grassello 7 Malta di grassello e sabbia, posata in un muro

La calce è pietra calcarea cotta in una fornace finché non libera la sua anidride carbonica, poi spenta con l'acqua in un grassello o in una polvere bianca. Mescolata alla sabbia si usa da millenni come malta e intonaco, e fa presa riprendendo dall'aria quell'anidride carbonica e ridiventando pietra.

Che cos'è

La calce è un legante bianco ricavato dal calcare, dalla creta o dalle conchiglie, tutte forme di carbonato di calcio. Cotta, la pietra diventa calce viva; con l'acqua, la calce viva diventa calce spenta, come pasta morbida, il grassello, o come polvere asciutta. Mescolata alla sabbia, la calce spenta dà la malta in cui si allettano pietre e mattoni e l'intonaco di pareti e pavimenti.

Una volta in opera, la malta riprende lentamente l'anidride carbonica dell'aria e torna carbonato di calcio, la sostanza da cui era partita. I muratori chiamano questo viaggio di andata e ritorno il ciclo della calce; la tavola lo

segue dalla fornace, a sinistra, fino al muro, a destra.

Come funziona

La cottura. Oltre i 700 °C circa, e rapidamente verso i 900 °C, il carbonato di calcio si scompone in ossido di calcio e anidride carbonica, che se ne va con il fumo. Un calcare puro perde il 44% del suo peso, ma i blocchi conservano la forma ed escono leggeri, porosi e farinosi. Vitruvio aveva notato la perdita e la stimava in un terzo.

In una fornace tradizionale il calcinaio costruisce una volta di grosse pietre sopra il canale del fuoco, poi riempie il tino con pezzi sempre più piccoli. Il fuoco viene alimentato dalla bocca in basso per due o tre giorni. Catone, verso il 160 a.C., indica i segni di una cottura finita: le pietre in alto sono cotte a fondo, la carica si abbassa dal fondo e la fiamma esce meno fumosa. La fornace si raffredda poi per diversi giorni prima di essere svuotata.

Lo spegnimento. La calce viva reagisce con l'acqua formando idrossido di calcio e libera molto calore. L'acqua può bollire, e le zolle si gonfiano e si sfaldano in una massa bianca finissima. Con molta acqua si ottiene il grassello; con quella appena sufficiente, una polvere asciutta, la calce idrata venduta in sacchi. Il grassello migliora con il tempo: fino alla metà dell'Ottocento lo si lasciava stagionare in una fossa o in una cassa di legno da qualche settimana fino a un anno, coperto perché l'aria non lo indurisse.

Lo spegnimento: le zolle si gonfiano, si spaccano e si sfaldano mentre l'acqua si scalda.

La presa. Nel muro la sabbia forma il corpo della malta e la calce riempie i vuoti tra i granelli. Man mano che l'acqua evapora, l'idrossido di calcio cattura l'anidride carbonica dell'aria e torna carbonato di calcio. Questa carbonatazione comincia in superficie e avanza lentamente verso l'interno. Una malta che asciuga troppo in fretta resta debole.

Una malta di calce pura è in genere più tenera e più traspirante delle pietre o dei mattoni che lega: il muro può assestarsi un poco e continua ad asciugarsi attraverso i giunti. Un calcare ricco di argilla dà una calce idraulica, che fa presa anche sott'acqua.

Come si costruisce

Comprate calce viva in zolle da un fornitore per il restauro edilizio, spegnetela, poi impastate la malta e alzate un muretto da giardino in pietra. Con il grassello già pronto, saltate lo spegnimento e passate subito all'impasto.

Spegnere la calce. Riempite a metà d'acqua una vasca d'acciaio. Con occhiali, guanti e maniche lunghe, versate la calce viva nell'acqua poco alla volta, mai l'acqua sulla calce, e tenetevi a distanza mentre si scalda. Mescolate con una lunga pala di legno. Una volta raffreddata, passatela al setaccio in un bidone con coperchio, lasciate depositare il grassello sotto qualche centimetro d'acqua e aspettate almeno qualche settimana.

Impastare la malta. Usate sabbia pulita e spigolosa, con granelli di ogni misura, in ragione di un volume di grassello per tre di sabbia. Battete e tagliate a lungo l'impasto con la zappa o con una pala, aggiungendo meno acqua possibile. Una lunga lavorazione rende la malta di calce plastica e coesa; l'acqua in più la fa ritirare e fessurare.

Posare e stagionare. Lavorate solo con almeno 5 °C e temperature in salita, senza gelo previsto per settimane. Bagnate le pietre perché non succhino l'acqua dei giunti. Allettate ogni pietra nella malta e riempite bene i giunti.

L'impasto a mano: la zappa forata fa entrare il grassello nella sabbia.

Tenete il lavoro umido e all'ombra sotto un telo di iuta per almeno una settimana, nebulizzatelo quando schiarisce e copritelo con teli isolanti se minaccia il gelo. Non asciugate mai un lavoro a calce con una stufa.

> **Sicurezza.** La calce viva e la calce spenta sono caustiche: ustionano la pelle e possono accecare. Indossate occhiali a tenuta, guanti, maniche lunghe, stivali e una mascherina antipolvere per la polvere. Se la calce entra negli occhi, sciacquate subito con molta acqua pulita, tenendo aperte le palpebre, per almeno 15 minuti, e rivolgetevi a un medico. Lo spegnimento può far bollire e schizzare l'acqua, e la calce viva a contatto con l'umidità ha già incendiato legno e paglia: tenetela all'asciutto, chiusa e lontana da tutto ciò che brucia, e non bagnatela mai in un contenitore chiuso. Non costruite una fornace senza permesso locale e senza l'aiuto di persone esperte, state lontani dalla sommità durante la cottura e non salite mai su una fornace ancora calda né entrateci. Tenete lontani i bambini.

Storia ed evoluzione

La calce cotta più antica viene da cacciatori-raccoglitori del Levante: nel Sinai, circa 16.000 anni fa, sembra sia servita a fissare piccole lame di selce ai loro manici. A Nahal Ein Gev II, vicino al lago di Tiberiade, otto persone furono sepolte circa 12.000 anni fa sotto uno strato di intonaco di calce spesso una quarantina di centimetri: la calce si produceva già in quantità.

Nei primi villaggi di agricoltori, a partire da circa 10.000 anni fa, l'intonaco di calce ricopre pavimenti e pareti in molti siti, e una fornace scavata nel terreno a Nesher-Ramla, in Israele, risale a circa 10.400 anni fa. A 'Ain Ghazal, vicino ad Amman, furono modellati 32 statue e busti di calce su armature di canne; le datazioni al radiocarbonio calibrate li collocano intorno al 7700-7500 a.C., mentre pubblicazioni più vecchie indicano circa 6700-6500 a.C. in anni non calibrati.

Una statua di 'Ain Ghazal: calce modellata su fasci di canne legati con lo spago.

Gli autori romani hanno lasciato istruzioni pratiche. La fornace di Catone era larga 10 piedi, alta 20 e larga 3 in cima. Vitruvio consigliava tre parti di sabbia di cava per una di calce, oppure due di sabbia di fiume o di mare.

Dopo Roma molte malte erano di grassello e sabbia del posto, circa uno a tre; altre si preparavano a caldo, spegnendo la calce viva nella sabbia umida, e le ricette cambiavano da regione a regione. La calce viva si spegneva in cantiere fino alla metà dell'Ottocento. Il cemento Portland, brevettato in Gran Bretagna nel 1824, prese piano piano il sopravvento, e negli anni Trenta del Novecento la maggior parte dei muratori americani lo mescolava alla malta. Nel restauro si è tornati alla calce per gli edifici antichi, perché una malta di cemento dura e compatta può trattenere l'umidità nella muratura e accelerare il degrado della pietra.

Dati chiave

Temperatura di cottura
Circa 900 °C; la trasformazione inizia verso i 700 °C

Peso perso in fornace
44% per un calcare puro; Vitruvio lo stimava in un terzo

Malta tradizionale
1 volume di grassello per 3 di sabbia

Calore dello spegnimento
La calce viva a contatto con l'umidità ha raggiunto gli 800 °C e incendiato legno e paglia

Intonaco di calce più antico in grande quantità
Nahal Ein Gev II, Israele, circa 12.000 anni fa

Fonti

1. Lime plaster cover of the dead 12,000 years ago: new evidence for the origins of lime plaster technology (Friesem, Abadi, Shaham and Grosman, Evolutionary Human Sciences, 2019) · Cambridge University Press, via PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10427327/
2. A 10,400-year-old sunken lime kiln from the Early Pre-Pottery Neolithic B at the Nesher-Ramla quarry (el-Khirbe), Israel (Toffolo et al., 2017) · Journal of Archaeological Science: Reports, record at CENIEH https://investigacion.cenieh.es/documentos/65872833e6e23719147fb5c7?lang=fr
3. 'Ain Ghazal "Monumental" Figures: A Stylistic Analysis (Denise Schmandt-Besserat) · University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/ain-ghazal/ain-ghazal-monumental-figures-a-stylistic-analysis/
4. Lime Plaster Statue from Ain Ghazal · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/image/8522/lime-plaster-statue-from-ain-ghazal/
5. Cato, On Agriculture, chapters 1–52 (chapters 16 and 38: the lime kiln), translated by W. D. Hooper and H. B. Ash · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html
6. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II, chapters 4–5 (sand and lime), translated by Joseph Gwilt · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
7. Introduction to lime: lime and its production · Tŷ-Mawr Lime https://lime.org.uk/knowledge-base/introduction-to-lime-lime-and-its-production
8. Some dos and don'ts in the use of lime mortars · Building Limes Forum https://www.buildinglimesforum.org.uk/some-dos-and-donts-in-the-use-of-lime-mortars/
9. Technical Advice Guide: Introduction to Lime in Traditional Buildings · Scottish Lime Centre Trust https://scotlime.org/documents/15/Technical_Advice_Guide_Introduction_to_Lime_in_Traditional_Buildings_1.pdf
10. Preservation Brief 2: Repointing Mortar Joints in Historic Masonry Buildings (Mack and Speweik, 1998) · U.S. National Park Service https://www.nps.gov/orgs/1739/upload/preservation-brief-02-repointing.pdf
11. A case study in lime production no. 1: traditional batch techniques at Chenkumbi, Malawi · Practical Action https://kolibri.teacherinabox.org.au/modules/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100090_Lime_production_traditional_Chenkumbi_Malawi.pdf
12. Lime production: traditional batch techniques in Patarra, Costa Rica · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100089_Lime%20production%20-%20Traditional%20batch%20techniques%20in%20Patarra%20%20Costa%20Rica,%20case%20study/page2.html
13. Calcium oxide: chemical datasheet (with NIOSH Pocket Guide first aid) · CAMEO Chemicals, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/311

Fatti verificati il 2026-10-13

Acqua potabile

Attingere, decantare, filtrare, bollire

c. 8400 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9), Ceramica (p. 23), Corda e cordame (p. 13)

Porta a: Igiene e antisepsi (p. 297), Reidratazione orale (p. 372)

1 Canna del pozzo rivestita di pietra 2 Vera, coperchio e argano 3 Platea in pendenza e canaletta 4 Giara di decantazione 5 Letto di sabbia fine con lo strato biologico 6 Ghiaia e tubo di uscita 7 Pentola a bollore pieno

L'acqua sicura comincia da una fonte protetta, per esempio un pozzo rivestito e coperto, scavato a monte e lontano da latrine e recinti per animali. Quando l'acqua è dubbia, decantazione, filtrazione lenta su sabbia ed ebollizione eliminano o uccidono gran parte dei germi di diarrea, colera e tifo, ma nessuno di questi metodi toglie le sostanze chimiche disciolte.

Che cos'è

L'acqua che fa ammalare di solito sembra pulita. Il pericolo sta in batteri, virus, protozoi e uova di vermi che provengono quasi sempre da feci umane o animali. Colera, tifo, dissenteria e le diarree che uccidono ancora i bambini piccoli si trasmettono così.

L'acqua sicura nasce da una catena di abitudini: una fonte tenuta pulita, l'acqua dubbia chiarita con decantazione o filtrazione lenta su sabbia e poi bollita, e una conservazione attenta, perché basta un bicchiere o una mano sporca per contaminarla di nuovo.

Come funziona

La pioggia trascina gli escrementi da campi e cortili verso ruscelli e stagni. Il liquido di una fossa di latrina filtra nel terreno fino alla falda poco profonda, più in fretta attraverso la ghiaia o il calcare fessurato che attraverso l'argilla.

L'acqua sotterranea è di solito più pulita di quella di superficie, perché il terreno trattiene particelle e microbi. Un pozzo conserva questo vantaggio se il rivestimento con malta nella parte alta, la vera, il coperchio e la platea in pendenza impediscono al ruscellamento e all'acqua versata di entrare nella canna.

Molti germi si attaccano alle particelle di limo e di argilla. Quando l'acqua torbida resta ferma qualche ora, le particelle scendono sul fondo e ne portano con sé una parte. La sola decantazione non rende l'acqua potabile.

Un filtro lento a sabbia è soprattutto un sistema vivo. L'acqua scende attraverso la sabbia fine a pochi decimi di metro all'ora. Nelle prime settimane, nei centimetri superiori si insedia uno strato di batteri, alghe e organismi minuscoli. Le particelle vi restano attaccate, i microbi dello strato si nutrono di molti dei patogeni trattenuti e altri muoiono prima di attraversarlo. Alcuni batteri e molti virus passano comunque: il filtro migliora l'acqua, ma da solo non la rende sicura.

L'ebollizione uccide con il calore. Secondo l'OMS, portare l'acqua a bollore pieno basta a inattivare batteri, virus e protozoi patogeni. Contro le sostanze chimiche il calore non può nulla.

Come fare

Scegliere e proteggere la fonte. Meglio una falda protetta o una sorgente captata, poi la pioggia raccolta da un tetto pulito e solo per ultimi fiumi e stagni. Collocate il pozzo a monte di ogni latrina, ad almeno 30 m e di più nella ghiaia o nella roccia fessurata, e tenete lontani gli animali con un recinto a circa 15 m, come suggerisce l'OMS. Lavate i panni e abbeverate il bestiame a valle.

Scavare e rivestire il pozzo. Scavate una canna di almeno un metro di diametro e rivestitela di pietra o mattoni man mano che scendete. L'OMS raccomanda di rendere stagni almeno i primi 3 m, con giunti di malta, mentre il rivestimento sotto il livello dell'acqua resta aperto per lasciar entrare la falda. Alzate una vera, mettete un coperchio e costruite intorno una platea impermeabile larga almeno 1 m, unita alla vera e in pendenza verso una canaletta che porti l'acqua versata a valle. Riservate al pozzo una corda e un secchio e non appoggiateli mai a terra. Un pozzo nuovo o allagato va disinfettato e, se possibile, l'acqua va analizzata; nel frattempo bollitela. Scavare o pulire un pozzo profondo è lavoro da pozzai esperti, mai da una persona sola.

Decantare e colare. Lasciate riposare l'acqua torbida qualche ora in una giara coperta, poi versate la parte limpida senza smuovere il deposito. Passatela quindi in una stoffa di cotone pulita piegata in più strati. In villaggi del Bangladesh, un sari piegato in otto strati ha ridotto il colera quasi della metà.

Una stoffa piegata più volte trattiene il limo e il plancton a cui si attacca il vibrione del colera.

Costruire un filtro a sabbia. Queste misure danno il principio; un progetto collaudato, come il filtro a biosabbia del CAWST, precisa granulometria della sabbia e portata. Prendete un recipiente stagno alto circa 0,9 m. Sul fondo mettete ghiaia intorno all'estremità di un tubo di uscita, sopra sabbia più grossa e poi almeno mezzo metro di sabbia fine lavata. Fate risalire il tubo all'esterno in modo che la sua estremità stia circa 5 cm sopra la superficie della sabbia; quando il flusso si ferma, controllate che restino circa 5 cm d'acqua sopra la sabbia. Una piastra forata o una pietra piatta appoggiata sopra

impedisce che l'acqua versata scavi la sabbia. Versate l'acqua un secchio alla volta e lasciate riposare il filtro almeno un'ora, e non più di due giorni, tra un carico e l'altro. Quando il flusso diventa troppo lento, smuovete con il palmo, leggermente, solo lo strato più superficiale della sabbia, senza rimescolarla più in fondo, e togliete l'acqua sporca.

Un coperchio, una base rialzata e un mestolo tengono mani e sporcizia lontane dall'acqua conservata.

Bollire e conservare. Bollite tutta l'acqua di una fonte dubbia prima di berla, anche se decantata e filtrata. Portatela a bollore pieno; i CDC consigliano di mantenerlo 1 minuto, o 3 minuti sopra i 2000 m circa. Lasciatela raffreddare coperta, poi versatela in una giara pulita a collo stretto con coperchio. Servitela con un mestolo pulito o versandola, mai immergendo un bicchiere o la mano.

> **Sicurezza.** Bollire e filtrare agiscono sui germi, non sulle sostanze chimiche. Nitrati da letame e latrine, arsenico, fluoruro, piombo, sale, carburante e pesticidi restano nell'acqua, e l'ebollizione concentra i nitrati facendo evaporare l'acqua. Se una fonte può essere inquinata chimicamente, cercatene un'altra. Decantazione e filtro a sabbia non trattengono tutti i germi: bollite anche l'acqua. Tenete ogni latrina ad almeno 30 m dal pozzo e a valle, con il fondo della fossa almeno 1,5 m sopra la falda nel suo livello più alto, nella stagione delle piogge. L'acqua bollente ustiona: sistemate la pentola ben stabile e tenete lontani i bambini. Non scendete in un pozzo: sul fondo può mancare l'ossigeno e le pareti possono crollare, e una corda non protegge da nessuna delle due cose. Coprite ogni pozzo perché nessun bambino o animale possa cadervi.

Storia ed evoluzione

I pozzi più antichi datati con sicurezza si trovano a Cipro: a Kissonerga-Mylouthkia una canna scavata nel calcare intorno all'8400 a.C. raggiungeva l'acqua a 8 m.

L'acqua filtrata distribuita al pubblico nacque da un filtro sperimentale installato da una candeggeria scozzese nel 1804. Nel 1829 James Simpson, ingegnere della Chelsea Waterworks Company di Londra, mise in funzione una vasca filtrante di circa 0,4 ettari, di mattoni, ghiaia e sabbia, per l'acqua presa dal Tamigi.

Nel 1849 John Snow sostenne che il colera viaggiava nell'acqua contaminata dalle fogne, mentre gran parte dei medici incolpava l'aria malsana. Quando l'epidemia colpì Soho il 31 agosto 1854, collegò i morti alla pompa di Broad Street: su 73 morti esaminati nelle strade vicine, 61 erano persone che ne bevevano l'acqua. La parrocchia fece togliere la leva l'8 settembre, quando il focolaio era già in calo. Un ecclesiastico del quartiere, Henry Whitehead, risalì poi all'origine probabile: un pozzo nero davanti al numero 40, in cui era stata gettata l'acqua dei pannolini di un neonato malato. Snow confrontò anche due compagnie che servivano le stesse strade: le case rifornite d'acqua presa a valle degli scarichi fognari di Londra ebbero circa 315 morti di colera ogni 10.000 case, contro 37 per la compagnia che attingeva a monte.

Broad Street, settembre 1854: senza la leva, la pompa non si poteva più usare.

Nel 1908 Jersey City fu la prima città americana a clorare l’acqua in modo sistematico; il cloro che resta nell’acqua continua a proteggerla nelle tubature.

Dati chiave

Ebollizione

Un bollore pieno inattiva batteri, virus e protozoi (OMS); i CDC consigliano 1 minuto, 3 minuti sopra i 2000 m circa

Filtro a sabbia domestico

In laboratorio, con strato biologico maturo: rimossi il 99,98% dei protozoi e il 90-99% dei batteri, i virus in modo meno affidabile (CDC)

Pozzo datato più antico

Intorno all'8400 a.C., Kissonerga-Mylouthkia (Cipro), profondo 8 m nel calcare

Latrina e pozzo

Almeno 30 m di distanza, fondo della fossa almeno 1,5 m sopra la falda (MSF)

Stoffa piegata

Un sari piegato in 8 strati trattiene particelle oltre i 20 µm circa; 48% di colera in meno in villaggi del Bangladesh (2003)

Fonti

1. Boil water (technical brief WHO/FWC/WSH/15.02) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-15.02
2. How to Make Water Safe in an Emergency · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/index.html
3. How to Create and Store an Emergency Water Supply · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/how-to-create-and-store-an-emergency-water-supply.html
4. Household Water Treatment: Slow Sand Filtration · Centers for Disease Control and Prevention https://stacks.cdc.gov/view/cdc/41390/cdc_41390_DS1.pdf
5. Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance (2009) · CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology) https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/Guides%26Manuals/CAWST%20files/Biosand%20Filter%20Manual_Version%2010_Sep%2009%5B1%5D.pdf
6. Technical Fact Sheet: Dug well with a hand pump (draft, 2020) · World Health Organization https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/sanitary-inspection-packages/2-tfs-dug-well-with-hand-pump-d-200506.pdf
7. Appendix 14. Excreta pit (stools and vomit) · Médecins Sans Frontières, Medical Guidelines https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
8. Introduction to Excreta Disposal, Drainage and Hand Washing Facilities · Red Cross Red Crescent, Southeast Asia https://www.rcrc-resilience-southeastasia.org/wp-content/uploads/2018/03/5-Introduction-to-Excreta-Disposal-Drainage-and-Hand.pdf
9. Private Water Supplies Technical Manual, 6.5 Filtration · Drinking Water Quality Regulator for Scotland https://dwqr.scot/media/jl0ddz3x/pws-technical-manual-section-6-water-treatment-processes-65-filtration-larger-scale.pdf
10. Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration (Colwell et al., 2003) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC298724
11. All About DWEE: Keeping Your Well Water Safe and Sound · Nebraska Department of Water, Energy, and Environment https://dwee.nebraska.gov/node/5495
12. Well · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Well
13. London's water supply and the introduction of sand filtration (Chelsea) · Institute of Water https://instituteofwater.org.uk/all/londons-water-supply-and-the-introduction-of-sand-filtration-chelsea/
14. John Snow: Cholera & the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
15. Dr John Snow and Reverend Whitehead · Cholera and the Thames (Westminster City Archives) https://www.choleraandthethames.co.uk/cholera-in-london/cholera-in-soho/
16. Snow & the pump handle · Cholera in St. James, Michigan State University https://johnsnow.matrix.msu.edu/broadstpump/snow-the-pump-handle/
17. Snow's "Grand Experiment" · Adhikari, DeNero and Wagner, Computational and Inferential Thinking https://inferentialthinking.com/chapters/02/2/snow-s-grand-experiment/index.html
18. History of Drinking Water Treatment · Centers for Disease Control and Prevention https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/healthywater/drinking/history.html
19. Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter (Elliott et al., 2008) · Water Research https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.01.016
20. Investigation of E. coli and virus reductions using replicate, bench-scale biosand filter columns and two filter media (Elliott et al., 2015) · International Journal of Environmental Research and Public Health https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4586611
21. Slow Sand Filtration (Huisman and Wood, 1974) · World Health Organization https://www.susana.org/knowledge-hub/resources?id=4263
22. Giardiasis (DPDx, laboratory identification of parasites) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/dpdx/giardiasis/index.html

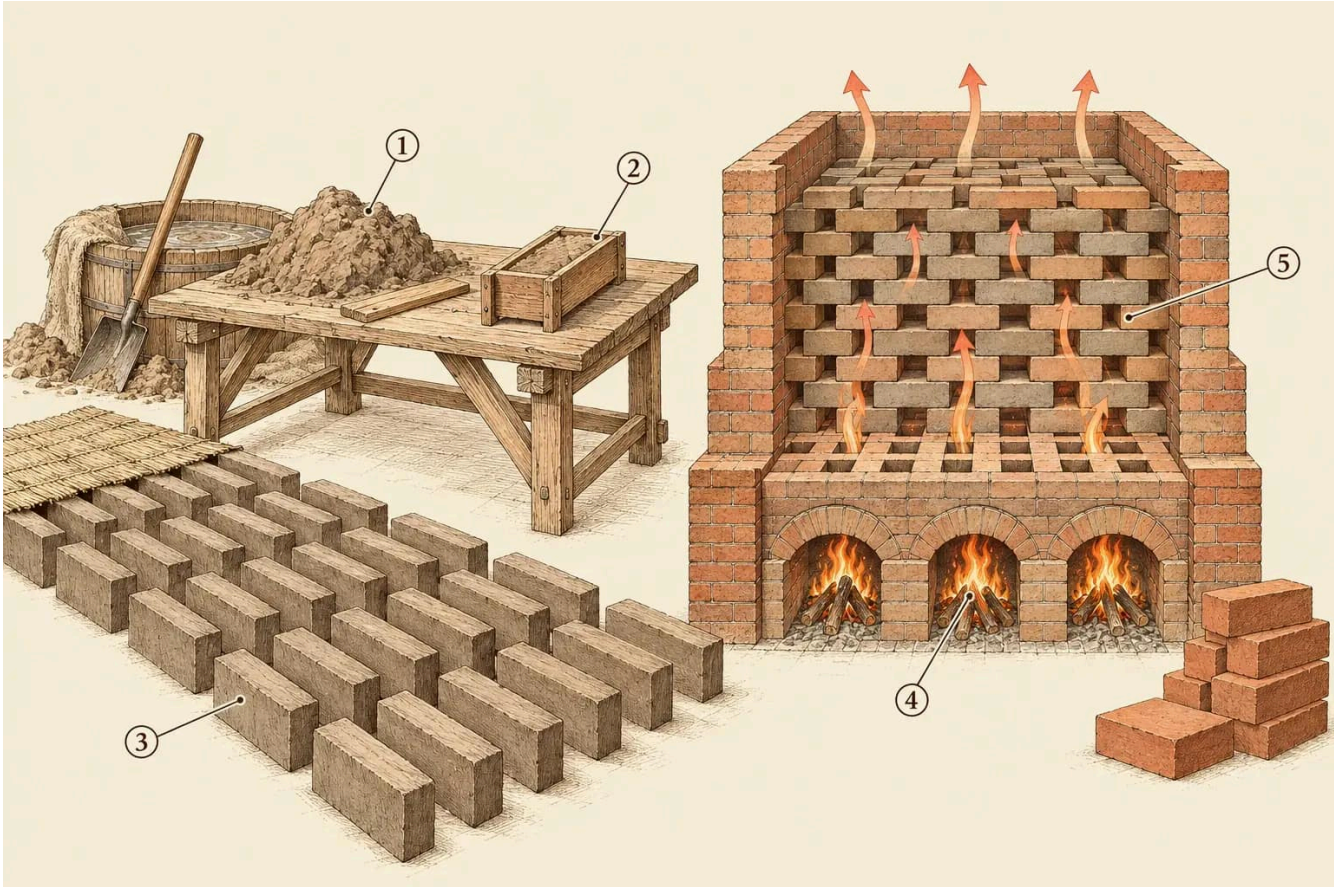
Fatti verificati il 2026-10-13

Mattoni

Blocchi di terra standardizzati

c. 7500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Porta a: Acquedotto (p. 146), Arco e volta (p. 73), Calcestruzzo romano (p. 166)



1 Argilla preparata 2 Stampo di legno 3 Mattoni crudi ad asciugare 4 Galleria del fuoco 5 Mattoni impilati nella fornace

Un mattone è un blocco di argilla di misura stabilita, essiccato al sole o cotto in fornace, che permette di costruire muri con elementi uguali e facili da maneggiare. I mattoni di fango sagomati esistevano nel Vicino Oriente prima del 7500 a.C.; il mattone cotto arrivò millenni dopo e finì per reggere città, acquedotti e ciminiere.

Che cos'è

Un mattone è un piccolo blocco di terra di forma e misura regolari. Il mattone crudo viene solo essiccato al sole; quello cotto passa in fornace finché l'argilla diventa una ceramica dura. Entrambi si posano a corsi con la malta, e poiché hanno tutti la stessa misura, il costruttore può calcolare in anticipo le quantità e tenere i corsi in piano.

La tavola mostra il lavoro di una fornace artigianale prima delle macchine: l'argilla preparata accanto al banco di formatura, i mattoni crudi che asciugano in file e una piccola fornace a tiraggio verticale vista in sezione.

Come funziona

L'argilla è fatta di minuscoli granuli minerali piatti. Bagnati, scivolano l'uno sull'altro e l'impasto si lascia modellare; asciugando, l'acqua che li separa se ne va, i granuli si avvicinano e il blocco indurisce e si ritira. L'argilla pura si ritira tanto da creparsi, perciò i fornaciai vi aggiungono sabbia, cocci tritati o paglia sminuzzata. Nell'antica Mesopotamia si usavano soprattutto paglia o sterco, e secondo una stima servivano circa 60 kg di paglia ogni cento mattoni.

Un mattone crudo resta abbastanza tenero da tornare fango se lo si bagna a fondo: i muri di terra cruda vogliono uno zoccolo di pietra, una gronda sporgente e una manutenzione regolare. La cottura trasforma invece l'argilla stessa. I minerali perdono prima l'acqua legata nella loro struttura e, verso i 900-1000 °C, i loro granuli cominciano a saldarsi. Il mattone cotto non si ammorbidisce più nell'acqua, e il suo colore, di solito rosso, viene dal ferro contenuto nell'argilla.

Uno stampo senza fondo, cosparso di sabbia all'interno, dà a ogni mattone la stessa misura.

In una fornace a tiraggio verticale come quella disegnata, il fuoco arde in gallerie alla base. I gas caldi salgono attraverso un piano forato e negli spazi lasciati fra i mattoni crudi, disposti a graticcio, ed escono dall'alto. La cottura deve cominciare piano: l'acqua ancora chiusa nell'argilla diventa vapore, e un mattone scaldato troppo in fretta può creparsi o scoppiare.

Come farli

Per i mattoni crudi bastano terra adatta, acqua, paglia, uno stampo e qualche settimana asciutta.

Provare la terra. Scavate sotto lo strato superficiale, pieno di radici e humus. Fate qualche mattone di prova: se si crepa asciugando, la terra è troppo argillosa e vuole sabbia; se gli spigoli si sbriciolano, serve più argilla.

Impastare. Sbriciolate la terra, bagnatela e pestatela con paglia sminuzzata fino a ottenere un impasto sodo e senza grumi. Un secchio di paglia sciolta ogni cinque di terra è un primo tentativo ragionevole; correggete poi in base ai mattoni di prova, perché alcune buone terre richiedono poca paglia o nessuna. Lasciate riposare l'impasto coperto per un giorno, perché l'acqua si distribuisca.

Fare lo stampo. Unite quattro assi in un telaio senza fondo, per esempio di 30 × 15 × 10 cm interni, con maniglie alle estremità. Bagnatelo e cospargetelo di sabbia, così che l'argilla si stacchi.

Formare i mattoni. Posate lo stampo su un terreno piano e sabbiato, lanciateci dentro con forza una zolla d'argilla perché riempia gli angoli, rasate la superficie con un listello bagnato e sollevate lo stampo ben dritto. Mettete il mattone successivo a un dito di distanza.

Asciugare. Proteggete i mattoni dal sole forte e dalla pioggia nei primi giorni, poi metteteli di coltello perché l'aria raggiunga tutte le facce. A seconda del tempo servono da una a quattro settimane prima di poterli impilare; spezzate un mattone di prova per controllare che non resti un nucleo più scuro e umido. Per avere mattoni cotti, portate qualche piccolo campione ben asciutto a un laboratorio di ceramica e fatelo cuocere nel suo forno.

> **Sicurezza.** Un mattone crudo fresco pesa diversi chili: sollevatelo piegando le ginocchia e tenete le pile basse e stabili. La polvere d'argilla secca contiene silice fine: inumidite la terra prima di sbriciolarla, pulite con acqua invece di spazzare e indossate una mascherina FFP2 o FFP3 ben aderente quando la polvere è inevitabile. Recintate o richiudete ogni buca scavata, perché vi si raccoglie l'acqua. La cottura in fornace comporta calore intenso e fumi: lasciatela a una persona esperta e non cuocete mai mattoni ancora umidi.

Storia ed evoluzione

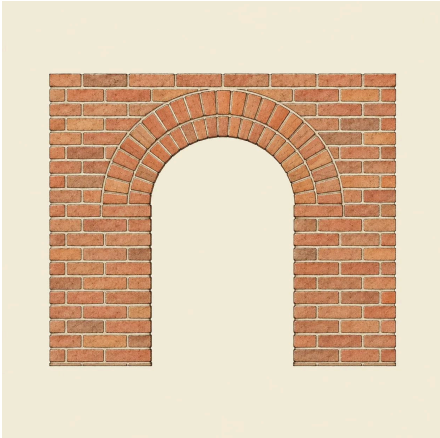
Nel Vicino Oriente si costruivano già muri di terra seccata al sole nel IX millennio a.C., e fra i più antichi mattoni sagomati ci sono quelli di Tell Aswad, in Siria, anteriori al 7500 a.C. A Nemrik, nell'Iraq settentrionale, muri dell'VIII millennio sono fatti di lunghi mattoni a forma di sigaro, di circa 51 cm. I mattoni di Gerico, dell'VIII e VII millennio a.C., erano modellati a mano e segnati da file di impronte di pollice che aiutavano la malta a fare presa.

Mattone modellato a mano a Gerico: le impronte di pollice davano presa alla malta.

I mattoni formati in stampi rettangolari di legno si diffondono in Mesopotamia nel VI millennio a.C. Il mattone cotto arriva più tardi e all'inizio è riservato a usi particolari, perché il combustibile scarseggia: in Mesopotamia compare nel periodo di Uruk, nel IV millennio a.C., anche se alcuni autori ne datano i primi più indietro, e in Cina si produce a Chengtoushan verso il 4400 a.C. Un testo sumerico di circa il 2100 a.C. descrive Gudea, signore di Lagash, mentre versa l'argilla nello stampo e ne estrae il primo mattone di un nuovo tempio. Le città della valle dell'Indo costruiscono dal III millennio a.C. con mattoni cotti di misura regolare; molti si avvicinano al rapporto 1:2:4 fra spessore, larghezza e lunghezza, anche se gli scavatori hanno registrato vari formati.

Roma produce mattoni cotti normalizzati in grandi quantità dal I secolo d.C., e dopo una lunga pausa l'Europa del Nord torna al mattone nel Medioevo, là dove manca una buona pietra da costruzione.

La produzione industriale comincia nell'Ottocento con macchine che pressano l'argilla negli stampi. Nel 1858 Friedrich Hoffmann brevetta una fornace anulare che non deve mai raffreddarsi: il fuoco passa da una camera alla successiva, mentre i gas caldi asciugano e preriscaldano i mattoni che lo attendono. Nella fornace di Palmerston North, in Nuova Zelanda, il fuoco impiegava circa sei settimane a percorrere le sue quattordici camere. Il mattone britannico metrico normalizzato misura 215 × 102,5 × 65 mm.



In un arco ogni mattone è posato di coltello, con il giunto rivolto al centro, e il carico passa da un mattone all'altro.

Dati chiave

Fra i più antichi mattoni di fango sagomati
Tell Aswad, Siria, prima del 7500 a.C.

Mattone britannico metrico normalizzato
215 × 102,5 × 65 mm

Temperatura di cottura
Circa 900-1000 °C per un mattone comune

Fornace a fuoco continuo
Brevettata da Friedrich Hoffmann nel 1858

Fonti

1. The Appearance of Bricks in Ancient Mesopotamia (Hnaihen, Athens Journal of History 6/1, 2020) · Athens Institute for Education and Research https://www.athensjournals.gr/history/2020-6-1-4-Hnaihen.pdf
2. Thumb-pressed brick, Tell al-Sultan (Jericho) · Queen's University Library, Museum of Near Eastern Archaeology https://virtual-exhibits.library.queensu.ca/museum-of-near-eastern-archaeology/thumb-pressed-brick/
3. Hoffman Oblong Continuous Kiln, Palmerston North · Heritage New Zealand Pouhere Taonga https://www.heritage.org.nz/list-details/194/Listing
4. Brick · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Brick
5. Technical Note 9: Manufacturing of Brick · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/9-manufacturing-of-brick.pdf
6. ABCs of Making Adobe Bricks (Guide G-521) · New Mexico State University, Cooperative Extension Service https://pubs.nmsu.edu/_g/G521/
7. Shrinkage rates · Valentine Clays https://valentineclays.co.uk/pages/shrinkage-rates
8. Drying shrinkage · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/drying+shrinkage
9. Hands-on archaeology: how to make adobe bricks · Archaeology Southwest https://www.archaeologysouthwest.org/2018/11/04/hands-on-archaeology-how-to-make-adobe-bricks/
10. Stamford bricks: the hand-made process (Talking about technology) · Bournemouth University https://histru.bournemouth.ac.uk/Oral_History/Talking_About_Technology/building%20conservation%20technology/stamford_bricks_hand_made_process.htm
11. Material behaviour of unstabilised earth block masonry and its components under compression at varying relative humidity (Wiehle and Brinkmann, Case Studies in Construction Materials 17, 2022) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01663

Fatti verificati il 2026-10-12

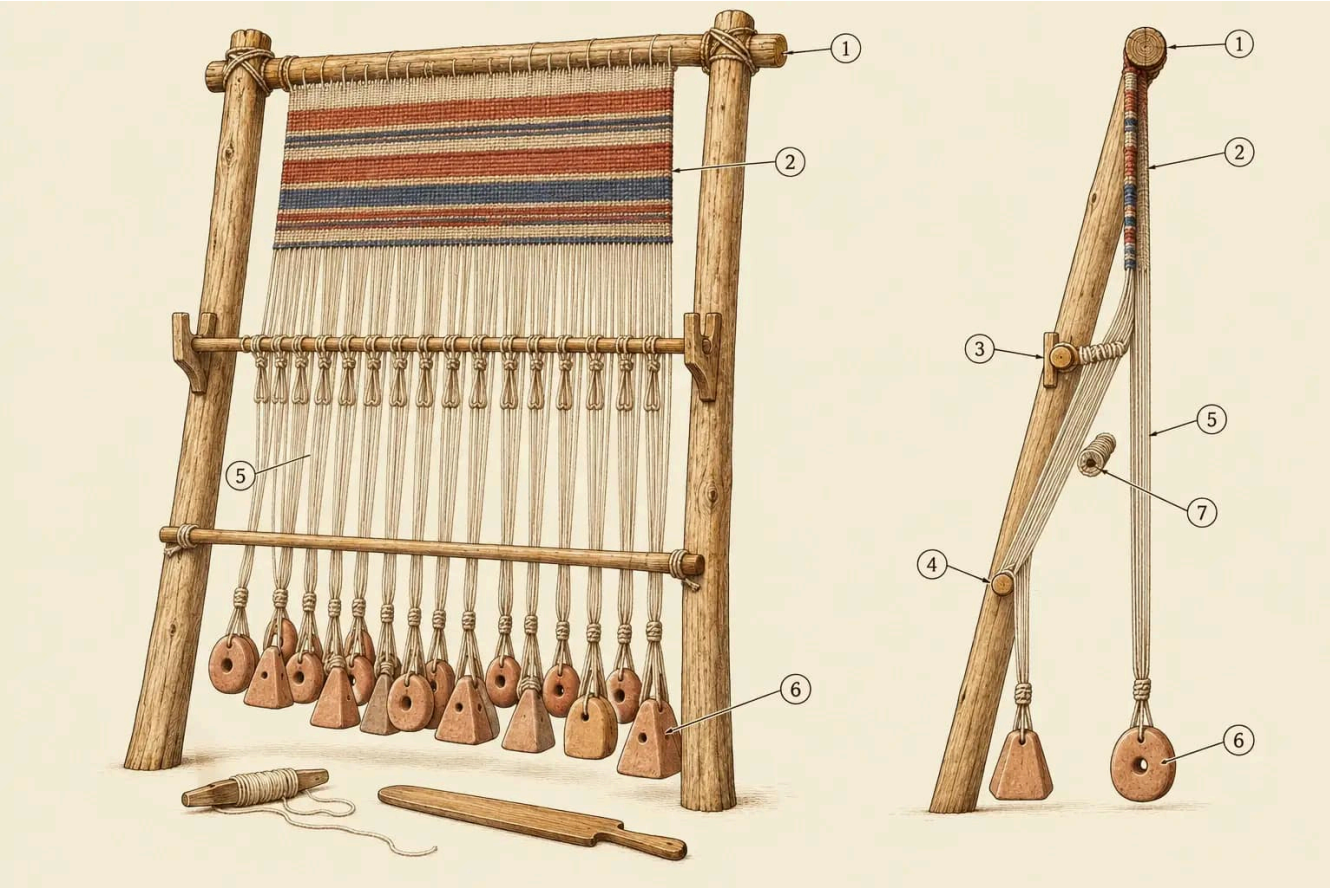
Tessitura

Fili incrociati che diventano stoffa

c. 6700 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Corda e cordame (p. 13)

Porta a: Mongolfiera (p. 231), Vela (p. 90), Macchina da cucire (p. 268)



1 Subbio superiore 2 Stoffa tessuta 3 Bastone dei licci 4 Bastone di separazione 5 Fili d'ordito 6 Pesi da telaio 7 Trama nel passo aperto

La tessitura produce stoffa facendo passare un filo, la trama, sopra e sotto una serie di fili tesi, l'ordito, una passata dopo l'altra. Il telaio tiene teso l'ordito e lo apre perché la trama lo attraversi in un solo gesto; il telaio a pesi disegnato qui risale al Neolitico e nell'Europa del Nord durò fino al Medioevo; sopravvive ancora in pochi luoghi.

Che cos'è

La tessitura produce stoffa con due serie di fili incrociati ad angolo retto. L'ordito è teso per il lungo su un'intelaiatura, il telaio. La trama lo attraversa. Nell'armatura più semplice, la tela, passa sopra un filo e sotto il successivo, e ogni nuova passata fa il contrario. L'attrito basta a tenere insieme gli incroci, così la stoffa non ha bisogno né di colla né di nodi e resta morbida.

Si torcevano corde e si intrecciavano stuoie molto prima di tessere. Il telaio tiene centinaia di fili alla stessa tensione e ne solleva un intero gruppo in un colpo, così la trama percorre tutta la larghezza con un solo

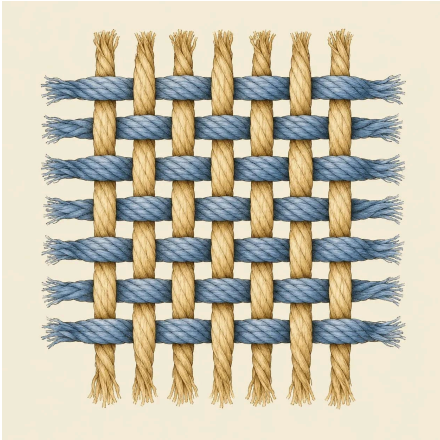
movimento invece di essere fatta passare a mano sopra e sotto ogni filo.

La tavola mostra un telaio a pesi, usato nel Vicino Oriente e in Europa dal Neolitico, e nell'Europa del Nord fino al Medioevo: due montanti poggiano contro un muro, l'ordito pende da una trave posta in cima e pesi di argilla lo tengono teso.

Come funziona

La trama passa in un'apertura dell'ordito, il passo, che su questo telaio è creato da due bastoni. Il bastone di separazione (4) è fissato in basso, da un montante all'altro. Un filo d'ordito su due passa davanti, gli altri dietro. Poiché i montanti sono inclinati, i fili anteriori sporgono in avanti sopra il bastone mentre quelli posteriori scendono a piombo, e tra i due strati si apre da solo uno spazio: il passo naturale.

Il bastone dei licci (3) sta più in alto, davanti all'ordito. Un cappio di spago, il liccio, lo collega a ogni filo posteriore. Quando la tessitrice tira il bastone verso di sé e lo appoggia su supporti a forcella fissati ai montanti, i fili posteriori passano davanti agli altri e si forma una seconda apertura, il contropasso. Far passare la trama (7) nel passo e poi nel contropasso dà l'armatura a tela. Altri bastoni, legati ad altri gruppi di fili, permettono la saia e i motivi.



Armatura a tela: a ogni passata la trama scambia i fili d'ordito che copre.

Si tesse dall'alto verso il basso. La tessitrice posa ogni passata ad arco lento, per non stringere le cimose, e la batte verso l'alto contro la stoffa con le dita, un pettine o una spada di legno piatta. La stoffa finita (2) può avvolgersi sul subbio superiore (1): così il telaio produce pezze più lunghe della propria altezza.

Ogni peso (6) regge un fascio di fili d'ordito (5). Nelle prove del Centre for Textile Research di Copenaghen, il filo di lana filato con una fusaiola da 4 g richiedeva circa 13 g di tensione per filo, uno più grosso, da una fusaiola da 8 g, circa 19 g. I pesi devono pendere affiancati alla stessa altezza, altrimenti si aggrovigliano e consumano i fili.

Come costruirlo

La fatica maggiore va nel filo: con sei fili d'ordito e dieci passate per centimetro, un metro quadrato di stoffa ne consuma almeno 1,6 km, più gli scarti e la lunghezza che i fili prendono passando sopra e sotto gli altri.

Filare. Un fuso è un bastoncino di circa 25 cm con un disco appesantito, la fusaiola, vicino a un'estremità. Lo si fa girare, si lascia salire la torsione nelle fibre stirate da un batuffolo di lana o di lino e si avvolge il filo quando il fuso si avvicina a terra. Il filo d'ordito deve essere robusto, perché regge i pesi.

Montare l'intelaiatura. Servono due montanti diritti di circa 2 m, una trave tonda che si incastra in tacche alla loro sommità, un bastone di separazione, un bastone dei licci e due supporti a forcella. Si pratica qualche foro intorno a un'estremità del subbio: un piolo infilato in uno di essi e legato a un montante gli impedisce di girare, e si toglie per arrotolare la stoffa. Si appoggiano i montanti a un muro solido, appena inclinati, se ne bloccano i piedi e se ne lega la sommità al muro o a una trave, perché il telaio non venga avanti quando si tira il bastone dei licci. Il bastone di separazione e i supporti vanno legati saldamente ai montanti.

Fare i pesi. Si modellano anelli o piramidi di argilla forati, si lasciano seccare a fondo, finché non sono più fredde al tatto, e le fa cuocere in forno o in catasta chi ha esperienza; le pietre con un foro naturale evitano la cottura. Devono pesare il più possibile uguale; di solito qualche centinaio di grammi ciascuno. È il filo a decidere quanti fili

regge ogni peso: a circa 15 g per filo, un peso da 300 g ne tiene una ventina. Ogni fila di pesi deve essere larga più o meno quanto l'ordito.

Ordire. Su un piccolo telaio per nastri o con le tavolette si tesse una fascia stretta lunga quanto sarà larga la stoffa, facendo uscire la trama su un lato in anse lunghe quanto l'ordito che serve: queste anse diventeranno l'ordito. Si cuce la fascia al subbio e si lasciano scendere i fili. Si fa passare un filo su due dietro il bastone di separazione. I fili anteriori e quelli posteriori si legano a pesi distinti, in fasci uguali, e si appendono i pesi di ogni fila affiancati, alla stessa altezza. Poi si annoda un liccio tra il bastone dei licci e ciascun filo posteriore. Per una pezza più lunga del telaio, si avvolge l'ordito di scorta in un piccolo gomitolo sopra ogni peso e se ne libera un tratto ogni volta che si arrotola la stoffa.

Tessere. Si passa la trama nel passo naturale, appena sotto il bordo della stoffa, e la si batte. Si porta il bastone dei licci sui supporti, si ripassa la trama, si batte di nuovo e si rimette il bastone al suo posto. Per finire si tesse una fascia di chiusura o si annodano i capi dell'ordito in frange.

> **Sicurezza.** Carico, il telaio pesa soprattutto in alto: legatelo a un muro solido, bloccatene i piedi e tenete lontani i bambini. Un peso che cade può rompere un dito del piede, quindi indossate scarpe chiuse. L'argilla umida può scoppiare nel fuoco: cuocete solo pesi ben secchi, all'aperto o in un forno ventilato, e state ben lontani.

Storia ed evoluzione

I tessuti si conservano di rado, i loro attrezzi sì: pesi da telaio e fusaiole sono tra i reperti più comuni.

La tessitura è forse più antica dell'agricoltura. A Pavlov e a Dolní Věstonice, in Moravia, frammenti di argilla cotta di oltre 26.000 anni fa conservano un'ottantina di impronte che Olga Soffer e James Adovasio interpretano come cordicelle, tessuti a torsione di trama e tele in fibre vegetali. Sono impronte, non stoffe, e non si sa se siano state fatte con un telaio.

Il più antico tessuto conservato nel Vicino Oriente e in Europa viene da Çatalhöyük, in Anatolia, e risale al 6700-6500 a.C. circa. È una tela giunta fino a noi perché carbonizzata. A lungo si è ritenuto che fosse di lino. Nel 2021 l'analisi al microscopio ha riconosciuto in diversi campioni libro di quercia, la corteccia interna dell'albero; altri erano troppo carbonizzati per dirlo. Da questo tessuto viene la data che il catalogo assegna alla tessitura: le impronte della Moravia sono più antiche, ma incerte.

I pesi di argilla, che sopravvivono al legno, mostrano la diffusione del telaio a pesi nell'Europa neolitica. Nelle Americhe si tesseva al telaio a cintura, teso fra un albero o un palo e una cinghia intorno alla vita di chi tesse. Il telaio verticale a due subbi, raffigurato in tombe egizie, arrivò probabilmente in Europa dall'Egitto.

Dall'XI o XII secolo circa il telaio orizzontale a pedali, che apre il passo con i piedi, sostituì a poco a poco quello a pesi in Europa, più tardi nei paesi nordici. Il telaio a pesi è ancora in uso a Fitjar, nella Norvegia occidentale, e a Manndalen, nel nord, dove tessitrici sami lo hanno ripreso dopo il 1945 per pesanti coperte di lana.

Al telaio a cintura chi tesse si piega indietro per tendere l'ordito e in avanti per allentarlo.

Dati chiave

Impronte tessili più antiche

Pavlov e Dolní Věstonice (Moravia), più di 26.000 anni fa

Più antico tessuto conservato

Çatalhöyük (Anatolia), 6700-6500 a.C. circa, in tela

Tensione dell'ordito

Circa 13-19 g per filo di lana nelle prove del Centre for Textile Research di Copenaghen

Pesi da telaio

Da 245 a 870 g in un gruppo di sette trovato a Voss, in Norvegia

Ancora in uso

Telai a pesi a Fitjar e a Manndalen, in Norvegia

Fonti

1. Experimental Archaeology, Part 3: Loom weights (technical report, 2007) · Centre for Textile Research, University of Copenhagen https://ctr.hum.ku.dk/research-programmes-and-projects/previous-programmes-and-projects/tools/technical_report_3__experimental_archaeology.pdf
2. Oppstadvev · Store norske leksikon https://snl.no/oppstadvev
3. Çatalhöyük – The oldest textiles at the TRC · Textile Research Centre, Leiden https://www.trc-leiden.nl/trc/index.php/en/blog/1794-catalhoeyuek-the-oldest-textile-at-the-trc
4. Upper Palaeolithic fibre technology: interlaced woven finds from Pavlov I, Czech Republic, c. 26,000 years ago · Antiquity (Adovasio, Soffer and Klíma, 1996) https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/upper-palaeolithic-fibre-technology-interlaced-woven-finds-from-pavlov-i-czech-republic-c-26000-years-ago/CD78BC4A39E2DD6958ACA29BA1BA30DA
5. Ice Age clothing said to be more advanced than previously thought · ScienceDaily / University of Illinois https://www.sciencedaily.com/releases/2000/02/000203074853.htm
6. Backstrap looms · Sam Noble Museum, University of Oklahoma https://samnoblemuseum.ou.edu/collections-and-research/ethnology/mayan-textiles/weaving-technology/backstrap-looms
7. Understanding the Archaeological Record: Reconstructing a Warp-Weighted Loom · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10351

Fatti verificati il 2026-10-13

Salagione

Togliere l'acqua per fermare il deperimento

c. 6050 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Ceramica (p. 23)

1 Sale marino grosso 2 Cosce di maiale sepolte nel sale secco 3 Aringhe a strati di sale e salamoia 4 Prosciutti appesi a stagionare 5 Baccalà che asciuga su un graticcio

La salagione conserva carne, pesce e verdure togliendo acqua agli alimenti e ai microbi che li guasterebbero. Nell'Europa orientale si faceva già bollire la salamoia per ricavarne sale nel VI millennio a.C., e il maiale salato, l'aringa e il baccalà hanno nutrito eserciti, marinai e città fino all'arrivo della refrigerazione.

Che cos'è

La salagione, o stagionatura sotto sale, è uno dei modi più antichi di conservare il cibo. Carne o pesce vengono strofinati con sale secco o immersi in salamoia finché resta loro così poca acqua libera che i batteri della putrefazione non possono crescere. Spesso l'alimento viene poi essiccato, affumicato o lasciato maturare. Le verdure si possono invece salare poco, così che utili batteri lattici le facciano fermentare e inacidire, come nei crauti.

La tavola riunisce i metodi di una dispensa europea prima del freddo artificiale: sale grosso, cosce di maiale sepolte in una madia da salare, aringhe in un barile, prosciutti appesi ad asciugare e merluzzi aperti che seccano

su un graticcio.

Come funziona

Ogni microbo ha bisogno di acqua disponibile. I tecnologi alimentari la misurano con l'attività dell'acqua, che vale 1,0 per l'acqua pura e cala quando sale o zucchero trattengono l'acqua. Il limite cambia da un microbo all'altro, e alcuni batteri delle intossicazioni alimentari crescono ancora a valori piuttosto bassi, ma la grande maggioranza dei microbi smette di moltiplicarsi sotto circa 0,90. Una salamoia satura si aggira intorno a 0,75.

Quando il sale tocca la carne o il pesce, l'acqua del tessuto esce verso la soluzione salina più concentrata, mentre il sale entra lentamente. I batteri in superficie perdono acqua allo stesso modo: il loro contenuto si ritira dalla parete e smettono di crescere o muoiono. Più il sale penetra e più acqua esce, più a lungo si conserva l'alimento. Un baccalà o un prosciutto molto salati durano mesi o anni, ma vanno dissalati in acqua dolce, in frigorifero, prima di cucinarli.

Il salgemma cristallizza in cubi; un cristallo che cresce più in fretta lungo gli spigoli che sulle facce diventa una «tramoggia» a gradini.

Il sale non sterilizza. Alcuni batteri pericolosi lo tollerano bene, fra cui lo Staphylococcus aureus, e il Clostridium botulinum, che cresce in assenza d'aria, sopravvive come spora in carni e pesci salati male. Per questo la maggior parte dei sali di stagionatura moderni per la carne contiene nitrito, che frena il botulino e mantiene rosa la carne. Le ricette antiche usavano il salnitro, che i batteri della salamoia trasformano in nitrito.

La salagione leggera funziona in un altro modo. Con circa il 2-2,5 % di sale, il cavolo conserva abbastanza acqua per i batteri lattici, che sopportano il sale meglio della maggior parte dei microbi della putrefazione. Questi trasformano i suoi zuccheri in acido lattico, ed è l'acidità a conservarlo.

Come farla

Salare la carne in casa in sicurezza richiede una ricetta collaudata, sale nitritato pesato e un locale fresco e controllato. Il modo più sicuro per cominciare è il sale con il cavolo: i crauti.

Preparare il cavolo. Scegliete cespi sodi e freschi, togliete le foglie esterne e il torsolo e tagliate a striscioline sottili di circa 5 mm. Pesatelo.

Salare. Per ogni 2,25 kg di cavolo mescolate 3 cucchiai di sale per conserve (senza iodio né antiagglomeranti), circa il 2-2,5 % del peso. Pressatelo con forza in un vaso di gres o in un grande barattolo pulito, una manciata alla volta, finché il sale fa uscire il succo.

Coprire e pressare. Il cavolo deve restare sempre sotto la propria salamoia. Se il succo non lo copre, aggiungete subito una salamoia di 1½ cucchiai di sale ogni 950 ml d'acqua bollita e raffreddata. Mettete sopra un piatto con un peso, per esempio un sacchetto chiuso pieno di salamoia, e coprite con un canovaccio.

Lasciar fermentare. Fra 21 e 24 °C il cavolo impiega circa tre-quattro settimane, fra 15 e 18 °C cinque-sei. Sotto i 15 °C può non fermentare, sopra i 24 °C può diventare molle. In superficie può formarsi una sottile patina bianca: toglietela. I crauti sono pronti quando è passato il tempo previsto, le bolle si sono fermate e il cavolo è nettamente acido in tutta la massa. Poi si conservano per mesi in frigorifero.

> **Sicurezza.** Tenete sempre le verdure sotto la salamoia e usate attrezzi puliti. Buttate tutta la preparazione se compare in qualunque punto una muffa lanuginosa o colorata, o se i crauti diventano viscidi, rosa o scuri, o hanno odore di marcio. Non improvvisate salumi o pesce salato: il botulismo è raro ma mortale, e il sale nitritato è tossico in eccesso. Usate solo il prodotto, la dose e la precisione di pesata indicati da una ricetta collaudata, etichettatelo e tenetelo lontano dai bambini. I cibi conservati sotto sale ne contengono molto: chi deve limitarlo li dissali bene o li eviti.

Storia ed evoluzione

Il briquetage: la salamoia bolliva in rozze vaschette d'argilla sul fuoco, che poi si rompevano per liberare i pani di sale.

Il sale si produceva molto prima della scrittura. A Poiana Slatinei, vicino a Lunca, nella Romania nord-orientale, una sorgente salata circa sei volte più concentrata dell'acqua di mare è circondata da un cumulo di cenere e terra bruciata alto circa tre metri, lasciato da persone che facevano bollire la salamoia sul fuoco a partire dal 6050 a.C. circa. Gli scavatori non sanno se quel sale servisse a conservare il cibo, al bestiame o agli scambi: la data indica quindi la più antica produzione di sale nota, non il primo cibo salato.

Più tardi, nella preistoria europea, la salamoia si faceva bollire in vasi di argilla grossolana posati su supporti d'argilla sopra il fuoco, un metodo detto briquetage. I vasi si rompevano per liberare i pani di sale, e cumuli dei loro frammenti segnano ancora i siti. A Hallstatt, in Austria, si estraeva salgemma sottoterra dall'età del bronzo, e nel XIII e XII secolo a.C. vi si salava il maiale su larga scala in vasche di legno interrate, di cui oggi se ne conoscono otto.

I Greci salavano il pesce, il tarichos, e i Romani chiamavano salsamentum la carne e il pesce salati; nel II secolo a.C. la Gallia inviava a Roma grandi quantità di maiale salato. Nell'Europa cattolica il pesce salato, e soprattutto il baccalà, divenne il cibo comune del venerdì e della Quaresima, quando la carne era proibita.

Il merluzzo di Terranova veniva già salato per i mercati europei nel Cinquecento, e nel Seicento il sale a buon mercato dell'Europa meridionale rese conveniente la salagione per le nazioni pescatrici del Nord; il baccalà divenne uno dei lati del commercio triangolare atlantico. L'inscatolamento, dall'inizio dell'Ottocento, e la refrigerazione nel Novecento ne hanno preso il posto in gran parte, ma prosciutto, pancetta e pesce salato si conservano ancora con il sale, e i crauti fermentano ancora nella propria salamoia.

Il baccalà, decapitato, aperto e seccato, si conserva per anni e va lasciato a bagno in frigorifero un giorno o più prima di cucinarlo.

Dati chiave

Più antica produzione di sale conosciuta
Poiana Slatinei, Lunca (Romania), circa 6050-5500 a.C.

Soglia sotto cui la maggior parte dei microbi smette di moltiplicarsi
Attività dell'acqua inferiore a circa 0,90

Attività dell'acqua di una salamoia satura
Circa 0,75 (acqua pura: 1,0)

Salagione dell'età del bronzo a Hallstatt
Vasche di legno del XIII-XII secolo a.C., soprattutto per il maiale

Fonti

1. The earliest salt production in the world: an early Neolithic exploitation in Poiana Slatinei-Lunca, Romania (Weller and Dumitroaia, 2005) · Antiquity https://www.antiquity.ac.uk/projgall/weller306/
2. Bronze Age meat curing vats · Naturhistorisches Museum Wien https://www.nhm.at/hallstatt/en/trading_hub/meat_processing_industry/meat_curing_vats
3. Is there a common water-activity limit for the three domains of life? (Stevenson et al., ISME Journal, 2015) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4438321/
4. Sauerkraut · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/ferment/recipes/sauerkraut/
5. Curing (food preservation) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Curing_(food_preservation)
6. Dried and salted cod · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Dried_and_salted_cod
7. One-directional modelling to assess the mechanistic actions of power ultrasound on NaCl diffusion in pork (McDonnell et al., Ultrasonics Sonochemistry 40, 2018) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.06.025
8. The physics behind ham production (Parnovsky and Varlamov, 2026) · arXiv https://arxiv.org/abs/2607.18173
9. Interactive comment on Rose et al.: water activity of aqueous NaCl after Archer's evaluation (Clegg, 2007) · Atmospheric Chemistry and Physics Discussions https://acp.copernicus.org/preprints/7/S4180/2007/acpd-7-S4180-2007.pdf
10. Water Activity of Foods (MF3674) · K-State Research and Extension https://bookstore.ksre.ksu.edu/download/water-activity-of-foods_MF3674
11. Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food, Appendix 3: Bacterial Pathogen Growth and Inactivation (Table 3-A) · US Food and Drug Administration https://www.fda.gov/media/99598/download

Fatti verificati il 2026-10-12

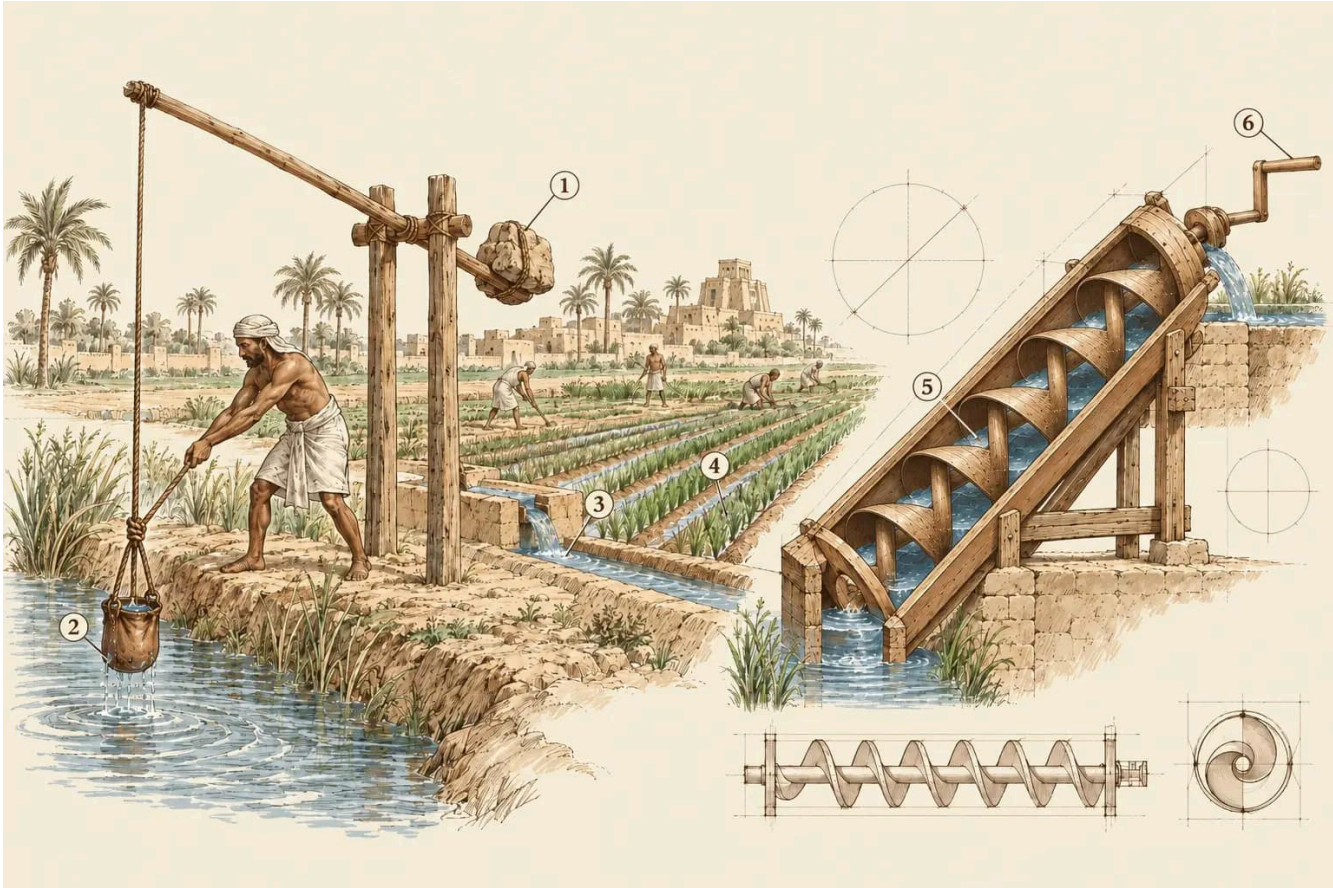
Irrigazione

Portare l'acqua ai campi

c. 6000 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)

Porta a: Acquedotto (p. 146)



1 Contrappeso dello shaduf 2 Secchio di cuoio 3 Canale di adduzione 4 Solchi tra i filari 5 Elica della coclea 6 Manovella

L'irrigazione porta alle colture l'acqua che la pioggia da sola non basta a dare, lasciandola scorrere in canali a lieve pendenza oppure sollevandola da un fiume o da un pozzo. I più antichi canali noti furono scavati circa ottomila anni fa nelle pianure aride della Mesopotamia, dove si è visto presto anche che un campo irrigato senza drenaggio può finire per salinizzarsi.

Che cos'è

Irrigare significa dare acqua alle colture quando ne hanno bisogno, senza aspettare la pioggia. Nell'Iraq meridionale o nella valle egiziana del Nilo non c'è agricoltura senza irrigazione; altrove aumenta i raccolti e permette una seconda coltura nella stagione secca.

Se la sorgente è più alta del campo, la pendenza fa il lavoro: un canale lascia il fiume a monte e scende dolcemente fino ai terreni. Se l'acqua è più in basso, tra sponde alte o in fondo a un pozzo, qualcuno deve sollevarla. La tavola mostra uno shaduf che alimenta un canale con i suoi solchi, e una coclea di Archimede.

Come funziona

In un letto troppo piatto l'acqua rallenta, deposita il limo e lascia crescere le canne; in uno troppo ripido scava il fondo e rompe gli argini. Un piccolo canale in terra spesso scende poco più di un metro per chilometro, e la FAO consiglia per i solchi una pendenza tra lo 0,05 e lo 0,5 %. Per questo i canali seguono le curve di livello e perdono quota lentamente.

Nel campo l'acqua allaga una vasca piana chiusa da bassi arginelli di terra e vi si infiltra, oppure scorre nei solchi tra i filari e bagna di lato le prode.

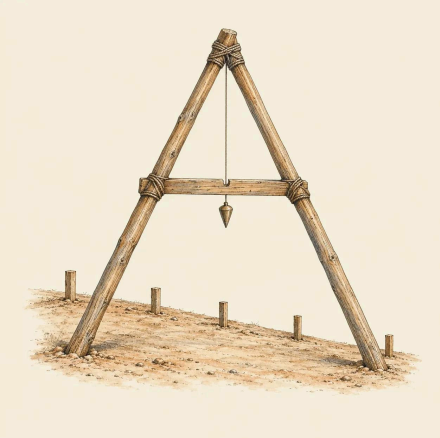
Sollevare un metro cubo d'acqua di un metro richiede almeno 9,8 kilojoule, a cui si aggiunge l'attrito; un congegno rende solo più facile fornire quel lavoro. Lo shaduf è una leva con un secchio sul braccio lungo e una pietra o una zolla di fango secco su quello corto. Il contadino tira il secchio vuoto giù nell'acqua, sollevando il peso, e il peso riporta su il secchio pieno. In misure sul campo in Ciad, una persona sollevava da 39 a 130 litri al minuto su altezze da 1,8 a 6,2 m. A parità di sforzo, più si sale, meno acqua arriva.

Lo shaduf: appena il contadino lascia la pertica, il contrappeso solleva il secchio pieno.

La coclea di Archimede è un'elica che ruota dentro un tubo inclinato di circa 30°. L'acqua resta nel punto basso di ogni spira, e quel punto sale mentre la coclea gira, portando con sé una sacca d'acqua. Muove grandi volumi, ma solo di pochi metri; più è ripida, più piccola è ogni sacca.

Ogni acqua d'irrigazione contiene un po' di sale disciolto. Le piante e il sole si prendono l'acqua e lasciano il sale. Le perdite di canali e campi fanno inoltre salire la falda, e l'acqua salata risale allora fino alle radici. Un campo resta sano solo se ogni tanto una quantità supplementare d'acqua spinge il sale in profondità e un drenaggio, naturale o scavato, la porta via. Altrimenti il sale si accumula, a volte in una crosta bianca, e i raccolti calano.

Come costruirlo



La livella ad A: quando il filo a piombo cade sul segno, i due piedi sono alla stessa altezza.

Costruire una livella ad A. Legare in alto due pali di circa 2,80 m, con i piedi a 4 m di distanza, e fissare una traversa a circa 1 m da terra. Appendere un filo a piombo al vertice. Posare il telaio su due picchetti, segnare dove il filo incrocia la traversa, girare il telaio e segnare di nuovo: il punto a metà fra i due segni indica l'orizzontale.

Tracciare il canale. Spostare il telaio a partire dalla presa, piantando un picchetto a ogni piede. Per dare pendenza, mettere uno spessore sotto il piede a valle e spostare quel piede finché il filo cade sul segno, poi piantare il picchetto: 1 cm su un telaio di 4 m dà lo 0,25 %. Scavare lungo i picchetti e costipare la terra di scavo in un argine sul lato a valle.

Aprire i solchi. Derivarli dal canale con la stessa lieve pendenza, distanti da 30 a 60 cm su terreno sabbioso e da 75 cm a 1,50 m su argilla, ciascuno alimentato da una tacca nell'argine. Lasciar scorrere l'acqua finché in fondo al solco la terra è umida fino alle radici, poi chiudere la tacca e portare le estremità dei solchi in un fosso di scolo, così che l'acqua in eccesso esca dal campo.

Montare uno shaduf. Piantare saldamente due pali sulla riva, con una traversa su cui ruota una pertica di tre o quattro metri, a un quarto della sua lunghezza. Appendere un secchio al braccio lungo e una pietra o un sacco di terra a quello corto, regolando il peso finché un secchio pieno sale con una leggera spinta.

Oppure avvolgere una piccola coclea. Avvolgere un tubo flessibile intorno a un palo, facendo avanzare ogni spira più o meno quanto lo spessore del palo. Montarlo a circa 30° su due cuscinetti in cui possa girare liberamente, abbastanza in basso perché la bocca del tubo si immerga per una parte di ogni giro, e fissare una manovella in cima. Girarlo nel verso in cui la bocca raccoglie l'acqua entrandovi. Se non sale nulla, provare prima il verso opposto, poi ridurre l'angolo o stringere le spire.

> **Sicurezza.** Si annega anche in canali stretti con sponde ripide e scivolose: non lavorare mai da soli vicino all'acqua e tenere lontani i bambini. Tenere i fossi poco profondi, non oltre il ginocchio, e non scendere mai in una trincea più profonda: le pareti possono crollare senza preavviso. Tenere la terra di scavo lontana dal bordo. Stare fuori dalla traiettoria del contrappeso dello shaduf. Eliminare entro pochi giorni l'acqua stagnante, dove si riproducono le zanzare. Dove è presente la bilharziosi, i parassiti vivono nell'acqua dolce, ferma o corrente, e penetrano attraverso la pelle: evitare ogni contatto della pelle con l'acqua dei canali. L'acqua d'irrigazione non è acqua potabile.

Storia ed evoluzione

A Choga Mami, nell'Iraq orientale vicino al confine iraniano, gli archeologi hanno trovato canali di circa il 6000 a.C. che interpretano come fossi d'irrigazione; alcuni li collocano più vicino al 5500 a.C. In seguito le città di Sumer vissero dei canali del Tigri e dell'Eufrate, e testi di Lagash descrivono reti complete intorno al 2400 a.C.

In Egitto argini di terra dividevano la pianura alluvionale in bacini. Durante la piena, delle chiuse lasciavano entrare l'acqua, che vi restava circa un mese prima di essere scaricata per la semina. Lo shaduf, raffigurato su un sigillo mesopotamico del 2200 a.C. circa, arrivò in Egitto nel II millennio a.C.

Autori greci attribuiscono ad Archimede, nel III secolo a.C., la coclea usata in Egitto; l'assiriologa Stephanie Dalley legge in un'iscrizione di Sennacherib, verso il 700 a.C., la descrizione di viti di bronzo a Ninive, una lettura ancora discussa. I qanat, gallerie che conducono l'acqua sotterranea per chilometri, sono di solito attribuiti all'Iran del I millennio a.C., ma sono difficili da datare; nel 2015 ne funzionavano ancora circa 37.000.

Un qanat capta l'acqua sotterranea sotto le colline e la porta in superficie attraverso una galleria.

Nel 1958 Thorkild Jacobsen e Robert Adams sostennero che l'aumento del sale spinse i contadini sumeri a passare dal grano all'orzo, più resistente; Marvin Powell contestò questa teoria nel 1985. L'irrigazione a goccia, sviluppata in Israele dall'ingegnere Simcha Blass e prodotta da Netafim dal 1965, porta oggi l'acqua ai piedi di ogni pianta.

Dati chiave

Prima irrigazione a canali nota

Choga Mami, Iraq orientale, intorno al 6000 a.C. (alcune stime: 5500 a.C.)

Inclinazione della coclea di Archimede

Di solito circa 30°; Vitruvio usa un triangolo 3-4-5, circa 37°

Quota dei terreni coltivati

Circa il 18 % della superficie arabile mondiale era irrigata nel 2000 (FAO)

Portata di uno shaduf, una persona

39–130 litri al minuto, per altezze da 1,8 a 6,2 m (misure sul campo in Ciad)

Pendenza dei solchi

0,05–0,5 %, cioè da 0,5 a 5 m di dislivello per chilometro (FAO)

Fonti

1. Choga Mami · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Choga_Mami
2. Dating Ancient Canal Systems Using Radiocarbon Dating and Archaeological Evidence at Tello/Girsu (Egberts et al., 2023) · Radiocarbon 65(4), Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/radiocarbon/article/dating-ancient-canal-systems-using-radiocarbon-dating-and-archaeological-evidence-at-tellogirsu-southern-mesopotamia-iraq/DFCB7F569B744396C9E4BDA923A8EB07
3. Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide (Yannopoulos et al., 2015) · Water 7(9), MDPI https://www.pumpfundamentals.com/pumps%20historical.pdf
4. Shadoof · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shadoof
5. The Ten Books on Architecture, Book X (water screw, ch. 6) · Vitruvius, LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Archimedes' screw: optimal design · Chris Rorres, New York University https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/optimal.html
7. The mystery of the Hanging Garden of Babylon (Stephanie Dalley) · Oxford University Press https://blog.oup.com/2013/06/mystery-hanging-garden-babylon/
8. Ancient Egypt water engineering · University of Wisconsin–Madison, Ancient Engineering Technologies https://ancientengrtech.wisc.edu/ancient-egypt-water-engineering
9. Qanat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat
10. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 2 Basin irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e03.htm
11. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 3 Furrow irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e04.htm
12. Canals, Annexes 2 and 3: How to construct a canal; How to determine the slope of a canal alignment · FAO http://www.fao.org/4/ai585e/ai585e07.pdf
13. Simple methods for aquaculture: contour levelling methods (A-frame level) · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707e/x6707e06.htm
14. Irrigation Water Management: Introduction to Irrigation, ch. 7 Salinity · FAO https://www.fao.org/4/R4082E/r4082e08.htm
15. The Challenge of Salinization · Soil Science Society of America https://soils4teachers.org/files/s4t/know-soil-challenge-of-salinization.pdf
16. Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture (Jacobsen and Adams, 1958) · Science 128, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00116827
17. Salt, Seed, and Yields in Sumerian Agriculture. A Critique of the Theory of Progressive Salinization (Powell, 1985) · Zeitschrift für Assyriologie 75, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00062118
18. Water factsheet · FAO https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faowater/docs/FAOWfactsheet.pdf
19. What Israeli drips did for the world · The Times of Israel https://www.timesofisrael.com/what-israeli-drips-did-for-the-world/
20. Schistosomiasis fact sheet · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/schistosomiasis
21. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw (Rorres, 2000) · Journal of Hydraulic Engineering 126(1), ASCE https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/screw.pdf
22. Water Lifting Devices (Fraenkel), 3.6.3 Archimedean screw and open screw pumps · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E06.htm
23. Water Lifting Devices (Fraenkel), 4.2 Human power · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E08.htm

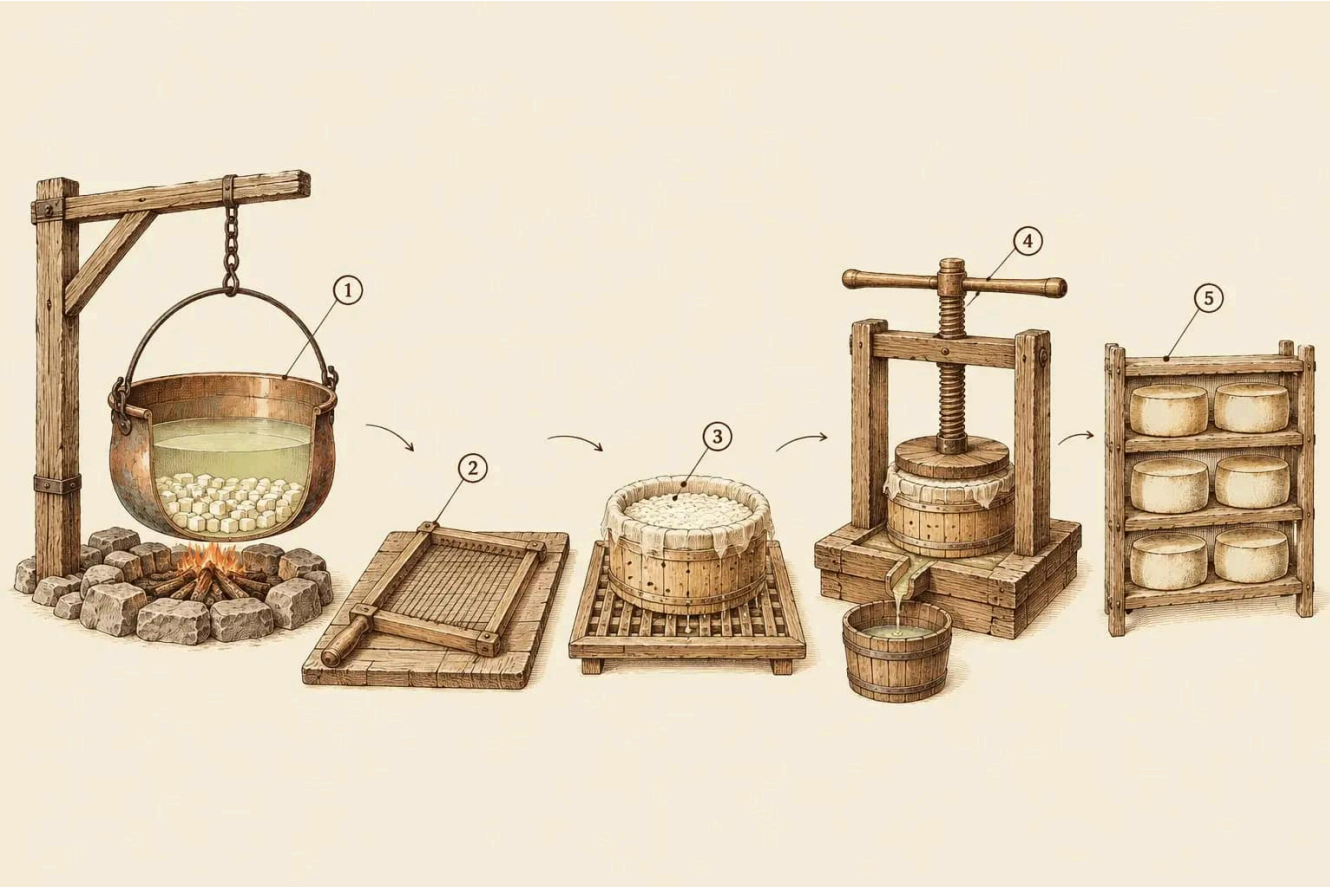
Fatti verificati il 2026-10-14

Formaggio

Latte che si conserva per mesi

c. 5500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Ceramica (p. 23)



1 Caldaia di rame con la cagliata tagliata nel siero 2 Spino a fili (lira) 3 Fascera rivestita di tela 4 Torchio a vite 5 Assi di stagionatura

Il formaggio è latte la cui proteina è stata cagliata, separata dal siero e spesso salata e stagionata, così da conservarsi molto più a lungo del latte fresco. Residui di grasso di latte in vasi forati del Neolitico mostrano che in Europa lo si produceva già più di 7000 anni fa.

Che cos'è

Il formaggio è un alimento solido che si ottiene facendo coagulare la proteina del latte e separandone la parte acquosa, il siero. I formaggi freschi si mangiano in pochi giorni; quelli a pasta dura vengono pressati, salati e stagionati per mesi o anni. In ogni caso se ne va gran parte dell'acqua, e con essa molto lattosio, lo zucchero del latte che molti adulti digeriscono male.

La tavola segue un formaggio di fattoria del Settecento nelle sue fasi: la cagliata tagliata in una caldaia di rame sul fuoco, la lira a fili che l'ha tagliata, una fascera rivestita di tela, un torchio a vite e le assi dove le forme maturano.

Come funziona

Il latte è soprattutto acqua con goccioline di grasso, lattosio e proteine. Circa quattro quinti delle proteine del latte vaccino sono caseine, che galleggiano in minuscoli grumi detti micelle. Ogni micella porta uno strato esterno peloso formato da una caseina particolare, la caseina kappa, che tiene i grumi separati.

Il caglio, ricavato tradizionalmente dallo stomaco di un vitello giovane, contiene l'enzima chimosina. Questo taglia la caseina kappa in un punto preciso e rade lo strato peloso. Con l'aiuto del calcio del latte, le micelle messe a nudo si uniscono in un gel morbido, la cagliata, che trattiene il grasso. I casari aggiungono di solito il caglio al latte a circa 30-32 °C. Anche l'acidità fa coagulare il latte, spesso aiutata dal calore: il paneer si ottiene aggiungendo succo di limone o acido citrico al latte caldo.

Quando il gel è abbastanza sodo, il casaro lo taglia a cubetti. Da ogni faccia tagliata trasuda siero. Mescolando e scaldando piano se ne espelle altro, e la grandezza dei cubetti decide quanto il formaggio sarà asciutto. La cagliata viene poi messa nelle fascere e pressata, salata in superficie o in salamoia e lasciata stagionare. Durante la stagionatura batteri ed enzimi scompongono proteine e grassi in molecole più piccole che danno il gusto e cambiano la consistenza. Il sale richiama acqua dalla superficie, frena i microbi indesiderati e aiuta a formare la crosta.

La rottura della cagliata: più i cubetti sono piccoli, più siero esce e più il formaggio sarà duro.

Come farlo

Il formaggio più semplice da fare in casa è il paneer, coagulato con calore e acido e consumato fresco. Servono 2 litri di latte vaccino intero pastorizzato, circa 5 g di acido citrico sciolti in 250 ml d'acqua (oppure il succo filtrato di due limoni), una pentola dal fondo spesso, un termometro, un colino, una garza, un'assicella e un peso di 2-3 kg.

Scaldare il latte. Portate il latte a 85-90 °C mescolando perché non attacchi, poi toglietelo dal fuoco e lasciatelo scendere a circa 70 °C. Se coagula molto più caldo il formaggio viene duro e secco, se molto più freddo resta bagnato.

Far coagulare. Versate l'acido poco alla volta mescolando piano, finché si separano fiocchi bianchi e il siero diventa limpido e giallo verdognolo. Forse non servirà tutto. Lasciate la pentola ferma per dieci minuti.

Sgocciolare e pressare. Foderate il colino con la garza, versatevi la cagliata e lasciate scolare il siero. Ripiegate la garza, appoggiate l'assicella e il peso e pressate per 30-60 minuti, finché il blocco sta insieme.

Raffreddare e conservare. Tagliate il blocco a pezzi e immergeteli per un'ora o due in acqua ghiacciata perché si rassodino. Conservate il paneer in frigorifero a 4 °C o meno e consumatelo entro tre giorni. Due litri di latte vaccino ne danno circa 350 g.

I formaggi pressati a caglio che stagionano per settimane richiedono un fermento dosato, controlli dell'acidità a ogni fase e una cantina alla giusta temperatura e umidità. Imparateli con una ricetta completa e collaudata, o in un corso, prima di provarci.

> **Sicurezza.** Usate latte pastorizzato: il latte crudo può contenere listeria, E. coli e altri batteri pericolosi, e i formaggi molli a latte crudo sono una fonte nota di listeriosi, un rischio grave in gravidanza. Il latte caldo scotta e trabocca facilmente: tenete i bambini lontani dalla pentola. Pulite ogni attrezzo, mettete il formaggio al freddo appena pronto e non fidatevi dell'odore o dell'aspetto per giudicarne la sicurezza: buttate qualunque formaggio tenuto troppo a lungo, troppo al caldo, o che abbia un odore o un aspetto anomali.

Storia ed evoluzione

La maggior parte degli adulti delle prime comunità agricole non digeriva il lattosio, a differenza dei bambini. Con il siero il formaggio perde quasi tutto il lattosio, e nello yogurt i batteri ne scompongono una parte. Sulla costa dalmata, in Croazia, residui di latte compaiono nelle ceramiche circa 7700 anni fa, e residui di latticini fermentati, formaggio fresco o yogurt, circa 7200 anni fa.

Un colino neolitico di terracotta come quelli della Cuiavia, in Polonia, che conservavano grassi del latte: probabilmente uno scolatoio per formaggio.

In Cuiavia, nella Polonia centrale, un gruppo guidato da Mélanie Salque dell'Università di Bristol ha analizzato 50 frammenti di 34 vasi forati dei primi agricoltori dell'Europa centrale, vecchi di circa 7000-7500 anni, e vi ha trovato abbondanti grassi del latte. Nessuna molecola è esclusiva del formaggio, ma separare la cagliata dal siero è l'uso più ovvio di quei colini, e lo studio del 2012 li considera la più antica prova diretta della caseificazione.

Il più antico formaggio conservato ha circa 3600 anni e accompagnava mummie del cimitero di Xiaohe, nello Xinjiang. Lo scrittore romano Columella, verso il 65 d.C., descrisse la coagulazione con il caglio, la pressatura, la salatura e la stagionatura quasi come si fanno oggi.

I monasteri medievali conservarono e perfezionarono molti formaggi, e le menzioni del roquefort negli archivi dell'abbazia di Conques risalgono al 1070. Negli Stati Uniti il formaggio restò un prodotto di fattoria fino al 1851, quando Jesse Williams, nella contea di Oneida, nello Stato di New York, cominciò a produrlo con il latte raccolto dalle fattorie vicine: fu il primo caseificio industriale degli Stati Uniti. L'estratto di caglio commerciale comparve fra gli anni Sessanta e Settanta dell'Ottocento, poi arrivarono le colture batteriche pure, che resero la produzione molto più regolare. Oggi gran parte del caglio è chimosina prodotta da microrganismi.

Gli occhi rotondi di alcuni formaggi alpini sono bolle di anidride carbonica prodotta dai batteri durante la stagionatura.

Dati chiave

Prova diretta più antica
Grassi del latte in colini di terracotta, Cuiavia (Polonia), circa 7000-7500 anni fa

Parte delle proteine del latte che coagula
Le caseine, circa l'80 % delle proteine del latte vaccino

Temperatura abituale di coagulazione presamica
Circa 30-32 °C

Primo caseificio industriale degli Stati Uniti
Jesse Williams, contea di Oneida (New York), 1851

Fonti

1. Say cheese! Central European farmers did, 7,500 years ago · NBC News https://www.nbcnews.com/id/wbna50177947
2. Evidence of 7,200-year-old cheese making found on the Dalmatian Coast · Penn State University https://www.psu.edu/news/research/story/evidence-7200-year-old-cheese-making-found-dalmatian-coast
3. Extent of κ-casein hydrolysis during renneting of bovine milk (Kayihura, Food Science & Nutrition, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10916671/
4. Technology of paneer · INFLIBNET e-PG Pathshala (Technology of Milk and Milk Products) https://ebooks.inflibnet.ac.in/ftp04/chapter/technology-of-paneer/
5. History of cheese · International Dairy Foods Association https://www.idfa.org/news-views/media-kits/cheese/history-of-cheese
6. Cheese · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cheese

Fatti verificati il 2026-10-12

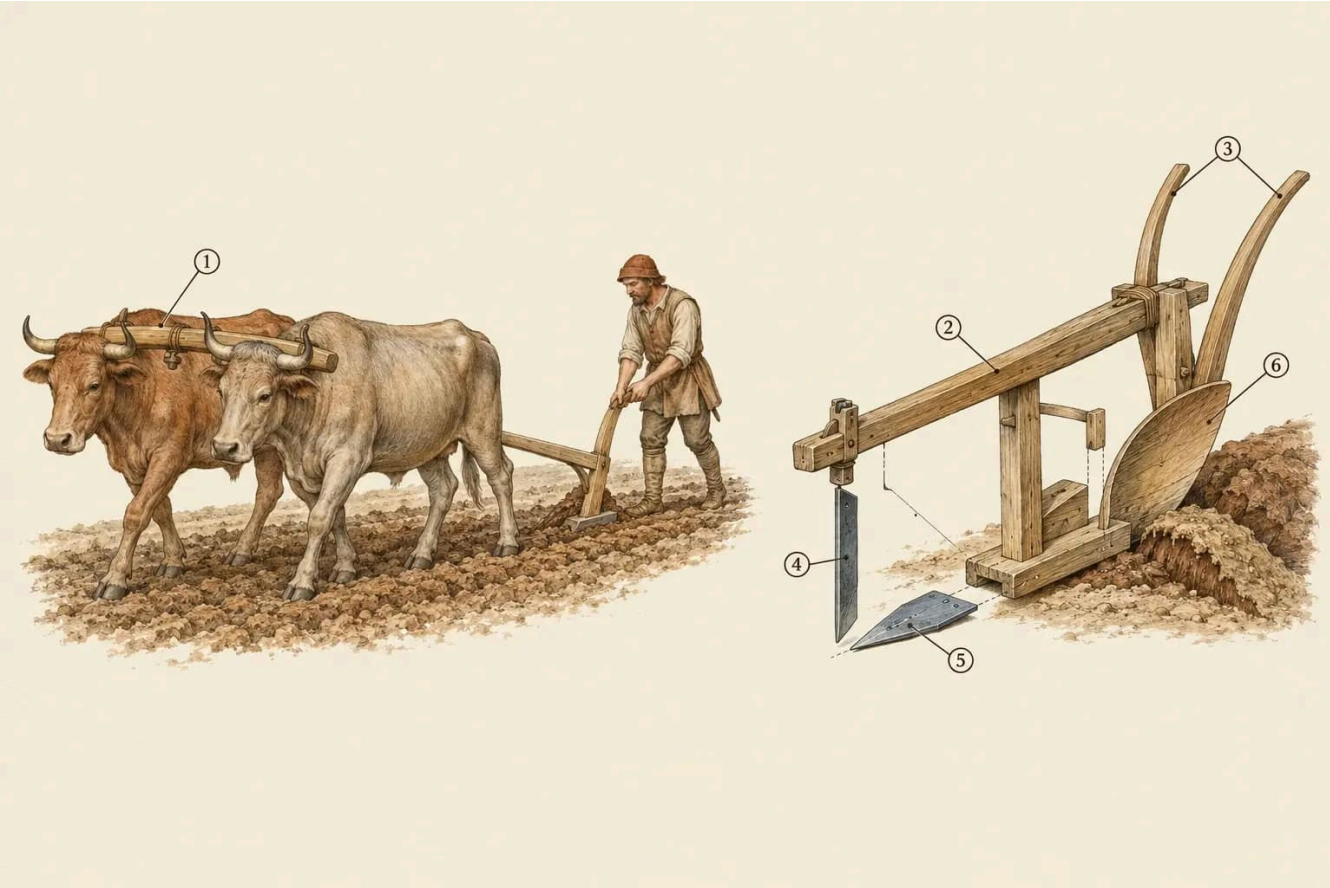
Aratro

Aprire la terra per il seme

c. 5000 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)

Porta a: Rotazione delle colture (p. 110)



1 Giogo 2 Bure 3 Stegole 4 Coltro 5 Vomere 6 Versoio

L'aratro viene trascinato nel terreno per tagliare e smuovere la terra prima della semina. I primi aratri a chiodo si limitavano a graffiare un solco; l'aratro con versoio, che rivolta la zolla, rese coltivabili le terre pesanti e umide dell'Europa settentrionale.

Che cos'è

L'aratro è una lama trascinata nella terra da persone, animali o un motore. Rompe lo strato superficiale del suolo, interra le erbacce e i residui del raccolto precedente e smuove il terreno perché poi l'erpice possa frantumare le zolle e preparare il letto di semina. Con un aratro e una coppia di buoi una famiglia poteva coltivare molta più terra che con la zappa o il bastone da scavo.

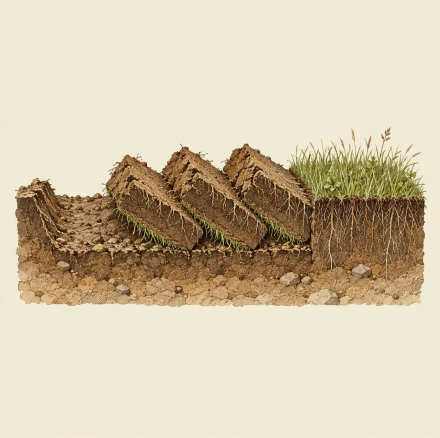
L'aratro a chiodo ha un vomere appuntito che si trascina nel terreno e apre un solco poco profondo senza rivoltare la terra. L'aratro con versoio taglia una fetta di terra e la capovolge. La tavola li mostra entrambi: a sinistra una coppia di buoi che traina un aratro a chiodo, a destra le parti di un aratro con versoio.

Un aratro a chiodo interamente di legno.

Come funziona

L'aratro a chiodo è un cuneo. Il vomere avanza inclinato di poco, qualche centimetro sotto la superficie, e spinge la terra verso l'alto e ai due lati. Smuove il suolo senza rivoltarlo, cosa adatta ai terreni leggeri e asciutti dove bisogna conservare l'umidità. Spesso i contadini aravano un campo due volte, la seconda perpendicolarmente alla prima, e i campi lavorati in questo modo tendevano a essere quadrati.

Nell'aratro con versoio tre parti lavorano una dopo l'altra. Il coltro, un coltello verticale fissato alla bure, incide il terreno davanti. Il vomere, una lama piatta in basso, stacca la fetta da sotto. Il versoio, una tavola curva dietro il vomere, solleva la fetta, la torce e la depone capovolta contro la precedente. Erbacce e stoppie finiscono sepolte e la terra sottostante resta esposta all'aria e al gelo.



Le fette rivoltate si appoggiano l'una all'altra, con l'erba verso il basso.

Un versoio fisso getta la terra sempre dallo stesso lato. Gli aratori medievali lavoravano ogni lunga striscia girando intorno alla sua linea centrale, così a ogni passata la terra veniva rivoltata verso il mezzo e la striscia si alzava a poco a poco in un dosso allungato, la porca, che aiutava a drenare l'argilla umida.

Un aratro a chiodo leggero richiede uno o due animali. Sull'argilla gli aratri pesanti medievali potevano richiedere mute fino a otto buoi. Oggi un trattore tira diversi corpi affiancati, e ciascuno rivolta una fetta profonda da 20 a 30 centimetri.

Come costruirlo

Un semplice aratro a chiodo si fa solo di legno, con un'ascia, un coltello e una trivella. I passaggi che seguono sono una traccia, senza disegni quotati.

Trovare il legno. Cercare un ramo di legno duro, come frassino o quercia, con una curva naturale nel punto in cui un ramo grosso si unisce a uno più sottile. Il braccio lungo diventa la bure; quello corto, tagliato a circa 40 centimetri, diventa vomere e suola. Un gomito cresciuto in un solo pezzo è molto più robusto di un giunto.

Sagomare il vomere. Ridurre il braccio corto a una punta smussata, piatta nella parte inferiore. Deve toccare il suolo con un angolo di circa 30 gradi quando la bure è sollevata all'altezza del giogo. Il legno nudo si consuma in fretta, quindi conviene intagliare una punta di ricambio; una punta di ferro dura molto più a lungo.

Aggiungere la stegola. Forare la bure poco sopra il vomere e inserire una stegola verticale, ben bloccata con un cuneo, perché l'aratore possa guidare e premere verso il basso.

Fare il giogo. Il giogo da collo è una trave sagomata che poggia davanti al garrese dei buoi, con archetti di legno o cinghie intorno a ciascun collo. Legare l'estremità anteriore della bure al centro del giogo con una corda o un piolo di legno.

Arare. Usare solo buoi già abituati al giogo, con un conducente esperto alla loro testa. Cominciare con passate brevi su terreno umido ma non bagnato, appoggiandosi alla stegola per tenere il vomere nel terreno.

> **Sicurezza.** I buoi sono forti e possono spaventarsi. Non mettersi mai tra un animale e l'aratro, legare l'attacco con un nodo a sgancio rapido e far riposare e bere la muta. Se un giogo sfrega, fermarsi subito: un giogo mal adattato provoca piaghe e ferite. Tenere i piedi lontani dal vomere.

Storia ed evoluzione

L'aratro a chiodo arrivò dopo che i bovini furono domati per il tiro, anche se nessuno sa con precisione quando. Le più antiche tracce di aratura trovate finora, graffi sigillati sotto i limi fluviali a Sion, in Svizzera, risalgono al 5100–4700 a.C.; quelle più recenti dell'Italia settentrionale, della Danimarca e di Praga-Bubeneč risalgono al 4300–3500 a.C. circa. Nel Vicino Oriente, dove l'aratro potrebbe essere ancora più antico, non si sono conservate tracce di aratura. Impronte di sigilli e testi della Mesopotamia mostrano aratri nel III millennio a.C., alcuni con un imbuto che faceva cadere il seme direttamente nel solco. Un campo arato a Kalibangan, nell'India nord-occidentale, risale al 2800 a.C. circa.

Intorno al 1000 a.C. gli aratri del Vicino Oriente acquisirono un vomere staccabile e sostituibile, e verso il 500 a.C. i contadini cinesi usavano già vomeri di ferro. Sotto la dinastia Han, nel I e II secolo d.C., le officine cinesi fondevano versoi curvi di ferro che rivoltavano bene la terra con una muta piccola.

In Europa alcuni ritrovamenti della Britannia tardoromana fanno pensare ad aratri capaci di rivoltare la terra, anche se la loro forma precisa è discussa. L'aratro pesante con coltro e versoio si diffuse nelle pianure argillose del nord dal VII secolo, spesso montato su ruote e trainato da grandi mute di buoi. Con esso si mise a coltura più terra e presero forma i lunghi campi a strisce del villaggio medievale.

Nel XVIII secolo i costruttori inglesi realizzarono aratri più leggeri. L'aratro di Rotherham, brevettato in Inghilterra nel 1730 da Joseph Foljambe, aveva un telaio triangolare e il versoio rivestito di ferro, e bastavano due cavalli a tirarlo. Nel Midwest americano la terra appiccicosa della prateria intasava la ghisa. John Lane nel 1833 e John Deere nel 1837 realizzarono aratri con lame lisce d'acciaio che si pulivano da sole mentre tagliavano.

Un aratro d'acciaio autopulente: la terra appiccicosa della prateria scivola sul metallo lucido.

Dagli anni Cinquanta dell'Ottocento le macchine a vapore trainarono gli aratri con cavi, e nel Novecento subentrarono i trattori. Il terreno nudo e rivoltato viene spazzato via dal vento con la siccità e dilavato dalla pioggia, come mostrò il Dust Bowl americano degli anni Trenta. Oggi molti agricoltori arano meno o non arano affatto e seminano direttamente sulle stoppie.

Dati chiave

Più antiche tracce di aratura trovate
Sion, Svizzera, 5100–4700 a.C.

Aratro pesante con versoio di ferro
Cina degli Han, I–II secolo d.C.

Profondità di lavoro di un moderno aratro a versoio
20–30 cm

Aratro d'acciaio autopulente
Illinois, 1833–1837

Fonti

1. Plough · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Plough
2. Ard (plough) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ard_(plough)
3. Europe's oldest plow marks discovered at Anciens Arsenaux site · Archaeology Magazine (archaeologymag.com) https://archaeologymag.com/2024/03/europes-oldest-plow-marks-discovered-at-anciens-arsenaux-site/
4. When was the plough invented? · Joe Roe (archaeologist) https://joeroe.io/2025/08/24/ploughing.html
5. Tillage (chapter 10), D. Franzen · North Dakota State University Extension https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/ebook/Franzen/PDFs/Franzen_Ch10.pdf
6. Development of the Plough: the Rotherham Plough to Now · Farmland Museum and Denny Abbey https://dennyfarmlandmuseum.org.uk/?p=1138
7. Oldest evidence of ploughing in the Czech lands (Bubeneč) · Stone Pages Archaeo News https://www.stonepages.com/news/archives/004695.html
8. Estimating Tillage Draft (TechGuide 2G-210) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingTillageDraftTechGuide.pdf
9. Matching tillage implements to draught animal potential (F. Inns) · FAO https://www.fao.org/4/w0613t/w0613T0g.htm

Fatti verificati il 2026-10-11

Carbone di legna

Legna cotta piano sotto la terra

c. 4500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9), Utensili di pietra (p. 5)

Porta a: Bronzo (p. 124), Polvere nera (p. 182), Siderurgia del ferro (p. 137), Acciaio (p. 141)

1 Camino centrale tra i pali 2 Legna già trasformata in carbone 3 Strato di foglie, paglia e zolle
4 Copertura di terra e polvere di carbone 5 Sfiatatoio alla base 6 Legna non ancora carbonizzata

Il carbone di legna è legno riscaldato con così poca aria da carbonizzarsi invece di bruciare, e lascia un combustibile nero e leggero fatto soprattutto di carbonio. Usato dai metallurghi almeno dal V millennio a.C., e poi prodotto in carbonaie coperte di terra e in fosse, ha dato ai metallurghi il calore e il gas riducente che servivano per ricavare il rame e poi il ferro dai loro minerali.

Che cos'è

Il carbone di legna è ciò che resta del legno riscaldato con troppa poca aria per bruciare. L'acqua e gran parte delle sostanze volatili se ne vanno col fumo, e rimane un solido nero, fragile e leggero, composto in gran parte di carbonio.

A parità di peso, rende circa il doppio del calore della legna secca all'aria. Brucia quasi senza fiamma né fumo e, con un mantice, raggiunge temperature che un fuoco di legna fatica a mantenere. Nel forno forma anche

monossido di carbonio, il gas che sottrae l'ossigeno ai minerali. Per circa seimila anni è stato il combustibile del rame, del bronzo e del ferro.

La tavola mostra la carbonaia coperta di terra che i carbonai costruivano nei boschi d'Europa fino al Novecento: una cupola di legna disposta intorno a un camino centrale, avvolta in foglie e terra e lasciata covare per giorni.

Lo stesso legno prima e dopo: il carbone si restringe e si screpola, ma conserva la venatura dell'albero.

Come funziona

Scaldato, il legno prima si asciuga a 100 °C o poco meno, poi sale fino a circa 280 °C. Entrambe le fasi richiedono energia, fornita dalla combustione di una piccola parte del carico. Oltre i 280 °C circa, il legno si decompone da solo e libera calore. Escono acqua, acidi, catrami e gas combustibili, e resta il carbone.

La fossa funziona allo stesso modo: la legna si carbonizza in una buca nel terreno, sotto foglie e terra.

Senza calore esterno la reazione si ferma intorno ai 400 °C e il carbone trattiene circa il 30% di sostanze catramose. Portato a 500 °C, arriva a circa l'86% di carbonio fisso, ma il calore si paga in resa: rispetto al legno anidro si ottiene circa il 42% di carbone a 300 °C e il 33% a 500 °C, senza contare la legna bruciata per scaldare.

La copertura di terra fa da parete del forno. Lascia entrare solo l'aria che il carbonaio ammette dagli sfiatatoi alla base. Un po' di legna brucia, consuma quell'ossigeno e il suo calore cuoce il resto. Il fuoco si accende nel camino centrale e avanza lentamente nella catasta verso l'esterno, fino alla base. Il fumo rivela il procedere: denso e bianco finché la legna si asciuga, poi azzurrognolo, quasi trasparente quando una zona è cotta. Carbonizzandosi la legna cala, la carbonaia si abbassa e la copertura si crepa. Ogni crepa va chiusa subito, altrimenti il carbone brucia fino a diventare cenere.

Come si costruisce

Ecco lo schema di una piccola carbonaia. Servono alcuni metri cubi di legna di latifoglie ben stagionata, come quercia, faggio o nocciolo, spaccata in modo che nessun pezzo superi circa 20 cm di spessore, poi paglia o foglie, terra sabbiosa o di medio impasto, una pala, un rastrello e un centinaio di litri d'acqua.

Preparare l'aia. Ripulite fino alla terra nuda un cerchio piano e ben drenato di circa 6 m di diametro, lontano da rami bassi ed edifici.

Rizzare la legna intorno al camino. Piantate al centro tre o quattro pali che formino un condotto. Stendete a terra una griglia di tronchetti sottili perché i gas circolino sotto la catasta. Disponete i pezzi in piedi contro il condotto, leggermente inclinati verso di esso e ben stretti, e riempite i vuoti con legna minuta. Una carbonaia di paese misura di solito circa 4 m di diametro e da 1 a 1,5 m di altezza.

Coprire. Stendete foglie, paglia o zolle erbose sulla legna, poi da 10 a 20 cm di terra, mescolata a polvere di carbone se ne avete. Evitate l'argilla appiccicosa, che si crepa asciugando. Lasciate da sei a dieci sfiatatoi tutto intorno alla base.

Accendere e sorvegliare. Versate nel camino una palata di braci e alimentatele con legnetti secchi finché il cuore della catasta non prende fuoco. Quando sale con regolarità un fumo bianco e denso, chiudete in parte la bocca superiore. Da quel momento qualcuno sorveglia la carbonaia giorno e notte: chiude le crepe con terra umida, tappa ogni sfiatatoio che arrossa e ne apre di nuovi sul lato che resta indietro. Una piccola carbonaia può finire in uno o due giorni; quelle tradizionali di media grandezza richiedevano da dodici a quattordici giorni.

Soffocare, raffreddare, sfornare. Quando il fumo diventa sottile e azzurro, chiudete tutti i fori e aggiungete terra. Aspettate che la carbonaia sia fredda fino al cuore, il che per una piccola richiede due o tre giorni, poi apritela un settore alla volta, tirate fuori il carbone col rastrello e spegnete ogni pezzo ancora acceso o fumante con sabbia o poca acqua. Il carbone caldo può riaccendersi all'aria, quindi continuate a sorvegliarlo.

> **Sicurezza.** Una carbonaia può causare un incendio boschivo: informatevi sulle regole locali per i fuochi all'aperto, tenete l'aia sgombra e abbiate a portata di mano acqua, sabbia e una pala. Il fumo è ricco di monossido di carbonio, inodore e mortale. Restate sopravvento, non chinatevi mai su uno sfiatatoio o sul camino e non carbonizzate, raffreddate o conservate mai carbone caldo in un luogo chiuso. Non salite mai sulla carbonaia: quando la legna cala, la copertura può cedere su una cavità incandescente e provocare ustioni gravi. Indossate guanti e scarponi di cuoio e tenete lontani i bambini.

Storia ed evoluzione

Il carbone di legna è antico quanto l'uso del fuoco: ogni focolare preistorico ne lascia, e gli archeologi lo usano per datarlo. Nella grotta Chauvet, in Francia, si disegnarono animali con carbone di pino circa 37.000-34.000 anni fa.

Il metallo ne creò la prima grande domanda, anche se non si sa quando lo si cominciò a produrre apposta. Nel V millennio a.C., nel Levante meridionale e sull'altopiano iranico, si scaldava il minerale di rame con carbone in crogioli e piccoli forni. A Horvat Beter, vicino a Be'er Sheva, il minerale arrivava dal Wadi Faynan, a oltre 100 km. Una stima pubblicata nel 1982, ricavata da documenti più tardi e da esperimenti, calcola da 20 a 40 kg di carbone per chilo di rame. Con 100 kg di carbone per una fusione di 5 kg, e sette parti di legna per una di carbone, sono circa 700 kg di legna. In Cina i forni da carbone più antichi trovati finora, a Xiwubi nello Shanxi, sorgevano accanto a resti della fusione del rame del periodo di Erlitou, intorno al 1900-1600 a.C.

Secondo la stessa stima, il ferro non chiedeva più di 10 kg di carbone per chilo, forgiatura compresa, ma se ne produceva molto di più, e la carbonizzazione diventò un mestiere del bosco. Nel Weald inglese come nella valle di Carranza, nei Paesi Baschi, i carbonai rifornirono per secoli ferriere e fucine; lavoravano dalla primavera all'autunno e vivevano con le famiglie in capanne accanto alle carbonaie.

I carbonai vivevano accanto alle carbonaie in capanne di pali e zolle, per sorvegliarle giorno e notte.

Nel Settecento un altoforno inglese consumava circa otto tonnellate di legna, ridotte a due di carbone, per ogni tonnellata di ghisa. Nel 1709 Abraham Darby fuse il ferro con coke di carbon fossile a Coalbrookdale, e il coke prese piede poco a poco. Il carbone di legna è sopravvissuto altrove: nel 2011 produceva ancora circa il 30% della ghisa brasiliana, contro meno dell'1% nel mondo, con legna di piantagioni di eucalipto

ma anche di foresta naturale. Resta poi il combustibile del barbecue, il carboncino di salice dell'artista e, una volta attivato, il carbonio dei filtri.

Dati chiave

Carbonizzazione spontanea

Da circa 280 °C; il buon carbone si completa intorno ai 500 °C

Contenuto di carbonio

Circa 68% di carbonio fisso a 300 °C, circa 86% a 500 °C

Forni da carbone più antichi in Cina

Xiwubi (Shanxi), circa 1900–1600 a.C., accanto a resti della fusione del rame

Resa di una carbonaia

1 t di carbone da 4 t di legna secca all'aria se si lavora bene, più spesso 1 da 6

Combustibile per il rame (stima)

Circa 20–40 kg di carbone per chilo di rame, da documenti più tardi ed esperimenti

Fonti

1. Simple technologies for charcoal making, chapter 4: Carbonisation processes (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e05.htm
2. Simple technologies for charcoal making, chapter 6: Making charcoal in earth mounds (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/X5328E/x5328e07.htm
3. Simple technologies for charcoal making, chapter 5: Earth pits for charcoal making (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e06.htm
4. Fuel for the Metal Worker (Lee Horne, Expedition 25.1, 1982) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition/fuel-for-the-metal-worker/
5. Charcoal Burning: Keeping an Ancient Craft Alive · Weald & Downland Living Museum https://www.wealddown.co.uk/museum-news/charcoal-burning/
6. Charcoal burning in the valley of Carranza (Bizkaia) · Labayru Fundazioa https://labayru.eus/en/basque-ethnography-at-a-glance/charcoal-burning-in-the-valley-of-carranza-bizkaia
7. Charcoal Burning (Wyre Forest) · Revolutionary Players, History West Midlands https://revolutionaryplayers.org.uk/?p=2368
8. The Chauvet cave: 30 years since its discovery. Contribution from radiocarbon dating · Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) https://www.lsce.ipsl.fr/en/the-chauvet-cave-30-years-since-its-discovery-contribution-from-radiocarbon-dating/
9. Archaeologists Unearth 6,500-Year-Old Copper-Smelting Workshop in Israel · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/copper-smelting-workshop-horvat-beter-israel-08923.html
10. Shanxi discovers earliest charcoal kiln relics in China · China Daily https://regional.chinadaily.com.cn/shanxi/2021-08/23/c_654303.htm
11. Invention of Coke Smelting · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/invention-coke-smelting
12. Sustainable charcoal (Pesquisa FAPESP 189, 2011) · Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/carvao-vegetal-sustentavel/

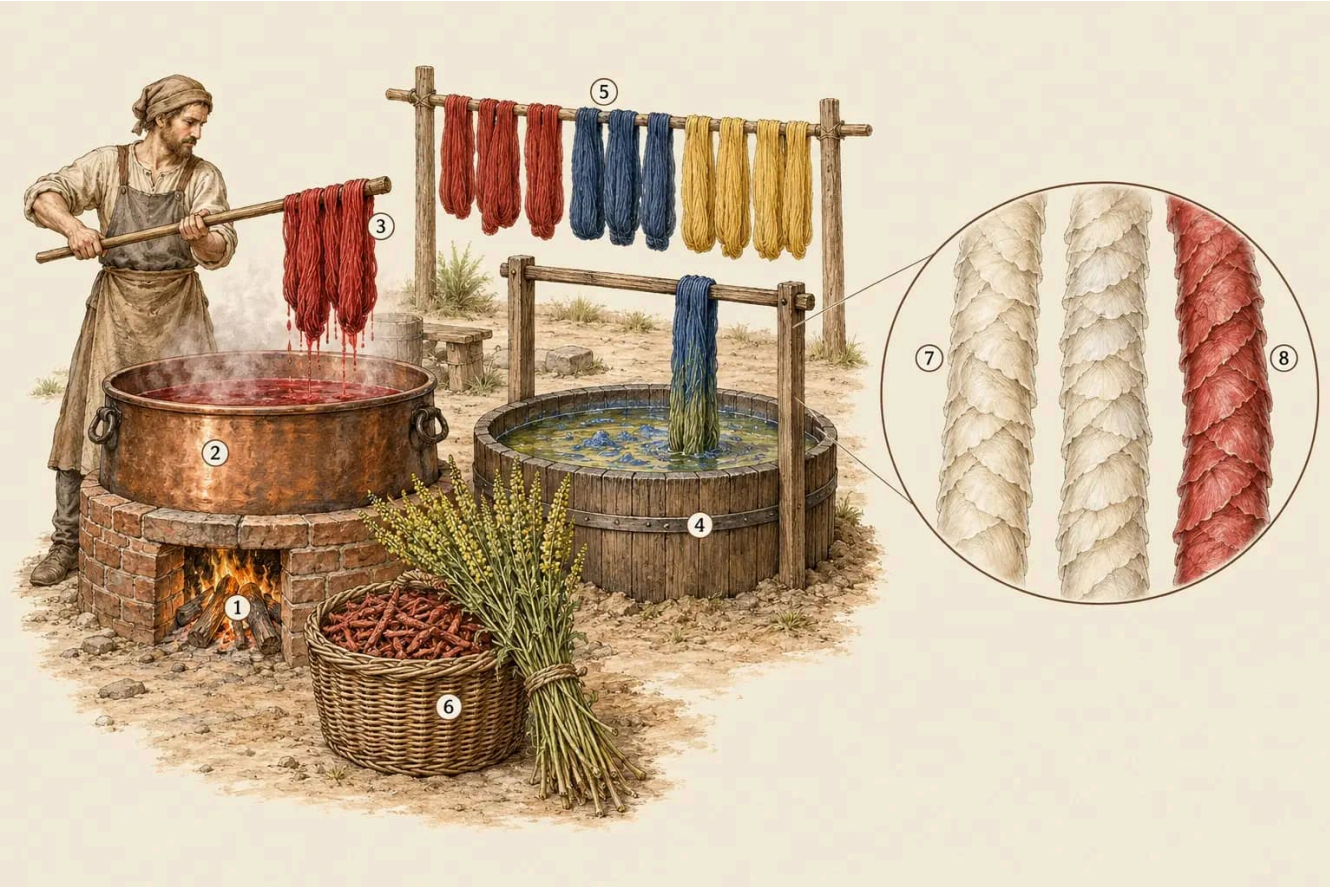
Fatti verificati il 2026-10-13

Tintura

Il colore fissato nella fibra

c. 4200 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Corda e cordame (p. 13), Ceramica (p. 23), Controllo del fuoco (p. 9)



1 Fuoco sotto la caldaia 2 Caldaia di rame con il bagno di robbia 3 Matasse sollevate su un bastone 4 Tino dell'indaco 5 Pertica di asciugatura con matasse rosse, blu e gialle 6 Radici di robbia e reseda 7 Fibra di lana grezza 8 Fibra mordenzata e tinta di rosso

La tintura porta il colore dentro la fibra: il colorante penetra nel filato o nel tessuto e resiste ai lavaggi. Quasi tutte le tinte vegetali, come la robbia e la reseda, danno colori più intensi e solidi con un mordente, di solito l'allume, mentre l'indaco viene reso solubile in un tino e torna blu all'aria.

Che cos'è

La pittura resta sulla superficie del tessuto e può consumarsi; un colorante entra nella fibra sciolto nell'acqua e ci rimane anche dopo i lavaggi. La maggior parte dei coloranti veniva dalle piante, pochi da insetti e molluschi marini.

Sulla lana non mordenzata la radice di robbia, il rosso classico, e la reseda, il giallo classico, danno colori più deboli, che sbiadiscono e vanno via col lavaggio più facilmente. I tintori li fissavano con un mordente, un sale metallico messo prima sulla fibra, al quale il colorante si lega; per gran parte della storia fu l'allume. L'indaco, il blu, non si scioglie affatto in acqua e va trasformato chimicamente in un tino prima di poter entrare nel filato.

La tavola mostra il cortile di un tintore del tardo Medioevo: un bagno di robbia in una caldaia di rame (2) sopra il fuoco (1), matasse sollevate su un bastone (3), il tino dell'indaco (4), il filato che asciuga su una pertica (5) e le materie tintorie (6). Il cerchio mostra ingrandite una fibra di lana grezza (7), una trattata con allume e ancora pallida, e una mordenzata e tinta (8).

Come funziona

Il rosso della robbia viene da composti delle radici, soprattutto alizarina e purpurina. Da soli danno alla lana un arancio più debole e spento, che sbiadisce prima. Se la lana ha prima sobbollito nell'allume, un solfato doppio di alluminio e potassio, trattiene alluminio; nel bagno di tintura le molecole della robbia vi si legano e formano un composto colorato che non si scioglie più e resta nella fibra. Il mordente decide anche la sfumatura: la robbia dà rosso con l'allume e bruni violacei con il ferro, la reseda giallo vivo con l'allume e oliva con il ferro.

Robbia, guado e reseda: il rosso, il blu e il giallo dei tintori europei.

Appena uscito dal tino il filato è giallo-verde; l'aria lo fa diventare blu.

L'indaco si forma da composti delle foglie delle indigofere tropicali e, in Europa, del guado. In un tino alcalino privo di ossigeno la molecola blu, insolubile, viene ridotta: acquista idrogeno e diventa leucoindaco, una forma giallo-verde solubile che impregna la fibra. Fuori dal tino l'ossigeno dell'aria la riporta a indaco blu, ormai chiuso nella fibra. Ogni immersione aggiunge uno strato, e i blu scuri ne richiedono molte.

Prima della chimica industriale erano i batteri a ridurre l'indaco. Il guado o l'indaco si teneva al caldo in acqua con un alcale, liscivia di cenere o calce spenta, e crusca per nutrirli; fermentando consumavano l'ossigeno e trasformavano l'indaco in leucoindaco. I verdi si ottenevano tingendo di giallo sopra un blu.

Come si fa

Ecco le linee generali del metodo tradizionale per la lana, non una ricetta collaudata. Servono filato di lana, allume, robbia e reseda secche, e pentole d'acciaio inox o di smalto integro, bastoni e un termometro usati solo per tingere.

Preparare la fibra. Avvolgere il filato in matasse morbide, legate in più punti perché il colore raggiunga ogni capo. Sgrassarlo in acqua tiepida con sapone delicato. Immergere sempre la fibra bagnata e cambiare la temperatura con lentezza: sbalzi di calore e sfregamento infeltriscono la lana.

Mordenzare. Maiwa, fornitore canadese di colori naturali, indica l'allume al 15% del peso della lana asciutta. Scioglierlo in acqua calda, aggiungere la lana, portare piano a circa 90 °C, appena sotto il bollore, e mantenere per circa un'ora. Lasciar raffreddare e sciacquare.

Tingere di rosso o di giallo. Mettere a bagno la robbia sminuzzata per una notte, poi scaldarla dolcemente con la lana mordenzata per un'ora o più, muovendo delicatamente il filato. Per la robbia europea Maiwa consiglia di restare sotto i 72 °C circa: più caldo, il rosso vira al marrone. La reseda si lascia in infusione una notte, si scalda e si

filtra; la lana mordenzata resta poi circa un'ora in quel bagno, anch'esso sotto i 71 °C circa, perché troppo calore spegne il giallo. Lasciar raffreddare nel bagno scurisce il tono.

Tingere di blu. Un tino tradizionale di guado o d'indaco, preparato con alcale e crusca, si teneva al caldo per giorni, finché il liquido giallo-verde mostrava una pellicola ramata e una schiuma blu. Il filato entra bagnato e piano, senza schizzi, perché l'aria guasta il tino; dopo il tempo indicato dal metodo, spesso da 20 minuti a un'ora per la lana, si estrae, si strizza, si lascia diventare blu e si rimmerge. I tini di oggi usano altri riducenti, e la lana vuole un bagno meno alcalino del cotone (Maiwa indica pH 9-10 contro 11-12): seguire un metodo collaudato scritto per la lana e controllare il pH.

Sciacquare e lavare. Dopo robbia o reseda, lasciar raffreddare il filato nel bagno, sciacquarlo con delicatezza finché l'acqua resta limpida e asciugarlo all'ombra; lavarlo con sapone neutro solo più tardi. Dopo l'indaco, lasciare che il blu si sviluppi del tutto all'aria, sciacquare in acqua pulita e poi mettere il filato a bagno in aceto diluito per neutralizzare l'alcale rimasto nella lana. Lavarlo per ultimo e controllare che non lasci blu su un panno bianco.

> **Sicurezza.** I bagni caldi ustionano: mettere la pentola su un fuoco o un fornello stabile, lontano da bambini e animali. L'allume è irritante e non va ingerito; i sali di ferro sono nocivi in soluzione concentrata. Calce spenta e liscivia bruciano pelle e occhi, la liscivia intacca anche le pentole d'alluminio, e i riducenti possono liberare vapori tossici, soprattutto a contatto con acidi: indossare occhiali e guanti e conservarli all'asciutto ed etichettati. I tini in fermentazione emettono gas maleodoranti: lavorare all'aperto o con buona ventilazione. Non usare mai pentole né utensili da cucina e non riportare in cucina l'attrezzatura da tintura. I mordenti al cromo e allo stagno, comuni un tempo, sono tossici: non usarli. I bagni esausti non sono innocui: quelli di mordente o di ferro e i fanghi del tino contengono sali metallici o alcali. Non versarli mai in corsi d'acqua, pozzi o tombini; chiedere al servizio rifiuti locale come smaltirli.

Storia ed evoluzione

Nella grotta di Dzudzuana, in Georgia, strati di oltre 30.000 anni contenevano fibre colorate che gli scavatori interpretano come lino tinto con piante del luogo; la tintura è un'interpretazione, e l'identificazione come lino è stata contestata.

L'indaco più antico conosciuto, identificato con analisi chimiche, tinge un cotone di Huaca Prieta, in Perù, vecchio di circa 6200-6000 anni. La robbia più antica accertata colora una faretra egizia di cuoio del 2124–1981 a.C. circa.

I murici davano la porpora legata a Tiro: cumuli di conchiglie frantumate ne attestano la produzione a Creta all'inizio del II millennio a.C. e a Ugarit, in Siria, nel XV e XIV secolo a.C. Il chermes, una cocciniglia della quercia spinosa, dava un cremisi; la cocciniglia americana, giunta in Europa nel Cinquecento, lo soppiantò a poco a poco.

Ogni mollusco dava solo poche gocce di colorante; per tingere a scopo commerciale ne servivano molte migliaia.

Nel Medioevo i tintori si riunirono in corporazioni che custodivano le ricette e controllavano la qualità; quella di Londra, attestata nel 1188, ottenne nel 1471 una carta che le permetteva di ispezionare le botteghe e multare le tinture scadenti.

Nel 1856 William Henry Perkin, studente londinese di 18 anni che cercava di produrre chinino, ricavò da derivati del catrame di carbone la malveina, il primo colorante sintetico di successo commerciale. Nel 1868 Carl Graebe e Carl Liebermann sintetizzarono l'alizarina, e la coltivazione della robbia declinò presto; Adolf von Baeyer pubblicò una sintesi dell'indaco nel 1880, e la BASF lo mise in commercio nel 1897.

Dati chiave

Indaco più antico conosciuto

Su cotone di Huaca Prieta (Perù), vecchio di circa 6200-6000 anni

Robbia in Egitto

Identificata su una faretra di cuoio del 2124–1981 a.C. circa

Primo colorante sintetico commerciale

La malveina, ottenuta nel 1856 da William Henry Perkin, a 18 anni

Fibre colorate anteriori

Fibre della grotta di Dzudzuana (Georgia), oltre 30.000 anni; lino contestato, tintura dedotta

Corporazione dei tintori di Londra

Attestata nel 1188; carta reale nel 1471

Fonti

1. 30,000-year-old wild flax fibers: testimony for fabricating prehistoric linen (Science, 2009) · Kvavadze, Bar-Yosef et al., Harvard DASH https://dash.harvard.edu/handle/1/4270521
2. Early pre-Hispanic use of indigo blue in Peru (Science Advances, 2016) · Splitstoser, Dillehay, Wouters and Claro https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5023320/
3. The matter of madder in the ancient world · J. Paul Getty Museum https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/3/
4. The Minoan origin of Tyrian purple (Biblical Archaeologist, 1994) · Robert R. Stieglitz, republished by Keftiu https://www.keftiu.com/magazine/the-minoan-origin-of-tyrian-purple/
5. The Dyers' Company and dyeing · The Worshipful Company of Dyers, London https://www.dyerscompany.co.uk/?p=4304
6. Graebe, Carl · Neue Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/118877364.html
7. William Henry Perkin · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/historical-profile/william-henry-perkin
8. História da BASF, 1865–1901 · BASF https://www.basf.com/br/pt/who-we-are/organization/history/1865-1901
9. Response to comment on "30,000-year-old wild flax fibers" (Science, 2010) · Kvavadze et al., Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/response-to-comment-on-30000-year-old-wild-flax-fibers/
10. Natural dye instructions: scouring, mordanting and dyeing · Maiwa https://naturaldyes.ca/instructions
11. Madder: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/madder
12. Weld: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/weld
13. Indigo: vat instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/indigo

Fatti verificati il 2026-10-13

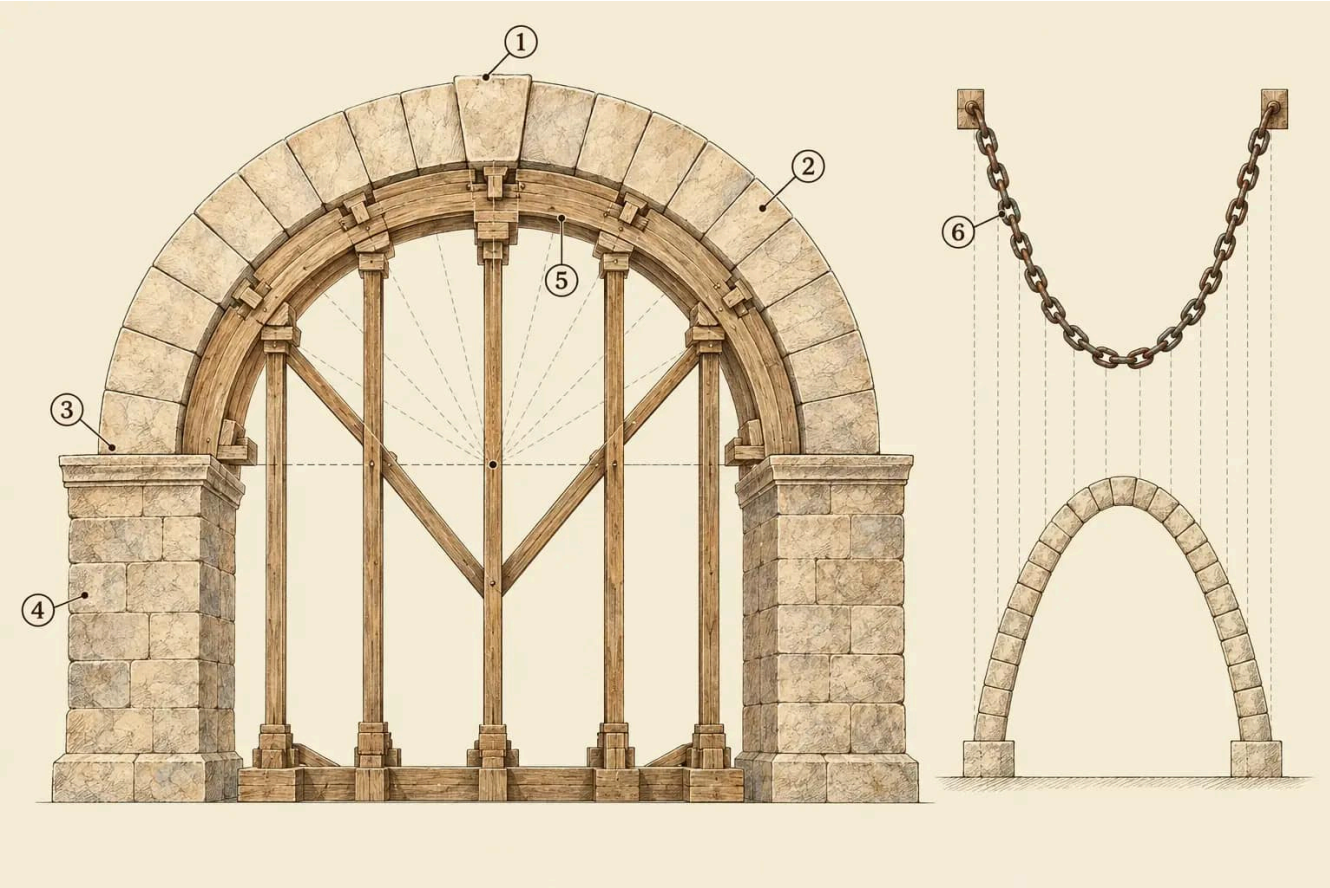
Arco e volta

Pietre che si reggono a vicenda

c. 3500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Mattoni (p. 40), Utensili di pietra (p. 5)

Porta a: Acquedotto (p. 146)



1 Chiave 2 Concio 3 Concio d'imposta 4 Spalla (pila) 5 Centina di legno 6 Catena sospesa (modello di Hooke)

Un arco scavalca un'apertura con blocchi a forma di cuneo che premono gli uni sugli altri: tutta la curva lavora a compressione e spinge i propri appoggi verso l'esterno. Prolungato in profondità diventa una volta, ruotato attorno al proprio asse una cupola: sono le forme che coprono tombe, ponti, acquedotti e cattedrali da oltre cinquemila anni.

Che cos'è

Un arco regge il carico sopra un'apertura con una curva di blocchi tagliati a cuneo, i conci. Ogni blocco preme sui vicini: l'intero anello lavora a compressione e nessun giunto deve resistere a trazione. La pietra e il mattone resistono molto bene allo schiacciamento ma si rompono se piegati, e per questo un architrave di pietra si spezza su una luce che un arco della stessa pietra supera senza fatica.

In un falso arco, costruito a sbalzi successivi, ogni corso è posato in piano e sporge un poco oltre quello sottostante finché i due lati si incontrano; ogni pietra resta al suo posto perché la muratura alle sue spalle ne carica l'estremità posteriore. Così si può coprire un corridoio e perfino una camera rotonda, contenuta dalla terra o dalla muratura

che la circonda. In un arco vero i giunti sono perpendicolari alla curva, e in un arco a tutto sesto puntano tutti al suo centro; i blocchi si appoggiano l'uno all'altro e l'anello spinge gli appoggi verso l'esterno.

Il blocco più alto è la chiave. I più bassi, su ciascun lato, sono i conci d'imposta, che poggiano sulle pile o sui muri che reggono l'arco, le spalle.

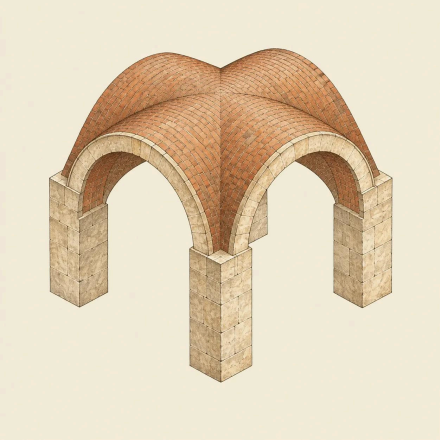
Un'apertura a sbalzi successivi: tutti i giunti sono orizzontali, e ogni pietra è trattenuta dal muro che grava sulla sua coda.

Come funziona

Il peso che arriva dall'alto spinge ogni concio verso il basso. Le sue facce sono oblique: non può scendere senza allontanare i vicini, e il carico passa di blocco in blocco fino all'imposta. Lì la forza preme verso il basso ma spinge anche verso l'esterno. Questa componente orizzontale è la spinta. Se una spalla si inclina o scivola, la luce si allarga, la chiave si abbassa e l'arco può cadere. Più l'arco è ribassato, maggiore è la spinta.

Il percorso di questa forza attraverso le pietre è la linea delle pressioni. Dagli anni Sessanta, sulla scia di Jacques Heyman, gli ingegneri calcolano la muratura come se non resistesse a trazione, non scorresse e non si schiacciasse. Nella maggior parte degli archi le tensioni restano basse, e la rottura per schiacciamento è di rado determinante. Un arco sta in piedi se almeno una linea delle pressioni rimane entro il suo spessore. Dove la linea tocca il bordo di un giunto, il giunto può aprirsi come una cerniera; quando se ne formano abbastanza, di solito quattro, l'anello crolla.

Nel 1675 Robert Hooke pubblicò in un anagramma latino la regola della forma ideale: appendere una catena e capovolgerne la curva. Una catena può solo tirare, quindi assume la forma richiesta dai suoi carichi; capovolta, la stessa curva li porta in pura compressione.



Una volta a crociera: dove due botti si incrociano, la spinta si raccoglie nei quattro angoli.

Una volta a botte è un arco prolungato in profondità. Spinge verso l'esterno lungo tutta la sua lunghezza, perciò i muri laterali devono essere spessi. Due botti che si incrociano ad angolo retto formano una volta a crociera: la spinta si concentra negli angoli e i muri fra di essi si possono aprire con finestre. Una cupola è un arco ruotato attorno al proprio asse verticale. I suoi anelli orizzontali si sostengono a vicenda, così può restare aperta in cima. Quasi tutte le volte e le cupole non si reggono finché non sono chiuse, perciò si costruiscono su una centina, una cassaforma provvisoria di legno sagomata sulla curva dell'intradosso.

Come costruirlo

Un arco di mattoni di circa 60 cm di luce, costruito a terra come pezzo di prova, va bene per un primo tentativo in due. Servono mattoni, malta di calce idraulica, tavole, listelli, chiodi, due coppie di cunei di legno duro, una livella

e uno spago.

Impostare le spalle. Su una base solida e in piano, murare due blocchi pieni di mattoni lunghi almeno 30 cm, larghi quanto un mattone in lunghezza e alti al massimo quattro corsi. Rinfiancarli all'esterno con pietre pesanti o terra battuta, perché il loro piede non possa scivolare né ribaltarsi verso l'esterno.

Fare la centina. Tracciare il semicerchio in grandezza reale con lo spago fissato nel centro. Ritagliare da tavole due centine gemelle secondo quella curva, meno lo spessore dei listelli, e inchiodarvi sopra i listelli di traverso. Posare la centina su puntelli con una coppia di cunei sotto ciascuno, alla quota della sommità delle spalle.

Posare l'anello. Mettere ogni mattone di coltello, con la lunghezza che attraversa l'arco: l'anello risulta alto circa 10 cm e spesso quanto un mattone. Partire dalle due imposte e salire alternando i lati, per caricare la centina in modo uniforme. Controllare con lo spago che ogni giunto punti al centro e lasciare che i giunti di malta prendano la forma a cuneo, più spessi all'esterno. Mettere la chiave per ultima, con una spinta decisa e senza colpi forti.

Attendere, poi disarmare. Proteggere il lavoro fresco da sole, pioggia e gelo, e tenerlo umido come indica il produttore della malta. Lasciare la centina almeno una settimana, di più con il freddo o l'umidità: togliere il sostegno troppo presto è una causa frequente di crollo. Allentare poi i cunei di pochi millimetri alla volta, alternando i lati. Se la chiave si abbassa o un giunto si apre, fermarsi, rimettere in carico la centina sotto l'anello e capire la causa prima di riprovare.

Provare prima un modello. Appendere una catenella sottile davanti a una tavola verticale e ricalcarne la curva. Segare da un listello piccoli blocchi leggermente a cuneo, con i giunti perpendicolari alla linea, e montarli su un cartone ritagliato secondo la stessa curva, con un fermo a ciascun piede. Sfilare il cartone: se i blocchi sono tagliati con cura, l'arco sta in piedi senza colla.

> **Sicurezza.** Sollevare mattoni e pietre vicino al corpo, piegando le ginocchia, e portare in due i pezzi pesanti. Usare guanti e occhiali. Evitare di tagliare mattoni o pietre, la cui polvere contiene silice; se è inevitabile, tagliare all'aperto con una sega ad acqua o con lo scalpello e indossare un facciale FFP3 ben aderente. La malta di calce è caustica: proteggere pelle e occhi e sciacquare subito gli schizzi. Non stare mai sotto l'arco né infilarvi il braccio durante il disarmo; lavorare di lato con un lungo bastone e tenere tutti lontani. Ogni arco più grande o più alto, o destinato a reggere un muro, un passaggio o delle persone, richiede un progetto verificato da un muratore o da un ingegnere.

Storia ed evoluzione

Gli archi veri compaiono in Mesopotamia e in Egitto nel IV millennio a.C., in mattoni crudi, soprattutto in canali di scolo e tombe. Dalla I dinastia, intorno al 3000 a.C., gli egizi costruivano volte senza centina posando i mattoni ad anelli inclinati contro un muro di testata, un metodo ancora in uso in Nubia. A Tel Dan, nel nord di Israele, una delle più antiche porte ad arco conosciute, in mattoni crudi e anteriore al 1700 a.C. circa, è ancora in piedi con l'arco conservato.

La tecnica a sbalzi restò in uso accanto all'arco: il cosiddetto Tesoro di Atreo a Micene, una tomba della tarda età del bronzo, ha una cupola a sbalzi di 14,5 m di diametro. I romani furono i primi a innalzare archi isolati, in ponti, arcate di acquedotti come il Pont du Gard e volte e cupole di calcestruzzo come quella del Pantheon, larga 43,3 m.

L'arco a sesto acuto, già diffuso nell'architettura islamica, giunse in Europa occidentale nella seconda metà dell'XI secolo; a parità di luce spinge verso l'esterno meno di un arco a tutto sesto. Il coro di Saint-Denis, vicino a Parigi (1140-1144), riunì archi acuti, volte a crociera costolonate e contrafforti esterni. Verso il 1160 i costruttori dell'Île-de-France aggiunsero gli archi rampanti, mezzi archi che portano la spinta della volta alta oltre le navate laterali

fino a contrafforti esterni. Portata fuori la spinta, i muri fra i pilastri poterono assottigliarsi e riempirsi di vetrate. A Beauvais la volta del coro salì a circa 48 m; una parte crollò nel 1284.

Un arco rampante: un mezzo arco porta la spinta della volta oltre la navata laterale fino a una pila esterna.

Dati chiave

Primi archi veri

Mesopotamia ed Egitto, IV millennio a.C., in mattoni crudi

Arco a tutto sesto più sottile, in teoria

Circa 0,107 volte il raggio, con giunti radiali e sotto il solo peso proprio

Una delle prime porte ad arco ancora in piedi

Tel Dan, mattoni crudi, costruita prima del 1700 a.C. circa

Volta del coro di Beauvais

Alta circa 48 m; una parte crollò nel 1284

Fonti

1. The Origins of the Voussoir Arch (A. Hrychuk Kontokosta, in The Roman Arch, 2025) · Oxford University Press https://academic.oup.com/book/61689/chapter/540990895
2. Mud-Brick (V. L. Emery, UCLA Encyclopedia of Egyptology, 2011) · University of California, Los Angeles https://journalpub.escholarship.org/nelc_uee/article/4007/galley/2583/download
3. The Remarkable Discoveries at Tel Dan (J. C. H. Laughlin, Biblical Archaeology Review 7:5, 1981) · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/the-remarkable-discoveries-at-tel-dan/
4. Brick Brief: Arches · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/brick-brief-arches-may-2012.pdf
5. The effect of stereotomy on the shape of the thrust-line and the minimum thickness of masonry arches (N. Makris and H. Alexakis, 2013) · Archive of Applied Mechanics, Aston University https://research.aston.ac.uk/en/publications/the-effect-of-stereotomy-on-the-shape-of-the-thrust-line-and-the-
6. Arches, vaults and buttresses (S. Huerta, seminar, 2015) · University of Pisa, School of Engineering https://docenti.ing.unipi.it/scuola_dottorato_ingegneria/Seminari2015/2015-Huerta-Seminario1.pdf
7. The stone skeleton (J. Heyman, International Journal of Solids and Structures 2, 1966, pp. 249-279) · Elsevier https://doi.org/10.1016/0020-7683(66)90018-7
8. As hangs the flexible line: equilibrium of masonry arches (P. Block, M. DeJong and J. Ochsendorf, Nexus Network Journal 8:2, 2006) · Springer https://doi.org/10.1007/s00004-006-0015-9
9. Maths in a minute: St Paul's dome · Plus Magazine, University of Cambridge https://plus.maths.org/content/maths-minute-st-pauls-dome
10. Hanging models · Stereotomy Semantic Classification, University of Porto https://ssc.arq.up.pt/semantic-classification/hanging-models/
11. Compound brick vaults by slices in written sources (R. Marín-Sánchez et al., 2021) · Universitat Politècnica de València https://riunet.upv.es/bitstreams/f756ca9a-0877-4029-9a69-dd09bc7f3735/download
12. Treasury of Atreus · J. Siegel, Hampden-Sydney College https://blogs.hsc.edu/drjclassics/?p=379
13. Arch · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Arch
14. Centering (masonry) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Centering_(masonry)
15. Flying buttress · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_buttress
16. Beauvais Cathedral · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Beauvais_Cathedral

Fatti verificati il 2026-10-14

Birra

Lo zucchero del grano diventa alcol

c. 3500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Ceramica (p. 23), Pane (p. 27)

1 Orzo maltato 2 Tino di ammostamento 3 Caldaia di bollitura 4 Vasca di raffreddamento 5 Tino di fermentazione 6 Botti

La birra si ottiene trasformando in zucchero l'amido di un cereale germinato e lasciando che il lievito faccia fermentare quello zucchero in alcol. Le tracce chimiche di birra d'orzo risalgono al IV millennio a.C. nell'Iran occidentale, e la birrificazione ha seguito l'agricoltura quasi ovunque si coltivassero cereali.

Che cos'è

La birra è una bevanda fermentata fatta con un cereale, di solito l'orzo, acqua, lievito e in genere luppolo. Il lievito non sa nutrirsi di amido, perciò il cereale viene prima maltato e ammostato per trasformarne l'amido in zuccheri che il lievito fa fermentare in alcol e anidride carbonica.

La tavola mostra un piccolo birrificio come quelli d'Europa prima della macchina a vapore, con i recipienti disposti nell'ordine del lavoro: malto, tino di ammostamento, caldaia, vasca di raffreddamento, tino di fermentazione e botti.

Come funziona

Prima l'orzo viene maltato: lo si mette a bagno e lo si lascia germogliare per alcuni giorni. Cominciando a crescere, il seme produce enzimi che più tardi scomporranno la sua stessa riserva di amido. Il maltatore essicca poi il grano in un forno per fermare la germinazione; il calore fissa anche il colore e il sapore del malto, dal più chiaro al tostato.

Nell'ammostamento il malto macinato viene lasciato in acqua calda. Fra circa 62 e 68 °C le amilasi del malto spezzano l'amido in zuccheri, soprattutto maltosio, in più o meno un'ora. Un ammostamento più freddo lascia più zucchero fermentabile e una birra più secca; uno più caldo lascia più zucchero non fermentabile e più corpo. Il liquido dolce, il mosto, viene filtrato attraverso le bucce del grano, che fanno da filtro.

La maltazione: il chicco che germoglia produce gli enzimi necessari alla birra, e l'essiccazione lo ferma prima che consumi il suo amido.

Poi il mosto bolle per un'ora o più. La bollitura uccide gran parte dei microbi arrivati con il grano, ferma gli enzimi e scaccia aromi indesiderati. Il luppolo aggiunto in questa fase apporta composti amari che frenano anche molti batteri di alterazione; quello aggiunto alla fine conserva più profumo.

Infine il mosto viene raffreddato e vi si aggiunge il lievito. In pochi giorni il lievito trasforma lo zucchero in etanolo e anidride carbonica, insieme a esteri e altri composti che danno il gusto. Il lievito ad alta fermentazione lavora al caldo e sale in superficie; quello a bassa fermentazione, per la lager, lavora al fresco e si deposita sul fondo. Un periodo di maturazione lascia poi che la birra si chiarisca e si affini.

Come farla

In cucina si possono produrre circa 10 litri con il metodo del sacco (brew in a bag). Servono 2,5 kg di malto chiaro macinato, circa 25 g di luppolo, una bustina di lievito ad alta fermentazione, una pentola da 20 litri, un grande sacco a rete, un termometro, un fermentatore con gorgogliatore, un densimetro, un sanificante senza risciacquo e bottiglie con tappi a corona nuovi.

Ammostare. Scaldate 14 litri d'acqua a circa 70 °C, mettete il sacco nella pentola e versate il malto mescolando. L'impasto dovrebbe assestarsi intorno ai 66 °C. Spegnete il fuoco, coprite la pentola e avvolgetela in una coperta per un'ora, lontano dal bruciatore. Togliete la coperta, estraete il sacco e lasciatelo sgocciolare.

Bollire. Portate il mosto a bollore vivace per 60 minuti. Aggiungete la maggior parte del luppolo all'inizio per l'amaro e il resto negli ultimi dieci minuti per l'aroma. Sorvegliate la pentola quando comincia a bollire, perché la schiuma sale molto in fretta. Nel frattempo pulite e sanificate il fermentatore e tutto ciò che toccherà il mosto raffreddato; una serpentina a immersione pulita si sanifica immergendola nel mosto bollente per gli ultimi 15 minuti.

Raffreddare e fermentare. Raffreddate la pentola coperta fino a circa 20 °C con la serpentina o in un lavello d'acqua fredda. Versate il mosto nel fermentatore, aggiungete il lievito, montate il gorgogliatore e tenete il tutto fra 18 e 20 °C.

Imbottigliare. La fermentazione dura di solito da una a due settimane. Imbottigliate solo quando il densimetro dà la stessa lettura per tre giorni di fila e quella lettura è vicina alla densità finale prevista, circa 1,010-1,015 per questa ricetta: un valore stabile ma più alto indica una fermentazione bloccata, non conclusa. Sciogliete 5-6 g di

zucchero per litro in un po' d'acqua bollita, mescolatelo delicatamente alla birra, riempite e tappate le bottiglie e lasciatele due settimane a temperatura ambiente prima di metterle al fresco.

> **Sicurezza.** Una pentola di mosto bollente può causare ustioni gravi: tenetela su un fornello stabile, sollevatela in due oppure non sollevatela, e tenete lontani bambini e animali. In casa usate solo un piano cottura o un fornello pensato per l'interno; i bruciatori venduti per l'esterno restano all'aperto. Troppo zucchero di rifermentazione, o l'imbottigliamento prima della fine della fermentazione, può far scoppiare le bottiglie: usate vere bottiglie da birra, pesate lo zucchero e indossate occhiali protettivi quando maneggiate una partita che sembra troppo gassata. Non tentate mai di distillare la birra. Rispettate le leggi locali sulla produzione casalinga e sull'alcol.

Storia ed evoluzione

In Mesopotamia si divideva una giara e si sorbiva la birra con lunghe cannucce che arrivavano sotto le bucce galleggianti.

Alcuni residui in mortai di pietra della grotta di Raqefet, in Israele, vecchi di circa 13 000 anni, sono stati interpretati come tracce di una bevanda simile a una pappa, preparata da cacciatori-raccoglitori natufiani per banchetti funebri; l'interpretazione è discussa. Una traccia chimica antica e molto citata viene da Godin Tepe, nell'Iran occidentale, dove le scanalature di una brocca della fine del IV millennio a.C. contengono ossalato di calcio, la «pietra di birra» che la birra d'orzo deposita nei recipienti. L'ossalato di calcio non è esclusivo della birra, quindi anche questa lettura è stata messa in dubbio.

Le tavolette mesopotamiche citano la birra migliaia di volte, ma non ne danno la ricetta. Il testo più vicino è l'Inno a Ninkasi, dea della birra, messo per iscritto verso il 1800 a.C., che parla del malto messo a bagno, dell'impasto steso su stuoie di canne e dei tini riempiti. In Egitto la birra era un alimento di base, e ad Abido è stato scavato un grande birrificio di circa il 3000 a.C.

Nel Medioevo i birrai europei aromatizzavano la birra con il gruit, una miscela di erbe. L'abate Adalardo di Corbie citò il luppolo per la birra nell'822, e la birra luppolata, che si conservava meglio, si diffuse lentamente nei secoli successivi. Il 23 aprile 1516, a Ingolstadt, i duchi di Baviera stabilirono che la birra potesse contenere solo orzo, luppolo e acqua. Il lievito non compariva perché il suo ruolo nella fermentazione non era ancora compreso; negli anni Cinquanta dell'Ottocento Louis Pasteur dimostrò che la fermentazione è opera di cellule vive. Nel laboratorio Carlsberg di Copenaghen, Emil Christian Hansen scoprì che lieviti selvatici mescolati a quello di birreria causavano la «malattia della birra». Ottenne una coltura pura da una sola cellula buona, usata per la prima volta su scala piena nel novembre 1883, e la lager divenne molto più affidabile. Carlsberg regalò il lievito ad altri birrifici.

Le ghiandole gialle di luppolina, dentro il cono di luppolo, contengono le resine amare e l'aroma.

Dati chiave

Antica traccia chimica di birra d'orzo (discussa)
Godin Tepe, Iran, fine del IV millennio a.C.

Temperatura abituale di ammostamento
Circa 62-68 °C, dove gli enzimi del malto scindono meglio l'amido

Legge bavarese di purezza
23 aprile 1516, Ingolstadt: solo orzo, luppolo e acqua

Primo lievito in coltura pura usato in produzione
Carlsberg, Copenaghen, novembre 1883

Fonti

1. Five things I learned about Sumerian beer · University of Chicago Magazine https://mag.uchicago.edu/arts-humanities/five-things-i-learned-about-sumerian-beer
2. Purifying yeast · Carlsberg Group https://www.carlsberggroup.com/pursuit-of-better/scientific-discoveries/purifying-yeast/
3. 500 Jahre Reinheitsgebot: Deutsches Bier, was darf rein und was ist drin · Stiftung Warentest https://www.test.de/500-Jahre-Reinheitsgebot-Deutsches-Bier-was-darf-rein-und-was-ist-drin-4991639-0/
4. The brewing process · Cornell Brewing Program, Cornell University https://blogs.cornell.edu/brewing/?p=116
5. History of beer · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_beer
6. Mashing · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Mashing

Fatti verificati il 2026-10-12

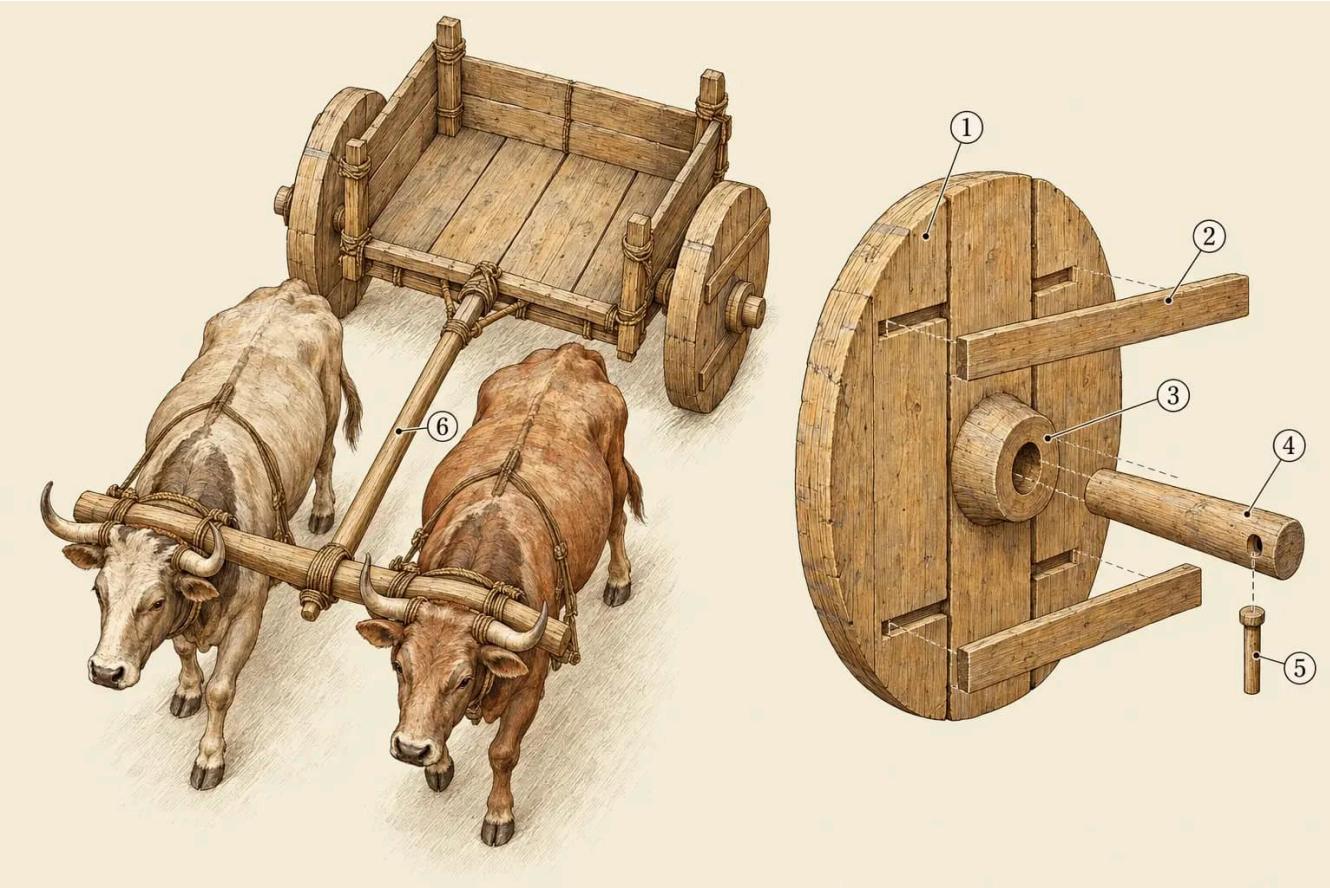
Ruota e asse

Rotolare invece di trascinare

c. 3500 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5)

Porta a: Bicicletta (p. 252), Gru e carrucola (p. 150), Filatoio (p. 190), Locomotiva a vapore (p. 244), Ruota idraulica (p. 158)



1 Tavole del disco 2 Traversa 3 Mozzo 4 Assale 5 Acciarino 6 Timone

Una ruota che gira su un asse permette al carico di rotolare invece di strisciare sul terreno, e lo sfregamento si sposta in un piccolo cuscinetto ingrassato. I carri a ruote comparvero in Mesopotamia e in Europa intorno al 3500 a.C., e in seguito lo stesso principio fece girare argani, mulini e ruote idrauliche.

Che cos'è

La ruota con asse è un disco fissato a un albero, o che gli gira intorno. Sotto un carro porta un carico sul terreno. In un argano da pozzo o in un argano verticale moltiplica la forza.

I rulli messi sotto una slitta vanno riportati davanti di continuo, mentre la ruota resta sotto il carico. La parte difficile, che richiese molto tempo, fu ottenere una ruota che girasse bene intorno a un asse fisso.

La tavola ricostruisce un'antica ruota piena formata da tre assi di legno, un tipo trovato in molti scavi in Europa e nel Vicino Oriente, sotto un carro trainato da buoi del 3000 a.C. circa.

Come funziona

Una slitta trascinata preme tutto il suo peso sui pattini e supera ogni asperità strisciando. Su ruote lo sfregamento avviene in un solo punto, piccolo, tra l'asse e il foro in cui gira, mentre il cerchione rotola sul terreno.

Sui rulli il carico avanza con facilità, ma ogni rullo che resta indietro va riportato davanti.

Il vantaggio viene dalla leva, perché la superficie dell'asse è molto più vicina al centro del cerchione. In una ruota di 70 centimetri di diametro che gira su un asse spesso 7 centimetri, il cerchione ha una leva dieci volte maggiore, quindi la trazione necessaria per vincere l'attrito dell'asse è circa un decimo di quell'attrito. Il cerchione deve comunque rotolare sul terreno, e sulle strade molli o accidentate questo aggiunge una resistenza propria. Il grasso, di solito sego animale o catrame, riduce ancora l'attrito dell'asse.

Un asse troppo sottile si spezza, uno troppo spesso aumenta l'attrito. Il foro deve essere rotondo e liscio, l'asse aderente ma senza forzare. In alcuni carri antichi le ruote erano bloccate sulle estremità squadrate dell'asse e giravano insieme a esso, mentre la parte centrale, arrotondata, ruotava in appositi supporti sotto il pianale. Nella maggior parte dei carri successivi l'assale era fisso: le ruote giravano sulle sue estremità, trattenute da acciarini.

Come costruirlo

Una ruota piena per un carretto a mano leggero si può fare con attrezzi manuali. I passaggi che seguono sono una traccia, senza disegni quotati; un carro per carichi pesanti o da traino animale richiede l'esperienza di un carradore.

Scegliere il legno. Serve un legno duro, tenace e ben stagionato, come quercia, frassino o olmo. Occorrono tre tavole spesse circa 5 centimetri, quella centrale più larga delle due laterali.

Ricavare il disco. Accostare le tavole lungo i bordi e tracciare un cerchio con una corda e un picchetto. Incidere scanalature di traverso rispetto alla fibra e piantarvi due traverse di legno duro che blocchino le tavole, con caviglie di legno tra una tavola e l'altra. Poi segare il contorno seguendo il cerchio.

Fare il mozzo. Al centro serve uno spessore maggiore perché la ruota non sbandi, quindi su ciascuna faccia si fissa un blocco tornito, il mozzo, con caviglie di legno duro incollate che attraversano tutto il disco. Forare il passaggio dell'asse perpendicolare al disco, poi lisciarlo con una raspa o con una barra di ferro arroventata.

Sagomare l'asse. Sbozzare con l'ascia un pezzo di legno duro diritto e senza nodi. Assottigliare le estremità perché entrino nei fori con un leggero gioco e praticare in ciascuna punta un foro passante per l'acciarino, appena oltre il punto in cui staranno il mozzo e la rondella. Imbullonare l'asse sotto il pianale con blocchi di legno o staffe di ferro.

Montare e provare. Ingrassare le estremità, infilare le ruote, aggiungere le rondelle e piantare a fondo gli acciarini. Ogni ruota deve girare libera e diritta, senza oscillare. Caricare il carro un po' alla volta e controllare i giunti dopo ogni prova.

> **Sicurezza.** Asce, scuri e trivelle provocano tagli profondi: tenere entrambe le mani dietro il filo. Un carro carico in pendenza può sfuggire e schiacciare chi gli sta davanti, quindi le prove si fanno in piano e alle soste si bloccano le ruote con dei cunei. Se si brucia il foro dell'asse con un ferro rovente, tenere dell'acqua a portata di mano.

Storia ed evoluzione

Tra il 3600 e il 3300 a.C. circa, tracce della ruota compaiono in un'area molto vasta. Alcune tavolette d'argilla di Uruk, in Mesopotamia, usano un segno per indicare il carro. Un vaso di Bronocice, nella Polonia meridionale, porta inciso quello che sembra un carro a quattro ruote. Altri ritrovamenti vengono dal Caucaso settentrionale e dalle steppe a nord del Mar Nero. Gli archeologi discutono ancora su dove sia nata l'idea.

Una ruota di carro da guerra dell'età del bronzo: sei raggi e un cerchio di gavelli curvati, molto più leggera di un disco pieno.

La ruota più antica giunta fino a noi fu trovata nel 2002 nelle Paludi di Lubiana, in Slovenia. Misura circa 70 centimetri di diametro, è fatta di tavole di frassino tenute insieme da traverse di quercia, e la datazione al radiocarbonio la colloca tra il 3350 e il 3100 a.C. circa. Il suo asse di quercia, lungo circa 1,2 metri, ha le estremità quadrate che si incastravano nella ruota.

Secondo l'antropologo David Anthony la ruota arrivò tardi per colpa degli attrezzi. Per ricavare fori rotondi e assi ben diritti servivano scalpelli e sgorbie di rame fuso, che nel Vicino Oriente si diffusero solo dopo il 4000 a.C. circa.

Le ruote piene erano robuste ma pesanti, adatte ai lenti carri trainati da buoi. Intorno al 2000 a.C. le genti della cultura di Sintashta, a est degli Urali, costruirono ruote leggere a raggi e le montarono su carri da guerra a due ruote trainati da cavalli. Nei secoli successivi ruote a raggi e carri da guerra si diffusero in Egitto, in Grecia e in Cina.

La cerchiatura: l'anello di ferro si monta caldo e, raffreddandosi, si restringe e serra la ruota.

Nel I millennio a.C. i carradori celti cominciarono a rivestire il bordo della ruota con un unico cerchione di ferro, montato a caldo perché restringendosi stringesse i giunti. Il metodo rimase in uso fino al XX secolo.

Nell'Ottocento arrivarono le ruote a raggi di filo metallico in tensione, abbastanza leggere per la bicicletta, e poi gli pneumatici di gomma gonfiati ad aria. Un asse ferroviario funziona ancora allo stesso modo: il carico poggia su un piccolo cuscinetto lubrificato mentre la ruota rotola sulla rotaia.

Dati chiave

Ruota più antica conservata
Paludi di Lubiana, Slovenia, ca. 3150 a.C.

Prime raffigurazioni di carri
ca. 3500–3350 a.C. (tavolette di Uruk, vaso di Bronocice)

Ruota a raggi
ca. 2000 a.C., steppe a est degli Urali

Attrito dell'asse avvertito al cerchione
Ridotto in base al rapporto tra il diametro della ruota e quello dell'asse

Fonti

1. Wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Wheel
2. World's oldest wheel found in Slovenia · Government Communication Office of Slovenia https://slovenia.si/art-and-cultural-heritage/worlds-oldest-wheel-found-in-slovenia
3. Replica of the oldest wooden wheel with an axle · City Museum of Ljubljana (MGML) https://mgml.si/en/city-museum/news/667/replica-of-the-oldest-wooden-wheel-with-an-axle-for-the-winner-of-the-26th-tour-of-slovenia/
4. Why It Took So Long to Invent the Wheel · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/why-it-took-so-long-to-inv/
5. Sennacherib's Quarry, 705–681 BCE · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/sennacherib-s_quarry-_705-681_bce/
6. Old Civilization: Layard's Nineveh (1853) · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/old-civilizationlayards-nineveh/
7. Estimating Wagon Draft (TechGuide 2G-213) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingWagonDraftTechGuide.pdf
8. Friction and Friction Coefficients for various Materials · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
9. Densities of Solids · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d_1265.html

Fatti verificati il 2026-10-11

Scrittura

Il sapere che sopravvive alla memoria

c. 3300 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Ceramica (p. 23), Utensili di pietra (p. 5)

Porta a: Numerazione posizionale (p. 98), Torchio da stampa (p. 205), Telegrafo elettrico (p. 284)

1 Gettoni di argilla per contare 2 Involucro di argilla aperto, con gettoni dentro 3 Tavoletta arcaica: numeri, orzo e una giara 4 Calamo di canna tagliata 5 Tavolozza da scriba con inchiostro nero e rosso 6 Rotolo di papiro

La scrittura fissa la lingua con segni visibili che un'altra persona può rileggere più tardi, lontano o molto dopo la morte di chi ha scritto. È nata più volte in modo indipendente; tra le testimonianze più antiche ci sono tavolette della Mesopotamia meridionale del 3300 a.C. circa, su cui i contabili dei templi imprimevano e tracciavano segni finché l'argilla era umida.

Che cos'è

La scrittura è un insieme di segni visibili, concordati all'interno di una comunità, che rappresentano le parole o i suoni di una lingua. Un lettore che non ha mai incontrato l'autore può recuperarne il messaggio, anche secoli dopo.

Si tenevano conti molto prima di scrivere. Nel Vicino Oriente compaiono dall'8000 a.C. circa piccoli gettoni di argilla a forma di cono, sfera o disco. L'archeologa Denise Schmandt-Besserat li interpreta come pedine per contare quantità di grano, olio o bestiame; altri, come Lucy Bennison-Chapman, ritengono che molti avessero altri

usi. Intorno al 3500 a.C. i contabili chiudevano i gettoni in palle di argilla cave e ne imprimevano le forme all'esterno. Così si registravano quantità, ma non un nome né una frase.

Una scrittura può annotare parole intere, sillabe o singoli suoni, e molte combinano questi principi.

Ogni forma di gettone indicava probabilmente un tipo di merce. Sigillati in un involucro di argilla, i gettoni potevano registrare un debito fino al pagamento.

Come funziona

Due idee trasformarono il conto in scrittura. La prima diede segni distinti alla quantità e alla merce. Sulle tavolette più antiche di Uruk i numeri sono impressi con l'estremità rotonda di un calamo e i beni disegnati accanto con una punta: cinque impronte e una spiga d'orzo per cinque misure d'orzo. Il valore di un segno numerico dipendeva ancora da ciò che si contava, con sistemi diversi per il grano, il bestiame o la terra.

La seconda fu il principio del rebus: usare un segno per il suo suono. In sumerico «freccia» e «vita» suonavano allo stesso modo, perciò il segno della freccia poteva scrivere anche «vita», una parola difficile da disegnare. I segni fonetici compaiono in Mesopotamia verso il 3000 a.C.

A seconda dell'angolo, lo spigolo di una canna tagliata lascia cunei verticali, orizzontali o obliqui.

Tracciare curve nell'argilla umida la solleva in piccoli rilievi, così gli scribi presero a premere lo spigolo di una canna tagliata. Ogni pressione lasciava un cuneo, e nel corso del III millennio a.C. i disegni diventarono gruppi di cunei: da qui il nome cuneiforme, dal latino *cuneus*.

Gli scribi egizi masticavano l'estremità di uno stelo di giunco fino a farne un pennello e lo strofinavano su pastiglie d'inchiostro nero o rosso incastrate in una tavolozza di legno. Scrivevano su papiro, strisce di midollo della pianta disposte in due strati incrociati, pressate e seccate. Più tardi gli alfabeti usarono segni per singoli suoni, così che qualche decina basta a scrivere qualsiasi parola.

Come costruirlo

Servono argilla fine, acqua, una canna secca o un bastoncino da giardino grosso come una matita, un coltello e un panno umido.

Preparare l'argilla. L'argilla da vasaio si usa così com'è. Quella raccolta sulla riva di un fiume va messa a bagno, filtrata attraverso un panno per togliere la sabbia grossa e lasciata rassodare finché tiene l'impronta del pollice senza attaccarsi. Impastatela a lungo per eliminare le bolle d'aria.

Formare la tavoletta. Schiacciate una palla grande come un piccolo uovo fino a farne un cuscinetto spesso circa 2 cm, che stia in una mano.

Tagliare il calamo. Segate circa 15 cm di canna. Vicino a un'estremità, assottigliate i lati con il coltello finché la punta ha sezione quadrata, con facce piane e spigoli vivi, poi tagliatela dritta: un angolo premuto nell'argilla lascia un cuneo. Tagliate l'altra estremità attraverso un nodo, così che il setto pieno chiuda il tubo, e arrotondatela; va bene anche un bastoncino di legno tondo. Premuta in verticale lascia un cerchio, inclinata una tacca a forma di D, le due forme dei primi numeri.

Scrivere. Dividete la faccia in caselle con il lato lungo del calamo e mettete una voce per casella. Imprimete il numero con l'estremità rotonda e sollevatela senza trascinare. Poi disegnate il segno di ciò che si conta con un angolo dell'estremità quadrata, come i primi scribi, oppure componetelo con cunei impressi, come i loro successori.

Far seccare. Lasciate la tavoletta per alcuni giorni all'ombra, girandola una volta perché non si crepi. L'argilla secca si ammorbidisce di nuovo in acqua; la cottura in forno, come per la ceramica, la rende durevole.

Provare l'alfabeto. Dite dieci parole ad alta voce e annotate i suoni che sentite, senza pensare alle lettere con cui si scrivono. Date a ogni suono un segno semplice, con il vecchio trucco: disegnate una cosa il cui nome comincia con quel suono. Se nessuna parola comincia con un certo suono, inventategli un segno. Aggiungete un segno ogni volta che una parola porta un suono nuovo: la maggior parte degli alfabeti ha fra venti e una quarantina di lettere.

> **Sicurezza.** Tagliate la canna sempre allontanando la lama dal corpo. Non carteggiate e non spazzate l'argilla secca: la sua polvere contiene silice fine che danneggia i polmoni; pulite con un panno umido. Cuocete le tavolette solo in un vero forno da ceramica e mai un pezzo ancora umido, che può scoppiare.

Storia ed evoluzione

Le tavolette più antiche provengono dal livello Uruk IV del quartiere dei templi di Uruk, datato di solito al 3350–3200 a.C. circa, secondo alcuni autori al 3200–3100. Da Uruk e da altri siti si conoscono oltre 6.000 tavolette e frammenti protocuneiformi, per lo più conti. Il cuneiforme durò più di tremila anni.

In Egitto, etichette in osso e avorio della tomba U-j di Abido, datate intorno al 3200 a.C., portano già geroglifici, alcuni con valore fonetico. Le date sono così vicine che gli specialisti discutono ancora se l'Egitto abbia preso l'idea dalla Mesopotamia. La scrittura cinese compare sulle ossa oracolari Shang di Anyang verso il 1200 a.C., già matura. In Mesoamerica si scriveva in Oaxaca verso il 400 a.C., e i glifi maya dipinti di San Bartolo risalgono al 300–200 a.C. Non si conosce alcun contatto tra queste regioni e il Vicino Oriente a quelle date: sono invenzioni indipendenti.

In Cina lo scriba strofinava un bastoncino d'inchiostro su una pietra bagnata e scriveva con un pennello di pelo appuntito.

L'alfabeto nacque dai geroglifici. Una quarantina di brevi iscrizioni delle miniere di turchese di Serabit el-Khadim, nel Sinai, e due dello Uadi el-Hol, in Egitto, usano soltanto da 27 a 29 segni. I loro autori parlavano una lingua semitica e davano a ogni immagine egizia il primo suono del suo nome nella propria lingua: la casa, *beth*, diventò b; l'acqua, *mem*, diventò m. Le datazioni proposte vanno dal 1850 al 1550 a.C. circa. Verso il 1200–1050 a.C. i Fenici scrivevano 22 lettere consonanti da destra a sinistra. I Greci le adottarono intorno all'800 a.C. aggiungendo le vocali, e gli Etruschi trasmisero l'alfabeto a Roma nel VII secolo a.C.

La carta, prodotta in Cina dal II secolo a.C., divenne in seguito il supporto abituale della scrittura e dei libri stampati.

Dati chiave

Tavolette più antiche
Uruk, Iraq meridionale, circa 3350–3200 a.C. (3200–3100 secondo alcuni autori)

Primo corpus
Oltre 6.000 tavolette e frammenti protocuneiformi, per lo più conti

Invenzioni indipendenti
Mesopotamia, Cina e Mesoamerica; Egitto probabilmente, ma è discusso

Primo alfabeto
Da 27 a 29 segni, Sinai ed Egitto, tra il 1850 e il 1550 a.C. circa

Alfabeto fenicio
22 lettere consonanti, circa 1200–1050 a.C.

Fonti

1. The state of decipherment of proto-Elamite (Englund, 2004) · Cuneiform Digital Library Initiative https://cdli.earth/files-up/publications/englund2004c.pdf
2. Seals and signs: tracing the origins of writing in ancient South-west Asia (Kelley, Cartolano & Ferrara, 2024) · Antiquity, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/seals-and-signs-tracing-the-origins-of-writing-in-ancient-southwest-asia/B3C2D400F3F80A7A0162D9035C9C2804
3. The Evolution of Writing (Schmandt-Besserat, 2014) · Denise Schmandt-Besserat, University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/tokens/the-evolution-of-writing/
4. Reconsidering 'Tokens': The Neolithic Origins of Accounting or Multifunctional, Utilitarian Tools? (Bennison-Chapman, 2019) · Cambridge Archaeological Journal, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-archaeological-journal/article/abs/reconsidering-tokens-the-neolithic-origins-of-accounting-or-multifunctional-utilitarian-tools/7E6C04CB040AD8AA0EA84B94D4D275C4
5. Visible Language: Inventions of Writing in the Ancient Middle East and Beyond (Woods, ed., 2010) · Institute for the Study of Ancient Cultures, University of Chicago https://isac.uchicago.edu/sites/default/files/uploads/shared/docs/oimp32.pdf
6. Early Egyptian Writing (1999) · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9903/newsbriefs/egypt.html
7. Oracle bone (50-31) · Nelson-Atkins Museum of Art https://art.nelson-atkins.org/objects/23289/oracle-bone
8. Evidence of Earliest Maya Writing (report on Saturno, Stuart & Beltrán, Science, 2006) · Mesoweb https://www.mesoweb.org/reports/SanBartoloWriting.html
9. Proto-Sinaitic: Progenitor of the Alphabet (Simons, 2011) · Rosetta 9, University of Birmingham https://rosetta.bham.ac.uk/wp-content/uploads/2024/02/Simons_Proto-Sinaitic_Rosetta9.pdf
10. The alphabet · Deutsche Nationalbibliothek, German Museum of Books and Writing https://mediengeschichte.dnb.de/DBSMZBN/Content/EN/SoundsSymbolsScript/01-alphabet-en.html
11. Papyrus · Centre for the Study of Manuscript Cultures, Universität Hamburg https://www.csmc.uni-hamburg.de/profiling-guide/materials/writing-surfaces/papyrus.html
12. Scribal Palette · Institute of Egyptian Art and Archaeology, University of Memphis https://memphis.edu/egypt/exhibit/palette.php
13. The Cuneiform Stylus (on Cammarosano, Mesopotamia 49, 2014) · Book and Sword https://www.bookandsword.com/2022/12/10/the-cuneiform-stylus/
14. What the Earliest Texts Say About the Invention of Writing · Discover Magazine https://www.discovermagazine.com/what-the-earliest-texts-say-about-the-invention-of-writing-692

Fatti verificati il 2026-10-14

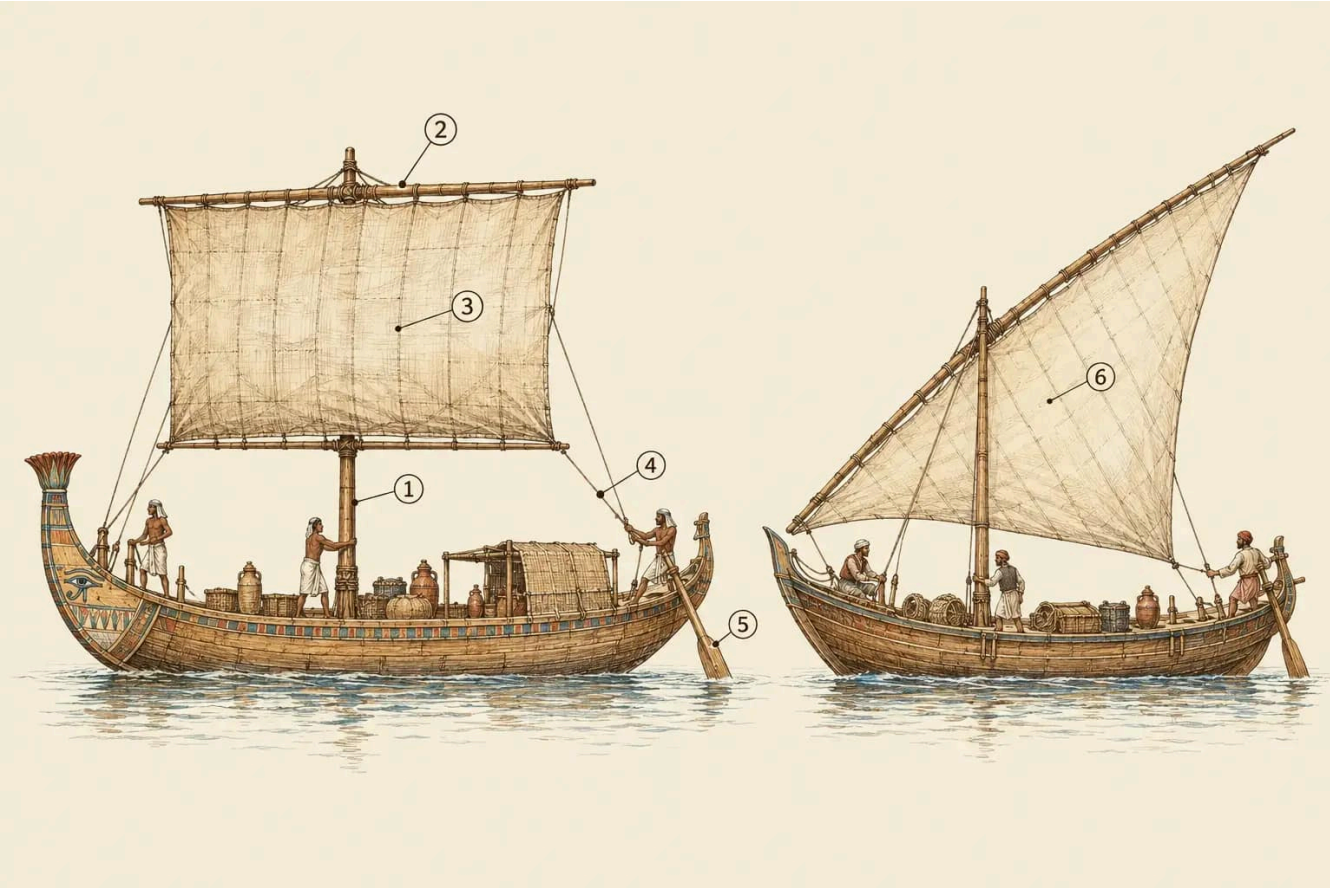
Vela

Catturare il vento per avanzare

c. 3200 a.C. · Preistoria · Insediamento

Richiede: Corda e cordame (p. 13), Tessitura (p. 44)

Porta a: Navigazione astronomica (p. 210)



1 Albero 2 Pennone 3 Vela quadra 4 Scotta 5 Remo timone 6 Vela latina

Una vela è un telo di tessuto o di stuoia issato su un albero per prendere il vento e far avanzare una barca. Orientata con l'angolo giusto, spinge la barca con il vento in poppa o al traverso e, procedendo a zigzag, perfino verso il punto da cui soffia il vento.

Che cos'è

Una vela è una superficie tesa al vento per spingere un'imbarcazione. Le prime erano probabilmente stuoie o pelli sostenute da un palo; in seguito le vele si tessero in lino, lana o cotone, e oggi per lo più in fibre sintetiche. Appesa a un albero e regolata con le cime, una vela muove una barca senza carburante e senza rematori.

La tavola mostra vele quadre e vele di taglio. La vela quadra pende di traverso alla barca da un'asta orizzontale, il pennone, e rende al meglio con il vento in poppa. Una vela di taglio si dispone lungo l'asse della barca. La vela latina è un triangolo appeso a un lungo pennone inclinato e funziona bene con il vento al traverso.

Come funziona

Con il vento in poppa il principio è semplice: l'aria spinge sulla vela come spingerebbe su una mano aperta. Su questa andatura una barca non può superare la velocità del vento, perché più va veloce, più debole è il vento che sente.

Con il vento al traverso la vela lavora come un'ala. Curva e orientata con un piccolo angolo rispetto al vento, devia il flusso d'aria, e l'aria a sua volta spinge sulla vela, soprattutto di lato e in parte in avanti. Lo scafo, e la chiglia se c'è, si oppongono allo scivolamento laterale perché l'acqua li spinge in senso contrario, e così rimane una spinta in avanti. Per questo una barca può andare più veloce al traverso che con il vento in poppa.

Nessuna vela può portare una barca dritta contro il vento. Una barca a vela moderna riesce a tenere una rotta a circa 40 o 45 gradi dal vento. Per raggiungere un punto sopravvento procede a zigzag e attraversa la direzione del vento a ogni virata. I marinai lo chiamano bordeggiare.

L'equipaggio regola la vela con le cime. La scotta (4) cazza o lasca un angolo inferiore della vela per regolarne l'incidenza rispetto al vento. La drizza issa il pennone (2) lungo l'albero (1). Sulle navi a vele quadre i bracci fanno ruotare il pennone. Con vento forte l'equipaggio riduce la superficie velica, una manovra che si chiama prendere i terzaroli. Il remo timone (5), e più tardi il timone, mantiene la rotta.

Come si costruisce

Questo schema descrive la confezione di una piccola vela quadra. Non è un disegno quotato né un progetto per aggiungere una vela a una barca qualsiasi. Usare un'attrezzatura progettata per quella barca e verificata da un costruttore navale qualificato o da un istruttore di vela per l'equilibrio tra scafo, vela e governo, la stabilità e la resistenza degli attacchi.

Procurarsi i materiali. Usare tela, filo, ralinga, pennone e ferramenta indicati nel progetto verificato. Servono anche ago da velaio e guardamano. Il sostegno dell'albero e i suoi attacchi devono seguire quel progetto.

Tagliare e unire i ferzi. Stendere le strisce di tela una accanto all'altra. Eseguire sovrapposizioni e cuciture secondo il progetto e i carichi previsti.

Orlare e ralingare i bordi. Piegare e cucire gli orli secondo il progetto, poi cucire la ralinga. Tela e cuciture trasmettono i carichi del vento; la cima rinforza i bordi. Rinforzare gli angoli e montare gli anelli o gli occhielli previsti.

Il guardamano permette alla mano di spingere un ago pesante attraverso diversi strati di tela.

Attrezzarla. Seguire il progetto verificato per fissare la vela al pennone e montare drizza e scotte. Controllare che il pennone si possa ammainare e che le cime scorrano liberamente.

Esercitarsi prima di navigare. Far mostrare a un istruttore come ammainare la vela e ridurne la spinta con questa attrezzatura, poi esercitarsi sotto la sua guida prima di uscire. Mollare le scotte da solo può lasciare una vela quadra ancora esposta al vento. Fare la prima prova in acque riparate, con vento leggero e un istruttore a bordo.

> **Sicurezza.** Una raffica può rovesciare una piccola barca in pochi secondi. Indossare un giubbotto di salvataggio, controllare le previsioni del tempo e uscire le prime volte con vento leggero, vicino alla riva e con qualcuno che sorveglia. Non legare mai la scotta in modo che non si possa liberare in fretta. Un pennone o un boma che oscilla può colpire la testa, e l'acqua fredda sfinisce in fretta chi nuota.

Storia ed evoluzione

Le barche sono molto più antiche delle vele: si pagaiava, si spingeva con la pertica e si remava molto prima di usare il vento. Non si sa con certezza quando sia comparsa la vela, perché tessuti e stuoie si conservano di rado. In Kuwait, resti di barche di canne rivestite di bitume, adatte alla navigazione marittima, risalgono a un periodo tra il 5500 e il 5000 a.C. Robert Carter li studia come testimonianze di antichi scambi marittimi; i soli resti delle barche non provano l'uso di vele.

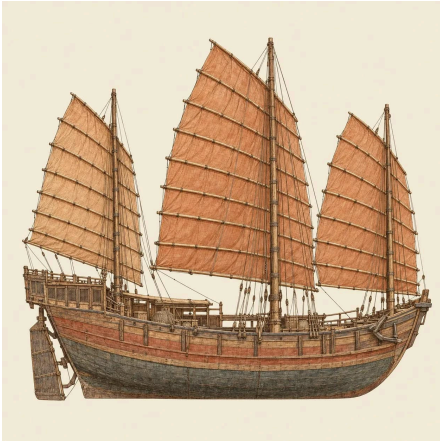
La vela a chela di granchio, tesa fra due aste, spinse le canoe austronesiane attraverso il Pacifico.

Dall'Egitto vengono possibili raffigurazioni intorno al 3200 a.C. Un vaso dipinto del periodo Naqada II, conservato al British Museum, mostra una barca con un oggetto su un palo. R. L. Bowen lo interpretò come una vela; l'altra lettura è uno stendardo. La data del catalogo, circa 3200 a.C., si riferisce a questo possibile indizio e non a una data certa dell'invenzione. Sul Nilo la corrente portava le barche verso nord e il vento poteva spingerle di nuovo verso sud.

Le vele quadre erano usate sulle navi egizie, fenicie, greche e romane, e più tardi su quelle vichinghe, le cui vele erano spesso tessute in lana. Nel Pacifico e nell'Oceano Indiano i navigatori austronesiani svilupparono attrezzature proprie. Le parole per «vela» nelle loro lingue risalgono a circa cinquemila anni fa, e la vela a chela di granchio portò le loro canoe a bilanciere per migliaia di chilometri di mare aperto.

La vela latina comparve nel Mediterraneo entro il II secolo d.C. e divenne comune dal V. Costava meno da fabbricare e mantenere della vela quadra, anche se non era chiaramente più veloce. Le antiche immagini di navi cinesi mostrano vele quadre. La Cina potrebbe aver adottato la vela della giunca, irrigidita da stecche di bambù, intorno al XII secolo; questo non dimostra una sostituzione generale delle vele quadre.

Dal XV secolo i costruttori navali europei impiegarono attrezzature miste con vele quadre e latine sulle caracche e su alcune caravelle. Queste tradizioni contribuirono alle attrezzature dei successivi velieri oceanici. Nel XIX e nel XX secolo il vapore prese il sopravvento nel trasporto commerciale. Le vele sopravvivono sugli yacht e sulle barche da regata, tagliate ormai in tessuti sintetici.



Le stecche di bambù mantengono la vela della giunca piatta e rigida.

Dati chiave

Prime raffigurazioni possibili
Egitto, 3200 a.C. circa

Rotta più vicina al vento
Circa 40–45° per una barca a vela moderna

Vela latina
Nel Mediterraneo entro il II secolo d.C.

Vela steccata della giunca
Forse adottata in Cina intorno al XII secolo d.C.

Fonti

1. Sail · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sail
2. Junk (ship) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Junk_(ship)
3. Boat remains and maritime trade in the Persian Gulf during the sixth and fifth millennia BC (R. Carter, 2006) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/boat-remains-and-maritime-trade-in-the-persian-gulf-during-the-sixth-and-fifth-millennia-bc/98224B03E778DE5C9D3EAA806A5ABCF8
4. Egypt's Earliest Sailing Ships (R. L. Bowen, 1960) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/egypts-earliest-sailing-ships/28F7218895B44D2DC9BF36AECD5B3F79
5. The physics of sailing (J. Wolfe) · School of Physics, UNSW Sydney https://newt.phys.unsw.edu.au/~jw/sailing.html
6. The Ship’s Sail · The Viking Ship Museum https://www.vikingeskibsmuseet.dk/en/professions/education/all-about-the-viking-ship/the-ships-sail
7. Seam · UK Sailmakers https://www.uksailmakers.com/encyclopedia/glossary/seam/
8. Carrack (Não) · The Mariners’ Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/watercraft/carrack-nao/
9. Hypothetical Reconstruction of an Ancient Egyptian Sea-going Vessel from the Reign of Hatshepsut, 1500 BCE (P. Couser, C. Ward and T. Vosmer, 2009) · RINA Historic Ships conference https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Navires/Min%20of%20the%20Desert/Min-Couser2012.pdf
10. Drag Equation · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-equation/

Fatti verificati il 2026-10-12

Sapone

Grasso e cenere contro i germi

c. 2800 a.C. · Antichità · Insediamento

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9), Ceramica (p. 23)

Porta a: Igiene e antisepsi (p. 297)

1 Tino della cenere (barile della liscivia) 2 Vaso che raccoglie la liscivia 3 Sego 4 Paiolo del sapone sul fuoco 5 Stampo e saponette tagliate

Il sapone si ottiene facendo bollire o mescolando un grasso con un alcali forte, che lo scinde in glicerina e in sali di acidi grassi capaci di portare via grasso e sporco nell'acqua. Ricette di detergenti simili al sapone risalgono alla Mesopotamia del III millennio a.C.; l'alcali industriale a buon mercato ne ha fatto un prodotto comune nell'Ottocento.

Che cos'è

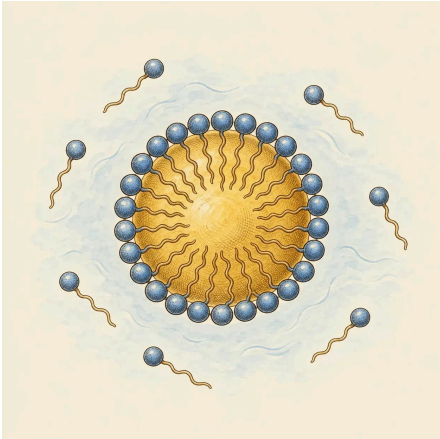
Il sapone è un detergente fatto con grassi o oli e un alcali. Ogni molecola di sapone ha un'estremità che si lega all'acqua e una lunga coda che si lega al grasso, così può portare via dalla pelle grasso, sporco e molti microbi nell'acqua di risciacquo. Il sapone fatto con idrossido di sodio diventa duro in pani; i saponi di potassio restano molli o liquidi. La liscivia ricavata dalla cenere di legna conteneva carbonato di potassio, non un idrossido moderno, e dava un sapone molle.

La tavola mostra la saponificazione come si faceva nelle fattorie d'Europa e del Nord America fino all'Ottocento: acqua versata sulla cenere di legna per fare la liscivia, un vaso che la raccoglie, sego fuso, un paiolo che bolle sul fuoco e uno stampo con le saponette tagliate che asciugano.

Come funziona

Grassi e oli sono trigliceridi: tre catene di acidi grassi legate a una molecola di glicerina. Un alcali forte rompe quei legami. Ogni acido grasso prende il sodio o il potassio dell'alcali e diventa una molecola di sapone, mentre la glicerina si libera. I chimici chiamano questa reazione saponificazione.

In acqua le molecole di sapone si raccolgono in minuscole sfere, le micelle, con le code grasse all'interno e le teste idrofile all'esterno. Una goccia di grasso viene attirata nel nucleo e va via con loro. Le stesse code possono infilarsi nell'involucro grasso di alcuni batteri e virus, fra cui i coronavirus, e spezzarlo. Per questo lavarsi con acqua e sapone elimina molti più germi della sola acqua, anche se i microbi con un rivestimento più duro resistono meglio.



Una micella: le code grasse del sapone trattengono il grasso all'interno, e le teste affini all'acqua lo lasciano andare con il risciacquo.

In fattoria l'alcali veniva dalla cenere. L'acqua versata in un barile di cenere di legno duro scioglieva sali di potassio, soprattutto carbonato di potassio, e ne usciva come liscivia bruna. Fatta bollire da sei a otto ore con il sego, dava un sapone molle e gelatinoso che si teneva in un barile e si prendeva con un mestolo. Il sale aggiunto a fine cottura faceva salire un sapone più sodo, in una forma che si poteva tagliare a pezzi, ma il sale costava caro e molte famiglie contadine ne facevano a meno. Il vero sapone duro di soda richiedeva la soda, ricavata dalle ceneri di alghe e piante costiere finché Nicolas Leblanc trovò il modo di produrla dal sale.

Come farlo

Oggi piccole quantità di sapone si fanno a freddo, con idrossido di sodio venduto per saponificazione e un calcolatore di saponificazione. L'idrossido di sodio è corrosivo e può accecare in pochi secondi: è un lavoro solo per adulti, in una stanza tranquilla e sgombra.

Preparare l'attrezzatura. Servono occhiali protettivi, guanti resistenti ai prodotti chimici e maniche lunghe, una bilancia digitale al grammo, recipienti di acciaio inox o di polipropilene venduti come resistenti alla soda calda (mai di alluminio, che reagisce con essa), un frullatore a immersione, un termometro, uno stampo di silicone o foderato e olio d'oliva puro o una miscela di oli collaudata.

Calcolare. Inserite il peso esatto di ogni olio in un calcolatore di saponificazione con una sovragrassatura di circa il 5 %. Per 500 g di olio d'oliva indica circa 64 g di idrossido di sodio e circa 170 g d'acqua. Controllate il risultato due volte: troppo alcali dà un sapone che brucia la pelle.

Preparare la soluzione di soda. All'aperto o vicino a una finestra aperta, pesate prima l'acqua, poi versate lentamente l'idrossido di sodio nell'acqua mescolando, mai l'acqua sulla soda. La soluzione si scalda in fretta e per un attimo emette vapori: non respirateli. Lasciatela raffreddare a circa 40 °C.

Mescolare e versare. Intiepidite l'olio a una temperatura simile, aggiungete la soluzione e frullate a brevi colpi finché il composto si addensa come una crema pasticcera leggera. Versatelo nello stampo, coprite e lasciate riposare uno o due giorni.

Stagionare. Sformate dopo uno o due giorni e tagliate le saponette. Una ricetta calcolata bene ha già finito di reagire; da quattro a sei settimane di stagionatura in piedi in un luogo asciutto e arieggiato, di più per il sapone di solo olio d'oliva, lasciano evaporare l'acqua perché le saponette induriscano e durino. La stagionatura non salva un sapone con troppa soda: se una saponetta stagionata punge ancora la pelle, buttate tutta la partita.

> **Sicurezza.** Indossate sempre occhiali e guanti quando maneggiate la soda o il sapone fresco, e tenete bambini e animali fuori dalla stanza. Se la soda tocca la pelle, sciacquate subito con molta acqua corrente; se raggiunge gli occhi, sciacquate con acqua corrente per almeno 30 minuti mentre qualcuno chiama i soccorsi. Etichettate ogni recipiente, conservate l'idrossido di sodio sotto chiave nella confezione originale e non usate mai più per il cibo un utensile che ha contenuto soda. Maneggiate il sapone fresco con i guanti nei primi giorni.

Storia ed evoluzione

Prima che il sapone fosse comune, la saponaria si schiacciava nell'acqua per avere una schiuma delicata con cui lavare lana e lino.

I detergenti simili al sapone sono antichi, ma le prime prove sono scarse. Si citano spesso fonti babilonesi di circa il 2800 a.C. come la prima menzione, e resoconti più tardi descrivono ricette mesopotamiche del III millennio a.C. che scaldavano olio con cenere di legna per lavare la lana, anche se le tavolette stesse vengono identificate di rado. Il papiro egizio Ebers, verso il 1550 a.C., prescrive grassi animali o oli vegetali mescolati a un sale alcalino come medicamento.

Gli autori romani consideravano il sapone un prodotto straniero. Plinio il Vecchio, nel I secolo d.C., lo attribuì ai Galli, che lo facevano con sego e cenere e lo usavano per tingersi i capelli; nella sua opera compare per la prima volta la parola latina sapo. Un secolo dopo il medico Galeno descrisse il sapone di liscivia e consigliò di lavarsi con esso.

I saponi duri all'olio d'oliva vennero dal Mediterraneo orientale. Il medico persiano al-Razi annotò ricette di sapone verso il 900, e nel XIII secolo la saponeria era un grande commercio nelle città della Siria e della Palestina. In Europa le botteghe della Castiglia e di Marsiglia producevano sapone all'olio d'oliva in grandi quantità nel Quattrocento, mentre i saponai del Nord facevano bollire il sego con la liscivia di cenere.

Il sapone di Aleppo, all'olio d'oliva e d'alloro, viene tagliato a cubi e impilato in torri ariose per stagionare per mesi.

Il sapone divenne economico solo quando lo divenne il suo alcali. Nel 1791 Nicolas Leblanc brevettò un procedimento che ricavava la soda dal sale, dall'acido solforico, dal carbone e dal calcare, così che i saponai non dipesero più dalle ceneri vegetali. Nel 1823 Michel-Eugène Chevreul dimostrò che i grassi sono composti di glicerina e acidi grassi, spiegando che cosa accade nel paiolo. Fabbriche come quella di Lever Brothers, fondata nel 1885 a Warrington, vendettero il sapone in saponette incartate e di marca. L'igiene seguì lentamente: nel 1847 Ignác Semmelweis impose al personale della sua clinica ostetrica di Vienna di disinfettarsi le mani con cloruro di calce, e la mortalità per febbre puerperale vi scese l'anno dopo da circa il 18 % a circa l'1 %.

Dati chiave

Più antica menzione di un materiale simile al sapone
Babilonia, verso il 2800 a.C.

La reazione
Grasso + alcali → sapone + glicerina (saponificazione)

Chimica spiegata
Michel-Eugène Chevreul, 1823

Soda dal sale comune
Procedimento di Nicolas Leblanc, 1791

Fonti

1. Why soap works · Yale School of Medicine https://medicine.yale.edu/news-article/why-soap-works
2. Soap making (Dallas Bogan, History of Campbell County, Tennessee) · TNGenWeb https://www.tngenweb.org/campbell/hist-bogan/SoapMaking.html
3. Nicolas Leblanc (1742-1806) · European Route of Industrial Heritage https://www.erih.net/how-it-started/stories-about-people-biographies/biography/leblanc
4. Chevreul et la chimie des corps gras · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/chevreul-et-la-chimie-des-corps-gras/
5. Lever Brothers Limited · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp42536
6. Pioneering hand hygiene: Ignaz Semmelweis and the fight against puerperal fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
7. Codex Standard for Named Animal Fats (CODEX-STAN 211-1999) · FAO/WHO Codex Alimentarius https://www.fao.org/4/y2774e/y2774e05.htm
8. Saponification value of fats and oils as determined from 1H-NMR data: the case of dairy fats (Foods, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9140812/
9. Soap · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Soap

Fatti verificati il 2026-10-12

Numerazione posizionale

Cifre che valgono per la loro posizione

c. 2050 a.C. · Antichità · Insediamento

Richiede: Scrittura (p. 86)

Porta a: Navigazione astronomica (p. 210), Computer (p. 363), Termometro e barometro (p. 222)

1 Abaco a linee: una linea per ogni potenza di dieci 2 Sassolino usato come gettone
3 Tavoletta d'argilla: mille come 16 sessantine e 40, in base sessanta 4 Punti e barre maya: 2 e 10, in base venti
5 Conchiglia dello zero maya 6 Mille in cifre indiane, quelle che usiamo

In una numerazione posizionale bastano poche cifre per scrivere qualsiasi numero, perché il valore di ciascuna dipende dal posto che occupa. Con uno zero a segnare il posto vuoto, addizioni, moltiplicazioni e divisioni si fanno per iscritto, colonna per colonna, senza abaco.

Che cos'è

In 707 il primo sette conta centinaia, l'ultimo unità. Tutta la numerazione posizionale sta qui: un piccolo insieme di segni il cui valore dipende da dove si trovano. Con le dieci cifre da 0 a 9 si scrive qualsiasi numero intero, grande quanto si vuole, senza mai aver bisogno di un segno nuovo.

I sistemi più antichi sommavano i loro segni. Gli scribi egizi avevano un segno per le unità, uno per le decine, uno per le centinaia, e ripetevano ciascuno quante volte serviva. In numeri romani 1888 si scrive MDCCCLXXXVIII,

tredici segni. Vanno bene per annotare un totale, ma ci si calcola male. I contabili romani e medievali lavoravano perciò su un abaco e scrivevano solo il risultato.

La numerazione posizionale trasforma il numero scritto in un abaco sulla carta, così il calcolo stesso si può annotare e controllare. A renderlo possibile è lo zero, che prima indicò un posto vuoto e poi diventò un numero a tutti gli effetti.

Come funziona

La base è il numero di cifre diverse, e ogni posto vale quel numero di volte il posto alla sua destra. In base dieci, 2748 significa 2 migliaia, 7 centinaia, 4 decine e 8 unità. In 1081 lo zero dice che non ci sono centinaia; senza di esso 1081 e 181 si confonderebbero.

Un numero babilonese si imprimeva nell'argilla umida, un cuneo dopo l'altro.

Le altre basi seguono la stessa regola. Gli scribi babilonesi contavano per sessanta con due segni: il cuneo verticale per uno e il cuneo angolare per dieci. Mille sono 16 sessantine e 40: si scriveva 16, poi 40. I maya contavano per venti, con un punto per uno, una barra per cinque e una conchiglia per zero, e impilavano i posti dal basso verso l'alto. Mille sono due volte quattrocento, dieci ventine e nessuna unità: due punti sopra due barre sopra una conchiglia. Nelle date del calendario il terzo posto contava 360 giorni invece di 400. I computer lavorano in base due, dove 13 si scrive 1101: un otto, un quattro, nessun due e un'unità.

Quando una colonna arriva a dieci o più se ne scrivono le unità e se ne riportano le decine nella colonna successiva; quando non basta, si prende in prestito uno da sinistra. Spostare un numero di un posto a sinistra lo moltiplica per dieci, per cui 47 × 23 è 47 × 3 più 47 × 20: 141 + 940 = 1081. La tavola pitagorica fino a 9 × 9 basta per moltiplicare due numeri qualsiasi. La divisione in colonna procede da sinistra, un posto alla volta: si cerca una cifra del quoziente, si moltiplica, si sottrae, si abbassa la cifra successiva.

Come costruirlo

Servono una tavola piana o un tratto di sabbia lisciata, un gesso o un bastoncino, una quarantina di sassolini, carta e una matita.

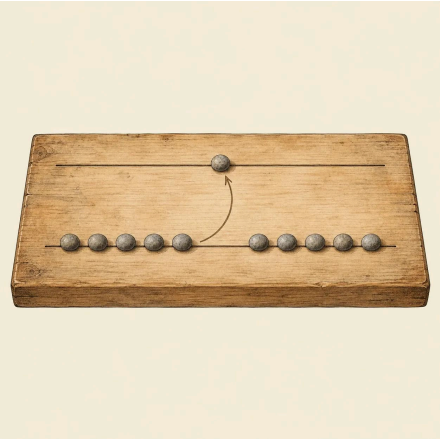
Tracciare l'abaco. Tracciate quattro linee parallele distanti un palmo: dal basso, unità, decine, centinaia e migliaia. Fatti tutti i riporti, nessuna linea ha più di nove sassolini.

Disporre un numero. Per 2748 mettete 2 sassolini sulla linea delle migliaia, 7 su quella delle centinaia, 4 su quella delle decine e 8 su quella delle unità. Una linea vuota vale zero.

Sommare con il riporto. Aggiungete 1375 posando 1, 3, 7 e 5 sassolini sulle stesse linee. La linea delle unità ne ha ora 13: toglietene dieci, mettetene uno sulla linea delle decine e ne restano 3. Quella delle decine ne ha 12; riportate di nuovo e fate lo stesso con le centinaia. L'abaco segna 4123.

Moltiplicare. Svuotate l'abaco. Per 47 × 23 disponete tre volte 47, facendo i riporti man mano: 141. Disponete poi altre due volte 47, ma ogni sassolino una linea più in alto del solito, il che aggiunge 940. Fate i riporti e leggete 1081.

Passare alla carta. Rifate gli stessi conti in colonna, con il riporto scritto in piccolo sopra la colonna successiva. Ogni colonna è una linea dell'abaco, ogni cifra un numero di sassolini, ogni 0 una linea vuota.



Il riporto sull'abaco: dieci gettoni di una linea si scambiano con uno solo sulla linea superiore.

Cambiare base. Per scrivere 4000 secondi in base sessanta, dividete per 60: 66, resto 40. Dividete 66 per 60: 1, resto 6. Leggete l'ultimo quoziente e poi i resti a ritroso: 1, 6 e 40, cioè 1 ora, 6 minuti e 40 secondi.

> **Sicurezza.** I sassolini piccoli possono causare soffocamento nei bambini piccoli. Scegliete pietre troppo grandi per essere inghiottite, oppure tenete l'abaco fuori dalla loro portata.

Storia ed evoluzione

L'uso più antico datato con certezza è una tavoletta di appunti di Ur, del 2043 a.C., che somma pesi in base sessanta. Verso il 1800 a.C. le tavolette scolastiche babilonesi lo usano correntemente. Non c'erano né lo zero né un segno che separasse gli interi dalle frazioni, e il lettore ricavava l'ordine di grandezza dal contesto. Dal 700 a.C. circa alcuni scribi mettono un segno in un posto vuoto all'interno di un numero, mai alla fine. Gli astronomi greci conservarono la base sessanta per le frazioni, ed è per questo che l'ora e il grado hanno ancora sessanta minuti.

I maya arrivarono da soli al valore posizionale e allo zero. Le date del Computo lungo compaiono nel Messico meridionale dal I secolo a.C., e stele di Uaxactún datate 357 scrivono i posti vuoti con un segno dello zero.

Le nostre cifre vengono dall'India. Nel 628 Brahmagupta definì lo zero come un numero meno sé stesso e diede regole per calcolare con esso, anche se la sua regola per cui zero diviso zero fa zero è sbagliata. Il manoscritto di Bakhshali, trovato vicino a Peshawar nel 1881, scrive lo zero con un punto; tre dei suoi fogli, datati al radiocarbonio nel 2017, vanno dal III al X secolo, e la data del testo è discussa. Lo zero datato più antico e indiscusso dell'India si trova a Gwalior, nell'876.

Nel tardo Medioevo in Europa si contava ancora spesso con gettoni d'ottone su un panno rigato.

Nella Baghdad del IX secolo al-Khwarizmi scrisse un libro sul calcolo indiano, giunto a noi solo in latino; dal suo nome viene la parola algoritmo. Fibonacci imparò le cifre in Nord Africa e le insegnò nel suo Liber abaci del 1202. Nel 1299 l'Arte del Cambio di Firenze le vietò nei libri contabili dei suoi membri, e nell'Europa del Nord gli abachi a gettoni rimasero in uso fino al XVI secolo.

Dati chiave

Valore posizionale in base sessanta

Primo uso datato con certezza a Ur nel 2043 a.C.; corrente nelle scuole babilonesi verso il 1800 a.C.

Lo zero trattato come numero

Brahmagupta, Brāhmasphuṭasiddhānta, 628 d.C.

Zero datato più antico e indiscusso dell'India

Iscrizione di Gwalior, 876, nei numeri 270 e 50

Zero maya

Segni dello zero su stele di Uaxactún datate 357

Liber abaci

Fibonacci, Pisa, 1202

Fonti

1. Bases, positions and computations (Chemla, 2025) · Philosophical Transactions of the Royal Society B https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12536272/
2. On the Alleged Counting with Sexagesimal Place Value Numbers in Mathematical Cuneiform Texts from the Third Millennium B.C. (Friberg, 2005) · Cuneiform Digital Library Journal https://cdli.earth/articles/cdlj/2005-2
3. A history of Zero · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Zero/
4. Babylonian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Babylonian_numerals/
5. Indian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Indian_numerals/
6. Brahmagupta · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Brahmagupta/
7. Carbon dating finds Bakhshali manuscript contains oldest recorded origins of the symbol 'zero' · Gardens, Libraries and Museums, University of Oxford https://www.glam.ox.ac.uk/node/218481
8. The Bakhshālī Manuscript: A Response to the Bodleian Library's Radiocarbon Dating (Plofker, Keller, Hayashi, Montelle, Wujastyk, 2017) · History of Science in South Asia https://journals.library.ualberta.ca/hssa/index.php/hssa/article/view/22
9. The use of Zero as a placeholder by the Maya (J. G. Atkinson) · Mexicolore https://www.mexicolore.co.uk/maya/home/the-maya-and-zero/1000
10. The Calendar Inscriptions · Archaeology Magazine, Archaeological Institute of America https://archaeology.org/issues/november-december-2012/collection/calendar-inscriptions/
11. Arabic numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Arabic_numerals/
12. Fibonacci · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fibonacci/
13. The mathematician Fibonacci, or how the number 7 came to Europe · Swiss National Museum https://blog.nationalmuseum.ch/en/2020/03/the-mathematician-fibonacci-or-how-the-number-7-came-to-europe/

Fatti verificati il 2026-10-14

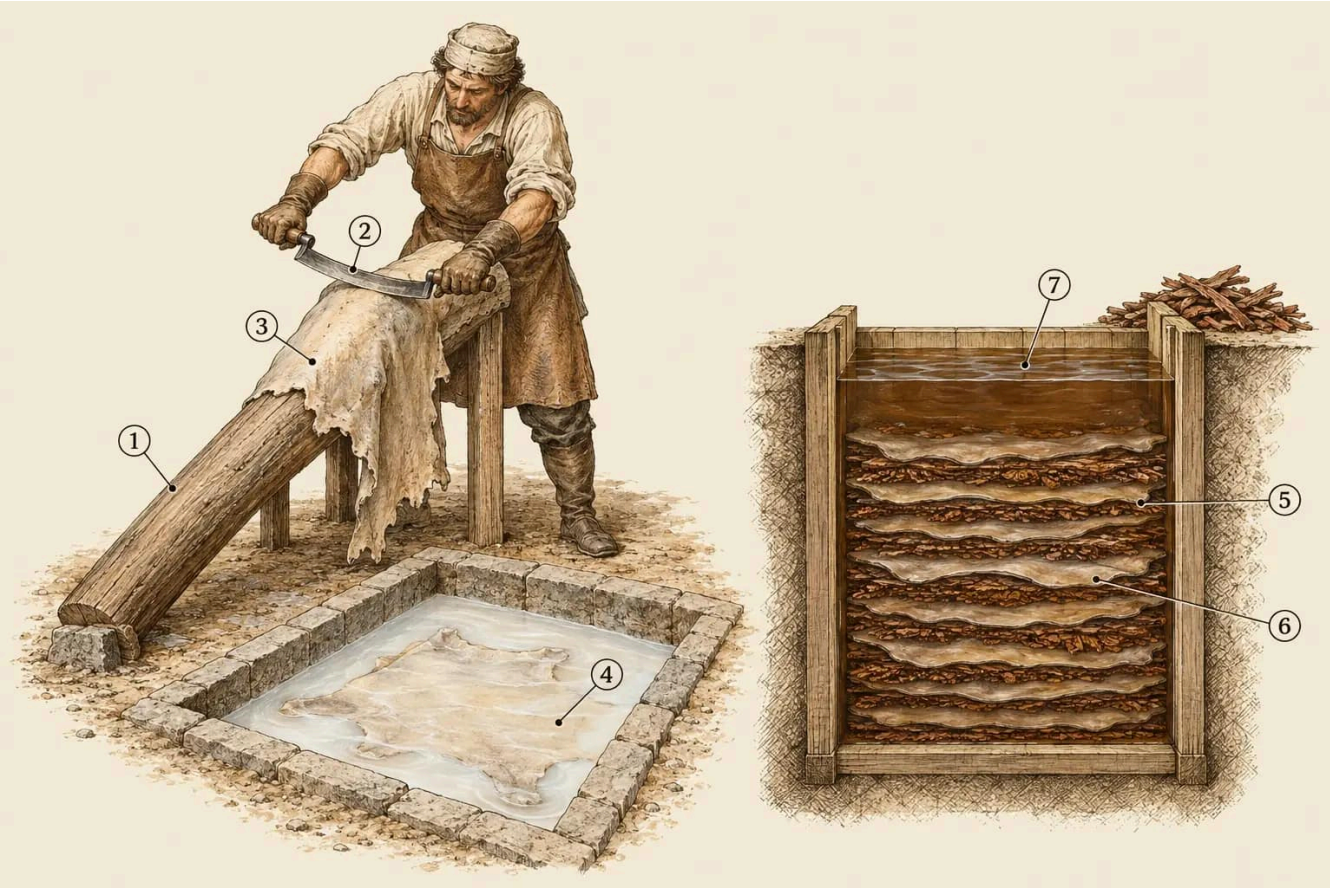
Concia delle pelli

Pelli, corteccia di quercia, mesi in vasca

c. 1500 a.C. · Antichità · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5), Controllo del fuoco (p. 9)

Porta a: Collare da tiro (p. 178), Pompa a pistone (p. 162)



1 Cavalletto del conciatore 2 Coltello a due manici 3 Pelle in fase di depilazione e scarnatura 4 Calcinaio
5 Strato di corteccia di quercia macinata 6 Pelle stesa nella vasca di concia 7 Bagno di concia

La concia trasforma una pelle cruda, che bagnata marcisce presto e seccando diventa dura come il legno, in un cuoio morbido che resiste molto meglio alla putrefazione. Nel metodo in vasca la pelle viene liberata da peli e carne, poi lasciata per mesi in acqua con corteccia di quercia macinata, i cui tannini si legano alle fibre.

Che cos'è

Una pelle fresca è fatta soprattutto di acqua e di collagene, una proteina intrecciata in un feltro fitto di fibre. Col caldo comincia a marcire in pochi giorni. Se prima si secca, diventa pelle cruda, dura e cornea, che in acqua si ammorbidisce e marcisce se resta bagnata.

Il cuoio è una pelle le cui fibre sono state modificate perché resista a entrambe le cose. Può bagnarsi e asciugarsi con un rischio molto minore di marcire o irrigidirsi, si taglia, si cuce e si modella, e tenuto all'asciutto dura secoli. Se ne facevano scarpe, finimenti, secchi e mantici. I cacciatori ammorbidivano le pelli con grasso e fumo, più tardi

si usò l'allume, e oggi quasi tutto il cuoio è conciato con sali di cromo. Questa tavola segue il metodo usato in Europa e nel Mediterraneo per circa duemila anni: la concia vegetale con la corteccia, in vasca.

Cuoio in sezione, ingrandito: il fiore liscio in alto, l'intreccio di fibre di collagene sotto. Accanto, pelle cruda con il pelo.

Come funziona

Molte piante accumulano tannini, composti amari che le difendono da insetti e funghi. La corteccia di quercia ne è ricca, come il legno di castagno, le foglie di sommacco, le galle di quercia e i baccelli di acacia. La corteccia macinata lasciata in acqua dà un liquido bruno che i conciatori chiamavano bagno di concia.

In questo bagno le molecole di tannino si infilano tra le fibre di collagene di una pelle pulita e vi si legano in molti punti. Così rivestite, le fibre non si incollano più asciugando e i batteri le degradano molto più lentamente. La pelle diventa un cuoio sodo e bruno.

Il tannino entra dalla superficie. Un bagno forte fin dall'inizio chiuderebbe gli strati esterni e lascerebbe crudo il cuore. Per questo le pelli cominciavano in un bagno debole, già usato, e passavano in bagni sempre più forti nel corso di settimane e mesi.

Prima bisogna aprire la pelle. L'acqua di calce o una liscivia di cenere di legna la fa gonfiare, allenta le radici dei peli e toglie parte del grasso e delle proteine molli. Poi si possono raschiare il pelo e lo strato superficiale e pulire il lato carne, così che il tannino entri da entrambe le facce.

Come si costruisce

Ecco, a grandi linee, il metodo tradizionale alla corteccia delle concerie, applicato a una sola pelle di vacca; non è una ricetta collaudata. Calcolate quasi un anno. Servono la pelle di un animale sano e di provenienza nota, tini o barili a tenuta stagna, calce spenta o cenere di legna, molta corteccia di quercia secca, un cavalletto di legno e un coltello smussato a due manici.

Rinverdire e calcinare. Tenete una pelle salata in acqua pulita per un giorno o due finché torna floscia, poi mettetela in acqua con calce spenta o liscivia di cenere, rimestando ogni giorno. La pelle è pronta quando il pelo si stacca spingendolo col pollice.

Depilare e scarnare. Stendete la pelle sul cavalletto inclinato, pelo in alto, e spingete il coltello smussato lontano da voi per togliere il pelo. Giratela e raschiate il lato carne per eliminare grasso e membrane. Lavate via la calce in più acque, perché la calce rimasta nella pelle rovina la concia; il bagno debole e un po' acido della fase successiva porta via il resto.

Preparare la corteccia. Scortecciate in primavera querce abbattute, fate seccare la corteccia, macinatela e lasciatela in acqua per alcuni giorni.

La corteccia di quercia si stacca in primavera, quando la linfa la separa dal legno.

Conciare in vasca. Mettete prima la pelle in un bagno debole e muovetela ogni giorno per qualche settimana. Poi stendetela piatta o piegata in un tino, tra due strati di corteccia macinata, e copritela con un bagno più forte. Le concerie impilavano così molte pelli nella stessa vasca. Rinnovate corteccia e bagno ogni pochi mesi. Da J & F J Baker, nel Devon, ultima conceria tradizionale alla corteccia di quercia della Gran Bretagna, le pelli restano tre mesi nel bagno e altri nove impilate con la corteccia. Per controllare, tagliate una scaglia dalla parte più spessa: il cuoio è conciato quando il bruno è passato da parte a parte, senza una striscia chiara al centro.

Asciugare e ingrassare. Sciacquate, lasciate asciugare piano all'ombra e fate penetrare olio o sego finché il cuoio è ancora umido.

> **Sicurezza.** La calce e la liscivia di cenere sono caustiche e possono ustionare pelle e occhi. Indossate guanti impermeabili, occhiali protettivi e stivali, e usate calce spenta e non calce viva, che si scalda violentemente a contatto con l'acqua. Sciacquate subito con molta acqua uno schizzo sulla pelle; se la calce entra in un occhio, lavatelo senza sosta con acqua pulita e chiedete subito aiuto medico. Le pelli crude possono portare spore di carbonchio (antrace), che entrano dai tagli o si respirano con la polvere e causano una malattia grave; a occhio non si capisce se una pelle è contaminata. Usate solo pelli di animali controllati e di provenienza nota, mai di un animale trovato morto, coprite i tagli, non scuotete né battete le pelli secche e lavate mani e abiti dopo il lavoro. Se pensate di essere stati esposti, o se dopo il lavoro con le pelli compaiono una piaga, febbre o difficoltà a respirare, andate subito dal medico e dite che maneggiate pelli. I bagni di calce e di concia inquinano: teneteli in tini a tenuta stagna, lontano da pozzi, sorgenti e ruscelli, e non versate mai il bagno esausto sul terreno, negli scarichi o in acqua; portatelo a un punto di raccolta adatto.

Storia ed evoluzione

Le pelli si lavoravano molto prima di conciarle. In molte regioni i cacciatori facevano penetrare cervello o altri grassi in una pelle raschiata e poi la affumicavano, perché potesse bagnarsi senza indurire. Ötzi, morto sulle Alpi intorno al 3300 a.C., indossava pelli di capra, pecora, cervo e vitello, e una scarpa della grotta di Areni-1, in Armenia, datata al 3627-3377 a.C., sembra di cuoio bovino. Come siano state trattate resta incerto.

Molto prima delle vasche, le pelli venivano tese, raschiate, lavorate col grasso e affumicate.

Datare la concia vegetale è difficile: solo l'analisi chimica rivela come fu trattato un cuoio antico, e gli studiosi ne leggono i risultati in modo diverso. Carol van Driel-Murray osserva che i cuoi dell'età del bronzo erano trattati per lo più con grasso, olio o fumo. Eppure l'analisi di cuoi egizi del Metropolitan Museum, pubblicata nel 2017, ha trovato tannini vegetali in oggetti del Medio o del Nuovo Regno, tra il 2000 e il 1100 a.C. circa. Il botanico greco Teofrasto scrisse delle piante da concia intorno al 300 a.C., e nell'Europa nord-occidentale il cuoio conciato arriva con la conquista romana. A Pompei una conceria con quindici vasche cilindriche era ancora in attività quando l'eruzione del 79 d.C. la seppellì.

L'allumatura, che usa un sale minerale al posto del tannino, dava un cuoio chiaro e morbido, apprezzato per i guanti, ma l'acqua ne dilava l'allume e la pelle può tornare dura seccando. La concia in vasca cambiò poco fino alla fine dell'Ottocento, quando i sali di cromo ridussero il lavoro da mesi a giorni. La concia al cromo è un processo

industriale con scarti tossici, non un mestiere da fare in casa. Il cuoio conciato alla corteccia si produce ancora per selle, cinture e suole.

Dati chiave

Tempo nelle vasche

Circa 12 mesi in una conceria inglese alla corteccia di quercia ancora attiva; da 11 a 18 mesi, talvolta 2 anni, per i cuoi pesanti di bue nel 1810

Più antica scarpa di cuoio ritrovata

Grotta di Areni-1, Armenia, 3627-3377 a.C.; non si sa come sia stato trattato il cuoio

Conceria di Pompei

15 vasche cilindriche, in uso fino all'eruzione del 79 d.C.

Calcinazione

Alcuni giorni per le pelli di bue e di vacca, due o tre settimane per quelle di vitello (pratica descritta nel 1810)

Più antichi tannini vegetali rilevati nel cuoio

Oggetti egizi del Medio o del Nuovo Regno, circa 2000-1100 a.C. (analisi pubblicata nel 2017)

Fonti

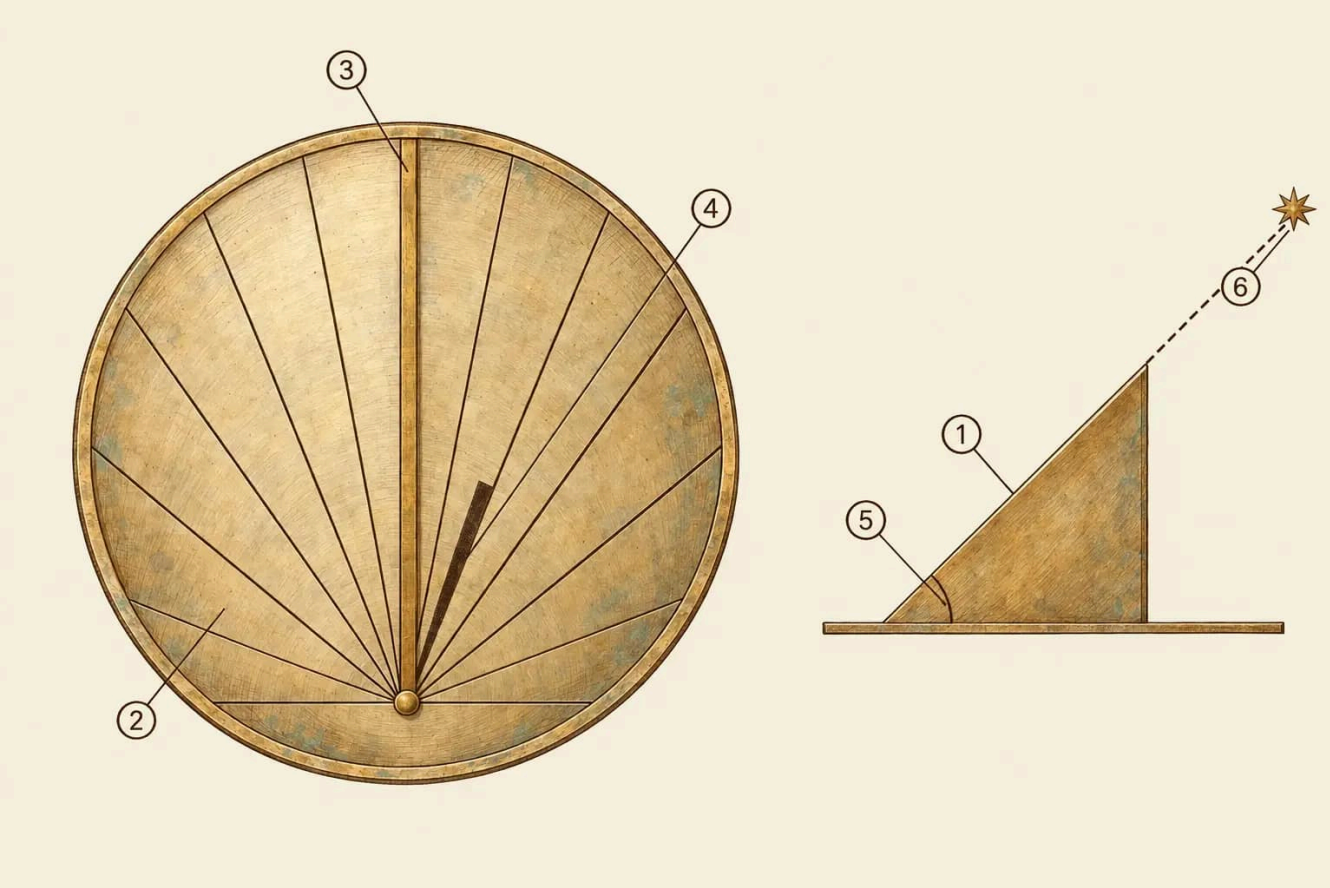
1. Tanning (Encyclopaedia Britannica, 4th edition, 1810) · Encyclopaedia Britannica, transcribed by Jim Clifford, University of Saskatchewan https://jimclifford.ca/early_encyclopedia_britannica/articles/1810/eb_4th_1810_020179.html
2. The Process · J & F J Baker & Co., oak bark tannery, Colyton https://www.jfjbaker.co.uk/the-process
3. Hide Products · Sean Manning, Book and Sword (after C. van Driel-Murray) https://www.bookandsword.com/?p=10459
4. First Direct Evidence of Chalcolithic Footwear from the Near Eastern Highlands (Pinhasi et al., 2010) · PLoS ONE https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010984
5. Evidence of the use of vegetable tannins in leather tanning in the Middle Kingdom/New Kingdom of ancient Egypt (Elnaggar, 2017) · ICOM-CC Leather and Related Materials Working Group Newsletter https://www.icom-cc.org/dlfile.aspx?file=https://www.icom-cc.org/docs/content/ICOMCC-LRM-Newsletter-june-2017.pdf
6. The large tannery of Pompeii: from restoration to valorisation · Archaeological Park of Pompeii https://pompeiisites.org/en/comunicati/the-large-tannery-of-pompeii-from-restoration-to-valorisation-a-positive-example-of-public-and-private-sector-collaboration/
7. Skins & hides: introduction · Lowimpact.org https://www.lowimpact.org/categories/skins-hides
8. Leather terminology: tawing · Popov Leather https://popovleather.com/pages/leather-terminology-tawing
9. Anthrax: people at increased risk (animal products) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/anthrax/animal-products/products.html
10. Hydrated Lime, Safety Data Sheet CASDS06 · Cement Australia https://cementaustralia.com.au/sites/default/files/2025-02/CASDS06_Hydrated_Lime.pdf
11. Clothing of the Iceman · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/clothing/

Fatti verificati il 2026-10-13

Meridiana

Leggere l'ora in un'ombra

c. 1500 a.C. · Antichità · Insediamento



1 Stilo (lo spigolo che getta l'ombra) 2 Quadrante 3 Linea del mezzogiorno 4 Ombra 5 Angolo uguale alla latitudine 6 Polo celeste

Una meridiana indica l'ora grazie all'ombra che il Sole proietta su una superficie segnata da linee. Gli esemplari più antichi giunti fino a noi vengono dall'Egitto del XV secolo a.C., e fino alla diffusione degli orologi meccanici, alla fine del Medioevo, è stata il mezzo principale per suddividere la giornata.

Che cos'è

Una meridiana è uno strumento che indica l'ora attraverso la posizione di un'ombra. Un'asta o una lama, lo gnomone, si erge sopra una superficie tracciata di linee, e la sua ombra le percorre man mano che il Sole attraversa il cielo.

La tavola mostra una meridiana orizzontale da giardino calcolata per 45° di latitudine, vista dall'alto, con lo gnomone visto di profilo. Lo spigolo inclinato dello gnomone, lo stilo, punta verso il polo celeste: per questo le ore risultano uguali in ogni stagione.

Come funziona

La Terra compie un giro al giorno attorno a un asse che, nell'emisfero boreale, punta quasi esattamente verso la stella Polare. Visto da terra, il Sole ruota attorno allo stesso asse con un ritmo costante di 15° all'ora. Uno stilo parallelo all'asse si trova quindi al centro del cerchio che il Sole descrive ogni giorno, e il piano che passa per lo stilo e per il Sole ruota con lo stesso ritmo regolare in ogni stagione. In pratica lo stilo è inclinato verso nord (verso sud nell'emisfero australe) di un angolo pari alla latitudine: circa 41,9° a Roma e 45,5° a Milano.

Su una meridiana orizzontale quel piano rotante taglia una lastra piana: l'ombra vi si sposta in modo irregolare, perciò le linee orarie non sono equidistanti. L'angolo fra la linea del mezzogiorno e la linea di una data ora segue una regola semplice: la sua tangente è uguale al seno della latitudine moltiplicato per la tangente di 15° per ogni ora di distanza dal mezzogiorno. A 45°, le linee da una a sei ore dopo mezzogiorno cadono a circa 11°, 22°, 35°, 51°, 69° e 90°. Si addensano attorno al mezzogiorno e si allargano verso le sei, ad angolo retto con la linea del mezzogiorno.

Una meridiana segna l'ora solare locale, che non coincide con quella dell'orologio. L'ora civile segue il meridiano centrale del fuso, che per l'Italia è quello di 15° Est, all'incirca quello dell'Etna. Una meridiana ritarda quindi di 4 minuti per ogni grado di longitudine a ovest di quel meridiano e anticipa altrettanto per ogni grado a est. Poiché l'orbita terrestre è un'ellisse e l'asse della Terra è inclinato, il Sole anticipa o ritarda inoltre fino a circa 16 minuti nel corso dell'anno: è l'equazione del tempo, spesso incisa in una piccola tabella accanto al quadrante. L'ora legale aggiunge ancora un'ora.

Orologio a ombra egizio: al mattino la traversa era rivolta a est, a mezzogiorno lo strumento veniva girato.

Come costruirla

Servono una lastra piana di ardesia, pietra, legno duro o metallo di circa 30 cm, un triangolo sottile di ottone o alluminio per lo gnomone, un goniometro, un righello, una livella a bolla e una calcolatrice. Le istruzioni valgono per l'emisfero boreale; a sud dell'equatore il centro va vicino al bordo nord e lo stilo sale verso sud.

Tracciare le linee orarie. Ricavate la vostra latitudine da una carta, al decimo di grado. Segnate il centro della meridiana vicino al bordo sud della lastra e tracciate da lì la linea del mezzogiorno fino al bordo opposto. Per ogni ora calcolate l'angolo con la regola vista sopra e tracciate la linea su entrambi i lati della linea del mezzogiorno: le ore del mattino a ovest, quelle del pomeriggio a est. Tracciate direttamente a 90° le linee delle sei, dove la regola non vale più: questa meridiana semplice copre le ore dalle sei alle diciotto.

Ritagliare lo gnomone. Ricavate un triangolo rettangolo con l'angolo acuto pari alla vostra latitudine. Fissatelo in verticale sulla linea del mezzogiorno, con la punta sul centro, in modo che lo spigolo inclinato salga verso nord. Se la lama è più spessa di due o tre millimetri, allontanate le due metà del quadrante di quello spessore: le linee del mattino partono da una faccia, quelle del pomeriggio dall'altra.

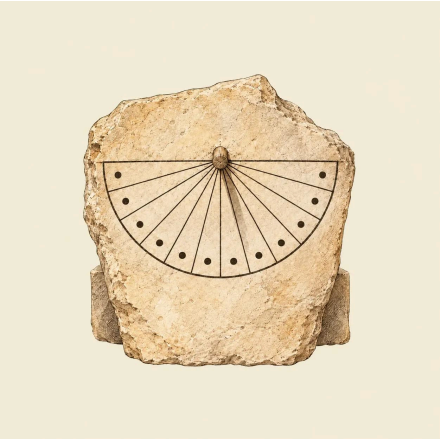
Trovare il nord geografico. La bussola indica il nord magnetico, che può discostarsene di diversi gradi. In una giornata di sole piantate un bastone verticale su un terreno piano, segnate la punta della sua ombra a metà mattina e tracciate un cerchio che passi per quel segno, con centro al piede del bastone. Nel pomeriggio segnate il punto in cui la punta dell'ombra tocca di nuovo il cerchio. La retta che unisce i due segni va da est a ovest, con il

segno del mattino a ovest. Stando sul segno del mattino e guardando quello del pomeriggio, il nord è a sinistra. Il risultato è approssimato, perché il percorso del Sole si sposta un poco nel corso della giornata; è più preciso vicino ai solstizi.

Installarla. Posatela su un supporto in bolla, con la linea del mezzogiorno sulla direzione nord-sud e lo gnomone che sale verso nord.

> **Sicurezza.** Non guardate mai il Sole direttamente, nemmeno per un istante, e mai attraverso un binocolo o una lente: il danno agli occhi è indolore e può essere permanente. Smussate gli spigoli di uno gnomone metallico e collocate la meridiana dove nessuno possa cadere sulla sua lama.

Storia ed evoluzione



Meridiana dipinta su una scheggia di calcare, trovata nel 2013 nella Valle dei Re e datata al XIII secolo a.C.

Le meridiane più antiche giunte fino a noi sono orologi a ombra egizi del regno di Thutmose III (circa 1479-1425 a.C.). Sono regoli di pietra a forma di L: al mattino la traversa rialzata a un'estremità era rivolta a est e proiettava l'ombra su tacche lungo il regolo; a mezzogiorno lo strumento veniva girato verso ovest. Nel 2013 un'équipe dell'Università di Basilea ha trovato un altro tipo di meridiana sul pavimento di una capanna di operai nella Valle dei Re: una scheggia piatta di calcare dipinta con un semicerchio nero diviso in dodici settori e un foro centrale per un piolo.

La tradizione greca attribuisce ad Anassimandro di Mileto, verso il 560 a.C., l'introduzione dello gnomone in Grecia sulla base di pratiche babilonesi. Greci e Romani scolpivano meridiane emisferiche, coppe di pietra le cui linee dividevano in dodici parti il tempo di luce. Erano ore disuguali: un'ora d'estate durava più di un'ora d'inverno. Plinio il Vecchio riporta due date per la prima meridiana pubblica di Roma, il 293 e il 263 a.C. La seconda fu portata da Catania durante la prima guerra punica. Tracciata per la Sicilia, a Roma segnava un'ora un po' sbagliata, eppure servì per 99 anni, finché nel 164 a.C. non se ne collocò accanto una più precisa.

Nell'VIII secolo il monaco inglese Beda il Venerabile incoraggiò le meridiane che segnavano le ore della preghiera, e molte chiese medievali avevano una semplice meridiana incisa su una pietra del muro sud. Uno stilo parallelo all'asse terrestre dà ore uguali tutto l'anno. L'astronomo Ibn al-Shatir ne costruì uno nel 1371 per la moschea degli Omayyadi di Damasco, e le meridiane europee adottano il principio almeno dal 1446. Gli orologi meccanici si diffusero in Europa dal XIV secolo, ma a lungo rimasero imprecisi e venivano regolati sulle meridiane.

Una meridiana canonica: un piolo nel foro centrale proiettava la sua ombra sulle linee sottostanti.

Dati chiave

Meridiane più antiche conservate
Egitto, regno di Thutmose III (circa 1479-1425 a.C.)

Moto apparente del Sole
15° all'ora attorno al polo celeste

Inclinazione dello stilo
Uguale alla latitudine del luogo (circa 41,9° a Roma)

Equazione del tempo
Il Sole anticipa o ritarda fino a circa 16 minuti nel corso dell'anno

Fonti

1. Ancient sundials · North American Sundial Society https://sundials.org/index.php/all-things-sundial/ancient-sundials?start=9
2. How sundials work · British Sundial Society https://sundialsoc.org.uk/all-about-sundials/how-sundials-work/
3. Pliny the Elder, Natural History, book 7 (7.212-215 on Rome's first sundials) · Attalus.org (translation) https://www.attalus.org/pliny/hn7c.html
4. Monumental Timekeepers (David Rooney) · Lapham's Quarterly https://www.laphamsquarterly.org/node/11636
5. Sundial · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sundial
6. History of sundials · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_sundials
7. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF
8. The Sundial Primer: Horizontal Sundial (Carl Sabanski) · The Sundial Primer https://mysundial.ca/tsp/horizontal_sundial.html

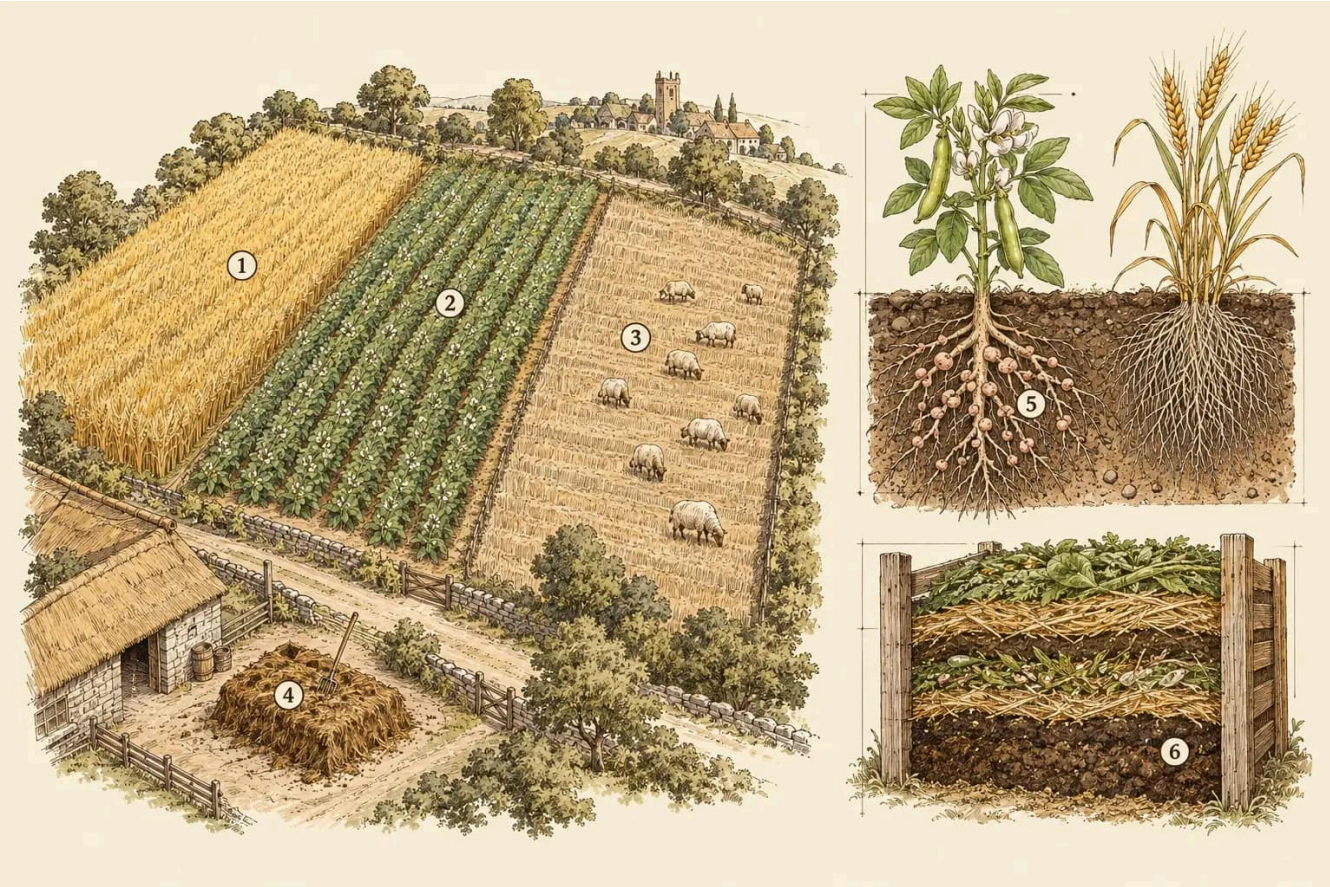
Fatti verificati il 2026-10-12

Rotazione delle colture

Tenere fertile la terra anno dopo anno

c. 700 a.C. · Antichità · Insediamento

Richiede: Aratro (p. 61)



1 Frumento invernale 2 Fave e piselli 3 Maggese pascolato dalle pecore 4 Cumulo di letame 5 Noduli sulla radice di una fava 6 Strati di un cumulo di compost

La rotazione delle colture cambia da un anno all'altro ciò che cresce su un campo e si affida al maggese, al letame e alle leguminose per restituire alla terra ciò che i raccolti le tolgono. Mantiene fertile il suolo e affama i parassiti di ogni coltura; in Europa si è passati da un anno di riposo ogni due a rotazioni senza alcun maggese.

Che cos'è

Seminato ogni anno con la stessa pianta, un campo tende a rendere meno se non gli si restituiscono i nutrienti. Le radici prendono gli stessi nutrienti dallo stesso suolo, e i parassiti di quella coltura ritrovano il loro ospite a ogni primavera. La rotazione delle colture cambia ciò che cresce su ogni appezzamento di anno in anno, secondo un ciclo stabilito.

Va di pari passo con il maggese, una stagione senza coltura; con il letame e il compost, che riportano al suolo deiezioni e residui vegetali; e con le leguminose, come fava, pisello o trifoglio, che apportano azoto preso dall'aria.

La tavola mostra un podere a tre campi con il suo letamaio. A destra, la radice di una fava è disegnata accanto a quella di un frumento, sopra un cumulo di compost aperto.

Come funziona

Oltre ad acqua e aria, le piante hanno bisogno di nutrienti minerali del suolo, tre dei quali in grande quantità. L'azoto forma le proteine e le foglie; un cereale che ne è privo ingiallisce. Il fosforo serve alle radici e ai semi. Il potassio trattiene l'acqua nelle cellule e tiene dritti gli steli. Ogni sacco di grano che lascia il podere ne porta via una parte.

L'azoto è il primo a scarseggiare, anche se l'aria è composta per circa quattro quinti di azoto gassoso: le piante non sanno usare quel gas. Le leguminose ci riescono grazie a batteri del suolo, i rizobi. Questi si insediano in piccoli rigonfiamenti delle radici, i noduli, e trasformano l'azoto dell'aria in ammoniaca; la pianta ne ricava proteine e in cambio nutre i batteri con zuccheri. Quando radici e steli marciscono, o quando la coltura viene interrata verde, buona parte di quell'azoto passa alla coltura successiva. Un trifoglio violetto o bianco ben insediato può fissare circa 85–225 kg di azoto per ettaro all'anno, una coltura breve o stentata molto meno.

Noduli su una radice di pisello. Un nodulo attivo è rosa o rosso all'interno.

Fosforo e potassio non vengono dall'aria; tornano con il letame, il compost, l'urina e la cenere.

Cambiare coltura frena anche le malattie e i parassiti legati a una sola famiglia di piante: senza ospite per qualche anno, la maggior parte regredisce. Alcuni durano molto di più. Le spore dell'ernia del cavolo, che colpisce cavoli e rape, restano nel suolo fino a 20 anni, e il marciume bianco della cipolla almeno 15: su un terreno infetto conviene smettere di coltivare le piante ospiti. Il maggese non apporta azoto, ma permette di arare le malerbe e serve da pascolo.

Come si fa

Attrezzi: una vanga o un aratro, un forcone e assi per un contenitore.

Dividere il terreno. Tracciare quattro parcelle di uguale misura e ripartire le colture in quattro gruppi, tenendo insieme le piante affini: leguminose (piselli, fave, fagioli); cavoli, cavolo riccio, rape e ravanelli; patate e pomodori; cipolle e radici (porri, carote, barbabietole, pastinache).

Spostare ogni gruppo di una parcella all'anno. Un ordine comune: leguminose, cavoli, patate, poi cipolle e radici. I cavoli seguono le leguminose per sfruttare l'azoto che lasciano nel suolo.

Seminare un sovescio sulla terra nuda. Dopo un raccolto precoce, seminare un sovescio e interrarlo ancora tenero, qualche settimana prima della coltura successiva. Trifoglio, veccia e favino sono leguminose: vanno seminati dove arriveranno i cavoli, non dove sono previsti piselli e fave.

Costruire il cumulo. Su terra nuda, a mezz'ombra, montare un contenitore di circa un metro per lato. Alternare strati di circa 15 cm di materiale verde e tenero (erba, scarti di verdura, letame fresco di erbivori) e di materiale bruno e secco (paglia, foglie secche, cartone), con almeno tanto bruno quanto verde. Aggiungere ogni tanto un po' di terra e tenere il cumulo umido come una spugna strizzata.

Un cumulo che lavora bene fuma in una mattina fredda.

Rivoltare e controllare il calore. Infilare un termometro lungo al centro. Un cumulo che resta per diversi giorni a 55 °C o più uccide molti germi e semi di malerbe, ma solo il centro si scalda tanto: ogni volta che si raffredda, portare con il forcone la parte esterna verso il centro e lasciare che il cumulo si riscaldi. Il compost è maturo quando è scuro, grumoso e profuma di sottobosco, dopo qualche mese o più di un anno.

Usare il letame con cura. Spargere il letame di bovini, cavalli, pecore, capre o pollame in autunno e interrarlo, mai su piante in crescita.

> **Sicurezza.** Il letame fresco porta germi come *E. coli* e la salmonella. Un letame che sembra ben maturo, e il compost domestico che lo contiene, possono ancora averne, perché un cumulo da giardino non si scalda mai in modo uniforme: vanno trattati entrambi come letame fresco. Spargerli almeno 120 giorni prima di raccogliere le piante la cui parte commestibile tocca il suolo o può ricevere schizzi di terra con la pioggia o l'irrigazione, come insalata, carote o fragole, e almeno 90 giorni prima degli altri raccolti. Non mettere mai feci di cane, gatto, maiale o umane in un orto né nel suo compost. Lavarsi le mani con il sapone dopo aver toccato letame o compost e prima di toccare il cibo, e lavare gli ortaggi con acqua potabile. Donne in gravidanza, bambini piccoli, anziani e persone immunodepresse non dovrebbero mangiare crudi gli ortaggi di un terreno letamato.

Storia ed evoluzione

Gli isotopi dell'azoto misurati in cereali carbonizzati di 13 siti neolitici, dalla Grecia alla Gran Bretagna, mostrano che i campi venivano concimati già intorno al 6000 a.C.

Il consiglio di Esiodo sul maggese, intorno al 700 a.C., è tra i testi più antichi giunti fino a noi sull'argomento e dà la data a questa tavola. Varrone, nel 37 a.C., descrive lupini o fave seminati su terreno magro e interrati quando cominciano a formare i baccelli, al posto del letame. Un secolo dopo Columella giudica il lupino interrato buono quanto il miglior letame, ma dubita che le fave raccolte per il seme arricchiscano la terra.

In Cina il Qimin Yaoshu, un manuale di agricoltura completato intorno al 544 d.C. da Jia Sixie, chiede di cambiare ogni anno la coltura dei campi di miglio e indica il fagiolo mungo e il fagiolo azuki come le migliori colture da far precedere al miglio.

Tra la Loira e il Reno, alla fine dell'VIII secolo e nel IX molte aziende franche passarono da due campi, con metà della terra a riposo ogni anno, a tre: cereale invernale, poi avena, orzo, piselli e fave seminati in primavera, poi maggese. La semina primaverile richiede piogge estive, perciò il sistema rimase a nord delle Alpi.

In seguito le piante foraggere presero il posto del maggese. La rotazione quadriennale del Norfolk, nel XVIII secolo, legata al nome di Charles Townshend, alternava frumento, rape, orzo e trifoglio. Lo storico dell'economia Robert Allen attribuisce alle piante azotofissatrici circa metà dell'aumento delle rese di grano inglesi tra il Medioevo e la Rivoluzione industriale.

Nel 1838 Jean-Baptiste Boussingault osservò che trifoglio e pisello acquistavano azoto in un suolo privo di sostanza organica, mentre frumento e avena no. Nel 1886 Hermann Hellriegel e Hermann Wilfarth collegarono questo guadagno ai noduli e ai loro microbi, e nel 1888 Martinus Beijerinck isolò il batterio.

Chiuse sulle rape, le pecore mangiano il raccolto dove cresce e concimano la terra per l'orzo che segue.

Dati chiave

Tracce antiche di concimazione

Europa neolitica, dal 6000 a.C. circa (isotopi dell'azoto nei cereali)

Antico consiglio scritto sul maggese

Esiodo, Grecia, intorno al 700 a.C.

Rotazione triennale

Regno franco, fine VIII e IX secolo; il maggese scende dalla metà a un terzo della terra

Azoto fissato da un trifoglio ben insediato

Circa 85–225 kg per ettaro all'anno

Ruolo dei batteri dei noduli

Hellriegel e Wilfarth, 1886; pubblicato nel 1888

Fonti

1. Hesiod, Works and Days, lines 458–464 (trans. H. G. Evelyn-White) · Theoi Classical Texts Library https://www.theoi.com/Text/HesiodWorksDays.html
2. Varro, On Agriculture, Book I (trans. W. D. Hooper and H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Varro/de_Re_Rustica/1*.html
3. Columella, On Agriculture, Book II (trans. H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Columella/de_Re_Rustica/2*.html
4. Manure used by Europe's first farmers 8,000 years ago (Bogaard et al., PNAS 2013) · University of Oxford via ScienceDaily https://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130716134740.htm
5. Millet: Original Chinese Staple (on the Qimin Yaoshu) · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2026-05/25/content_522073.html
6. Agricultural technique, in A. Verhulst, The Carolingian Economy · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/carolingian-economy/agricultural-technique/BA332C43E77E49855C580F1276F12809
7. Lynn White Jr., Technology in the Middle Ages (Technology in Western Civilization, vol. 1, 1967, excerpt) · Manchester University (course reading) https://users.manchester.edu/FacStaff/SSNaragon/Kant/LP/Readings/White,%20Plow.html
8. Norfolk four-course system · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Norfolk_four-course_system
9. The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis (R. C. Allen, 2008) · Journal of Economic History, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-economic-history/article/nitrogen-hypothesis-and-the-english-agricultural-revolution-a-biological-analysis/7B2406F0F800AA11E4843EDB58D558C6
10. Utilisation biologique de l'azote de l'air : repères chronologiques · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/utilisation-biologique-de-l-azote-de-l-air-reperes-chronologiques/
11. Prof. Dr. Hermann Hellriegel · Anhalt University of Applied Sciences https://www.hs-anhalt.de/en/life/bernburg/campus/history/prof-dr-herrmann-hellriegel.html
12. Is Nitrogen Fixation Oversold with Legume Cover Crops? · University of Nebraska–Lincoln, CropWatch https://cropwatch.unl.edu/2016/nitrogen-fixation-oversold-legume-cover-crops
13. Crop rotation · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/vegetables/crop-rotation
14. Club root · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/club-root
15. Onion white rot · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/onion-white-rot
16. Aged manure is not composted manure · University of Minnesota Extension https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2022/02/aged-manure-is-not-composted-manure.html
17. Composting · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/soil-composts-mulches/composting
18. Composting Manure and Other Organic Materials (NebGuide G1315) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1315/na/pdf/view
19. Guidelines for Using Manure on Vegetable Gardens (Bulletin 2510) · University of Maine Cooperative Extension https://extension.umaine.edu/publications/2510e/

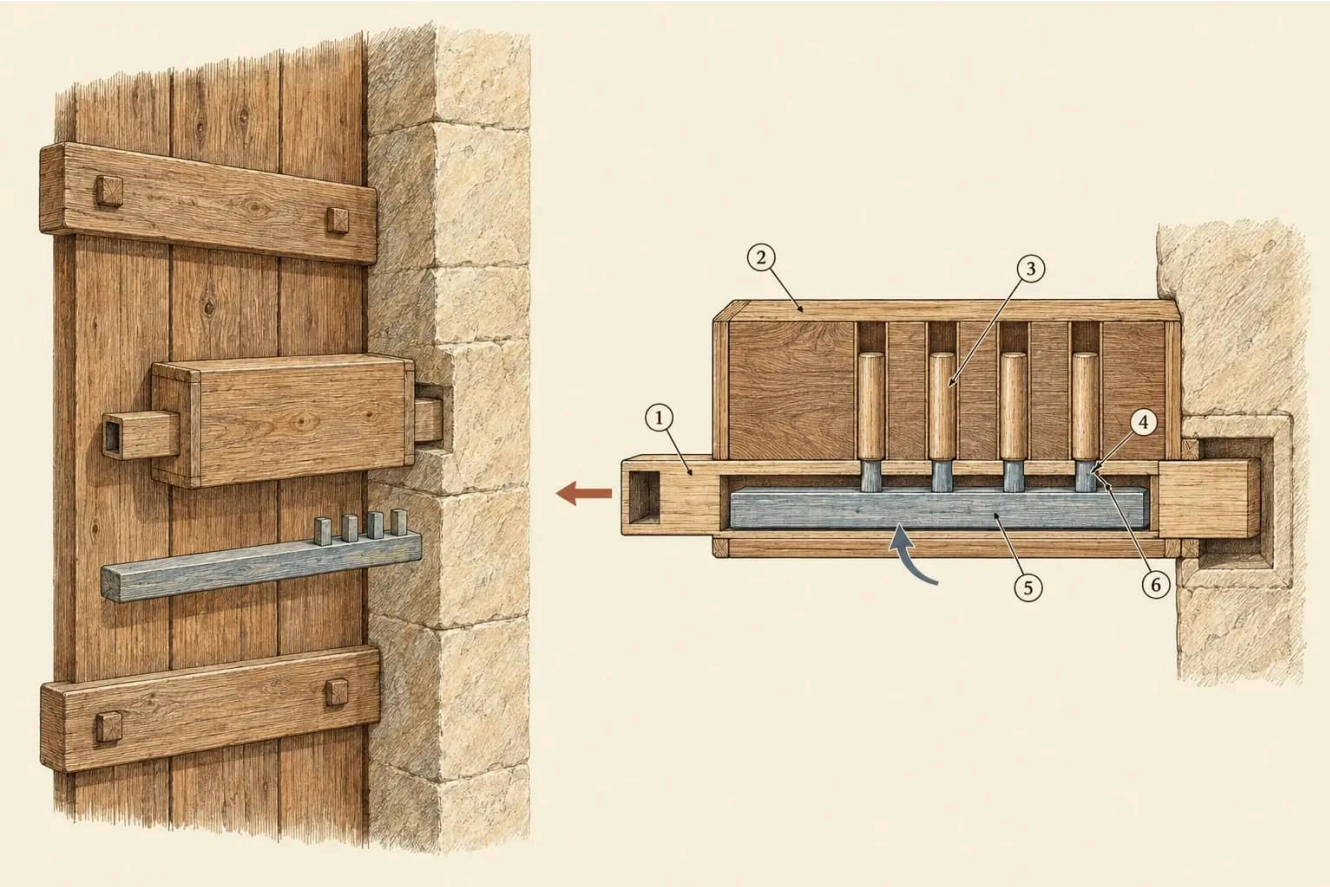
Fatti verificati il 2026-10-14

Serratura e chiave

Un chiavistello che solo la sua chiave libera

c. 700 a.C. · Antichità · Insediamento

Richiede: Utensili di pietra (p. 5)



1 Chiavistello 2 Cassa della serratura 3 Perni 4 Fori del chiavistello 5 Chiave 6 Denti della chiave

Una serratura trattiene un chiavistello finché una chiave della forma giusta non lo libera. Le serrature di legno a perni erano già in uso nel Vicino Oriente antico, e lo stesso principio, perfezionato nell'Ottocento, funziona oggi nella maggior parte dei cilindri delle porte.

Che cos'è

Una serratura tiene chiusi una porta, un coperchio o una catena, e una serratura a chiave è pensata per aprirsi solo con la chiave corrispondente. Ogni serratura a chiave ha un chiavistello che chiude, un ostacolo che lo blocca e una chiave la cui forma rimuove l'ostacolo.

La tavola mostra la serratura di legno a perni, spesso chiamata serratura egizia. Non richiede metallo né molle, eppure funziona già come un moderno cilindro a perni.

Come funziona

La cassa è un blocco di legno fissato all'interno della porta. Un chiavistello quadrato scorre in un tunnel nella sua parte bassa, e la sua estremità entra in un incavo dello stipite. Il chiavistello è cavo, e la sua parete superiore ha

una fila di fori. Sopra di essi, perni di legno liberi pendono in fori verticali della cassa. Quando si spinge il chiavistello in posizione, i perni cadono per il loro peso nei fori e lo bloccano.

La chiave è una lunga barra piatta con denti disposti come i fori. La si infila nella cavità del chiavistello e la si solleva. I denti spingono in alto i perni finché la loro estremità inferiore è a filo con la parte superiore del chiavistello, che allora si può tirare indietro con la chiave ancora dentro. Se un dente è fuori posto, almeno un perno resta nel suo foro.

Le serrature successive bloccarono il chiavistello con altri organi. Una serratura a guardie ha ostacoli fissi, le guardie, sul percorso della chiave che gira, e solo una chiave intagliata nei punti giusti ruota abbastanza da spingere il chiavistello. Una serratura a leve ha una pila di leve girevoli che vanno sollevate ciascuna all'altezza esatta prima che il chiavistello possa passare.

In una serratura a guardie, gli intagli dell'ingegno permettono alla chiave di girare oltre le guardie fisse e di spingere il chiavistello.

Il moderno cilindro a perni mantiene l'idea di perni che la chiave deve sollevare a un'altezza precisa. Un rotore di ottone gira dentro un corpo fisso. Cinque o sei coppie di perni, spinte verso il basso da piccole molle, attraversano il confine fra le due parti e impediscono al rotore di girare. Le tacche della chiave sollevano ogni coppia in modo che la giunzione fra perno inferiore e perno superiore cada esattamente su quel confine, la linea di taglio, e il rotore gira.

Come costruirla

Una serratura di legno a perni è un buon progetto da fine settimana per una cassetta o un mobile. Con un po' di pazienza la si apre anche senza chiave: è un pezzo dimostrativo.

Fare il chiavistello. Prendete un listello di legno duro largo 40 mm, alto 45 mm e lungo 40 cm. Scavate sul lato inferiore una scanalatura larga 20 mm e profonda 30 mm, dall'estremità interna fino oltre la metà, poi incollatevi sotto un listello sottile per chiuderla a tunnel. I 15 mm di legno che restano sopra la scanalatura sono la parete superiore. Foratela con tre o quattro fori da 10 mm a intervalli irregolari.

Fare la cassa. Realizzate un blocco con un tunnel quadrato in cui il chiavistello possa scorrere, forandolo e squadrandolo con lo scalpello oppure incollando quattro assi attorno al chiavistello. Con il chiavistello in posizione di chiusura, forate il blocco in verticale fino ai fori del chiavistello, così che tutto sia allineato. Tagliate un perno da 10 mm per ogni foro e incollate vicino alla sua sommità un breve collare di tondino più grosso, in modo che attraversi la parete superiore del chiavistello e non scenda oltre: la sua estremità deve fermarsi a filo con il soffitto della scanalatura, altrimenti la chiave non entra. Allargate la parte alta di ogni foro della cassa per accogliere il collare, poi incollate un coperchio sul blocco perché i perni restino dentro.

Fare la chiave. Piallate una barra piatta spessa circa 10 mm che scorra liberamente nella scanalatura. Incollatevi denti di tondino alla stessa distanza dei fori, alti 15 mm ciascuno, cioè esattamente lo spessore della parete superiore; barra e denti lasciano così 5 mm di gioco sotto il soffitto mentre la chiave entra. Quando si solleva la barra della chiave contro il soffitto, i denti riempiono i fori e sollevano i perni appena sopra il chiavistello. Lasciate abbastanza spazio sopra i collari perché i perni possano salire di tanto.

Montare e provare. I perni cadono per gravità: la cassa va quindi fissata su una superficie verticale, per esempio l'interno dell'anta di un armadio, con i perni che pendono dritti, e l'incavo del chiavistello si ricava nel telaio.

Manovrate la serratura dall'interno oppure ritagliate accanto un'apertura per la mano. Carteggiate i perni finché cadono liberamente e passate della cera sul chiavistello.

> **Sicurezza.** Bloccate il pezzo con un morsetto prima di segare o forare, tenete entrambe le mani dietro il filo degli scalpelli e indossate occhiali protettivi con trapano o fresatrice. Non montate mai una serratura fatta in casa su una porta che va aperta in fretta in caso di emergenza, come un'uscita di sicurezza o un bagno.

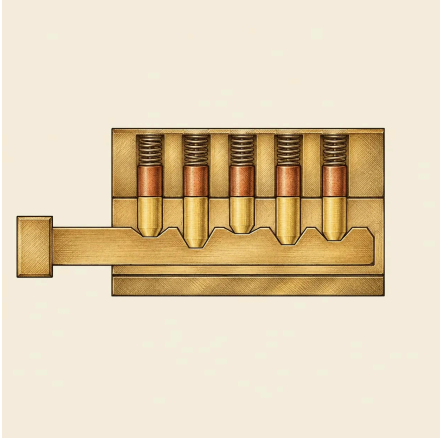
Storia ed evoluzione

Le serrature sono difficili da datare, perché il legno si conserva di rado. Lo scavatore francese Paul-Émile Botta trovò a Khorsabad, nel palazzo del re assiro Sargon II, una porta chiusa da una grande serratura di legno a perni, e Austen Henry Layard recuperò a Ninive una chiave di bronzo della stessa forma. Si legge spesso che la serratura di Khorsabad avrebbe 4000 anni, ma il palazzo risale all'VIII secolo a.C., e l'archeologo D. T. Potts ha mostrato che quella cifra deriva da un catalogo letto male. Sostiene inoltre che testi mesopotamici di presagi più antichi nominano già il chiavistello, i perni e la serratura, il che renderebbe il dispositivo più antico di qualunque esemplare conservato. Il nome di «serratura egizia» deriva dal suo lungo uso in Egitto, dove nell'Ottocento era ancora comune.

Gli anelli-chiave romani aprivano piccoli scrigni; le fessure dell'ingegno gli permettevano di superare le guardie della serratura.

Gli autori greci conoscevano chiavi a più denti, e i fabbri romani fecero la serratura di ferro e la chiave di bronzo, aggiunsero le guardie e costruirono lucchetti. Le piccole chiavi romane avevano spesso la forma di anelli, probabilmente per aprire scrigni e portagioie più che porte; gli abiti romani non avevano tasche, e una chiave portata al dito era sicura e sempre a portata di mano. A Colchester una cassetta di legno fu sepolta in una tomba con l'anello-chiave ancora infilato nella serratura. Le serrature medievali erano per lo più a guardie, spesso molto decorate, e bastava un attrezzo sottile per superarle.

In Inghilterra Robert Barron brevettò nel 1778 la serratura a leve a doppio effetto. Joseph Bramah brevettò nel 1784 una serratura cilindrica a lamelle scorrevoli e in seguito promise un premio a chi fosse riuscito ad aprire quella esposta nella vetrina del suo negozio londinese; la sfida è di solito datata al 1790, ma il cartello conservato allo Science Museum porta la data del 1801. Il fabbro americano Alfred Hobbs ci riuscì durante la Grande Esposizione di Londra del 1851, dopo circa 51 ore di lavoro distribuite su 16 giorni. Nel 1818 Jeremiah Chubb aggiunse alla serratura a leve un rivelatore: una leva sollevata troppo bloccava il meccanismo e segnalava il tentativo di scasso. Abraham Stansbury ottenne in Inghilterra un brevetto per una serratura a perni nel 1805, e Linus Yale sr. brevettò i propri modelli negli Stati Uniti negli anni Quaranta dell'Ottocento. Suo figlio, Linus Yale jr., brevettò nel 1861 una serratura a perni con chiave rotonda e nel 1865 una serratura che si apre con una chiave d'acciaio piatta e sottile, intagliata sul bordo. Gran parte dei cilindri delle porte di oggi discende da quel modello.



In un cilindro a perni la chiave porta ogni giunzione fra i perni sulla linea di taglio.

Dati chiave

Più antica serratura di questo tipo trovata sul posto

Palazzo di Sargon II a Khorsabad, Assiria, VIII secolo a.C.

Serratura di sfida di Bramah

Brevettata nel 1784, proposta con un premio dal 1790 o dal 1801 a seconda delle fonti, aperta nel 1851 dopo circa 51 ore di lavoro

Serratura con rivelatore di Chubb

1818

Chiave piatta per cilindro a perni

Brevettata da Linus Yale jr. nel 1865

Fonti

1. Lock and key in ancient Mesopotamia (D. T. Potts, Mesopotamia 25, 1990) · Università di Torino, Mesopotamia https://www.yeshiva.org.il/midrash/pdf/wiki/potts_1990_-_lock_and_key_in_ancient_mes.pdf
2. Lock and key · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/technology/technology-terms-and-concepts/lock-and-key
3. Ring (Roman bronze key ring, 547-1871) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O377794/ring/
4. Challenge board for Bramah padlock, 1801 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50474/challenge-board-for-bramah-padlock
5. Improvement in locks, US patent 48,475 (Linus Yale Jr., 1865) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US48475A/en
6. Lock and key · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lock_and_key
7. An Account of the Manners and Customs of the Modern Egyptians (E. W. Lane, 1836), ch. 1 · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/70796
8. Lock (Encyclopædia Britannica, 11th edition, 1911) · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Lock
9. Working model of Egyptian pin lock (1966-364) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50403/working-model-of-egyptian-pin-lock

Fatti verificati il 2026-10-12

III

Mestieri e città

Tornio da vasaio

Modellare l'argilla facendola girare

c. 4000 a.C. · Preistoria · Mestieri e città

Richiede: Ceramica (p. 23)

1 Testa del tornio 2 Vaso d'argilla 3 Albero verticale 4 Cuscinetto a collare 5 Volano 6 Ralla di base

Il tornio da vasaio è un disco pesante che gira su un asse verticale, così che l'argilla posta al centro può essere modellata in modo uniforme tutt'intorno dalle mani del vasaio. Nacque nel Vicino Oriente come tornietta lenta più di seimila anni fa; poi venne il tornio veloce, che accumula abbastanza slancio da tornire un vaso da una palla d'argilla.

Che cos'è

Il tornio da vasaio è una testa rotonda e piatta montata su un albero verticale che gira liberamente. Il vasaio mette al centro una palla d'argilla umida, la fa girare e la preme con le mani bagnate o con un attrezzo. Poiché ogni punto dell'argilla passa a turno sotto le mani, una sola pressione costante modella tutta la circonferenza in una volta.

Ce ne sono due tipi. Il tornio lento, o tornietta, si spinge a mano con piccoli colpi. Aiuta il vasaio a regolarizzare un vaso costruito a colombino e a rifinirne l'orlo. Il tornio veloce continua a girare da solo perché è pesante, e va abbastanza veloce per tornire: tirare su un vaso in pochi minuti da una palla piena, con la sola rotazione e le mani.

I due tipi si sovrappongono, e gli archeologi distinguono oggi la macchina dalla tecnica di foggiatura usata su di essa. La tavola mostra un tornio a pedata, un tornio veloce mosso col piede, del tipo usato nelle botteghe europee

prima dei motori elettrici.

Come funziona

Il tornio a pedata ha un solo albero verticale, di solito di ferro. In alto porta la testa, all'altezza della vita del vasaio seduto. Vicino al pavimento porta il volano, un disco spesso e pesante di legno, pietra o calcestruzzo. L'albero gira in due cuscinetti: un collare appena sotto la testa che lo tiene diritto e una ralla in basso, dove la sua estremità a punta o arrotondata gira in una coppetta e regge tutto il peso.

Il vasaio siede su una panca dietro il tornio e spinge il volano con un piede. Un volano pesante richiede parecchie spinte per avviarsi, ma una volta in moto accumula energia e continua a girare mentre le mani lavorano. Più è pesante, e più il suo peso sta vicino al bordo, più a lungo mantiene la velocità. La maggior parte dei vasai fa girare il tornio in senso antiorario; in Giappone la tradizione è il senso orario.

La tornitura segue un ordine fisso. Prima si centra l'argilla: la si preme con le due mani finché gira tonda e non sbanda più. Poi il vasaio la apre spingendo i pollici al centro, lascia un fondo e allarga l'argilla in un anello spesso. Tirando verso l'alto, una mano dentro e una fuori, alza la parete, più sottile e più alta a ogni passata. Infine gonfia o stringe la forma, liscia l'orlo e stacca il vaso dalla testa con un filo. Mani e argilla restano bagnate per tutto il tempo, e una stecca di legno appoggiata alla parete che gira la liscia e toglie l'acqua in eccesso.

Le fasi della tornitura: centrare, aprire, tirare su un cilindro e dare la forma.

Attrezzi del tornitore: una stecca per lisciare la parete, un filo per staccare il pezzo, una spugna, un bastoncino e una mirette per rifinire.

L'argilla conserva le tracce di come è stato fatto un vaso. Le scanalature e i segni lasciati da dita e attrezzi sulle pareti interna ed esterna, e il modo in cui l'argilla è stratificata all'interno, permettono agli archeologi di distinguere un vaso tornito da una palla su un tornio veloce da uno costruito a colombino e solo modellato su un tornio. Molti dei primi vasi «al tornio» si rivelano del secondo tipo, ed è così che si segue la lenta diffusione della tornitura. Anche gli attrezzi lasciano tracce: la stecca lascia una fascia liscia, e un filo passato sotto un vaso che gira ancora lascia sul fondo un disegno curvo a conchiglia.

Come costruirlo

Un tornio a pedata si costruisce in un laboratorio con legno, un albero d'acciaio, due cuscinetti e un volano colato in proprio. Il progetto di Mother Earth News citato nelle fonti usa un telaio di circa 75 cm (30 pollici) per lato, che regge anche il sedile. Il volano finito pesa circa 60-75 kg: scegliete supporti, mozzo e fissaggi adatti a quel carico, oppure seguite un progetto completo pubblicato.

Costruire il telaio. Imbullonate un telaio a forma di cubo con montanti di 10 × 10 cm e traverse di 5 × 10 cm, con una traversa appena sotto il bordo superiore per il cuscinetto alto e una traversa robusta in basso per quello basso. Fissate una tavola da sedile dietro e un poggiapiedi più o meno all'altezza del ginocchio, dal lato della spinta.

Montare albero e cuscinetti. Usate un albero d'acciaio diritto di circa 25 mm di diametro. Imbullonate un supporto a flangia in piano sulla traversa bassa, che regga il peso, e un secondo supporto a flangia in piano sotto un appoggio della traversa alta, che tenga l'albero diritto; bloccateli entrambi sull'albero con i grani. I cuscinetti stagni autoallineanti sono i più semplici. Controllate col filo a piombo che l'albero sia perfettamente verticale e giri senza toccare il legno.

Colare il volano. Tagliate un disco di compensato di circa 60 cm con un foro esattamente al centro, infilatevi l'albero e imbullonate al compensato un mozzo o un collare d'acciaio fissato all'albero. Avvolgete il disco con una striscia di cartone catramato o lamiera per formare uno stampo alto da 15 a 18 cm, fissate attraverso il compensato dei bulloni che sporgano nello stampo e riempite con 10-12 cm di calcestruzzo, che farà presa attorno al mozzo. Aspettate almeno due giorni prima di spostarlo, tenetelo umido durante la maturazione e non fatelo girare prima che il calcestruzzo abbia raggiunto la resistenza indicata dal produttore per metterlo sotto carico.

Montare la testa. Inserite l'albero con il volano nei supporti e fissate in cima una testa di legno o metallo di 25-30 cm. Fate girare a mano e correggete ogni sbandamento prima di mettere l'argilla.

> **Sicurezza.** Il volano è pesante e continua a girare a lungo: tenete dita, piedi e abiti larghi fuori dallo spazio fra volano e telaio, e non fermatelo mai afferrandone il bordo. Non salite né state in piedi sul volano, perché potreste danneggiarne il fissaggio. Usate occhiali e guanti per impastare il calcestruzzo, che è caustico. La polvere d'argilla contiene silice: pulite tornio e pavimento a umido, mai spazzando a secco.

Storia ed evoluzione

Per migliaia di anni i vasi si fecero a mano, prima che esistesse il tornio. Fra i più antichi dispositivi rotanti per la ceramica ben studiati ci sono quelli del Levante meridionale, della seconda metà del V millennio a.C.; torni più antichi altrove sono discussi. Le ricerche di Valentine Roux e dei suoi colleghi mostrano che i vasai di quella regione costruivano i vasi a colombino e poi li modellavano sul tornio, e che solo pochi specialisti facevano questo lavoro, per ciotole fini di rango particolare. Secondo questa lettura il primo tornio si diffuse più per prestigio che per rapidità.

Una tornietta di pietra in due pezzi: il disco superiore gira sul suo perno, alloggiato nell'incavo della pietra inferiore.

Nel periodo di Uruk, in Mesopotamia, verso il 3400 a.C., il tornio veloce era in uso, e un tornio da vasaio trovato a Ur è stato datato verso il 3100 a.C. La tecnica raggiunse l'Egeo nel III millennio a.C., anche se è discusso se sia passata per Creta, e la Britannia soltanto nel I secolo a.C. Nelle Americhe i vasai produssero ceramica fine senza alcun tornio fino al contatto con gli Europei. Nel mito egizio il dio Khnum plasma i primi esseri umani su un tornio da vasaio.

Non si sa con certezza quando sia comparso il tornio a pedata, con il suo lungo albero e il volano spinto col piede; alcuni torni antichi si giravano a mano o con un bastone. Torni più tardi usarono un pedale e una manovella per trasformare il moto alterno della gamba in rotazione, e oggi molti torni sono azionati da motori elettrici.

Dati chiave

Prima ceramica modellata al tornio
Levante meridionale, seconda metà del V millennio a.C.

Tornio veloce in Mesopotamia
In uso nel periodo di Uruk, verso il 3400 a.C.

Tornio da vasaio da Ur
Datato verso il 3100 a.C.

Arrivo in Britannia
I secolo a.C.

Fonti

1. Unveiling the sign value of early potter's wheels based on a 3-D morphometric analysis of Late Chalcolithic vessels from the southern Levant (Roux and Harush, 2022) · Bar-Ilan University research portal (Journal of Archaeological Science: Reports) https://cris.biu.ac.il/en/publications/unveiling-the-sign-value-of-early-potters-wheels-based-on-a-3-d-m/
2. Potter's wheel · Buckinghamshire Council Heritage Portal https://heritageportal.buckinghamshire.gov.uk/theme/tbc463
3. Pottery kick wheel plans · Mother Earth News https://www.motherearthnews.com/diy/pottery-kick-wheel-plans-zmaz70ndzgoe/
4. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
5. A preliminary study of rotation velocity regulation in pottery wheel-throwing: fieldwork with Indian potters using the low-inertia kick-wheel (Gandon et al., 2021) · HAL open archive (Journal of Archaeological Science: Reports) https://amu.hal.science/hal-03475151
6. The Ancient Greek potter’s wheel: experimental archaeology and web applications for velocity analysis (Neth and Hasaki, 2021) · Interdisciplinaria Archaeologica https://iansa.eu/papers/IANSA-2021-02-neth.pdf
7. Ceramics Unit 8: Wheel Throwing · Colorado State University Extension (4-H) https://co4h.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/27/2026/03/Ceramics-Unit-8-Wheel-Throwing.pdf
8. Weights of clay needed for ware sizes · Lakeside Pottery https://www.lakesidepottery.com/HTML%20Text/Tips/weights-of-clay-needed-for-ware-size.pdf
9. Water of plasticity · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/test/wopl

Fatti verificati il 2026-10-12

Bronzo

Rame e stagno, più duri insieme

c. 3300 a.C. · Preistoria · Mestieri e città

Richiede: Ceramica (p. 23), Controllo del fuoco (p. 9), Carbone di legna (p. 65)

Porta a: Pila (p. 240), Ingranaggi (p. 154), Siderurgia del ferro (p. 137), Pompa a pistone (p. 162)

1 Crogiolo con bronzo fuso 2 Mantice a vaso 3 Ugello d'argilla 4 Forma esterna d'argilla 5 Anima d'argilla 6 Imbuto e canale di colata

Il bronzo è rame legato con un po' di stagno, di solito circa un decimo. È più duro del rame, fonde a temperatura più bassa e riempie bene uno stampo; dal IV millennio a.C. ha dato il nome a un'intera età di attrezzi, armi, vasi e statue.

Che cos'è

Il bronzo è una lega, un metallo formato da due o più elementi, qui soprattutto rame con una parte minore di stagno; la ricetta classica prevede circa nove parti di rame per una di stagno, in peso. Gli oggetti antichi conservati contengono da circa due terzi al 95% di rame, a volte con altri metalli come arsenico, piombo o zinco.

Lo stagno indurisce il rame, e una lama tiene meglio il filo. Il bronzo fonde in un intervallo di temperature intorno ai 950 °C, secondo il tenore di stagno, mentre il rame puro fonde a 1085 °C; la temperatura più bassa è più facile da raggiungere con un fuoco di carbone di legna e mantici. Il bronzo fuso scorre inoltre bene nello stampo.

Come funziona

Il rame puro è fatto di cristalli i cui piani di atomi scivolano facilmente l'uno sull'altro; per questo si piega e si ammacca. Gli atomi di stagno sono più grandi. Sparsi nel rame, bloccano quei piani, così il metallo resiste meglio a piegarsi e ammaccarsi. La martellatura a freddo lo indurisce ancora, così una lama di bronzo poteva essere fusa e poi battuta sul filo per indurirlo.

Il tenore di stagno decide l'uso del metallo. Il bronzo con circa il 10% di stagno era lo standard per fondere attrezzi e armi; uno più tenero, con il 6%, veniva battuto in lamina. Il bronzo da campane supera il 20% di stagno: è duro e suona bene, ma si rompe se cade. Troppo stagno rende fragile qualsiasi bronzo.

Le materie prime del commercio dell'età del bronzo: un lingotto di rame «a pelle di bue» con quattro prese e pezzi di stagno.

I minerali di rame e di stagno raramente si trovano nello stesso luogo. Il rame si estraeva in molte regioni, Cipro fra le più ricche; lo stagno veniva da luoghi molto meno numerosi, come la Cornovaglia, i monti del Tauro e l'Afghanistan o le regioni vicine. Il bronzo dipendeva quindi da lunghe rotte commerciali, e un'interruzione nelle forniture di stagno poteva fermare la produzione molto lontano.

Uno stampo di pietra in due pezzi: chiuse, le due metà formano l'ascia, e il metallo si versa dall'estremità stretta.

Le forme semplici, come le asce piatte, si fondevano in stampi aperti o in stampi in due pezzi, di pietra o d'argilla. Gli oggetti cavi o molto dettagliati si potevano ottenere con la fusione a cera persa. Il fonditore modellava l'oggetto in cera attorno a un'anima d'argilla, aggiungeva bacchette di cera che sarebbero diventate il canale di colata e rivestiva tutto d'argilla fine. Cuocendo la forma, la cera colava via. Il bronzo versato nella forma calda occupava lo spazio lasciato dalla cera, e la forma veniva rotta quando il metallo si era raffreddato. Le fonderie artistiche lavorano ancora così: colano il bronzo ben oltre i 1000 °C in una forma riscaldata prima a parecchie centinaia di gradi, perché non si crepi.

Come costruirlo

Fondere il bronzo significa maneggiare metallo a più di 1000 °C. Imparatelo in un corso di fonderia o nel laboratorio di una scuola, con un fonditore esperto, prima di provarci altrove. I passaggi seguenti descrivono una piccola fusione a cera persa.

Fare il modello. Modellate un piccolo oggetto in cera da fonderia, pieno e in nessun punto più spesso di un dito. Fissate una bacchetta e una coppetta di cera nella parte più spessa: formeranno il canale di colata.

Rivestirlo. Fissate la coppetta di cera su una base di colata in gomma, mettetevi sopra un cilindro d'acciaio e riempitelo con un rivestimento venduto per la fusione del bronzo, miscela di gesso e silice; tolta la base, la coppetta diventa l'apertura di colata. Seguite alla lettera le istruzioni del produttore per impasto, presa ed essiccazione: ogni sistema ha le sue.

Sciogliere la cera. Scaldate la forma capovolta in un forno seguendo il ciclo di cottura previsto per il rivestimento, perché la cera coli via e la forma sia del tutto asciutta. Colate finché è ancora calda: una forma fredda o umida può spaccarsi o sputare il metallo.

Fondere il metallo. Usate bronzo da fonderia già pronto (rame con circa il 10% di stagno) o pesate rame e stagno puliti nel rapporto 9 a 1. Fondete in un crogiolo di argilla e grafite, in un forno ad aria soffiata; se fate voi la lega, aggiungete lo stagno per ultimo, e togliete le scorie.

Colare e rifinire. Sollevate il crogiolo con pinze adatte e versate con un getto continuo fino a riempire la coppetta. Lasciate raffreddare, rompete la forma, tagliate il canale, poi limate, cesellate e lucidate la superficie.

> **Sicurezza.** Il metallo fuso provoca ustioni gravi e incendi. Indossate indumenti protettivi contro gli spruzzi di metallo fuso, una visiera sopra occhiali di sicurezza, guanti e stivali da fonderia, con i pantaloni sopra gli stivali perché il metallo non vi entri, e tenete lontani i curiosi. Attrezzi, forme e lingotti devono essere perfettamente asciutti: una goccia d'acqua sotto il metallo fuso diventa vapore e lo proietta. Colate sopra sabbia asciutta, mai sul cemento, e lavorate all'aperto o sotto una forte aspirazione. Non fondete mai rottami di composizione sconosciuta: l'ottone libera fumi di zinco e alcune vecchie leghe contengono piombo o altri metalli tossici. Il rivestimento e le forme rotte liberano polvere di silice: impastateli e rompeteli a umido o sotto aspirazione e indossate un respiratore certificato e ben aderente per polveri fini di silice.

Storia ed evoluzione

Sull'altopiano iranico, in siti come Tal-i Iblis, si produceva rame legato con arsenico verso il 3800-3400 a.C. Il rame arsenicale è duro, ma i suoi fumi sono velenosi. Il bronzo allo stagno più antico finora noto è una lamina di Pločnik, in Serbia, che i suoi scavatori datano verso il 4650 a.C., anche se il contesto del ritrovamento è stato contestato; fu probabilmente ottenuta da un minerale che conteneva già entrambi i metalli. Nel Vicino Oriente l'età del bronzo si fa iniziare a metà del IV millennio a.C., all'inizio soprattutto con rame arsenicale; il bronzo allo stagno vi divenne la lega abituale nel III millennio. In Cina l'età del bronzo cominciò all'inizio del II millennio a.C.

Il relitto di Uluburun, affondato al largo della Turchia meridionale verso il 1300 a.C., mostra la scala di quei traffici. La stiva conteneva circa 10 tonnellate di rame cipriota, fra cui circa 350 lingotti a pelle di bue, e circa una tonnellata di stagno, all'incirca la proporzione di dieci a uno del bronzo. In Cina le corti shang e zhou facevano fondere vasi rituali per le offerte e le sepolture, con un metodo a stampi componibili senza paralleli altrove.

Un calderone rituale shang di tipo ding. I fonditori cinesi colavano questi vasi in stampi composti da molti pezzi d'argilla.

Verso il 1200 a.C. guerre e migrazioni nel Mediterraneo orientale interruppero molte rotte commerciali; una spiegazione è che lo stagno sia diventato scarso, ma gli indizi variano da regione a regione. Il ferro, il cui minerale si trova quasi ovunque, sostituì a poco a poco il bronzo per attrezzi e armi, man mano che i fabbri impararono a lavorarlo. Il bronzo rimase in uso per campane, statue, specchi, monete e ferramenta navale, e oggi per cuscinetti, molle e componenti marini che devono resistere all'acqua di mare.

Dati chiave

Lega classica
Circa 9 parti di rame per 1 di stagno

Fusione
In un intervallo intorno ai 950 °C, secondo lo stagno (rame puro: 1085 °C)

Bronzo allo stagno più antico trovato
Una lamina da Pločnik (Serbia), datata verso il 4650 a.C. (discusso)

Carico di Uluburun, verso il 1300 a.C.
Circa 10 t di rame e 1 t di stagno

Fonti

1. Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago (Radivojević et al., Antiquity, 2013) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/tainted-ores-and-the-rise-of-tin-bronzes-in-eurasia-c-6500-years-ago/496710374082FC211C512670F0A98004
2. Uluburun Shipwreck · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/Uluburun_Shipwreck/
3. Metalworking techniques · Victoria and Albert Museum https://www.vam.ac.uk/articles/metalworking-techniques
4. Rodin's lost-wax casting process · North Carolina Museum of Art https://learn.ncartmuseum.org/resources/rodins-lost-wax-casting-process/
5. Jue (ritual wine vessel), Late Shang dynasty · University of Arkansas Museum https://scholarworks.uark.edu/uamumaa/2
6. Bronze · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze
7. Cu-Sn system: calculated phase diagram and invariant reactions (after Shim, Oh, Lee and Lee, 1996) · National Institute of Standards and Technology https://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/cusn.html
8. C90700 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C90700.pdf
9. C91100 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91100.pdf
10. C91300 bell metal: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91300.pdf
11. Experimental design of the Cu-As-Sn ternary colour diagram (Radivojević et al., 2018) · Journal of Archaeological Science 90 https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.12.001
12. Arsenic bronze: dirty copper or chosen alloy? A view from the Americas (Lechtman, 1996) · Journal of Field Archaeology 23 https://doi.org/10.1179/009346996791973774
13. From the object to the mould: is there a connection between microstructure of a cast bronze object and its mould material used? (Jochum Zimmermann, Künzler Wagner and Osimitz, 2012) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10076
14. Castability control in metal casting via fluidity measures (Dewhirst, PhD thesis, 2008) · Worcester Polytechnic Institute https://web.wpi.edu/Images/CMS/A_2.pdf
15. Effect of composition and pouring temperature of Cu-Sn on fluidity and mechanical properties of investment casting (Slamet et al., 2024) · Archives of Foundry Engineering 24(3) https://doi.org/10.24425/afe.2024.151290

Fatti verificati il 2026-10-12

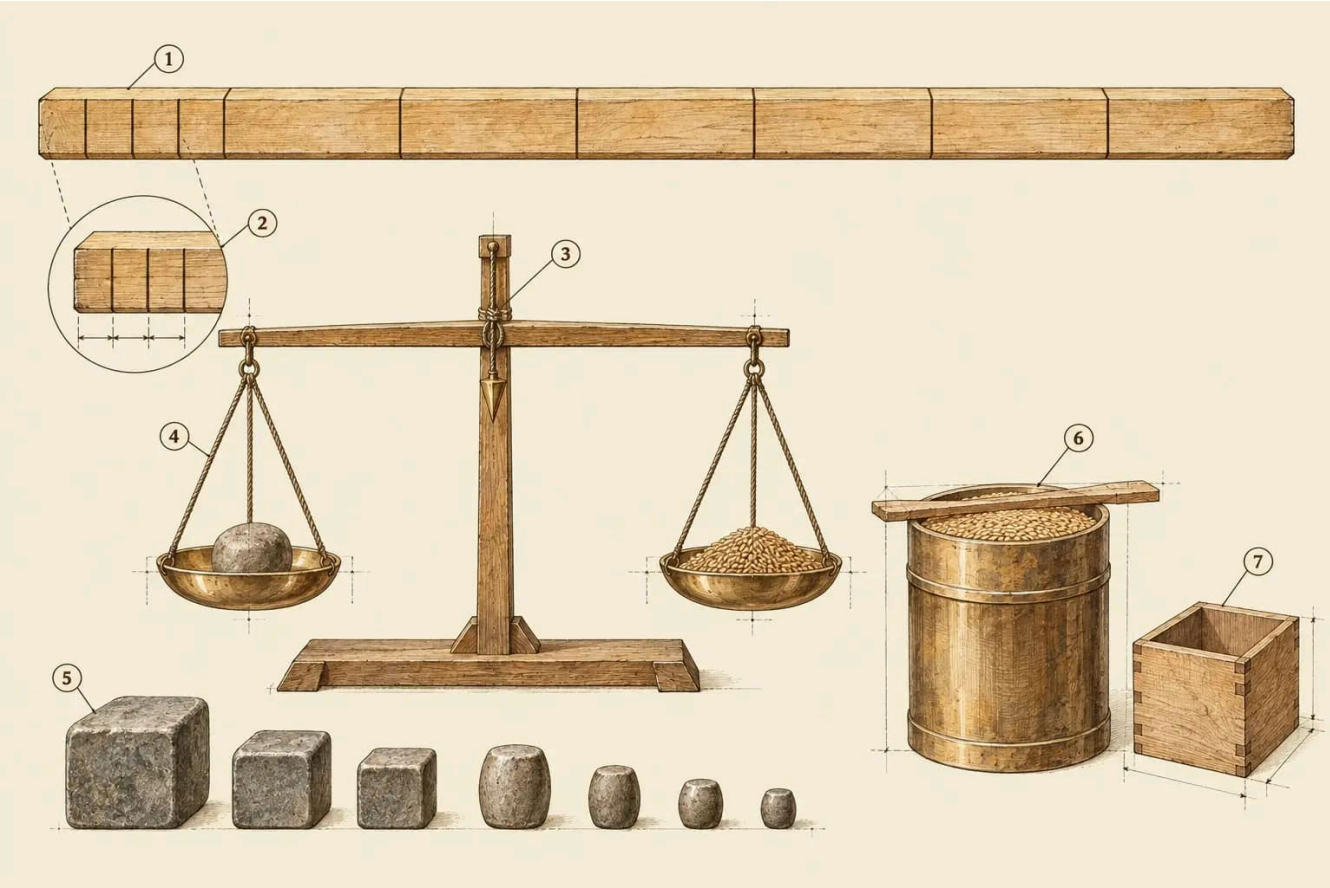
Misure e campioni

Il cubito, la bilancia e il metro

c. 3000 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Utensili di pietra (p. 5), Corda e cordame (p. 13), Ceramica (p. 23)

Porta a: Acquedotto (p. 146), Navigazione astronomica (p. 210), Reidratazione orale (p. 372), Cemento Portland (p. 256), Termometro e barometro (p. 222)



1 Regolo di un cubito, il campione di lunghezza 2 Primo palmo diviso in quattro dita 3 Giogo appeso al suo centro esatto, con indice 4 Piatto appeso a cordicelle 5 Serie di pesi in pietra 6 Misura per il grano con la rasiera 7 Cubo ricavato dall'unità del regolo

Una misura è una lunghezza, un peso o un volume concordati in anticipo, e un campione è l'oggetto che la conserva: un regolo, una serie di pietre o un recipiente, custoditi e copiati. L'Egitto misurava in cubiti, palmi e dita, i pesi da bilancia si diffusero dalla Mesopotamia a partire dal 3000 a.C. circa, e lo stesso lavoro di custodia e copia dei riferimenti portò al metro e al chilogrammo.

Che cos'è

Una misura permette di confrontare cose che non stanno una accanto all'altra: travi ordinate a una foresta lontana, grano venduto a volume, rame venduto a peso. Le unità in sé sono arbitrarie. Conta che tutte le copie concordino tra loro.

Un campione è l'oggetto che fissa un'unità: un regolo, un peso, un recipiente. Un'autorità lo custodisce e su di esso si controllano le copie d'uso. La tavola mostra gli strumenti di base come un artigiano potrebbe rifarli: un regolo di

un cubito, una bilancia a bracci uguali con i suoi pesi di pietra, una misura per il grano e una cassetta che trasforma una lunghezza in un volume.

Come funziona

Lunghezza. Le unità più antiche vengono dal corpo: avambraccio, palmo, dito, piede. Poiché i corpi sono diversi, un regolo fissa la lunghezza scelta. Il cubito reale egizio aveva 7 palmi di 4 dita (qui il palmo è la larghezza della mano, non la spanna), 28 dita in tutto, e i regoli giunti fino a noi misurano circa 52–53 cm. Kha, capo dei lavori sepolto a Deir el-Medina, ricevette dal re un cubito dorato, ma probabilmente lavorava con uno pieghevole trovato nella stessa tomba. Due regoli si confrontano senza numeri: affiancati, con le estremità allineate.

Peso. Una bilancia a bracci uguali confronta due carichi. Il giogo è appeso al centro e i piatti pendono alla stessa distanza dai due lati, così resta orizzontale solo quando i due piatti portano lo stesso peso. I pesi sono pezzi di pietra dura o di metallo molati finché non equilibrano un riferimento, spesso appiattiti sotto perché non rotolino.

Nelle città dell'Indo, nel III millennio a.C., i pesi erano per lo più cubi di selce. Uno studio su quelli di Mohenjo-daro, pubblicato nel 1938, trovò un'unità di circa 0,86 g e pesi di 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 unità, poi gradini più ampi come 160, 200, 320 e 640. I più comuni valevano 16 e 32 unità, circa 13,7 e 27,4 g. In diverse taglie usuali lo scarto medio rispetto al valore medio era solo dell'1–2 %.

I pesi dell'Indo erano cubi di selce a bande; nelle taglie minori, ognuno pesava circa la metà del precedente.

Volume. Grano, olio e vino si vendevano con recipienti di capacità concordata, e gli aridi si livellavano con un bastone dritto, la rasiera. Un volume può anche derivare da una lunghezza: l'anfora romana usata come unità valeva un piede cubo, e il primo chilogrammo era la massa di un decimetro cubo d'acqua.

Come costruirlo

Servono un listello dritto di legno duro ben stagionato di circa 60 cm, un secondo listello per il giogo, spago robusto, due ciotole uguali, pietre dure a grana fine, lime, una pietra piatta per molare, un coltello da tracciatura, un compasso a punte fisse e alcune tavolette sottili.

Scegliere e copiare il campione. Qualsiasi lunghezza può diventare l'unità: un avambraccio o un metro da falegname. Incidete due linee sottili di traverso sul regolo, alle estremità; le linee durano più delle facce di testa, che si consumano. Tenete questo campione all'asciutto e usatelo solo per controllare le copie. Per copiarlo, accostategli un listello vergine, riportate ogni linea con il coltello poi girate la copia da capo a fondo, allineate la sua prima linea con quella del campione e confrontate le altre: una linea che non coincide più rivela un errore.

Dividere senza calcoli. Per 7 palmi, aprite il compasso a occhio e riportatelo sette volte lungo il regolo. Se l'ultimo passo manca la linea finale, correggete l'apertura e ricominciate finché non la centra. Dividete un palmo in 4 dita allo stesso modo.

Costruire la bilancia. Appendete il giogo con una cordicella o un perno al centro del suo bordo superiore: così gran parte della sua massa sta sotto il fulcro e torna da sola in orizzontale. Appendete i piatti a tacche equidistanti dal centro, fissate un indice e raschiate l'estremità più pesante finché il giogo vuoto non resta orizzontale.

Verificarla scambiando i carichi. Equilibrate una pietra con della sabbia, poi scambiate pietra e sabbia. Se il giogo resta orizzontale, i bracci sono uguali. Altrimenti spostate di poco una tacca, rimettete in orizzontale il giogo

vuoto e ripetete la prova. Aggiungete poi piccoli oggetti a un piatto e annotate il più piccolo che fa muovere l'indice: i pesi controllati su questa bilancia non saranno più precisi di così.

Ricavare pesi da un riferimento. Anche una bilancia imperfetta copia un peso per sostituzione: equilibrate il riferimento con sabbia, toglietelo e molate una pietra nuova finché non equilibra la stessa sabbia. Per una serie in cui ogni peso vale il doppio del precedente, molate una pietra che equilibri due unità insieme, poi una che equilibri quella pietra e le due unità insieme, e così via. Confrontate i pesi grandi con la somma dei piccoli, perché gli errori si sommano.

Ricavare un volume dal regolo. Costruite una cassetta aperta con lunghezza, larghezza e profondità interne di un palmo ciascuna. L'acqua che contiene può segnare un livello su un recipiente o essere pesata per legare un peso alla vostra lunghezza; la definizione del primo chilogrammo fissava anche la temperatura dell'acqua. Il grano va versato senza scuotere né pressare, poi livellato con la rasiera.

> **Sicurezza.** Molare la pietra produce una polvere fine che può contenere silice: lavorate a umido, indossate occhiali e una mascherina FFP2 o FFP3 e pulite con acqua, non con la scopa. Bloccate il pezzo con un morsetto quando incidete con il coltello. Non fate pesi di piombo. Le misure fatte in casa non hanno valore legale: nella maggior parte dei paesi, vendere a peso o a volume richiede strumenti verificati.

Storia ed evoluzione

I pesi da bilancia compaiono in Mesopotamia e in Egitto verso l'inizio del III millennio a.C. I testi mesopotamici definiscono il siclo, circa 8,4 g, come 180 chicchi d'orzo, e molti pesi sono pietre levigate, alcune scolpite a forma di anatra o di leone. Un gruppo dell'Università di Gottinga ha confrontato 2.274 pesi da 127 siti datati al 3000–1000 a.C. circa. Unità simili si diffusero dalla Mesopotamia fino all'Europa, mentre la valle dell'Indo aveva un sistema proprio. Attorno alla media di ogni unità, i pesi si disperdono con un coefficiente di variazione (deviazione standard divisa per la media) del 5–6 % circa. Quando il gruppo ha realizzato 100 copie su repliche di bilance, ciascuna da un modello scelto a caso, la dispersione è risultata quasi la stessa, il 5,4 %, e gli autori sostengono che i mercanti mantenessero allineate le unità confrontando i pesi tra loro, senza un'autorità centrale.

Un tavolo pubblico delle misure: l'acquirente riempiva una cavità e poi la svuotava dal foro sottostante.

Le città conservavano comunque riferimenti ufficiali. A Pompei un tavolo di pietra nel foro aveva cavità tarate sulle misure osche locali; dopo che Augusto ebbe unificato le misure romane, il consiglio cittadino le fece allargare e ne fece scavare altre quattro. In Inghilterra Enrico VII fece realizzare nel 1495–1497 una iarda campione in bronzo e ne inviò copie ai borghi; risultò imprecisa e fu sostituita verso il 1588.

Nel 1791 l'Accademia delle scienze di Parigi propose un metro pari a un decimilionesimo della distanza dal polo all'equatore, e i geodeti misurarono il meridiano da Dunkerque a Barcellona per trovarlo. Nel 1799 un metro di platino, definito dalle sue facce terminali, e un chilogrammo pari a un decimetro cubo d'acqua furono depositati negli Archivi di Francia. Presto fu la barra stessa a fare da unità.

Nel 1875 diciassette paesi firmarono la Convenzione del metro, che istituì l'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure, vicino a Parigi. Dal 1889 il metro fu la distanza tra due tratti su una barra di platino-iridio a X, a 0 °C, e il chilogrammo la massa di un cilindro della stessa lega; copie di entrambi andarono agli Stati membri. Verifiche successive mostrarono che le copie si allontanavano lentamente dall'originale, di circa 25 microgrammi in valore

mediano nel 1989–1991. Il metro fu ridefinito con la luce del cripto nel 1960 e con la velocità della luce nel 1983. Dal 20 maggio 2019 il chilogrammo poggia sulla costante di Planck.

Il chilogrammo internazionale era custodito sotto campane di vetro; il metro del 1889 era una barra a sezione a X.

Dati chiave

Cubito reale egizio

7 palmi di 4 dita, 28 in tutto; i regoli conservati misurano circa 52–53 cm

Pesi dell'età del bronzo confrontati

2.274 pesi da 127 siti, 3000–1000 a.C. circa

Chilogrammo

Un cilindro di platino-iridio del 1889; definito dalla costante di Planck dal 20 maggio 2019

Pesi dell'Indo (Mohenjo-daro)

Unità di circa 0,86 g; i pesi più comuni valgono 16 e 32 unità, circa 13,7 e 27,4 g

Primi metro e chilogrammo

Campioni di platino depositati negli Archivi di Francia nel 1799

Fonti

1. Royal cubit rod inscribed with the name of pharaoh Amenhotep II (Suppl. 8647) · Museo Egizio, Turin https://collezioni.museoegizio.it/en-GB/material/S_8647
2. Cubit rod (Liverpool M13825) · Global Egyptian Museum / World Museum Liverpool https://globalegyptianmuseum.org/detail.aspx?id=4424
3. System of weights (A. S. Hemmy), in E. J. H. Mackay, Further Excavations at Mohenjo-daro (1938) · Archaeological Survey of India https://richardsproat.com/indus_weights/Hemmy-1938-weights-Mohenjodaro-Mackay.pdf
4. Hanging in the Balance: Precision Weighing in Antiquity (William B. Hafford, Expedition 47.2, 2005) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition?p=9719
5. Bronze Age: how the market began (press release, 29 June 2021) · University of Göttingen https://www.uni-goettingen.de/en/73613.html?id=6309
6. Bronze Age weight systems as a measure of market integration in Western Eurasia (Ialongo, Hermann and Rahmstorf, PNAS 118, 2021) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8271817/
7. Bronze Age Merchants Developed Measurement System · Archaeology Magazine https://archaeology.org/news/2021/06/30/210701-bronze-age-weights/
8. Roman Weights and Measures · University of Kent https://blogs.kent.ac.uk/lucius-romans/2017/12/13/roman-weights-and-measures/
9. VII.7.31 Pompeii, Mensa Ponderaria · Pompeii in Pictures https://pompeiiinpictures.com/pompeiiinpictures/R7/7%2007%2031.htm
10. Cooking the volumes (Amelia Carolina Sparavigna, 2012) · arXiv, Politecnico di Torino https://arxiv.org/abs/1201.3774
11. Exchequer standard yard of King Henry VII, 1495-1497 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co57527/exchequer-standard-yard-of-king-henry-vii-1495-1497-rules-measuring-devices-linear-standards
12. Time Line for the Definition of the Meter (William B. Penzes) · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/document/museum-timelinepdf
13. Defining the International System of Units (SI) · NIST Museum https://www.nist.gov/nist-museum/defining-international-system-units-si
14. Historical perspective: Unit of mass, kilogram · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/kilogram
15. Historical perspective: Unit of length, metre · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/metre
16. The evolution of the metre · Physics World https://physicsworld.com/a/the-evolution-of-the-metre-how-a-product-of-the-french-revolution-became-a-mainstay-of-worldwide-scientific-collaboration/
17. SM052 Analytical balance, circa 1962 · University of Malta Science Museum https://staff.um.edu.mt/rlib1/sm/balance.htm
18. Site 1149, table T17: physical properties by lithology (ODP Leg 185 Initial Reports) · Ocean Drilling Program, Texas A&M University https://www.iodp.tamu.edu/publications/185_IR/chap_04/c4_t17.htm

Fatti verificati il 2026-10-13

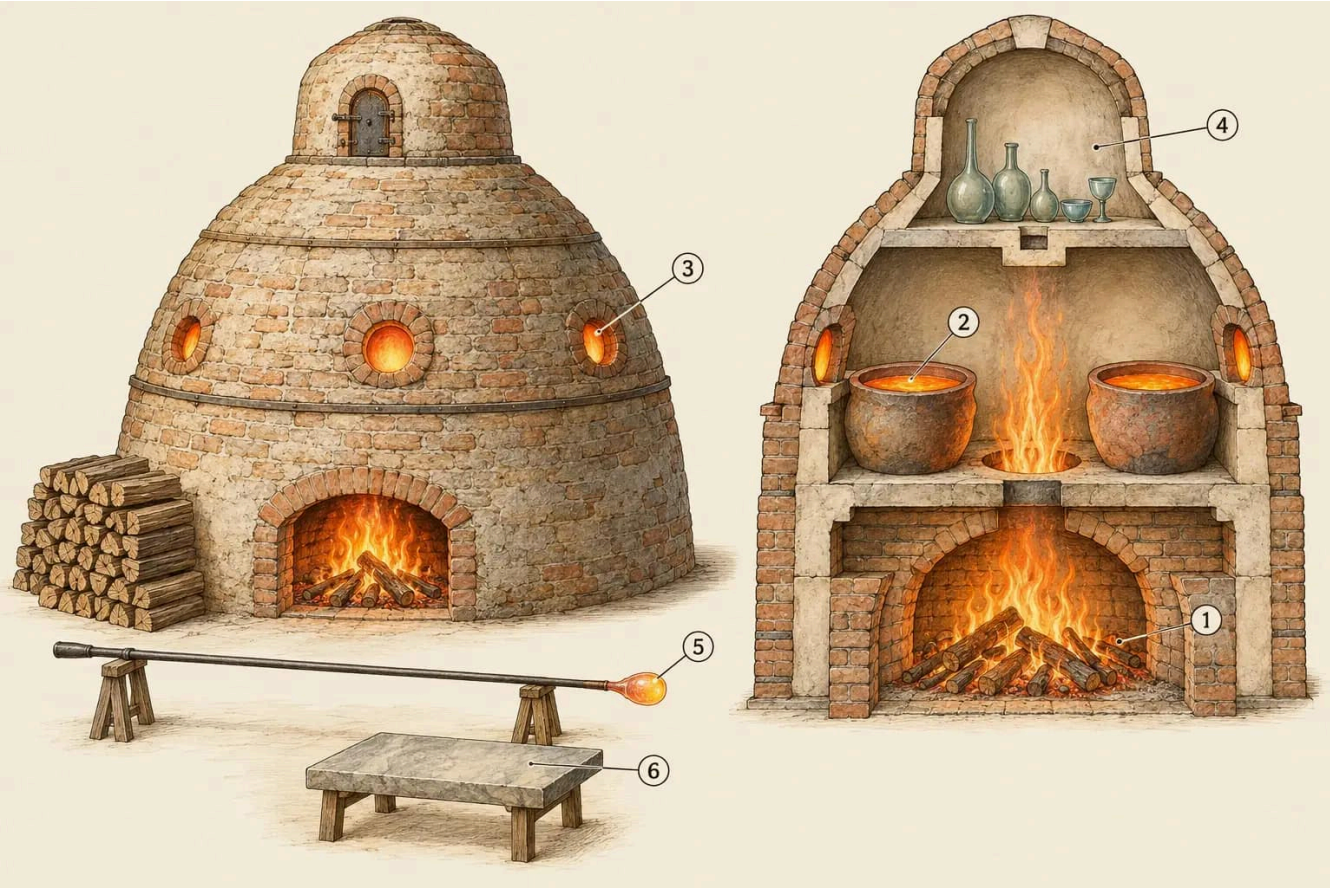
Vetro

Sabbia fusa e trasparente

c. 2500 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Ceramica (p. 23)

Porta a: Anestesia (p. 292), Conserve e pastorizzazione (p. 248), Occhiali (p. 197), Lampadina a incandescenza (p. 319), Penicillina (p. 354), Fotografia (p. 260), Cella solare (p. 367), Termometro e barometro (p. 222), Vaccinazione (p. 235)



1 Camera del fuoco 2 Crogiolo con vetro fuso 3 Bocca di lavoro 4 Camera di ricottura 5 Canna con una levata di vetro 6 Bronzino (marmo)

Il vetro è sabbia fusa con un fondente come la soda e un po' di calce, raffreddata prima che possa cristallizzare: diventa così un solido duro che, se puro, lascia passare la luce. Fatto dapprima in forma di perline in Mesopotamia, divenne un materiale d'uso comune quando i vetrai del Mediterraneo orientale impararono a soffiarlo con una canna nel I secolo a.C.

Che cos'è

Il vetro è un solido senza cristalli. Quando si fonde la sabbia con le giuste aggiunte e il liquido si raffredda abbastanza in fretta, gli atomi non hanno il tempo di ordinarsi in un reticolo regolare. Restano bloccati in una rete disordinata: per questo il vetro è duro e fragile, e per questo con il calore si ammorbidisce gradualmente invece di fondere a una temperatura precisa. Il vetro chiaro lascia passare la luce perché i suoi componenti assorbono poca luce visibile e una buona fusione non contiene bolle o cristalli che la disperdano.

Il vetro comune, antico o moderno, è vetro sodico-calcico. La sabbia silicea forma la rete. La soda, ricavata dal minerale natron o dalle ceneri di piante delle paludi salmastre, abbassa la temperatura di fusione fino a un livello che un fuoco di legna può raggiungere. La calce, spesso già presente nella sabbia come frammenti di conchiglie, rende stabile il vetro perché l'acqua non lo attacchi.

La tavola mostra un forno da vetro rotondo del tipo descritto da Georgius Agricola nel 1556, con la canna e il bronzino del soffiatore.

Come funziona

Il forno ha tre livelli. Nella camera inferiore brucia la legna. Le fiamme salgono da un foro rotondo nella camera centrale, dove crogioli d'argilla contengono il vetro fuso; Agricola descrive crogioli panciuti alti circa due piedi, introdotti attraverso aperture nella parete. Il calore passa poi da un'apertura più piccola nella camera superiore, meno calda, che serve per la ricottura.

Il soffiatore immerge l'estremità di una canna di ferro in un crogiolo e la fa ruotare per avvolgere una levata di vetro fuso, come miele su un cucchiaio. Facendola rotolare sul bronzino, una lastra liscia di pietra o di ferro, la centra e ne raffredda la pelle. Un soffio forma una bolla. Poi riscalda il pezzo alla bocca di lavoro, soffia e fa oscillare la canna per allungarlo, e lo modella con borselle, palette e blocchetti di legno. Per rifinire l'orlo, il vaso viene fissato per il fondo a una verga di ferro piena, il pontello, e staccato dalla canna.

Gli attrezzi del soffiatore: canna, verga di ferro, borsella, forbici, paletta e blocchetto di legno.

Il vetro si ritira raffreddandosi, e la sua pelle indurisce prima dell'interno. Un pezzo raffreddato all'aria aperta conserva tensioni interne e può scoppiare ore dopo. La ricottura lo impedisce: i vasi finiti passano in una camera calda e si raffreddano lentamente per molte ore. Agricola notava che i vasi non raffreddati piano si sarebbero spaccati.

Il colore viene da impurità e aggiunte. Il ferro della sabbia tinge il vetro di verde o di bruno; il manganese, che i vetrai d'età romana aggiungevano come decolorante, lo compensa, e il cobalto dà un blu intenso.

Come costruirlo

Il vetro si leva da un forno a ben oltre 1000 °C e si modella finché è ancora incandescente. Imparate la soffiatura in un laboratorio di vetro a caldo o in un corso con un istruttore; acquisite le basi, molti laboratori affittano ore di forno.

Partire dal rottame. I principianti lavorano vetro già pronto, acquistato come rottame da rifusione e fuso nel forno del laboratorio. Fare il vetro da una miscela grezza di sabbia, soda e calce richiede temperature più alte e fusioni lunghe, e quelle polveri sono pericolose.

Levare e marmorizzare. Preriscaldate l'estremità della canna, immergetela nel crogiolo e giratela con regolarità per raccogliere una piccola levata. Fatela rotolare sul bronzino perché diventi tonda e uniforme.

Soffiare e modellare. Soffiate brevemente, chiudete il bocchino col pollice e lasciate che l'aria si scaldi e si espanda. Riscaldate spesso alla bocca di lavoro e continuate a girare la canna perché il vetro non si afflosci. Modellate con blocchetti di legno bagnati, palette e borselle, e con la borsella formate un collo stretto fra il pezzo e la canna.

Passare al pontello e rifinire. Un aiutante accosta al fondo un pontello con una goccia di vetro caldo; raffreddate quel collo con una goccia d'acqua portata dalla borsella e battete sulla canna perché il pezzo passi sul pontello. Riscaldate, aprite l'orlo con la borsella, poi, come indica l'istruttore, staccate il pezzo dal pontello su un supporto resistente al calore e posatelo con cura nel forno di ricottura.

Ricuocere. Il forno di ricottura mantiene il pezzo a una temperatura stabilita, poi lo raffredda lentamente secondo un programma adatto al vetro e al suo spessore; per pezzi piccoli il ciclo dura di solito una notte. Toccatelo solo a ciclo concluso, come stabilito dall'istruttore.

> **Sicurezza.** Forni, bocche di lavoro e vetro caldo provocano ustioni gravi e incendi: indossate abiti di fibre naturali e scarpe chiuse, legate i capelli e considerate caldo ogni pezzo di vetro finché non siete certi che sia freddo. Usate occhiali fatti per la lavorazione del vetro, contro l'abbagliamento e gli infrarossi. La sabbia silicea e le polveri di miscela non vanno respirate: lasciate la produzione del vetro grezzo a laboratori attrezzati. Ricuocete ogni pezzo finito e non esponete mai il vetro caldo all'acqua o a una corrente d'aria fredda: può scoppiare. Fondete solo vetro approvato dal laboratorio e di composizione nota, in un forno ventilato: il vecchio cristallo al piombo e il vetro colorato ignoto possono sprigionare fumi nocivi.

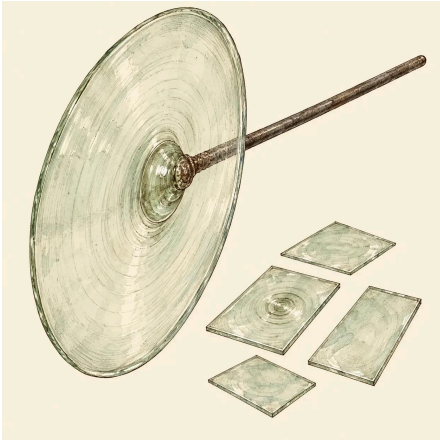
Storia ed evoluzione

Una fiaschetta modellata su nucleo: prima della soffiatura, i piccoli vasi si costruivano attorno a un nucleo che poi si toglieva.

Il vetro compare dapprima come piccole perline in Mesopotamia nella seconda metà del III millennio a.C., probabilmente come derivazione delle invetriature e della faïence. I primi vasi, della fine del XVI secolo a.C., furono fatti nella Mesopotamia settentrionale e presto in Egitto con la tecnica del nucleo: il vetro caldo veniva avvolto attorno a un nucleo d'argilla e sabbia fissato su una bacchetta di metallo, decorato con fili colorati, e il nucleo veniva raschiato via quando il vetro si era raffreddato.

In seguito la vetreria si divise in due mestieri. Grandi forni vicino alle coste del Levante e dell'Egitto trasformavano sabbia e natron in vetro grezzo, colato in blocchi che potevano pesare intorno alle 10 tonnellate; i blocchi venivano spezzati e i pezzi attraversavano il Mediterraneo fino alle botteghe che li rifondevano e li modellavano. Questa divisione del lavoro esisteva verso la metà del I millennio a.C. Nella seconda metà del I secolo a.C. artigiani di questa regione impararono a soffiare il vetro con una canna. La più antica testimonianza datata con precisione, tubetti di vetro soffiati a bulbo, viene da una bottega di Gerusalemme. La soffiatura rese il vetro economico, e nell'Impero romano divenne vasellame da tavola, bottiglie da dispensa e lastre per finestre.

Nell'Europa settentrionale, dall'anno 1000 circa, i vetrai usarono la potassa delle ceneri di legna al posto della soda. Nel 1291 Venezia ordinò ai suoi vetrai di trasferire i forni sull'isola di Murano. A George Ravenscroft, che brevettò un nuovo vetro chiaro nel 1674, si attribuisce per tradizione il cristallo al piombo inglese. Per secoli i vetri da finestra furono tagliati da vetro a corona, una bolla aperta e fatta girare in un disco, o da cilindri soffiati, aperti e spianati, ed entrambi i metodi limitavano la grandezza delle lastre. Negli anni Cinquanta Alastair Pilkington e Kenneth Bickerstaff misero a punto a St Helens il processo float, in cui il vetro fuso si distende in un nastro piatto su un bagno di stagno fuso. Redditizio verso il 1960, oggi è il modo normale di produrre il vetro per finestre.



Il vetro a corona: una bolla aperta sul pontello e fatta girare fino a diventare un disco. Il centro spesso, dove stava la verga, è l'occhio di bue.

Dati chiave

Oggetti di vetro più antichi
Perline, Mesopotamia, seconda metà del III millennio a.C.

Primi vasi di vetro
Modellati su nucleo, fine del XVI secolo a.C.

Soffiatura
Seconda metà del I secolo a.C., Mediterraneo orientale

Vetro float
Vetro che galleggia su stagno fuso, sviluppato negli anni Cinquanta

Fonti

1. The history of ancient glass · Republic of Türkiye, Ministry of Culture and Tourism https://www.ktb.gov.tr/EN-120370/the-history-of-ancient-glass.html
2. Composition of Late Hellenistic to Early Roman glass vessels from the Souk excavations, Beirut (Freestone, Brems and Degryse, Rendiconti Lincei, 2025) · UCL Institute of Archaeology https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10215996/1/Freestone_s12210-025-01311-x.pdf
3. Georgius Agricola, De re metallica (1556), trans. H. C. and L. H. Hoover, Book XII · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/cache/epub/38015/pg38015.txt
4. History of glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_glass
5. Float glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Float_glass
6. Standard Glass DGG X, Soda-Lime-Silica Glass: viscosity-temperature behaviour measured by the PTB · Deutsche Glastechnische Gesellschaft https://hvg-dgg.de/fileadmin/Standard_Glass_DGG_X.pdf
7. Physical properties of glass · EAG Laboratories https://www.eag.com/app-note/physical-properties-of-glass/
8. Intraoral pressure in ethnic wind instruments (Goss, 2013), citing intraoral pressures up to 200 mbar in glassblowing · arXiv https://arxiv.org/abs/1308.5214
9. Draper point · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Draper_point

Fatti verificati il 2026-10-12

Siderurgia del ferro

Uso più diffuso intorno al 1200 a.C.; minerale, carbone e basso fuoco

c. 1200 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Bronzo (p. 124), Carbone di legna (p. 65)

Porta a: Bicicletta (p. 252), Conserve e pastorizzazione (p. 248), Motore a combustione interna (p. 311), Bussola (p. 194), Motore elettrico (p. 276), Generatore elettrico (p. 272), Orologio meccanico (p. 201), Torchio da stampa (p. 205), Macchina da cucire (p. 268), Macchina a vapore (p. 227), Acciaio (p. 141), Trasformatore (p. 328)

1 Mantici 2 Tubiera (ugello d'argilla per l'aria) 3 Carica di carbone di legna e minerale 4 Parete d'argilla del forno 5 Blumo di ferro 6 Scoria spillata

La riduzione del ferro estrae il metallo dal minerale scaldato con carbone di legna in un piccolo forno d'argilla alimentato con aria dai mantici. Questo basso fuoco produce normalmente una massa solida e povera di carbonio, il blumo, che il fabbro compatta e lavora fino a ottenere ferro battuto.

Che cos'è

Il ferro è uno degli elementi più comuni della crosta terrestre, eppure quasi mai lo si trova allo stato metallico. Sta nei minerali sotto forma di ossidi: l'ematite rossa, la magnetite nera, il ferro di palude, bruno, scavato negli acquitrini. La riduzione toglie l'ossigeno a questi minerali e trattiene il metallo.

Per quasi tremila anni lo strumento per farlo fu il basso fuoco, un forno d'argilla alto circa un metro in cui il carbone di legna brucia sotto il soffio dei mantici. Ne esce il blumo, una massa spugnosa di ferro mescolato a

scoria. Battuto a caldo, diventa ferro battuto, tenace e facile da forgiare. Se ne fecero vomeri, chiodi e spade finché, alla fine del Medioevo, in Europa prese il sopravvento l'altoforno.

Dentro, un blumo grezzo è una spugna di ferro e scoria. Ore di forgiatura lo trasformano in una barra.

Come funziona

Il carbone che brucia davanti all'ugello scalda il forno. Più in alto nel tino, dove l'ossigeno scarseggia, forma monossido di carbonio, e questo gas sottrae ossigeno all'ossido di ferro mentre sale attraverso la carica. Il minerale cede il suo ossigeno per gradi, e sopra i 900 °C circa la reazione diventa rapida.

Il blumo si compatta prima a caldo con colpi leggeri; si può riscaldare tra una serie di colpi e l'altra.

Il forno lavora intorno ai 1.100–1.200 °C e produce normalmente un blumo solido, povero di carbonio. Il ferro puro fonde a 1.538 °C, ma il ferro ricco di carbonio può fondere alle temperature del basso fuoco. La silice e gli altri minerali della carica si combinano con parte dell'ossido di ferro e formano una scoria ricca di ferro, che può scorrere verso i 1.180 °C a seconda della composizione. La scoria scende accanto alla tubiera, l'ugello d'argilla che porta l'aria, mentre poco sotto i granuli di metallo si aggregano nel blumo. La scoria viene fatta uscire dall'apertura ad arco alla base oppure si raccoglie in una fossa sotto il forno.

Il blumo esce dal forno rovente e poroso, pieno di scoria e carbone. Se è fragile, può richiedere colpi leggeri all'inizio, talvolta con un mazzuolo di legno. Si può anche lasciarlo raffreddare e poi riscaldarlo prima di compattarlo; non è indispensabile batterlo subito al calor bianco. Riscaldamenti e passate di forgia successivi compattano il metallo ed espellono gran parte della scoria. La perdita di peso dipende dal blumo e dal metodo di forgiatura. Il carbonio è di solito poco e distribuito in modo irregolare, perciò nello stesso blumo possono esserci ferro dolce e zone d'acciaio.

Come si costruisce

Segue lo schema di una piccola riduzione, senza le misure di un disegno tecnico. Servono argilla impastata con sabbia e paglia, minerale, molto carbone di legna, mantici o un soffiatore e una squadra per un'intera giornata.

Preparare il minerale. Arrostirlo su un fuoco all'aperto per eliminare l'acqua e renderlo fragile, poi spezzarlo in pezzi di circa un centimetro. Ridurre il carbone a circa due centimetri e setacciare via la polvere, così che il gas possa attraversare la carica.

Costruire il tino. Su un terreno asciutto, innalzare un cilindro d'argilla alto circa un metro, con un diametro interno di 25–30 cm e pareti spesse diverse dita. Lasciare un foro vicino alla base per la tubiera e un'apertura ad

arco che si possa aprire e richiudere con l'argilla. Farlo asciugare lentamente per diversi giorni, poi completare con un piccolo fuoco all'interno.

Preriscaldare e caricare. Riempire il tino di carbone e immettere aria finché non arde per tutta l'altezza. Negli esperimenti WIRG si aggiungono circa 1 kg di minerale e 1 kg di carbone per carica ogni 10–15 minuti, con un totale dichiarato di 15–20 kg di ciascuno per riduzione. Sono 15–20 cariche doppie, pari a circa 2,5–5 ore a quel ritmo, senza presupporre cinque ore di carica continua. La durata dichiarata di circa cinque ore comprende la combustione finale; il preriscaldamento è a parte. Prevedere altro carbone per preriscaldare e per l'ultima carica di solo carbone: il totale delle cariche doppie non copre tutto il combustibile.

Regolare il soffio. Controllare la temperatura e la discesa delle cariche, regolando l'aria per mantenere la riduzione e il flusso della scoria. L'assorbimento di carbonio dipende dal rapporto tra carbone e minerale, dall'atmosfera del forno, dal tempo di permanenza e dalla chimica della scoria. Più aria, da sola, non permette di prevedere la formazione di ghisa: alcuni esperimenti hanno prodotto ferro meno carburato aumentando il flusso d'aria. Spillare la scoria quando si accumula; il WIRG indica una prima spillatura dopo circa tre ore.

Estrarre e compattare. Quando l'ultima carica si è consumata, aprire il fronte ed estrarre il blumo con le tenaglie. Se è fragile, cominciare con colpi leggeri, per esempio con un mazzuolo di legno, poi aumentare la forza quando tiene meglio. È anche possibile lasciarlo raffreddare e riscaldarlo prima del compattamento. Riscaldarlo in forgia tra le passate finché forma una barra coesa.

> **Sicurezza.** Un basso fuoco supera i 1.100 °C. La scoria liquida causa ustioni profonde e incendi. Lavorare all'aperto su terreno nudo e asciutto, lontano dall'erba secca, con sabbia asciutta a portata di mano. Tenere asciutti gli attrezzi e il terreno su cui cola la scoria. Non lasciare mai che l'acqua tocchi scorie calde o liquide o entri nel forno caldo: la formazione improvvisa di vapore può provocare un'esplosione. Indossare stivali di cuoio, guanti, grembiule e protezioni per gli occhi, e non stare davanti all'arco di spillatura. Dalla bocca esce monossido di carbonio: tenere il viso lontano e non eseguire riduzioni al chiuso. Argilla o minerale umidi possono scoppiare con il calore.

Storia ed evoluzione

Il ferro si lavorava già prima che si sapesse ridurlo. Alcuni dei più antichi oggetti di ferro furono ricavati a martellate da meteoriti, che contengono nichel. Gli indizi rimandano a riduzioni antiche in Anatolia, nell'attuale Turchia, ma il luogo e la data dell'invenzione restano incerti. Tra i frammenti di Kaman-Kalehöyük datati intorno al 1800 a.C. c'è anche dell'acciaio al carbonio, e il carbonio distribuito in modo irregolare fa pensare a fabbri che stavano ancora sperimentando. Intorno al 1250 a.C. il re ittita Hattusili III scrisse una lettera sulla produzione di «ferro buono».

Intorno al 1200 a.C. l'uso del ferro si amplia nel Vicino Oriente, con tempi diversi da una regione all'altra. La riduzione era già conosciuta prima. Intorno al 1100 a.C. era comune a Cipro e nel Levante, gran parte dell'Europa lo usava dall'800 a.C. circa, e nel 500 a.C. i bassi fuochi erano noti dal Mediterraneo alla Scandinavia. A differenza del rame e dello stagno per il bronzo, il minerale di ferro si poteva scavare quasi ovunque.

L'Africa ebbe tradizioni proprie, con forni in Nubia già nel VII secolo a.C. e in Africa occidentale al più tardi nel VI. La Cina apprese probabilmente la riduzione nel basso fuoco da occidente intorno all'VIII secolo a.C., poi passò presto a forni abbastanza caldi da produrre ghisa liquida.

In Europa i blumi pesarono per secoli circa due chili, abbastanza piccoli da forgiarli a mano. I forni romani, alti fino a due metri, davano blumi di 10–15 kg, e verso il 1500 i magli azionati ad acqua potevano lavorare blumi di 100 kg e oltre. L'altoforno di Lapphyttan, in Svezia, era già attivo dalla metà del XII secolo. Gli altoforni si diffusero

maggiormente nei secoli medievali successivi e verso il 1500 producevano ghisa in quantità; i bassi fuochi diminuirono gradualmente. Le fucine catalane di Spagna e Francia meridionale erano ancora in attività alla metà del XIX secolo.

Mantici a vaso: azionando a turno le coperture di cuoio, il flusso d'aria non si interrompe mai.

Dati chiave

Temperatura del forno
Circa 1.100–1.200 °C (il ferro puro fonde a 1.538 °C)

Carica
Negli esperimenti WIRG, circa 1 kg di minerale e 1 kg di carbone per carica, ogni 10–15 minuti

Durata di una riduzione
Circa 5 ore per cariche e combustione finale negli esperimenti WIRG; preriscaldamento a parte

Dimensioni del blumo
Circa 2 kg nella prima età del ferro, 10–15 kg nei forni romani

Diffusione dell'uso
Intorno al 1200 a.C. nel Vicino Oriente; la riduzione è più antica

Fonti

1. Bloomery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bloomery
2. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
3. Experimental Bloomery 4: The smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/?p=930
4. Questioning Diversity (of Iron) in the Workplace: Bloomery Iron, Cast Iron, China and the West (Liu & Wood, 2025) · Internet Archaeology 69 https://www.intarch.ac.uk/journal/issue69/14/full-text.html
5. Kaman-Kalehöyük · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kaman-Kaleh%C3%B6y%C3%BCk
6. The explosion of No. 5 Blast Furnace, Corus UK Ltd, Port Talbot · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/web34.pdf
7. Lee Sauder and Skip Williams Smelt Iron · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/advanced/aa_2_5.html
8. Experimental Bloomery Ironmaking: The Bloom · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/bloom.htm
9. Experimental Bloomery Ironmaking: The Smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/smelt.htm
10. Medieval Iron in Society (Rapport H 34) · Jernkontoret https://www.jernkontoret.se/en/publications/history-of-mining-and-metallurgy1/Publications/rapport-h-34/
11. The Innovation and Adoption of Iron in the Ancient Near East (Erb-Satullo, 2019) · Journal of Archaeological Research, Springer Nature https://link.springer.com/article/10.1007/s10814-019-09129-6
12. Flow Rates · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://www.warehamforge.ca/ironsmelting/flowrates.html
13. Experimental Iron Smelting: Norse Bellows Air · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://warehamforge.ca/ironsmelting/norse-air.html
14. The St Fagans Experimental Bloomery: the First Six Years (Young, 2005) · Historical Metallurgy Society News 59 https://historicalmetallurgy.org/media/pjwd2b5o/hmsnews59.pdf

Fatti verificati il 2026-10-12

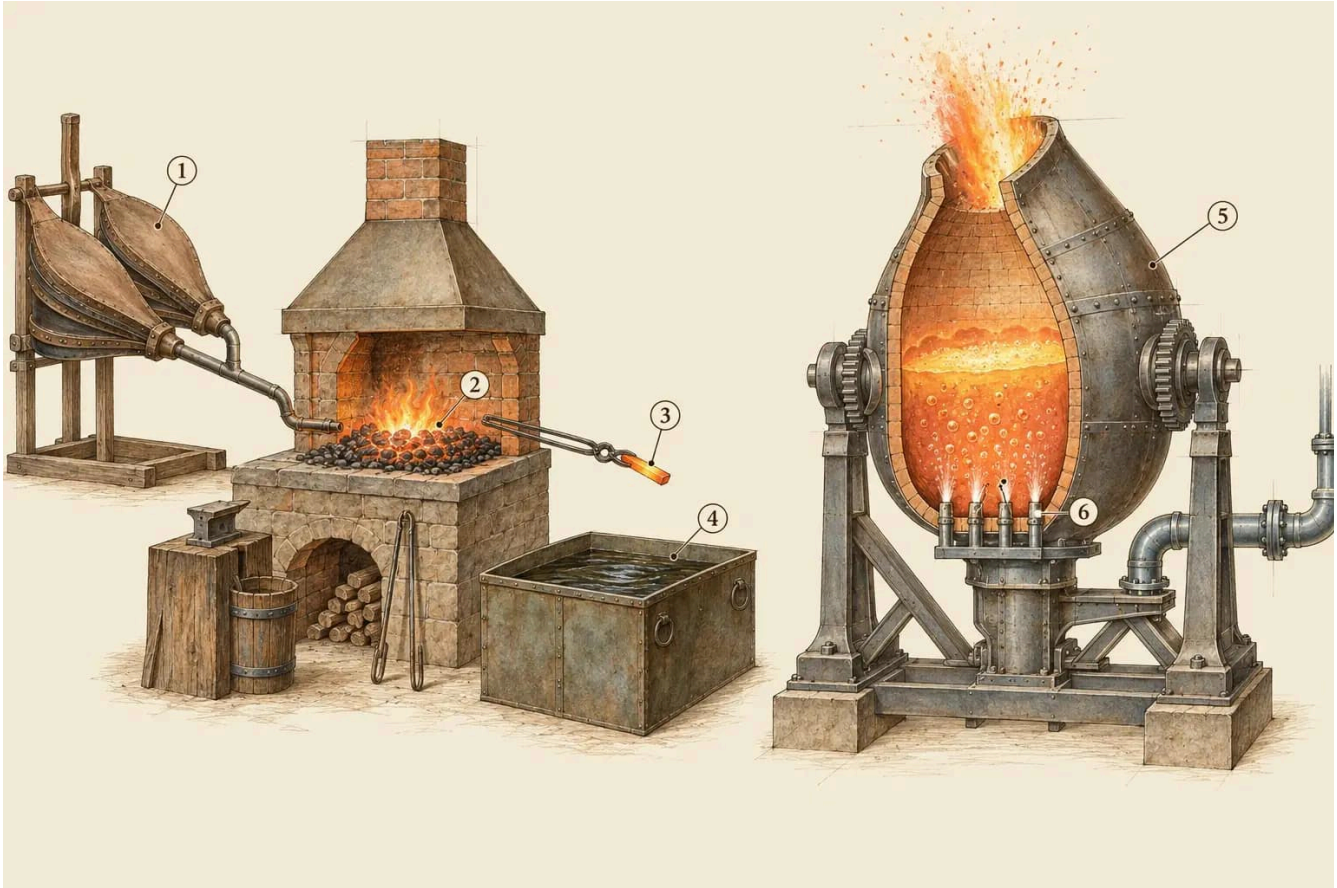
Acciaio

Ferro con il giusto carbonio

c. 1000 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Siderurgia del ferro (p. 137), Carbone di legna (p. 65)

Porta a: Motore a combustione interna (p. 311), Bussola (p. 194), Torchio da stampa (p. 205), Cemento armato (p. 306), Macchina da cucire (p. 268), Turbina a vapore (p. 323), Turbina idraulica (p. 264), Turbina eolica (p. 337)



1 Mantici 2 Forgia 3 Acciaio caldo tenuto con le tenaglie 4 Vasca di tempra 5 Convertitore Bessemer
6 Ugelli dell'aria sul fondo del convertitore

L'acciaio è ferro con una piccola quota di carbonio, dosata, di solito tra lo 0,1 e l'1,5% circa. Si forgia a caldo; con abbastanza carbonio si indurisce scaldandolo e temprandolo, e il rinvenimento lo rende poi più tenace a scapito di un po' di durezza.

Che cos'è

Il ferro puro è tenero: un coltello fatto di ferro si piega e perde presto il filo. Basta aggiungere un po' di carbonio, da qualche decimo di punto percentuale fino a circa uno e mezzo, e il metallo si forgia ancora a caldo. Con abbastanza carbonio, scaldato e immerso in acqua o in olio, diventa abbastanza duro da incidere il ferro. Quella lega è l'acciaio.

Per il suo carbonio sta a metà fra altri due materiali. Il ferro battuto non contiene quasi carbonio: è tenace e si salda bene, ma non indurisce. La ghisa ne contiene dal 2 al 4%: si cola nelle forme, ma è fragile e non si forgia.

L’acciaio invece passa da duro a tenace a seconda di come il fabbro lo scalda e lo raffredda. Oggi è di gran lunga il metallo più usato.

Come funziona

Gli atomi di carbonio sono piccoli e si sistemano negli spazi fra quelli del ferro. Il ferro freddo ne trattiene pochissimo, e l’eccesso forma carburo di ferro, durissimo. In un acciaio raffreddato lentamente il carburo si dispone in lamelle sottili alternate a ferro tenero: un insieme robusto, che si lima ancora.

Sopra i 727 °C circa il cristallo del ferro comincia a riorganizzarsi in una forma che scioglie il carbonio, e a trasformazione compiuta la calamita non lo attira più. La temperatura e il tempo di permanenza necessari per sciogliere abbastanza carburo dipendono dal tipo di acciaio. Se il pezzo si raffredda piano, il carbonio torna fuori come carburo. Se viene temprato non ne ha il tempo: resta intrappolato in un cristallo deformato, la martensite, durissima e fragile come il vetro.

Per questo si fa il rinvenimento: l’acciaio viene riscaldato fra 200 e 350 °C circa, la tensione si allenta e il metallo diventa molto più tenace a scapito di un po’ di durezza. Sull’acciaio lucidato si forma una sottile pellicola di ossido il cui colore segue la temperatura, dal paglierino chiaro verso 210 °C fino al blu scuro verso 290 °C, passando per il bruno e il porpora. Quei colori, che dipendono anche dal tempo e dallo stato della superficie, sono stati per secoli la guida approssimativa del fabbro: paglierino per un rasoio o uno scalpello da legno, porpora o blu per una molla. La ricottura, che scalda e poi raffredda molto lentamente, porta invece allo stato più tenero, facile da segare e da limare.

Quando si scalda il gambo, i colori avanzano verso il tagliente; il fabbro raffredda l’utensile quando vi arriva quello giusto.

Sotto lo 0,3% circa di carbonio l’acciaio indurisce poco; con più carbonio diventa più duro e sopporta peggio i colpi. Un ferro chiuso nel carbone di legna e tenuto al rosso per ore assorbe carbonio dalla superficie. Temprato in seguito, acquista una pelle dura sopra un cuore tenace: è la cementazione seguita da tempra.

Come costruirlo

Il trattamento termico è la parte della siderurgia alla portata di una piccola officina. Conviene partire da una barra di acciaio da utensili non legato ad alto carbonio, di qualità nota, e conservare la scheda del fornitore, che indica temperature, tempi di permanenza e mezzo di tempra esatti. Una vecchia lima è la fonte tradizionale, ma il suo acciaio è sconosciuto e alcune lime economiche sono indurite solo in superficie.

Addolcire e sagomare. Ricuocere la barra come indica la sua scheda. Il metodo tradizionale, portarla al rosso scuro e lasciarla raffreddare per una notte nella cenere di legna, è solo approssimativo. Molare la barra addolcita in un piccolo punzone o in uno scalpello da ferro, tenendola fredda.

Temprare. Scaldare in modo uniforme l’estremità di lavoro nel fuoco di carbone di legna o con un cannello a gas. Il segno tradizionale è che la calamita non si attacchi più, poi ancora un po’ di calore, fino al rosso ciliegia visto in ombra, ma temperatura e permanenza indicate dalla scheda sono più affidabili. Immergere il pezzo diritto e per intero nel mezzo di tempra indicato, di solito olio per un piccolo utensile, in un bagno di parecchi litri tenuto ben al di sotto del suo punto di infiammabilità. Muovere il pezzo su e giù finché non si raffredda.

Verificare. Una lima nuova passata sull’estremità temprata deve scivolare senza mordere. Se morde, forse solo la superficie ha perso carbonio nel fuoco, oppure la tempra non è riuscita: molare un piccolo punto fino al metallo

lucido e riprovare prima di scaldare di nuovo.

Rinvenire subito. La scheda indica temperatura e durata del rinvenimento, che un forno mantiene meglio: un ciclo comune è un'ora in temperatura, un raffreddamento fino a temperatura ambiente e una seconda ora. Il metodo tradizionale è più rapido e solo approssimativo. Lucidare l'estremità con carta abrasiva, scaldare lentamente il gambo e guardare i colori che avanzano verso la punta. Raffreddare l'utensile quando il bruno o il porpora, verso 260–270 °C, raggiunge il tagliente di uno scalpello da ferro, o il paglierino, verso 220 °C, quello di uno scalpello da legno.

> **Sicurezza.** Il calore della forgia provoca ustioni profonde, e l'acciaio sotto il rosso sembra freddo anche quando non lo è: trattare ogni pezzo come caldo. Indossare occhiali protettivi, con una visiera sopra durante la tempra, guanti di cuoio per maneggiare i pezzi caldi ma mai alla mola, scarpe di cuoio e abiti di cotone o di lana. Lavorare all'aperto o con forte ventilazione, perché la forgia libera monossido di carbonio e l'olio caldo fumo. Usare un contenitore metallico per l'olio con un coperchio metallico a portata di mano, e immergere il pezzo per intero e in fretta, il che limita le fiammate. Se si incendia, chiudere il coperchio; non gettare mai acqua sull'olio in fiamme né lasciare che l'acqua entri nell'olio caldo. Tenere vicino un estintore a polvere. Non battere, piegare, lasciar cadere o tentare di spezzare mai un acciaio temprato e non rinvenuto: può spaccarsi e lanciare schegge taglienti.

Storia ed evoluzione

Frammenti da Kaman-Kalehöyük, in Anatolia, del 1800 a.C. circa, contengono già acciaio, probabilmente per caso. Un piccone da minatore del monte Adir, in Galilea, a lungo datato al XII secolo a.C., mostra una struttura temprata e leggermente rinvenuta, ma la sua data è stata poi messa in dubbio. Nessun ritrovamento fissa l'inizio della produzione intenzionale di acciaio. Questa tavola adotta per convenzione il 1000 a.C. circa, l'epoca in cui il ferro entrò nell'uso comune nel Levante, fra il 1100 e il 900 a.C. circa.

Un crogiolo spezzato dopo la cottura e la focaccia d'acciaio che conteneva.

Nell'India meridionale il ferro veniva chiuso in crogioli d'argilla con materia ricca di carbonio e fuso in focacce uniformi con l'1–1,5% di carbonio; i crogioli di Kodumanal, nel Tamil Nadu, risalgono al II secolo a.C. circa. Questo acciaio al crogiolo, che gli europei chiamarono poi wootz, è quello delle lame dal disegno marezzato note come acciaio di Damasco. In Sri Lanka, forni sui pendii soffiati dal monsone produssero acciaio fra il VII e l'XI secolo, forse per il commercio nell'oceano Indiano.

La Cina seguì ancora un'altra strada. Una tomba dello stato di Yan, dell'inizio del III secolo a.C., contiene già acciaio temprato, ma il ferro cinese era allora soprattutto ghisa. Togliendole carbonio si ottenevano metalli più teneri: tenuta calda all'aria per giorni, oppure rimestata in un focolare di affinazione sotto il soffio dei mantici, la ghisa diventava acciaio o ferro dolce. I focolari di affinazione scavati risalgono al I secolo a.C.

L'Europa moderna usò la cementazione, messa a punto prima in Germania. A Derwentcote, in Inghilterra, dal 1730 circa, barre di ferro svedese sepolte nel carbone di legna restavano da sei a dieci giorni sopra i 1.100 °C; l'acciaio vescicolare veniva poi riunito in pacchi e saldato alla forgia per renderlo più uniforme. Verso il 1740 l'orologiaio Benjamin Huntsman fuse l'acciaio vescicolare in crogioli e lo colò in un acciaio omogeneo.

Nel 1856 Henry Bessemer soffiò aria attraverso la ghisa fusa: carbonio e silicio bruciarono e il loro calore mantenne liquido il metallo. Negli anni Sessanta dell'Ottocento arrivarono i forni Martin-Siemens. Nel 1952, a Linz,

in Austria, entrarono in funzione convertitori soffiati con ossigeno puro; producono ancora la maggior parte dell'acciaio, mentre i forni elettrici, alimentati soprattutto con rottami, ne danno circa il 29%.

Nella cassa di cementazione le barre di ferro restano una settimana o più nel carbone ed escono coperte di vesciche.

Dati chiave

Carbonio

Circa 0,1–1,5%; il ferro battuto ne ha meno, la ghisa il 2–4%

Colori di rinvenimento

Paglierino verso 220 °C, porpora verso 270 °C, blu scuro verso 290 °C

Produzione mondiale nel 2024

Circa 1,9 miliardi di tonnellate, il 29% da forni elettrici

Calore di tempra

La trasformazione inizia verso 727 °C; ogni qualità ha la sua temperatura di tempra e il suo tempo di permanenza a temperatura

Soffiaggio Bessemer

Circa 15 tonnellate di ghisa trasformate in acciaio in 10–20 minuti

Fonti

1. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
2. A Brief History of Martensites · Sethna group, Cornell University https://sethna.lassp.cornell.edu/Tweed/Martensite_History.html
3. The Transition from Bronze to Iron in Canaan: Chronology, Technology, and Context (Yahalom-Mack & Eliyahu-Behar, 2015) · Radiocarbon, Cambridge University Press https://doi.org/10.2458/azu_rc.57.18563
4. Early iron in China, Korea, and Japan (Wagner) · Donald B. Wagner https://donwagner.dk/KoreanFe/KoreanFe.html
5. Crucible steel in South India: preliminary investigations on crucibles from some newly identified sites (Srinivasan & Griffiths) · MRS Online Proceedings Library, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-online-proceedings-library-archive/article/abs/crucible-steel-in-south-indiapreliminary-investigations-on-crucibles-from-some-newly-identified-sites/0C7F9DB996F0DD5758502D8F62201947
6. Wootz Crucible Steel: A Newly Discovered Production Site in South India (Srinivasan, 1994) · Papers from the Institute of Archaeology, UCL https://student-journals.ucl.ac.uk/pia/article/id/164
7. Wind-Powered Furnaces · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9609/newsbriefs/srilanka.html
8. History of Derwentcote Steel Furnace · English Heritage https://www.english-heritage.org.uk/visit/places/derwentcote-steel-furnace/history/
9. A Crucible of Steel History · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/blog/a-crucible-of-steel-history
10. Bessemer Process · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Bessemer_Process
11. Bessemer Converter · Sheffield Museums https://www.sheffieldmuseums.org.uk/whats-on/bessemer-converter/
12. The history of LD steelmaking: back to the roots · Primetals Technologies https://www.primetals.com/en/metals-magazine/the-history-of-ld-steelmaking-back-to-the-roots/
13. 60 years of the Linz-Donawitz (LD) process · voestalpine https://www.voestalpine.com/stahl/en/Stories/60-years-of-the-Linz-Donawitz-LD-process
14. The share of EAF in global steel production in 2024 increased to 29.1% (worldsteel data) · GMK Center https://gmk.center/en/news/the-share-of-eaf-in-global-steel-production-in-2024-increased-to-29-1/
15. Austenitizing, Magnetism, and Heat Treating · Larrin Thomas, Knife Steel Nerds https://knifesteelnerds.com/2019/03/18/magnet-heat-treating/
16. Steel Tempering Temperatures: Colour Chart · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/technical-information/steel-heat-treatment/tempering-temperatures

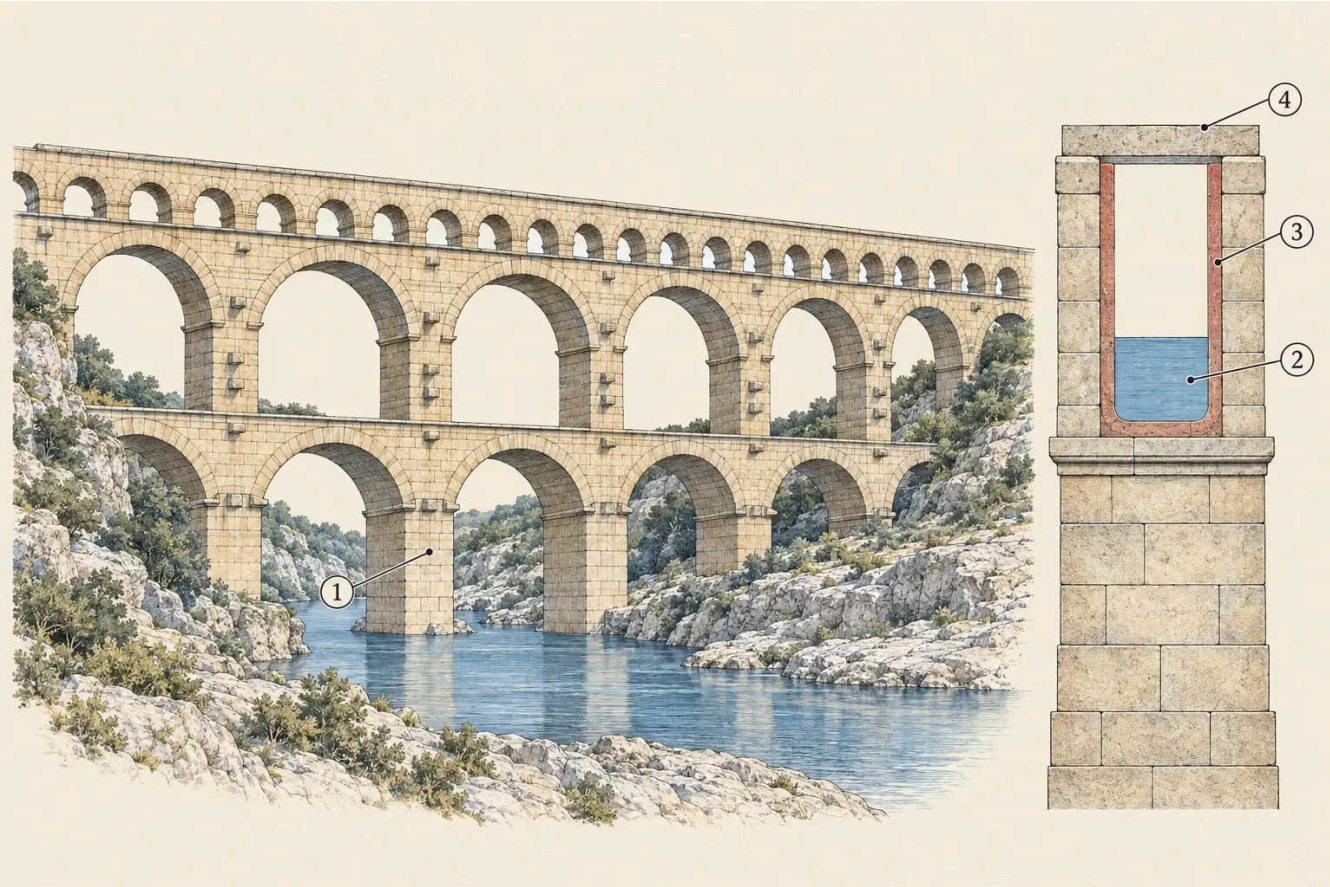
Fatti verificati il 2026-10-14

Acquedotto

Acqua portata dalla sola gravità

c. 690 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Mattoni (p. 40), Misure e campioni (p. 128), Calce e malta di calce (p. 31), Irrigazione (p. 52), Arco e volta (p. 73)



1 Arcate (piloni e archi) 2 Canale (specus) 3 Rivestimento impermeabile (opus signinum) 4 Lastre di copertura

Un acquedotto porta l'acqua da una sorgente lontana fino a una città in un canale che scende di pochissimo lungo tutto il percorso, così che basta la gravità a far scorrere l'acqua. I Romani ne costruirono centinaia, in galleria, in trincea coperta o su arcate come il Pont du Gard, e alcuni portavano decine di migliaia di metri cubi al giorno.

Che cos'è

Un acquedotto è un corso d'acqua artificiale che porta l'acqua da una sorgente al luogo in cui serve. Quasi tutto il tracciato resta nascosto: un canale di pietra o di calcestruzzo, coperto, che corre in trincea o in galleria lungo i fianchi delle colline. Le alte arcate che vengono subito in mente sono solo i punti in cui il canale doveva attraversare una valle senza perdere quota.

La tavola mostra uno di questi attraversamenti, del tipo costruito sul fiume Gardon vicino a Nîmes nel I secolo d.C. Il canale corre in cima all'ordine più alto.

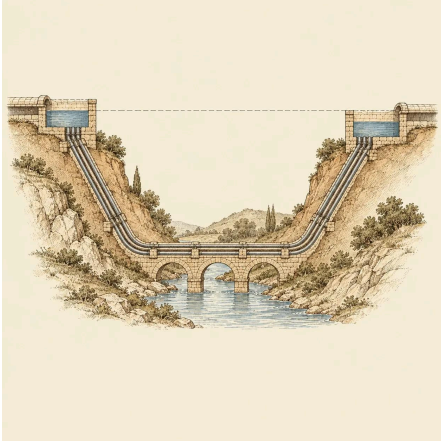
Come funziona

Dove l'acqua scorre in un canale a pelo libero, come avviene per gran parte di un acquedotto, il canale deve scendere senza interruzioni dalla sorgente alla città, senza mai risalire e senza precipitare. Con troppo poca pendenza l'acqua rallenta e deposita il limo; con troppa, consuma il rivestimento. L'acquedotto di Nîmes, lungo circa 50 km, perde soltanto 12-13 m tra sorgente e città (le misure differiscono un poco), in media circa 25 cm per chilometro, e su alcuni tratti molto meno. Sul Pont du Gard la pendenza si misura in pochi centimetri.

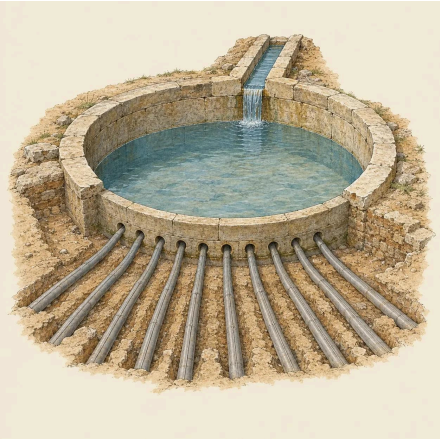
Il canale, detto specus, era di solito largo quanto un uomo e un po' più alto, perché gli operai potessero entrarvi a pulirlo. Fondo e pareti erano rivestiti di opus signinum, una malta di calce con tegole e cocci frantumati che indurisce e trattiene l'acqua. Cordoli arrotondati alla base dei muri chiudevano gli angoli, dove cominciano le perdite. Lastre di pietra o una volta coprivano il tutto, tenendo fuori sporcizia e sole e impedendo all'acqua di scaldarsi.

Tracciare una pendenza simile per decine di chilometri era compito degli agrimensori. Vitruvio, alla fine del I secolo a.C., descrive il corobate, un lungo tavolo di legno i cui fili a piombo, o con il vento una scanalatura piena d'acqua, indicano se è in bolla. Con questo strumento e con aste di mira una squadra riportava una linea di livello attraverso tutto il paesaggio e segnava la pendenza su picchetti.

Le valli profonde si potevano superare anche con un sifone rovescio. L'acqua entrava in una vasca sul primo versante, scendeva in tubi di piombo a tenuta, attraversava il fondovalle su un ponte basso e risaliva il versante opposto fino a una seconda vasca posta un po' più in basso. Vitruvio descrive già questo sistema e chiama venter, il ventre, il lungo tratto quasi orizzontale che attraversa il fondovalle. Il sifone risparmiava muratura, ma il piombo costava caro e i giunti dovevano reggere una forte pressione. Secondo la traduzione consueta, il suo testo prevede anche sfiati per far uscire l'aria intrappolata, anche se il senso preciso del termine che usa è discusso. Per le condotte ordinarie preferiva la terracotta, perché riteneva malsana l'acqua che passava nel piombo.



Un sifone rovescio: l'acqua risale sul versante opposto, ma mai del tutto fino al livello di partenza.



La vasca di distribuzione circolare di Nîmes, da cui dieci tubi di piombo portavano l'acqua ai quartieri.

In città l'acqua arrivava a una vasca di distribuzione, il castellum. Vitruvio ne descrive uno diviso in tre, con uscite separate per le fontane pubbliche, le terme e le case private, disposto in modo che le fontane fossero le ultime a restare senz'acqua. Quello conservato a Nîmes è una vasca rotonda di circa 5,5 m di diametro, da cui dieci tubi di piombo raggiungevano i quartieri. L'acqua scorreva giorno e notte; quella non usata proseguiva a lavare le fogne. Vitruvio aggiunge che i canoni pagati dai privati dovevano coprire la manutenzione dell'acquedotto. Per Nîmes le stime della portata vanno da circa 20.000 a 40.000 m^3 al giorno, e l'acqua impiegava circa un giorno ad arrivare dalla sorgente.

Come costruirlo

I grandi acquedotti romani richiedevano fondi pubblici, agrimensori esperti e squadre numerose. Nella scala di un orto, gli stessi principi portano senza pompa l'acqua di una sorgente o di una cisterna piovana fino a uno stagno o a un campo.

Rilevare i livelli. Segnate la sorgente e il punto d'arrivo e misurate il dislivello. Un tubo di plastica trasparente pieno d'acqua fa da corobate moderno: l'acqua sta alla stessa altezza alle due estremità. Piantate un picchetto ogni pochi metri lungo il tracciato e annotate la quota di ciascuno.

Il corobate: un tavolo da livellamento di circa 20 piedi romani, controllato con fili a piombo o con l'acqua in una scanalatura.

Scegliere la pendenza. Un canale liscio con acqua pulita richiede di solito pochi millimetri di caduta per metro; dimensionatelo per la portata prevista ed evitate tratti ripidi dove l'acqua correrebbe troppo. Distribuite il dislivello in modo uniforme quanto il terreno consente e preferite una deviazione lungo la curva di livello a un dosso che fermerebbe l'acqua.

Scavare e posare il canale. Scavate la trincea fino alle profondità segnate, costipate il fondo e posate il canale: mezzi tubi di terracotta, una canaletta in muratura rivestita di malta di calce idraulica o di cemento, lasciata indurire prima di farvi passare l'acqua, oppure un semplice tubo. Controllate la pendenza con il tubo d'acqua a ogni giunto. Se è in muratura, sigillate i giunti e arrotondate gli angoli interni.

Aggiungere una vasca di sedimentazione. Subito dopo la sorgente costruite una piccola vasca dove l'acqua rallenta e deposita la sabbia prima di entrare nel canale. Mettete una griglia contro le foglie e uno sfioratore, perché una piena non faccia saltare l'opera.

Coprirlo. Chiudete il canale con lastre o tegole. L'acqua coperta resta più pulita e più fresca, e vi crescono meno alghe.

> **Sicurezza.** Le pareti di una trincea possono franare, soprattutto in terreno sciolto o bagnato: puntellatele o datele una scarpa prima di lavorare in una trincea profonda, e non lavorateci mai da soli. Non usate tubi né saldature di piombo per acqua che berranno persone o animali, e considerate l'impianto non potabile: non bevetene l'acqua. La malta di calce è caustica: indossate guanti e occhiali, e una mascherina antipolvere quando mescolate la calce a secco. Ogni vasca aperta è un rischio di annegamento per i bambini piccoli: recintatela o copritela. Alzare archi o muri sopra la testa significa lavorare in quota con pietre pesanti: usate un ponteggio vero e chiedete consiglio a un muratore.

Storia ed evoluzione

Le condotte d'acqua sono molto più antiche di Roma. Il re assiro Sennacherib fece costruire, tra il 703 e il 690 a.C. circa, un canale che portava acqua a Ninive; a Jerwan superava una valle su un ponte di calcare lungo oltre 280 m, spesso indicato come il più antico ponte-acquedotto conosciuto.

Il primo acquedotto di Roma, l'Aqua Appia, fu iniziato nel 312 a.C. sotto il censore Appio Claudio Cieco, che costruì anche la via Appia. Correva per circa 16,5 km, quasi interamente sottoterra. Seguirono l'Anio Vetus nel 272 a.C., l'Aqua Marcia nel 144 a.C., lunga oltre 90 km, e l'Aqua Claudia con l'Anio Novus, completati nel 52 d.C. Alla fine del I secolo l'imperatore Nerva nominò Frontino curatore delle acque; il suo trattato elenca nove acquedotti al servizio della città, con le loro lunghezze e le frodi che vi scoprì.

Il Pont du Gard fu costruito probabilmente tra il 40 e il 60 d.C. circa, anche se alcuni studi estendono l'intervallo fino all'80. I suoi tre ordini hanno 6, 11 e 35 archi; altri 12 dell'ordine superiore sono andati perduti. I grandi blocchi di calcare dei suoi archi, alcuni fino a 6 tonnellate, sono posati senza malta. L'acquedotto di Nîmes smise di funzionare via via che depositi e radici lo ostruivano, probabilmente entro il VI secolo. Il ponte è sopravvissuto

anche perché lo si usava per attraversare il fiume; nel 1743-1747 Henri Pitot vi affiancò un ponte stradale all'altezza dell'ordine inferiore, ed è Patrimonio dell'umanità dal 1985.

Città e monasteri medievali costruirono acquedotti più piccoli, e le reti moderne uniscono canali e gallerie a gravità a condotte in pressione, pompe e serbatoi. Una pendenza dolce e costante regola ancora oggi canali, fognature e altre condotte in cui l'acqua scorre per gravità.

Dati chiave

Primo acquedotto di Roma
Aqua Appia, 312 a.C., circa 16,5 km, quasi tutto sotterraneo

Pont du Gard
Circa 48 m di altezza, tre ordini di archi, costruito verso il 40-60 d.C.

Acquedotto di Nîmes
Circa 50 km per un dislivello di 12-13 m (circa 25 cm al km)

Portata stimata a Nîmes
Da circa 20.000 a 40.000 m^3 al giorno (le stime variano)

Fonti

1. Jerwan Aqueduct · Columbia University, Media Center for Art History https://mcid.mcah.columbia.edu/mapping-mesopotamian-monuments/jerwan-aqueduct
2. Frontinus, De aquis urbis Romae, Book I (trans. R. H. Rodgers) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Frontinus/De_Aquis/Rodgers/1**.html
3. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book VIII · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/8*.html
4. Pont du Gard · Structurae https://structurae.net/fr/ouvrages/pont-du-gard
5. Nîmes: the castellum · Archaeology Magazine (Archaeological Institute of America) https://archive.archaeology.org/onsite/provence/nimes2.html
6. Pont du Gard · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
7. Roman hydraulic engineering: the Pont du Gard aqueduct and Nemausus (Nîmes) castellum (Water, 2021) · MDPI https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/54
8. Hydraulics of Roman aqueducts: myths, fables, realities · University of Queensland (H. Chanson) https://staff.civil.uq.edu.au/h.chanson/rom_aq.html
9. Pont du Gard · Wikipédia https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
10. Manning's n table (after Chow, Open-channel hydraulics, 1959) · San Diego State University (V. M. Ponce) https://ponce.sdsu.edu/open_channel_hydraulics_05_manningsntable.html

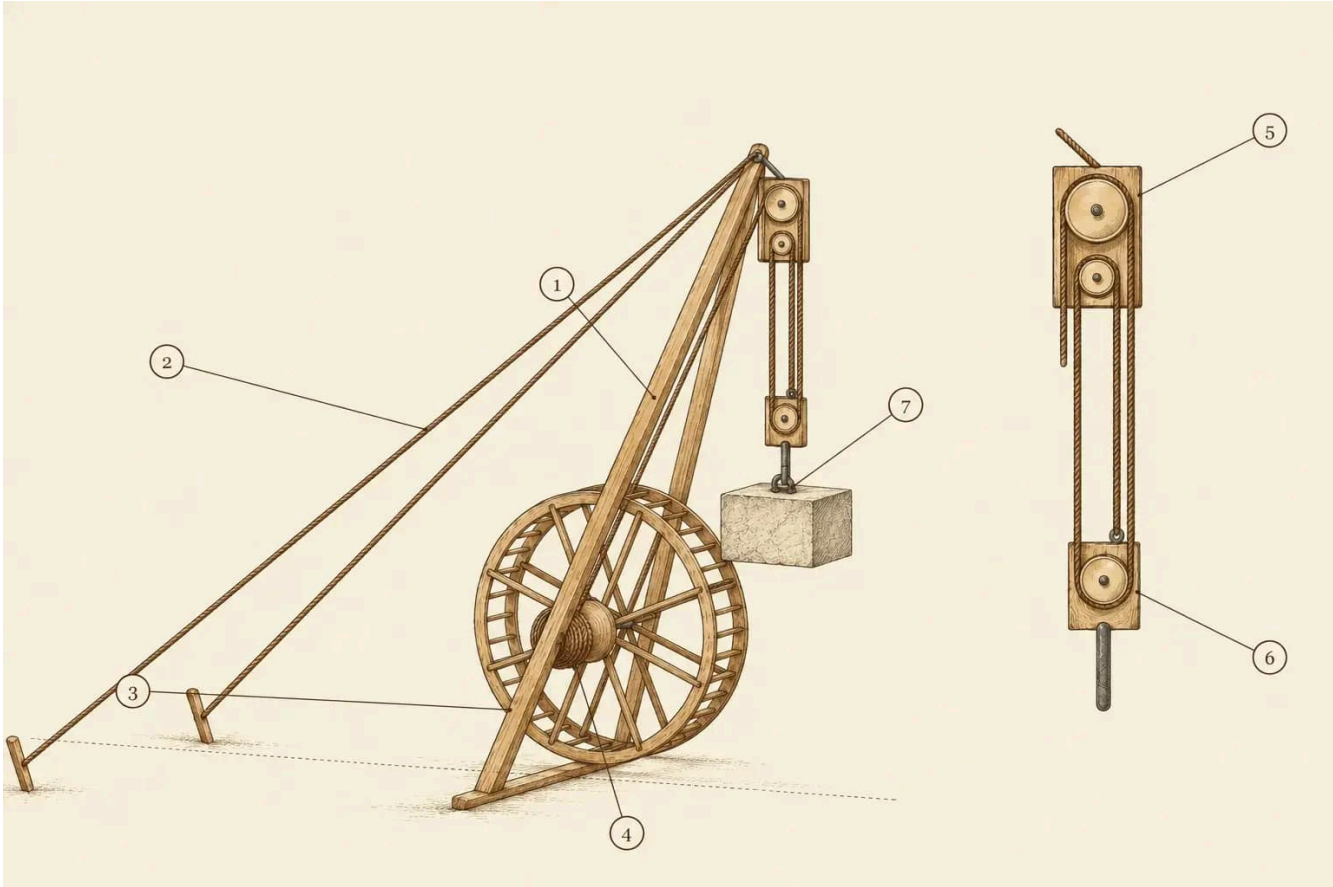
Fatti verificati il 2026-10-12

Gru e carrucola

Sollevare più del proprio peso

c. 515 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Corda e cordame (p. 13), Ruota e asse (p. 82)



1 Gamba del telaio di legno 2 Strallo 3 Ruota calcatoria 4 Tamburo 5 Bozzello superiore a due carrucole 6 Bozzello inferiore a una carrucola 7 Olivella inserita nella pietra

Una gru solleva un carico scambiando distanza con forza: una fune passa in più carrucole e si avvolge su un tamburo mosso da un argano o da una ruota calcatoria, così poche persone alzano una pietra che pesa molte volte più di loro. I costruttori greci la usavano dalla fine del VI secolo a.C., e Romani e medievali la usarono per costruire templi e cattedrali e per caricare le navi.

Che cos'è

Una gru è un'intelaiatura che tiene sospeso un carico mentre persone o macchine lo sollevano. La gru antica aveva tre parti: un telaio di legno o un albero tenuto da stralli, un gruppo di carrucole in cima e un argano alla base. L'argano era un asse orizzontale girato con leve, oppure una grande ruota dentro cui camminavano degli uomini, la ruota calcatoria.

Ciascuna delle sue parti, la leva, la ruota e la fune, è più antica della gru. La gru le combina perché la piccola forza di poche persone, applicata per un lungo tratto, diventi una grande forza su un tratto breve.

Come funziona

Una sola carrucola fissa cambia soltanto la direzione del tiro. Il guadagno arriva quando il carico pende da una carrucola mobile. La fune lo regge allora con due tratti, e ciascuno porta metà del peso. Per alzare la pietra di un metro bisogna tirare due metri di fune, ma con metà della fatica.

Il paranco più semplice: due tratti di fune reggono la carrucola mobile, e basta tirare con circa metà del peso.

Aggiungendo carrucole ai due bozzelli, il carico si divide su più tratti. Vitruvio, alla fine del I secolo a.C., chiama i paranchi in base al numero di carrucole: tre nel trispastos, cinque nel pentaspastos, molte nel polyspastos. Con cinque tratti, un tiro pari al peso di 20 kg regge circa 100 kg, attrito escluso. L'attrito nei perni delle carrucole si mangia parte del guadagno, tanto più quante più carrucole si aggiungono.

L'argano moltiplica la forza una seconda volta. Una fune avvolta su un asse sottile girato con leve lunghe agisce come un verricello: se le leve sono dieci volte più lunghe del raggio dell'asse, la forza sulla fune è dieci volte quella applicata alle leve. La ruota calcatoria funziona allo stesso modo, e la forza motrice è il peso degli uomini che vi camminano dentro. Per i carichi molto pesanti, Vitruvio descrive un tamburo largo abbastanza perché gli uomini vi camminino dentro, più potente di un argano ad asse verticale.

Tenaglie di sollevamento greche: tirando l'anello, le punte si stringono negli incavi scavati nel blocco.

Bisogna anche afferrare il carico. I costruttori greci scavavano nei blocchi fori o canali a U per le funi, usavano tenaglie di ferro le cui punte entravano in fori laterali, oppure inserivano una olivella, un cuneo di ferro a coda di rondine, in un foro sulla faccia superiore. Questi incassi, ancora visibili sulle pietre dei templi, sono la prova principale dell'uso delle gru. Vitruvio descrive tenaglie di ferro appese sotto il bozzello inferiore, con i denti infilati nei fori della pietra. Le gru da cantiere di questo tipo avevano poco sbraccio laterale, perciò il blocco veniva deposto vicino al suo posto e poi spinto in posizione con le leve.

Come costruirla

Un modellino da tavolo mostra come carrucole e verricello moltiplicano la forza. Tenetelo piccolo: è una dimostrazione, non un apparecchio di sollevamento.

Montare il telaio. Legate vicino alla cima due tondini di legno o manici di scopa lunghi circa 1 m, divaricate i piedi di circa 50 cm su una tavola di base e avvitateli. Fissate la tavola con morsetti a un tavolo robusto perché il modellino non possa ribaltarsi, e tendete due cordini dalla cima a occhielli sul retro della tavola, così che il telaio penda leggermente in avanti ma il carico resti sopra la tavola.

Armare il paranco. Appendete in cima un piccolo bozzello a due pulegge e sotto un bozzello a una puleggia. Legate un cordino robusto alla parte alta del bozzello inferiore, passatelo sopra una puleggia in alto, sotto quella in basso e sopra la seconda puleggia in alto. Ora tre tratti reggono il bozzello inferiore.

Aggiungere un verricello. Forate ciascuna gamba vicino alla base e infilate nei due fori un tondino corto che giri liberamente; incollate una manovella a un'estremità; il capo libero del cordino si legherà al centro dopo la prima

prova qui sotto. Forate una gamba per un piolo estraibile: con il piolo inserito, la manovella vi si appoggia e trattiene il carico. Tenete salda la manovella ogni volta che sfilate il piolo per continuare ad avvolgere.

Misurare il guadagno. Fate questa prima prova prima di legare il cordino al tondino. Pesate il bozzello inferiore, poi appendetegli un sacchetto di sabbia di al massimo 500 g. Tirate lentamente e con costanza il capo libero con un dinamometro, sollevando il sacchetto solo di qualche decina di centimetri: dovreste leggere poco più di un terzo del peso di sacchetto e bozzello insieme; il resto è attrito. Riappoggiate il sacchetto, legate il cordino al centro del tondino e confrontate la corsa della manovella con quanto sale il sacchetto.

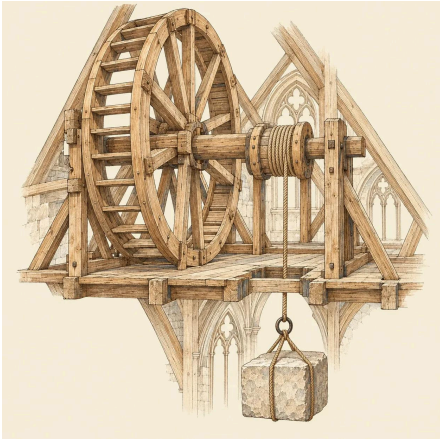
> **Sicurezza.** Tenete la mano sulla manovella finché il carico è sollevato: un asse semplice torna indietro appena lo si lascia. Mettete il modellino dove un sacchetto che cade non possa colpire mani o piedi, e tenete le dita lontane dalle carrucole e dall'asse di avvolgimento. Non ingrandite il modellino per sollevare oggetti pesanti: un vero sollevamento richiede attrezzature omologate per alzare e abbassare carichi sospesi, usate da persone formate all'imbracatura.

Storia ed evoluzione

La carrucola compare su un rilievo assiro del IX secolo a.C. Nel VII secolo a.C. costruttori greci scavavano canali per le funi in blocchi da 200 a 400 kg a Istmia e a Corinto, e alcuni studiosi pensano che allora si sperimentassero già telai di sollevamento. Le gru diventano comuni nei cantieri greci verso il 515 a.C., quando compaiono gli incassi per tenaglie e olivelle su templi come quello di Apollo a Delfi. La prima descrizione scritta chiara del paranco si trova nei Problemi meccanici, un testo greco dell'inizio del III secolo a.C.

I costruttori romani usavano sia l'argano sia la ruota calcatoria. Un rilievo della tomba della famiglia degli Haterii, a Roma, scolpito verso il 100 d.C., mostra una gru a ruota in funzione. Secondo stime moderne, che presuppongono un paranco di tre file di cinque carrucole, la più grande gru a paranchi, il polyspastos, alzava circa 3 tonnellate con quattro uomini all'argano e circa 6 con una ruota calcatoria. I blocchi romani più pesanti, come gli architravi di Baalbek, richiedevano più gru o altri mezzi.

Le ruote calcatorie ricompaiono nei conti dei cantieri francesi verso il 1225, e gru portuali sono documentate a Utrecht nel 1244, ad Anversa nel 1263 e a Bruges nel 1288. I costruttori gotici manovravano spesso i loro argani dalle travi del tetto, sopra le volte in costruzione, e in torri di chiese inglesi si conservano ancora diverse ruote calcatorie medievali. La grande gru del porto di Danzica, costruita nel 1442-1444, bruciò nel 1945 e la sua carpenteria è stata ricostruita. Nel 1586 Domenico Fontana innalzò l'obelisco vaticano, stimato fra 330 e 360 tonnellate, con una torre di sollevamento in legno. Dal 1801 due macchine a vapore azionarono le gru del cantiere del London Dock, a Londra, e negli anni Quaranta William Armstrong costruì gru idrauliche mosse dall'acqua; poi vennero i motori elettrici e i bracci d'acciaio, ma le gru sollevano ancora con bozzelli e un tamburo.



Una ruota calcatoria medievale montata sopra le volte: la fune scende dal tamburo attraverso un'apertura nel pavimento.

Dati chiave

Indizio sicuro più antico

Incassi di sollevamento su blocchi di templi greci, verso il 515 a.C.

Gru del porto di Danzica

Costruita nel 1442-1444, carpenteria ricostruita dopo il 1945

Polyspastos romano (stima moderna)

Circa 3 t con quattro uomini all'argano, circa 6 t con una ruota calcatoria

Obelisco vaticano, 1586

Da circa 330 a 360 t (le stime variano), innalzato da Domenico Fontana

Fonti

1. J. J. Coulton, Lifting in early Greek architecture (Journal of Hellenic Studies 94, 1974) · Society for the Promotion of Hellenic Studies (copy hosted by the University of Athens) https://eclass-b.uoa.gr/modules/document/file.php/BAAG112/630416_Lifting%20in%20Early%20Greek%20Architecture_Coulton_Journal%20of%20Hellenic%20Studies1974.pdf
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book X (hoisting machines) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. Greek temple ruins suggest lifting machines in use 1.5 centuries earlier than previously believed · University of Notre Dame, via Newswise https://www.newswise.com/articles/greek-temple-ruins-suggest-lifting-machines-in-use-1-5-centuries-earlier-than-previously-believed
4. Rochester Bridge Trust magazine: John Rennie and the London Dock (steam engines working the construction cranes, 1801) · Rochester Bridge Trust https://rbt.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/RBT-40pp-A4-Magazine-Single-Pages-Updated.pdf
5. Crane (machine) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)
6. Treadwheel crane · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Treadwheel_crane
7. Treadwheel crane, Harwich (built 1667): wheels of 16 ft on an axle of 13½ in · The Harwich Society https://www.harwich-society.co.uk/maritime-heritage-trail/treadwheel-crane/
8. Block and tackle (friction: the sheave friction factor of API RP 9B) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Block_and_tackle
9. Human power (sustained output of a labourer, after Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Human_power

Fatti verificati il 2026-10-12

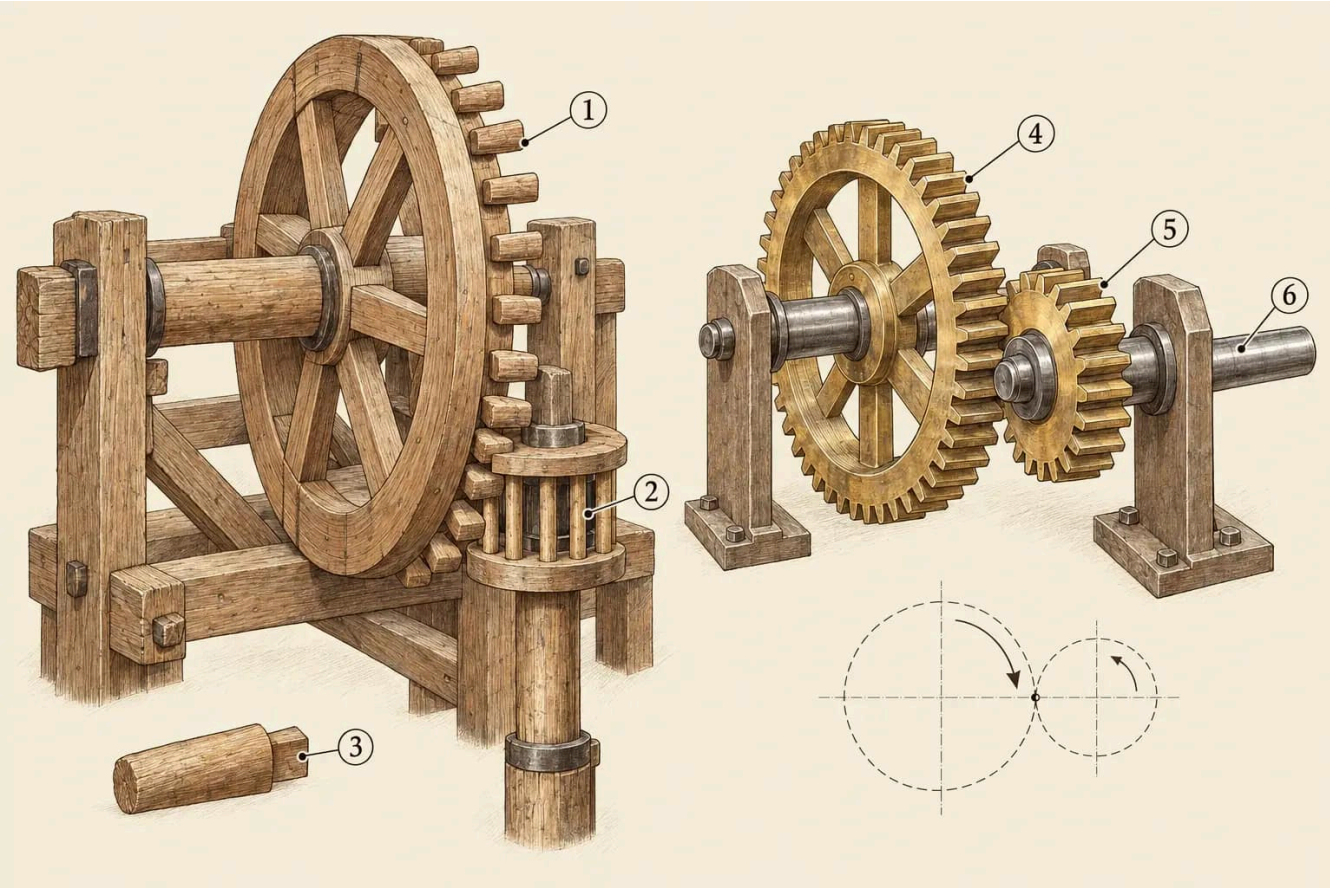
Ingranaggi

Denti che scambiano velocità e forza

c. 300 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Bronzo (p. 124)

Porta a: Orologio meccanico (p. 201), Macchina da cucire (p. 268), Macchina a vapore (p. 227), Ruota idraulica (p. 158), Mulino a vento (p. 186)



1 Lubecchio con denti di legno 2 Rocchetto a lanterna 3 Dente di legno sfilato 4 Ruota a denti diritti 5 Pignone 6 Albero

Un ingranaggio è una ruota dentata i cui denti si impegnano in quelli di un'altra ruota, così che un albero ne trascina un altro senza slittare. Scegliendo il numero dei denti, il costruttore scambia velocità con forza, cambia il verso del moto o mantiene un rapporto esatto.

Che cos'è

Un ingranaggio è una ruota con denti lungo il bordo. Se questi si impegnano in quelli di una seconda ruota, girando l'una trascina l'altra senza slittare. Gli ingranaggi muovono mulini, orologi, biciclette e cambi d'auto.

Un pignone che muove una ruota grande la fa girare più lentamente ma con più forza di rotazione, o coppia. Due ruote a denti diritti in presa girano in versi opposti, mentre un lubecchio o una ruota conica rinvia il moto ad angolo retto. Poiché i denti non possono slittare, un treno di ingranaggi mantiene il rapporto per anni, e un orologio conta su questo.

Come funziona

Prendiamo due ruote in presa da 60 e 15 denti. A ogni dente della grande che passa per il punto di contatto ne passa uno della piccola, quindi a un giro della grande corrispondono quattro giri della piccola. Il rapporto di velocità è il rapporto tra i numeri dei denti. La potenza in entrata esce di nuovo, meno l'attrito, quindi la coppia varia in senso inverso: la piccola gira quattro volte più veloce con un quarto della coppia.

La tavola mostra due famiglie. A sinistra, l'ingranaggio di legno di un mulino: un lubecchio, con pioli detti denti piantati su una faccia della corona, muove un rocchetto a lanterna fatto di fuselli tondi tenuti fra due dischi. Un dente consumato si sfila col mazzuolo e si sostituisce da solo. A destra, ruote metalliche a denti diritti sagomati, su alberi paralleli.

Con semplici pioli la ruota condotta accelera e rallenta un poco a ogni dente che entra in presa e ne esce, con rumore, vibrazioni e usura. Per un rapporto costante, i fianchi dei denti devono seguire curve tali che la spinta fra due denti passi sempre per lo stesso punto della linea fra gli alberi. Ci riesce la cicloide, usata a lungo negli orologi, e ci riesce l'evolvente, la curva descritta dall'estremità di un filo teso che si svolge da un cerchio. Gli ingranaggi a evolvente mantengono il rapporto anche con gli alberi un po' troppo distanti e sono più facili da tagliare: per questo la usano quasi tutti gli ingranaggi moderni.

A ogni giro della vite la ruota avanza di un solo dente.

La vite senza fine ingrana con una ruota dentata. Può avere uno o più principi di filettatura. Quella raffigurata ne ha uno solo e fa avanzare la ruota di un dente per giro, dando una riduzione di 30 a 1 con una ruota di 30 denti. La possibilità che la ruota azioni la vite in senso inverso dipende dalla geometria e dall'attrito. Le vibrazioni possono far perdere l'autobloccaggio, quindi paranchi e argani di sollevamento devono avere un freno indipendente che trattenga il carico. La cremagliera, una barra dentata diritta, trasforma la rotazione in moto rettilineo.

Come si costruisce

Per ingranaggi metallici precisi servono un tornio con disco divisore o una dentatrice. Il lubecchio e il rocchetto a lanterna di legno descritti qui si fanno con attrezzi manuali.

Scegliere il rapporto. Fissare il numero dei denti in base alla velocità d'uscita voluta, per esempio 45 denti e 8 fuselli, circa 5,6 a 1. Numeri senza fattori comuni distribuiscono l'usura, perché ogni dente incontra a turno ogni fusello.

Tracciare il passo. Denti e fuselli devono avere esattamente la stessa spaziatura, il passo, misurata lungo le circonferenze primitive. Tracciare il cerchio e dividerlo col compasso a punte fisse; un millimetro di errore a ogni passo si somma lungo tutto il giro.

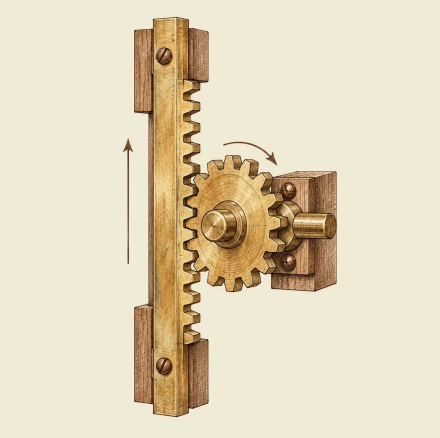
Fare la ruota. Costruire la corona con un legno duro stagionato come la quercia, in segmenti sovrapposti perché la fibra segua la curva, e fissarla a razze incastrate a mortasa attraverso l'albero. Forare ogni segno e piantarvi denti di legno denso e tenace, con un tenone passante bloccato dietro da un cuneo. Arrotondare le estremità che lavorano.

Fare la lanterna. Fissare due dischi sull'albero, forarli sulla stessa circonferenza primitiva e piantarvi in mezzo fuselli tondi.

Regolare l'ingranamento. Montare i due alberi su supporti robusti, con i denti che entrano per circa metà negli spazi fra i fuselli e un po' di gioco. Girarli piano a mano, segnare col gesso i punti duri e rifinirli. Ingrassare i denti con sego.

> **Sicurezza.** Gli ingranaggi in presa trascinano dentro dita, capelli e abiti larghi dove i denti si incontrano. Montare una protezione, legare capelli e maniche e non infilare mai le mani in un ingranaggio che può girare: prima fermare e bloccare la trasmissione.

Storia ed evoluzione



Pignone e cremagliera trasformano la rotazione in moto rettilineo.

I *Problemi meccanici*, scritti nella scuola di Aristotele intorno al 280 a.C., descrivono ruote a contatto che girano in versi opposti senza parlare di denti: forse erano ruote lisce mosse dall'attrito. Gli ingranaggi più antichi giunti a noi sono piccole ruote metalliche cinesi del periodo degli Stati Combattenti, nel IV secolo a.C., custodite nel museo di Luoyang.

Ad Alessandria, nel III secolo a.C., Ctesibio costruì un orologio ad acqua in cui un galleggiante salendo muoveva un'asta e dei tamburi a denti uguali, come più tardi descrisse Vitruvio. Ad Archimede si attribuisce la vite senza fine, intorno al 250 a.C.

Il frammento più grande del meccanismo di Anticitera, con la ruota principale a quattro raggi.

Nel 1901 alcuni palombari trovarono in un relitto al largo dell'isola greca di Anticitera il più complesso ingranaggio antico noto. Il meccanismo, costruito nel II o nel I secolo a.C., sopravvive in 82 frammenti che contengono 30 ruote dentate di bronzo, circa un terzo della macchina originale. Azionato a mano, mostrava le posizioni del Sole, della Luna e dei pianeti e prevedeva le eclissi.

Intorno al 25 a.C. Vitruvio descrisse un mulino ad acqua in cui un tamburo dentato sull'asse della ruota muoveva una ruota orizzontale più grande, che faceva girare la macina. Lubecchi e rocchetti a lanterna simili mossero i mulini per altri quindici secoli. Gli orologi meccanici si diffusero in Europa dal 1300 circa. La costruzione dell'astrario di Giovanni de' Dondi è tradizionalmente datata al 1348–1364, ma il periodo è discusso: il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia di Milano indica il 1365–1380. Negli anni Novanta del Quattrocento Leonardo da Vinci disegnò profili di denti nei taccuini oggi chiamati Codici di Madrid.

Philippe de La Hire studiò le curve dei denti intorno al 1694, e verso il 1754 Leonhard Eulero formulò la regola che i denti devono seguire per un rapporto costante. Nel XIX secolo ingranaggi di ghisa e poi d'acciaio tagliati a macchina mossero le fabbriche, e nella maggior parte delle macchine l'evolvente prese il posto della cicloide.

Dati chiave

Rapporto di velocità

Dipende dal numero dei denti: una ruota di 60 denti che ne muove una di 15 la fa girare 4 volte più veloce

Ingranaggi più antichi conservati

Cina, periodo degli Stati Combattenti (IV secolo a.C.)

Meccanismo di Anticitera

30 ruote dentate di bronzo superstiti, II o I secolo a.C.

Teoria della dentatura

La Hire (1694 circa) ed Eulero (1754 circa) definirono le curve per un rapporto costante

Fonti

1. Gear · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gear
2. A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism (Freeth et al., 2021) · Scientific Reports https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7955085/
3. Geared power transmission technology (J. J. Coy, 1983) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19830011851
4. Vitruvius, De architectura, Book IX, chap. 8 (Ctesibius's water clock) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/9*.html
5. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Self-locking of worm gear reducers · Tsubakimoto Chain https://tt-net.tsubakimoto.co.jp/tecs/engd/gen/engd_gen_ggm_gis_sfl.asp?lang=en
7. KWG Ground Worms and Worm Wheels: specifications · KHK Gears https://khkgears.net/pdf/kwg.pdf
8. L'Astrario di Giovanni Dondi · Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci https://artsandculture.google.com/story/l%E2%80%99astrario-di-giovanni-dondi-museo-nazionale-della-scienza-e-della-tecnologia-leonardo-da-vinci/0gURs225ZTyrJA?hl=it
9. Engrenage · Office québécois de la langue française https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2091942/engrenage
10. Machinists' and Draftsmen's Handbook (Lobben, 1910), p. 325: a derrick crab worked out · Project Runeberg https://runeberg.org/lobben/0345.html
11. Effect of geometry and operating conditions on spur gear system power loss (Anderson and Loewenthal, NASA TM-81426, 1980) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19800010132
12. Human power: comfortable one-hand cranking (Jansen and Slob, ICED 03, 2003) · The Design Society https://www.designsociety.org/download-publication/23972/human_power_comfortable_one-hand_cranking

Fatti verificati il 2026-10-12

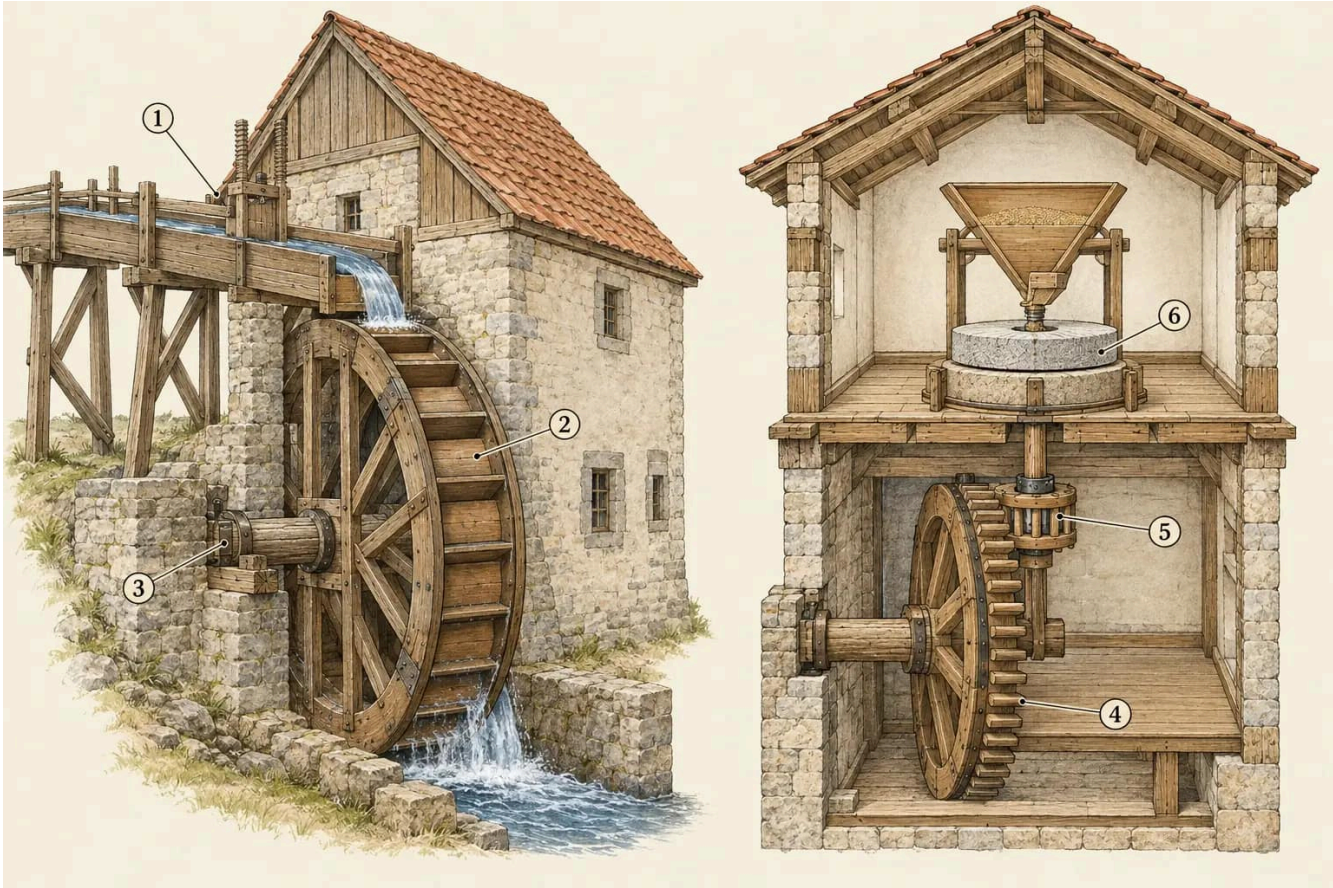
Ruota idraulica

Un fiume trasformato in lavoro

c. 300 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Ruota e asse (p. 82), Ingranaggi (p. 154)

Porta a: Turbina idraulica (p. 264), Mulino a vento (p. 186)



1 Doccia e paratoia 2 Cassette 3 Albero 4 Lubecchio 5 Rocchetto 6 Macine

Una ruota idraulica trasforma la corrente o la caduta dell'acqua in rotazione, che gli ingranaggi trasmettono poi a macine, magli, mantici o pompe. Dal III secolo a.C. fino al XIX secolo fu la principale fonte di energia meccanica dopo la forza dell'uomo e degli animali.

Che cos'è

Una ruota idraulica è una ruota munita di pale o di cassette che l'acqua in movimento fa girare, e col suo albero aziona macchine. Per duemila anni ha macinato grano. Dal Medioevo ha anche follato i panni, segato il legname, mosso i mantici e i magli delle fucine e prosciugato le miniere.

Una ruota per di sotto immerge le pale in un corso d'acqua e la corrente le spinge. I modelli tradizionali semplici non richiedono una diga e trasformano in lavoro solo una piccola parte dell'energia disponibile. Una ruota per di sopra, come quella della tavola, riceve acqua dall'alto da un canale e gira per il peso dell'acqua nelle cassette. Richiede un salto alto almeno quanto la ruota. Un dislivello naturale con una presa d'acqua e un canale può bastare; diga e bacino sono facoltativi. La ruota di fianco riceve acqua all'altezza dell'asse. Il rendimento

dipende dalla costruzione e dall'alimentazione; anche le ruote per di sotto migliorate possono raggiungere rendimenti elevati.

Una ruota per di sotto: la corrente spinge le pale più basse.

Come funziona

L'acqua del bacino di un mulino accumula energia grazie all'altezza. Nel mulino per di sopra la doccia (1), un canale di legno, la porta oltre la sommità della ruota, e una paratoia permette al mugnaio di avviare la ruota, fermarla e regolarne la velocità. L'acqua cade nelle cassette (2) sul lato che scende. Quel lato è pesante e l'altro è vuoto, così la ruota gira lentamente, a pochi giri al minuto. Le cassette trattengono l'acqua il più a lungo possibile e si svuotano vicino al fondo, nel canale di scarico.

La potenza idraulica disponibile è $P = \rho g Q H$: densità dell'acqua ρ moltiplicata per l'accelerazione di gravità g, la portata volumetrica Q e l'altezza del salto H. Con una densità di circa 1.000 kg/m^3 e g = 9,81 m/s^2, una portata di 100 litri al secondo (0,1 m^3/s) e un salto di quattro metri danno circa 3,92 kW prima delle perdite. Una ruota per di sopra ben costruita ne trasforma la maggior parte in lavoro sul proprio albero.

Nel mulino orizzontale non ci sono ingranaggi: l'albero della ruota è il perno della macina.

Nel mulino, l'albero (3) porta il lubecchio (4), una grande ruota dentata i cui denti muovono il piccolo rocchetto (5) su un albero verticale. Come in un mulino a vento, il moto passa dall'orizzontale alla verticale e accelera, perché la ruota è lenta e la macina superiore deve girare molto più in fretta. La macina girante (6) frantuma il grano, versato da una tramoggia, contro la macina dormiente fissa al di sotto.

Alcuni mulini non hanno ingranaggi. Nel mulino orizzontale, usato a lungo in Irlanda, in Scandinavia e intorno al Mediterraneo, una piccola ruota giace in piano sotto il pavimento, investita dal getto di uno scivolo ripido, e il suo albero verticale fa girare direttamente la macina girante. I modelli tradizionali semplici costano poco e trasformano in lavoro una quota relativamente piccola dell'energia disponibile. Le ruote orizzontali migliorate possono raggiungere rendimenti elevati.

Come si costruisce

Lo schema riguarda una piccola ruota per di sopra per una pompa o una macchina leggera. Prelevare acqua da un torrente di solito richiede un'autorizzazione.

Trovare il salto. Cercare un torrente con almeno due metri di dislivello. Scavare un canale di adduzione, la gora, che si stacchi dal torrente più a monte con pendenza minima e arrivi alla ruota ben più in alto del letto.

Dimensionare la ruota. Fare la ruota un po' più piccola del salto, così che l'acqua cada per poco nella cassetta più alta. La larghezza dipende dalla portata. Le cassette riempite solo in parte cominciano a versare più tardi.

Costruire l'albero e le razze. Usare un albero di quercia, squadrato dove si fissano le razze, con perni di ferro alle estremità che girano in supporti di legno duro o di bronzo, posati su pilastri di pietra o di calcestruzzo.

Fare le corone e le cassette. Montare le cassette inclinate tra due anelli di tavole, le corone, e chiudere con tavole il lato interno. Prima dell'uso bagnare a fondo la ruota: il legno si gonfia e i giunti si chiudono.

Montare la doccia e la paratoia. Portare l'acqua in cima alla ruota con un canale di legno su cavalletti, con una paratoia scorrevole e uno sfioratore che devia l'acqua oltre la ruota quando è ferma. Verificare il bilanciamento della ruota, poi aprire la paratoia gradualmente.

> **Sicurezza.** Una ruota carica è pesante e non si ferma subito: non salirci mai sopra e non infilarci le mani mentre gira. Prima della manutenzione interrompere l'alimentazione d'acqua, bloccare la paratoia contro la riapertura e deviare lontano dalla ruota eventuali perdite. Verificare che sia completamente ferma. Da una posizione sicura, scaricare l'acqua trattenuta e immobilizzare la ruota e le macchine azionate con dispositivi adatti ai carichi residui, in modo che l'energia accumulata non possa metterle in movimento. Una persona competente deve predisporre e verificare questo isolamento. L'acqua veloce di un canale può travolgere e annegare un adulto: recintare il canale di scarico e non lavorarci vicino da soli. Coprire tutti gli ingranaggi accessibili con ripari che impediscano il contatto con mani e vestiti.

Storia ed evoluzione

Le prime ruote sollevavano acqua. Nel III secolo a.C. Filone di Bisanzio descrisse una ruota a scomparti usata per l'irrigazione in Egitto. Secondo lo storico M. J. T. Lewis, i mulini ad acqua per il grano comparvero nello stesso secolo, prima ad asse verticale, poi orizzontale. La prima descrizione chiara di un mulino ad acqua con ingranaggi si deve a Vitruvio, intorno al 25 a.C.: una ruota per di sotto muove la macina attraverso un tamburo dentato e una ruota orizzontale più grande.

A Barbegal, vicino ad Arles, nella Francia meridionale, i Romani costruirono sedici ruote per di sopra in due file di otto sul pendio di una collina, alimentate da un acquedotto. Il complesso fu costruito nel II secolo d.C. In Cina, nel 31 d.C., Du Shi usò l'energia idraulica per azionare i mantici delle fonderie di ferro.

In Nord Africa e nel Vicino Oriente la noria, una grande ruota mossa dalla corrente con vasi sul bordo, sollevava l'acqua fino ai canali d'irrigazione e riforniva le città. Nel X secolo il medico al-Razi ne descrisse una in Iraq che sollevava circa 153.000 litri l'ora.

Una noria: la corrente fa girare la ruota, e la ruota solleva una parte del fiume.

Nell'Europa medievale i mulini ad acqua si moltiplicarono. Nel 1086 il censimento del Domesday Book ne contò circa seimila in Inghilterra, e le ruote finirono per azionare gualchiere, seghe, mantici di fucina e magli.

Negli anni Cinquanta del Settecento l'ingegnere inglese John Smeaton provò modelli di ruote. A energia idraulica disponibile comparabile, i suoi modelli per di sopra produssero almeno il doppio del lavoro dei suoi modelli per di sotto. Pubblicò i risultati nel 1759. Il rapporto riguarda i modelli provati e non vale per tutte le ruote idrauliche. La ruota di Laxey, sull'Isola di Man, completata nel 1854 per prosciugare le miniere di Laxey, ha un diametro di 22,1 metri. Dal 1827 la turbina di Benoît Fourneyron cominciò a sostituire la ruota, e da essa discendono le turbine delle centrali idroelettriche moderne.

Dati chiave

Prima descrizione
Filone di Bisanzio, III secolo a.C. (una ruota per sollevare l'acqua)

Per di sopra o per di sotto
Rendimento almeno doppio per le ruote per di sopra nei test di Smeaton, a energia idraulica disponibile comparabile (1759)

Inghilterra, 1086
Circa 6.000 mulini censiti nel Domesday Book

La più grande ruota funzionante
Laxey, Isola di Man: 22,1 m di diametro, costruita nel 1854

Fonti

1. Water wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel
2. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. The Scientists, the Engineers, and the Water Wheel · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-scientists-the-engineers-and-the-water-wheel
4. Great Laxey Wheel · Manx National Heritage https://manxnationalheritage.im/?p=18117
5. John Smeaton · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/John_Smeaton
6. Providing and using work equipment safely: A brief guide · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/indg291.pdf
7. The second century CE Roman watermills of Barbegal: Unraveling the enigma of one of the oldest industrial complexes · Science Advances, American Association for the Advancement of Science https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6124920/
8. Waterwheel · Energy Education, University of Calgary https://www.energyeducation.ca/encyclopedia/Waterwheel
9. Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations · Politecnico di Torino, institutional repository https://iris.polito.it/handle/11583/2712517
10. High hydraulic performance in horizontal waterwheels · Universitat de Girona, Research Portal https://recerca.udg.edu/en/publications/high-hydraulic-performance-in-horizontal-waterwheels/

Fatti verificati il 2026-10-12

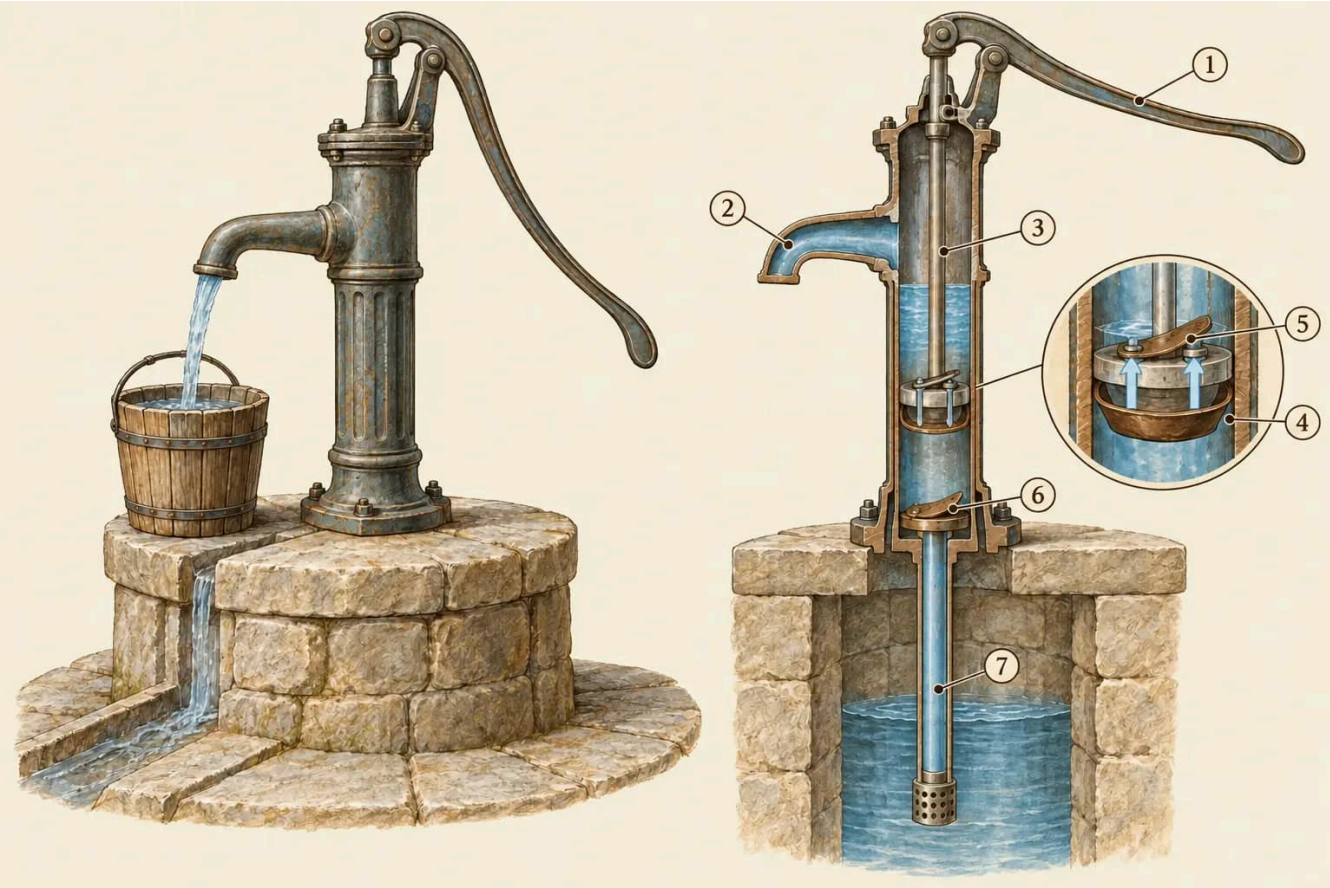
Pompa a pistone

L'acqua sollevata da pistone e valvole

c. 270 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Bronzo (p. 124), Concia delle pelli (p. 102)

Porta a: Refrigerazione (p. 280), Macchina a vapore (p. 227)



1 Leva 2 Beccuccio 3 Asta dello stantuffo 4 Guarnizione di cuoio a coppa 5 Valvola dello stantuffo 6 Valvola di fondo 7 Tubo di aspirazione

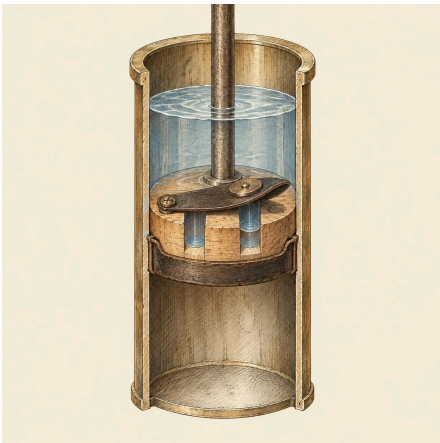
Una pompa a pistone muove l'acqua con uno stantuffo che scorre in un cilindro, tra due valvole che la lasciano passare in un solo senso. La pompa premente è attribuita a Ctesibio di Alessandria, nel III secolo a.C.; la pompa aspirante, che tira su l'acqua dal basso, si diffuse nell'Europa del tardo Medioevo e finì sui pozzi dei villaggi di tutto il mondo.

Che cos'è

Una pompa a pistone muove l'acqua con uno stantuffo che sale e scende in un tubo, tra due valvole che si aprono in un solo senso. Da più di duemila anni queste pompe prosciugano miniere, alimentano fontane, spengono incendi e tirano l'acqua dai pozzi.

La pompa aspirante, detta anche elevatrice, sta sopra l'acqua e la fa salire lungo un tubo. La pompa premente sta nell'acqua, o più in basso della sua uscita, e spinge fuori l'acqua sotto pressione. La tavola mostra una pompa aspirante dell'Ottocento su un pozzo di villaggio chiuso.

Come funziona



In salita l'acqua sovrastante tiene chiuso il battente; in discesa il battente si alza e l'acqua attraversa lo stantuffo.

In fondo al cilindro c'è la valvola di fondo, un battente di cuoio o di gomma che si solleva per far entrare l'acqua e poi ricade sulla sua sede. Lo stantuffo porta un secondo battente sopra alcuni fori che lo attraversano, e una coppa di cuoio sul bordo. La coppa è aperta verso l'alto, così l'acqua che la sovrasta la preme contro la parete.

Quando la leva tira su lo stantuffo, la sua valvola resta chiusa e l'acqua che vi poggia sale fino al beccuccio. Sotto lo stantuffo la pressione cala, e l'aria che preme sulla superficie del pozzo spinge l'acqua su per il tubo di aspirazione e attraverso la valvola di fondo. In discesa la valvola di fondo si chiude, quella dello stantuffo si apre e lo stantuffo scivola giù attraverso l'acqua.

Sul lato dell'aspirazione lavora l'atmosfera, e la sua spinta ha un limite. Al livello del mare il peso dell'aria equilibra una colonna d'acqua di circa 10,3 metri, ovvero 76 centimetri di mercurio. Perdite, attriti e acqua che bolle a bassa pressione limitano una pompa a mano a circa 7 metri, meno in montagna.

Una pompa premente spinge l'acqua fuori da una valvola di mandata, fin dove lo consentono la forza impiegata e la tenuta dei tubi. Le pompe a mano per pozzi profondi calano il cilindro sotto il livello dell'acqua e muovono lo stantuffo con una lunga asta, così l'aspirazione non pone più il limite. Due cilindri alternati, o uno stantuffo a doppio effetto che spinge in entrambe le corse, regolarizzano la portata, e una camera d'aria sull'uscita, dove l'aria chiusa si comprime e si riespande, trasforma i colpi in un getto continuo.

Come costruirla

Con tubo di plastica si può fare una piccola pompa aspirante per un pozzo poco profondo o una cisterna di acqua piovana. La superficie dell'acqua deve trovarsi a meno di circa 6 metri sotto il cilindro, e la pompa rende meglio entro 3 o 4.

Cilindro. Fissate in verticale da 60 a 80 cm di tubo in PVC liscio di circa 50 mm di diametro, con un raccordo a T vicino alla sommità come beccuccio. Un tubo più sottile scende dalla base fino all'acqua. Tutti i raccordi sotto lo stantuffo devono essere a tenuta d'aria.

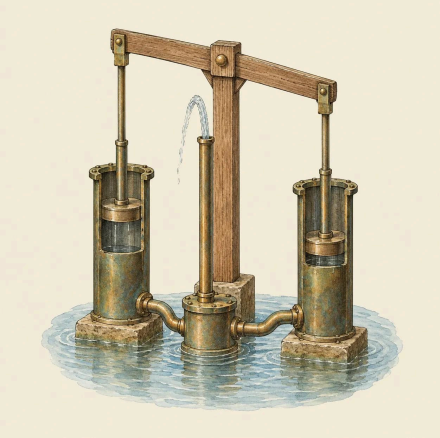
Valvola di fondo. Chiudete il fondo del cilindro con un tappo con un foro di circa 2 cm. Sopra stendete un disco di cuoio o di camera d'aria, avvitato lungo un bordo che fa da cerniera e zavorrato con una rondella.

Stantuffo. Ricavate un tappo di legno duro o di plastica poco più piccolo dell'alesaggio, foratelo da parte a parte e coprite i fori con un battente uguale. Sotto, serrate una coppa di cuoio spesso o di gomma con il bordo rivolto in su e il centro ritagliato, così che i fori restino liberi. Bagnate il cuoio prima di montarlo. Un'asta collega lo stantuffo a una leva lunga circa un metro, imperniata su un palo.

Adescare e curare. Versate un bicchiere d'acqua pulita nel cilindro per bagnare la coppa e far tenere le valvole, poi pompate. Se di notte la pompa si svuota, controllate per prima la valvola di fondo.

> **Sicurezza.** Non lasciate mai un pozzo aperto: chiudetelo con una lastra o un coperchio che regga un adulto e tenete lontani i bambini. Non calatevi mai in un pozzo, dove l'aria può essere povera di ossigeno. Tenete le dita lontane dal perno. Sigillate il passaggio del tubo, inclinate il terreno verso l'esterno e tenete lontani latrine e animali. Adescate solo con acqua potabile, perché finisce nel pozzo. Cuoio, camera d'aria e plastica comune non sono fatti per l'acqua da bere: usate questa pompa per l'orto o il lavaggio, oppure costruitela interamente con parti certificate per l'acqua potabile. Non bevete l'acqua di un pozzo finché un'analisi non l'ha dichiarata sicura; la bollitura uccide i germi ma non elimina le sostanze chimiche.

Storia ed evoluzione



La pompa di Ctesibio come la descrive Vitruvio: due cilindri di bronzo che lavorano a turno e alimentano un solo tubo verticale.

La pompa premente è attribuita a Ctesibio, ingegnere ad Alessandria verso il 270 a.C. Vitruvio ne descrisse i cilindri di bronzo e le valvole verso il 25 a.C. Un censimento di Richard Stein del 2007 conta tredici pompe romane in metallo, per lo più in bronzo, e diciotto in legno di quercia, trovate per lo più nei pozzi; quella di Silchester è al museo di Reading.

Verso il 1206 al-Jazari descrisse una pompa mossa da una ruota idraulica, con due stantuffi contrapposti e veri tubi di aspirazione. Le pompe aspiranti arrivarono nelle miniere europee nel tardo Medioevo. Nel 1556 Georgius Agricola descrisse serie di tre pompe sovrapposte, ciascuna con circa sette metri di tubo, che sollevavano l'acqua di vasca in vasca.

Nel 1638 Galileo riferì che nessuna pompa aspirante poteva alzare l'acqua oltre diciotto braccia fiorentine, circa 10,5 metri, e pensò che la colonna si spezzasse per il proprio peso. Il suo allievo Torricelli trovò la causa nel 1644 (alcuni resoconti dicono 1643): in un tubo di vetro il mercurio resta a circa 76 cm, sostenuto dal peso dell'aria. Nel 1648, su richiesta di Pascal, suo cognato portò il tubo in cima al Puy de Dôme, dove il mercurio stava circa 8,5 cm più in basso.

A Londra, nel 1721, Richard Newsham brevettò una pompa antincendio le cui due pompe alimentavano una camera d'aria, ottenendo così un getto continuo. Per le miniere Thomas Newcomen aveva costruito già nel 1712, vicino a Dudley, la sua prima macchina a vapore, che azionava le loro pompe. In India un'indagine dell'UNICEF rilevò nel 1974 che tre pozzi su quattro, trivellati nei sette anni precedenti, non davano acqua. L'UNICEF, il governo e la ditta Richardson and Cruddas misero allora a punto la India Mark II, con il cilindro calato nel pozzo trivellato, capace di pescare a 50 metri. Oggi se ne contano milioni, esportate in più di 40 paesi.

Una pompa antincendio del tipo di Newsham: due pompe mosse da lunghe leve e una camera d'aria che mantiene costante il getto.

Dati chiave

Limite teorico di aspirazione
Circa 10,3 m d'acqua al livello del mare, l'altezza che il peso dell'aria riesce a sostenere

Limite pratico
Circa 7 m tra la superficie dell'acqua e una pompa a mano

Pompa premente di Ctesibio
Alessandria, verso il 270 a.C.; nota attraverso Vitruvio, verso il 25 a.C.

Pompe romane ritrovate
13 in metallo, per lo più bronzo, e 18 in legno (censimento del 2007)

Pompa a mano India Mark II
Prevalenze da 10 a 50 m, cilindro da 63,5 mm, milioni installate dalla fine degli anni Settanta

Fonti

1. Vitruvius, On Architecture, Book X, chapter 7 (Gwilt translation, 1826) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
2. Roman Wooden Force Pumps (R. J. B. Stein), in Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité, 2007 · Publications du Centre Jean Bérard, OpenEdition Books https://books.openedition.org/pcjb/405
3. Horror vacui? The syphon experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper1.html
4. Horror vacui? Torricelli's barometric experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html
5. Horror vacui? The void within a void · Museo Galileo, Florence https://imss.fi.it/vuoto/eesper3.html
6. Barometers · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/earth-and-environment/atmosphere-and-weather/meteorological-instruments/barometers
7. Al-Jazari, Badi al-Zaman (Dictionary of Scientific Biography) · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/al-jazari-badi-al-zaman-abu-l-izz-ismail-ibn-al-razzaz
8. Georgius Agricola, De re metallica, Book VI (Hoover translation, 1912) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/38015
9. Mine Pumping in Agricola's Time and Later (R. P. Multhauf, 1959) · Smithsonian Institution, via Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/31024
10. Hand pumps for water lifting · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Mechanical%20Power/KnO-100411_Human-powered%20handpumps/page5.html
11. No. 6 pump (public-domain handpump specification) · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/no-6-pump
12. Water lifting devices, chapter 3.5: reciprocating displacement pumps · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/ah810e/ah810e06.htm
13. India Mark II handpump specification · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/india-mark-ii
14. How three handpumps revolutionised rural water supplies: the India Mark II · Rural Water Supply Network https://rwsn.blog/2013/03/19/how-three-handpumps-revolutionised-rural-water-supplies-the-india-mark-ii/
15. A history of UNICEF work on water, sanitation and hygiene in India · UNICEF India https://www.unicef.org/india/stories/history-unicef-work-water-sanitation-and-hygiene-india
16. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
17. Fire Engine (Newsham, patented 1721) · Colonial Williamsburg Foundation https://history.org/primary-content/fire-engine/
18. Suction pump · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Suction_pump

Fatti verificati il 2026-10-14

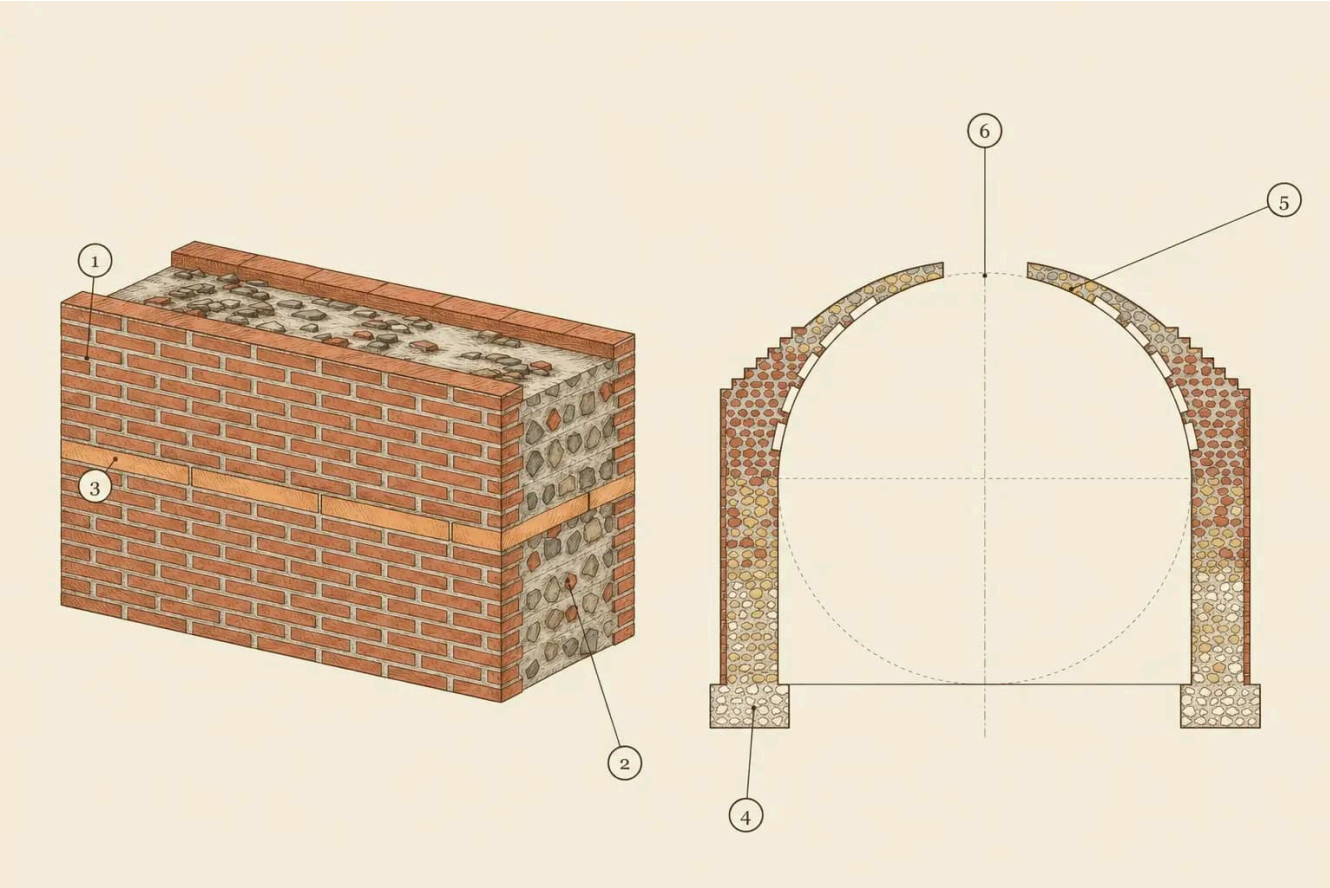
Calcestruzzo romano

Calce, cenere vulcanica e pietrame

c. 200 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Mattoni (p. 40), Controllo del fuoco (p. 9), Calce e malta di calce (p. 31)

Porta a: Cemento Portland (p. 256)



1 Paramento in laterizio 2 Nucleo di pietrame e malta 3 Ricorso di grandi tegole piatte 4 Travertino pesante delle fondazioni 5 Pomice leggera e tufo in cima alla cupola 6 Oculo

Il calcestruzzo romano è una malta di calce costipata intorno a pietre o pezzi di mattone; nella sua forma più nota la malta contiene cenere vulcanica. La cenere lo fa indurire anche sott'acqua; ha sorretto le volte di Roma, i suoi porti e la cupola non armata del Pantheon, ancora la più grande del suo genere.

Che cos'è

Il calcestruzzo romano, l'opus caementicium, è una massa di frammenti di pietra legati da una malta di calce che, in molte opere romane, conteneva cenere vulcanica. I Romani chiamavano quei frammenti caementa, parola da cui viene «cemento». Dal II secolo a.C. permise di innalzare muri, volte e cupole di dimensioni che la sola pietra squadrata non raggiungeva, a costi minori e con manodopera meno specializzata.

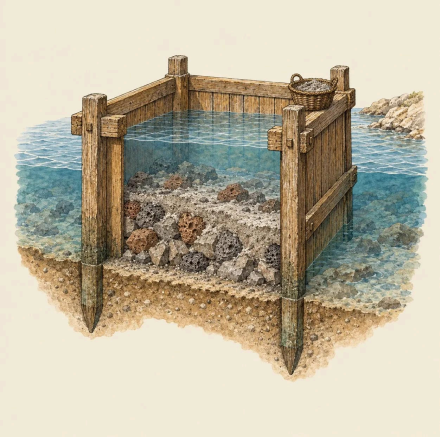
Due cose lo distinguono da una semplice malta di calce: la cenere vulcanica, che gli permette di indurire anche sott'acqua, e un modo di costruire a strati di pietrame fra paramenti di mattoni o di piccole pietre.

Come funziona

Il legante comincia come calcare. Cotto in una fornace, libera anidride carbonica e diventa calce viva; a contatto con l'acqua la calce viva si gonfia, si scalda e diventa calce spenta. Una malta di sola calce aerea indurisce lentamente, riprendendo l'anidride carbonica dall'aria, e resta molle dove l'aria non arriva.

Una fornace da calce: il calcare è impilato su un arco sopra il fuoco ed esce come calce viva bianca.

La cenere vulcanica risolve il problema. Quella del golfo di Napoli, detta pozzolana dalla città di Pozzuoli, è ricca di silice e allumina in forma vetrosa e reattiva. Reagisce con la calce e l'acqua formando nuovi minerali leganti, così la malta indurisce reagendo con l'acqua anziché con l'aria, anche sommersa. Vitruvio, verso il 25 a.C., osservava che questa sabbia vulcanica dei dintorni di Baia e del Vesuvio, mescolata con calce e pietrame, induriva sott'acqua come all'asciutto.



Il calcestruzzo marino: si riempivano di malta di cenere e pietrame cassoni di legno piantati in mare.

Per i porti i costruttori conficcavano pali di legno nel fondale, li collegavano in un recinto e lo riempivano di malta e blocchi di tufo direttamente in acqua; Vitruvio descrive anche recinti prosciugati prima del riempimento. Plinio il Vecchio descriveva quei moli come un'unica massa di pietra, ogni giorno più salda. Nel 2017 un gruppo guidato dalla geologa Marie Jackson ha mostrato che l'acqua di mare scioglie lentamente parte della cenere e che nei suoi pori crescono nuovi minerali, tra cui la rara tobermorite alluminosa e la phillipsite. Secondo il gruppo, questi cristalli intrecciati aiutano il calcestruzzo a resistere alle fessure.

Gli operai costruivano il calcestruzzo romano a strati. Disponevano uno strato di pietre grandi come un pugno o di mattoni rotti, vi battevano dentro la malta e ripetevano strato dopo strato; la malta arrivava al muro in ceste portate a mano. I paramenti di mattoni o di piccoli blocchetti facevano da cassaforma a perdere. A intervalli regolari, ricorsi di grandi tegole piatte attraversavano il muro e legavano i paramenti al nucleo.

Nel 2023 un gruppo del MIT guidato da Admir Masic ha studiato i piccoli grumi bianchi di calce presenti nel calcestruzzo romano. Ne ha concluso che i costruttori aggiungevano una parte della calce come calce viva, che scalda l'impasto reagendo. I grumi fanno da riserva: quando l'acqua entra in una crepa, vi scioglie calce e deposita carbonato di calcio che sigilla la fessura. Il gruppo ha poi preparato malte di prova moderne con aggiunta di calce viva, le ha fessurate e vi ha fatto scorrere acqua; secondo il resoconto del MIT le crepe si sono richiuse in circa due settimane, mentre un campione di controllo senza calce viva non si è riparato.

I grumi bianchi sono noduli di calce. Dove una crepa ne attraversa uno, l'acqua può sciogliere la calce e richiudere la crepa con calcite.

Il calcestruzzo romano resiste meno a compressione di un calcestruzzo moderno di cemento Portland e acquista resistenza lentamente. I costruttori ne tenevano conto: nel Pantheon, archi di mattoni annegati nei muri reggevano i carichi mentre il calcestruzzo induriva.

Come costruirlo

Un piccolo blocco di prova lungo circa 30 cm basta per vedere come si comporta il materiale. Consideratelo solo una dimostrazione, mai un elemento portante. Usate prodotti venduti per i lavori a calce e per il restauro.

Procurarsi i materiali. Servono calce idrata in polvere, pozzolana naturale o un'altra pozzolana venduta per malte di calce, e inerti: mattoni rotti o pietre pulite, dalla grandezza di una noce a quella di un uovo. Indossate guanti e occhiali fin dall'inizio, lavorate in un luogo ben aerato ed evitate di sollevare polvere.

Impastare la malta. Usate le proporzioni in volume che il fornitore della pozzolana indica per la calce idrata. Indossate un facciale filtrante ben aderente, come richiedono le schede di sicurezza, e mescolate le polveri a secco. Aggiungete acqua poco per volta finché la malta è soda e appiccicosa, non liquida.

Alzare i paramenti. Inumidite prima i mattoni e l'inerte di mattone, senza lasciare acqua in superficie, perché non sottraggano acqua alla malta fresca. Murate due paramenti corti e sottili di mattoni con malta di calce, un palmo di altezza alla volta. Fanno da cassaforma e restano al loro posto.

Riempire il nucleo. Stendete uno strato di malta fra i paramenti, affondatevi gli inerti e poi battete altra malta negli interstizi con un pestello di legno finché non restano vuoti. Lavorate a strati di circa 6-8 cm, così che la malta avvolga ogni pezzo, e chiudete con un ricorso di tegole piatte per tutto lo spessore del blocco.

Lasciarlo maturare lentamente. Tenete l'opera umida e all'ombra per almeno due settimane, coperta con teli di juta bagnati, e proteggetela dal gelo. Calce e pozzolana continuano a indurire per mesi; rompete il blocco dopo qualche mese per vedere fin dove ha fatto presa.

> **Sicurezza.** La calce è caustica. Brucia la pelle e può accecare: indossate guanti, maniche lunghe e occhiali a tenuta, sciacquate subito ogni schizzo con molta acqua pulita e per gli occhi rivolgetevi a un medico. Usate un facciale filtrante ben aderente quando versate o mescolate a secco calce e pozzolana. Non spegnete da soli la calce viva e non tentate la «miscelazione a caldo» romana: calce viva e acqua reagiscono con violenza, ribollono e schizzano. Questa miscela casalinga non è collaudata: non usatela per gradini, muri o qualsiasi cosa debba reggere un carico.

Storia ed evoluzione

Le malte di calce erano in uso nel Mediterraneo molto prima di Roma; i costruttori romani ne fecero un materiale strutturale. Il calcestruzzo era di uso comune verso il 150 a.C., e alcuni studiosi ne collocano gli inizi un secolo prima. Il calcestruzzo che fa presa sott'acqua fu probabilmente messo a punto intorno al golfo di Napoli, da dove viene la cenere, prima della fine del II secolo a.C.; quali opere portuali conservate siano le più antiche è discusso.

In età imperiale sorresse la maggior parte dei grandi edifici. Il porto di Erode a Cesarea, costruito a partire dal 22 a.C. circa, fu realizzato con cenere spedita dall'Italia. Il Pantheon, ricostruito sotto Adriano tra il 117 e il 125 d.C. circa, ha una cupola di 43,3 m di diametro con un'apertura rotonda di circa 9 m alla sommità. I suoi muri sono spessi circa 6 m, e l'inerte passa dal pesante travertino delle fondazioni al tufo e al laterizio, fino alla leggera pomice con tufo nella parte alta della cupola. Resta la più grande cupola in calcestruzzo non armato del mondo.

Dopo la caduta dell'Impero d'Occidente le grandi costruzioni in calcestruzzo si fecero rare e la malta di calce tornò soprattutto a legare le murature. Il calcestruzzo moderno, di cemento Portland e spesso armato con acciaio, fa presa più in fretta ed è più resistente, ma in acqua di mare può fessurarsi, e il suo acciaio corrodersi, in pochi decenni se è fatto o protetto male. Oggi i ricercatori studiano le carote dei porti romani e i noduli di calce per ottenere calcestruzzi più durevoli e che emettano meno anidride carbonica.

Dati chiave

Legante
Calce, spesso con cenere vulcanica (pozzolana)

Impasto per opere sott'acqua
Circa 1 parte di calce per 2 di cenere (Vitruvio)

Cupola del Pantheon
43,3 m di diametro, senza armatura, completata verso il 125 d.C.

Densità del calcestruzzo del Pantheon
Circa 2200 kg/m^3 nelle fondazioni, 1350 kg/m^3 vicino alla sommità

Fonti

1. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II (lime and pozzolana) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book V, chapter 12 (harbours) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/5*.html
3. Hot mixing and the durability of ancient Roman concrete (news release, 6 January 2023) · MIT News https://news.mit.edu/2023/roman-concrete-durability-lime-casts-0106
4. How seawater strengthens ancient Roman concrete (news release, 3 July 2017) · University of Utah, via EurekAlert! https://www.eurekalert.org/news-releases/778694
5. The Pantheon: crown jewel of Roman concrete (David Moore, Constructor, 2002) · Associated General Contractors of America (Constructor magazine) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%c3%a7onnerie/B%c3%a9tonRomain/RomanConcretePantheon-Moore2002.pdf
6. Roman concrete · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Roman_concrete
7. A comparison of the chemical and engineering characteristics of ancient Roman hydraulic concrete with a modern reproduction of Vitruvian hydraulic concrete (Gotti, Oleson et al., Archaeometry 50, 2008) · University of Oxford / Wiley (Archaeometry) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%C3%A7onnerie/B%C3%A9tonRomain/RomanConcrete-Gotti2008.pdf
8. Building for Eternity: the History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea (J. P. Oleson ed., 2014) · Oxbow Books https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/AUTHORS/Oleson2014-BuildingforEternity.pdf
9. Building a Roman pila: the ROMACONS experiment at Brindisi, September 2004 · J. P. Oleson, University of Victoria https://web.uvic.ca/~jpoleson/Harbour%20Concrete/ROMACONS04Pila.html
10. FEM static and dynamic modeling of Roman vaulted monuments in opus caementicium (R. Perucchio, 2012) · University of Rochester, via SAHC Masters https://msc-sahc.org/wp-content/uploads/2020/07/5-fem-roman-vaults-guimaraes-1oct2012.pdf

Fatti verificati il 2026-10-12

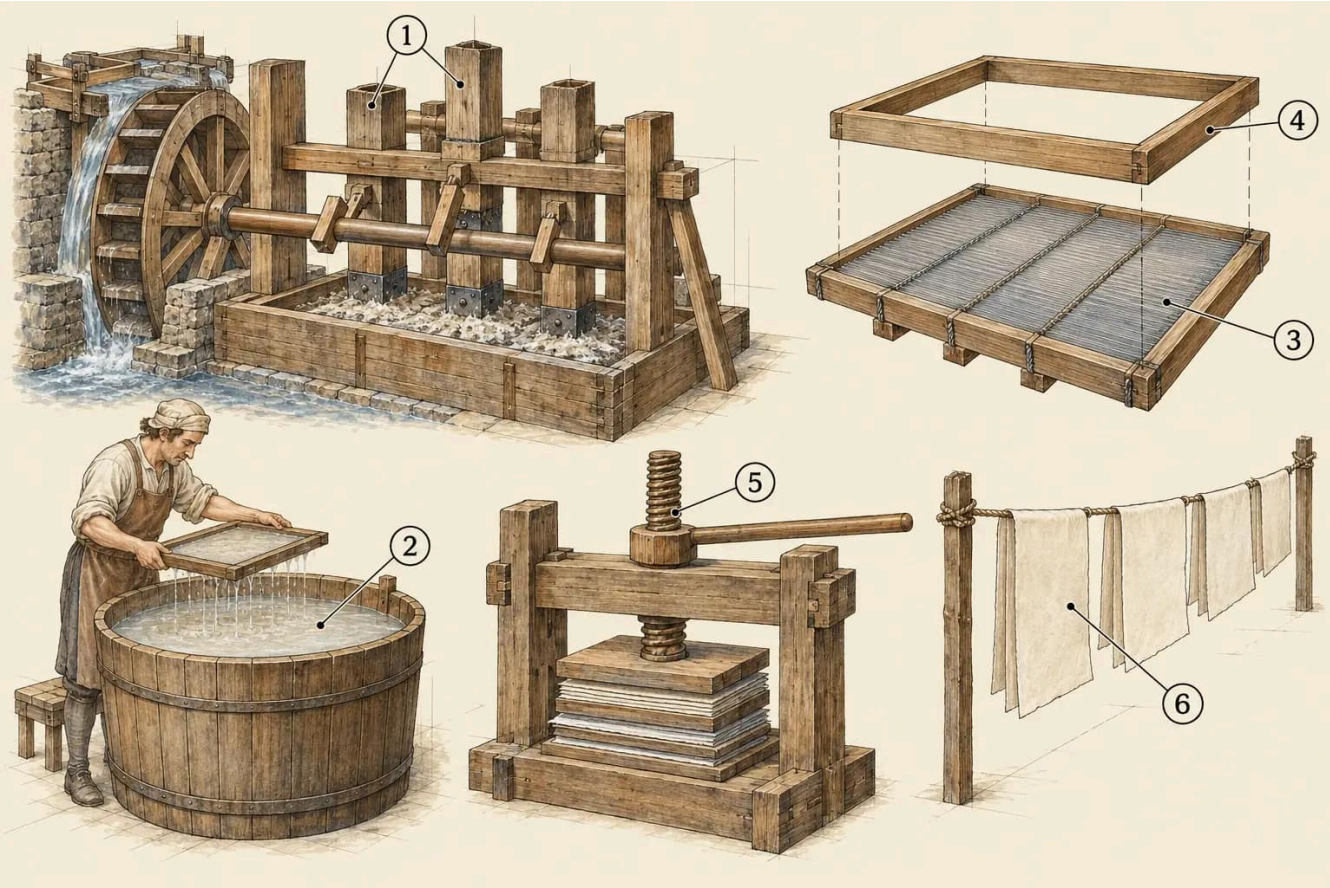
Carta

Un supporto economico per la memoria

c. 150 a.C. · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Ceramica (p. 23)

Porta a: Mongolfiera (p. 231), Torchio da stampa (p. 205)



1 Pile a magli che battono gli stracci fino a farne pasta 2 Tino della pasta 3 Forma 4 Cascio
5 Torchio a vite con una posta di feltri e fogli 6 Fogli stesi ad asciugare

La carta è un sottile feltro di fibre vegetali, battute in acqua, raccolte su un setaccio e fatte asciugare finché si legano le une alle altre. Più leggera delle listelle di bambù e più economica della seta o della pergamena, ha portato la scrittura e poi la stampa dalla Cina degli Han al resto del mondo.

Che cos'è

La carta è un foglio di fibre vegetali separate, disperse in acqua e depositate in uno strato sottile. Asciugando, lo strato resta unito senza colla. Il papiro, invece, è fatto di strisce del midollo del papiro, una pianta palustre, pressate in senso incrociato, e la pergamena è pelle animale.

Si può ricavare perfino da scarti come stracci e vecchie reti da pesca. Da circa duemila anni fa da supporto a scritti, stampe, denaro e carte geografiche.

La tavola mostra il metodo europeo a mano, rimasto in uso finché le macchine non lo sostituirono nell'Ottocento.

Come funziona

La resistenza della carta viene dalla cellulosa, la lunga molecola delle pareti cellulari vegetali. Battute in acqua, le fibre si gonfiano e si sfaldano in fibrille sottili. Mentre lo strato umido asciuga, l'acqua avvicina le fibre e in ogni punto di contatto si formano legami a idrogeno. L'acqua li scioglie, e per questo la carta bagnata si strappa così facilmente.

Corteccia, canapa, stracci e vecchie reti: i materiali citati nel rapporto di Cai Lun del 105.

Per prima cosa la materia prima diventa pasta. In Cina corteccia, canapa e più tardi bambù venivano messi a bagno, bolliti e pestati. In Europa gli stracci di lino e di canapa marcivano per qualche settimana, poi venivano battuti nelle pile da magli di legno, sollevati dalle camme sull'albero di una ruota idraulica.

Vergelle sottili, filoni più robusti e una filigrana cucita in filo metallico.

La pasta viene stemperata in un tino d'acqua finché sembra latte annacquato. Il lavorante immerge la forma, un telaio di legno su cui sono tesi fili metallici sottili, e la solleva in piano. Sopra poggia un telaio mobile, il cascio, che delimita il bordo del foglio. Mentre l'acqua scola, il lavorante scuote brevemente la forma nei due sensi, perché le fibre si incrocino e si intreccino.

Il ponitore rovescia la forma su un feltro di lana, e il foglio umido resta sul feltro. Feltri e fogli si impilano in una posta, che va sotto un torchio a vite per spremere gran parte dell'acqua. Poi i fogli asciugano su corde. Per scrivere con penna e inchiostro, in Europa i fogli si immergevano nella gelatina animale; senza di essa l'inchiostro si spande come sulla carta assorbente.

Come fabbricarla

Gli stracci di cotone o lino, la canapa e la corteccia interna del gelso sono le fibre più facili. Il legno va macinato a macchina o cotto con prodotti chimici.

Preparare la fibra. Tagliate gli stracci a pezzetti. Lasciateli a bagno diversi giorni, poi batteteli con un pestello o un mazzuolo su una pietra piatta, finché un pizzico agitato in un barattolo d'acqua si apre in una nuvola soffice, senza più fili. La corteccia va prima bollita per qualche ora in acqua e cenere di legna, in una pentola di ferro o d'acciaio inox (mai d'alluminio), poi sciacquata finché l'acqua esce limpida e la fibra non è più scivolosa al tatto, e infine battuta.

Fare la forma e il cascio. Costruite due telai identici in legno a fibra dritta, delle dimensioni del foglio voluto. Su uno tendete un setaccio fine: filo di ottone, tela a trama fitta oppure sottili steli di bambù o d'erba legati uno accanto all'altro, come facevano i cartai in Asia. Il telaio nudo è il cascio.

Formare il foglio. Riempite la vasca d'acqua e aggiungete pasta finché l'acqua diventa torbida. Tenete insieme forma e cascio, immergeteli dal lato opposto, sollevateli in orizzontale e scuoteteli con delicatezza mentre l'acqua scola.

Trasferire sul feltro e pressare. Togliete il cascio, rovesciate la forma a faccia in giù su un feltro umido e premete lungo il dorso perché il foglio resti sul feltro. Mettete sopra un altro feltro e ripetete. Pressate la pila tra assi

appesantite o in un torchio a vite.

Asciugare e collare. Appendete i fogli a una corda, oppure stendeteli con una spazzola su un'asse liscia. Per scriverci a inchiostro, immergete i fogli asciutti in gelatina tiepida e diluita o in colla d'amido, e lasciateli riasciugare.

> **Sicurezza.** La liscivia di cenere brucia la pelle e gli occhi: indossate guanti e occhiali protettivi, e fate bollire la fibra all'aperto. Il pavimento intorno al tino resta bagnato e scivoloso. Le pile a magli mosse dall'acqua e i torchi a vite possono schiacciare le dita, quindi, prima di metterci le mani, staccate la ruota, bloccate i magli perché non possano ricadere e allentate il torchio.

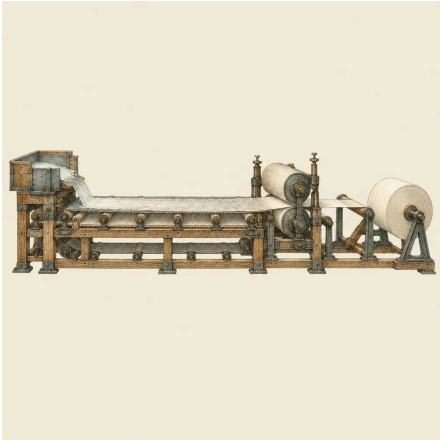
Storia ed evoluzione

Per secoli l'invenzione fu attribuita a Cai Lun, funzionario alla corte degli Han orientali, che nel 105 d.C. presentò all'imperatore un modo di fare la carta con corteccia, scarti di canapa, stracci e reti da pesca. L'archeologia ha spostato indietro la data: un frammento con una mappa, rinvenuto in una tomba a Fangmatan (Gansu), risale al II secolo a.C. Probabilmente Cai Lun perfezionò il procedimento e rese la carta adatta alla scrittura.

L'arte della carta raggiunse la Corea, il Vietnam e, all'inizio del VII secolo, il Giappone. Si dubita che prigionieri cinesi catturati a Talas nel 751 l'abbiano portata a Samarcanda, perché lì la carta si usava già prima. Dal mondo islamico il mestiere arrivò in Spagna, dove a Xàtiva si faceva carta già nel XII secolo.

Nel XIII secolo le cartiere di Fabriano, in Italia, introdussero le pile a magli mosse dall'acqua, la collatura con gelatina e la filigrana. Ulman Stromer aprì nel 1390 a Norimberga la prima cartiera documentata in terra tedesca.

Nel 1799 il francese Louis-Nicolas Robert brevettò una macchina che formava la carta su una tela metallica senza fine. I fratelli Fourdrinier ne finanziarono lo sviluppo in Inghilterra, e le macchine moderne mantengono la stessa disposizione. Negli anni Quaranta dell'Ottocento Friedrich Gottlob Keller in Sassonia e Charles Fenerty in Nuova Scozia dimostrarono che il legno macinato poteva sostituire gli stracci. La pasta di legno rese la carta molto più economica e aiutò la diffusione dei giornali, ma spesso era acida, e molti libri dell'Ottocento sono ingialliti e diventati fragili, mentre la carta di stracci del Quattrocento è ancora morbida.



Nella macchina continua la forma diventò una tela metallica senza fine e il foglio un nastro continuo.

Dati chiave

Frammento più antico conosciuto
Mappa di Fangmatan (Gansu), tra il 179 e il 141 a.C.

Prima cartiera in terra tedesca
Norimberga, 1390

Primo brevetto di una macchina per la carta
Louis-Nicolas Robert, Francia, 1799

Rapporto di Cai Lun all'imperatore
105 d.C.

Produzione di una squadra al tino, a mano
Da 1.000 a 4.500 fogli circa in una lunga giornata

Fonti

1. History of paper · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_paper
2. The oldest paper on Earth to be displayed (Fangmatan map) · Hong Kong SAR Government https://www.info.gov.hk/gia/general/199809/05/0904159.htm
3. Cai Lun invents paper · EBSCO Research Starters https://ebsco.com/research-starters/history/cai-lun-invents-paper
4. Topics in Preservation Science: Fabriano paper · Library of Congress https://loc.gov/preservation/outreach/tops/albro/index.html
5. The history of papermaking · Confederation of European Paper Industries (CEPI) https://cepi.org/?p=768
6. Magnolia PaperWeight: an app for hand papermakers and paper conservators · Magnolia Editions (Donald Farnsworth) https://www.magnoliaeditions.com/wp-content/uploads/2021/05/PaperWeight-article-V2.1.pdf
7. Cranberry Corner No. 5 · Guild of Book Workers Newsletter (Edward H. Snider) https://guildofbookworkers.org/sites/default/files/newsletter/gbw115/paper.html
8. European Papermaking Techniques 1300–1800 · University of Iowa (Timothy Barrett) https://paper.lib.uiowa.edu/european.php
9. Chain lines · Mills Archive https://millsarchive.org/glossary/a-z-glossary/2794

Fatti verificati il 2026-10-11

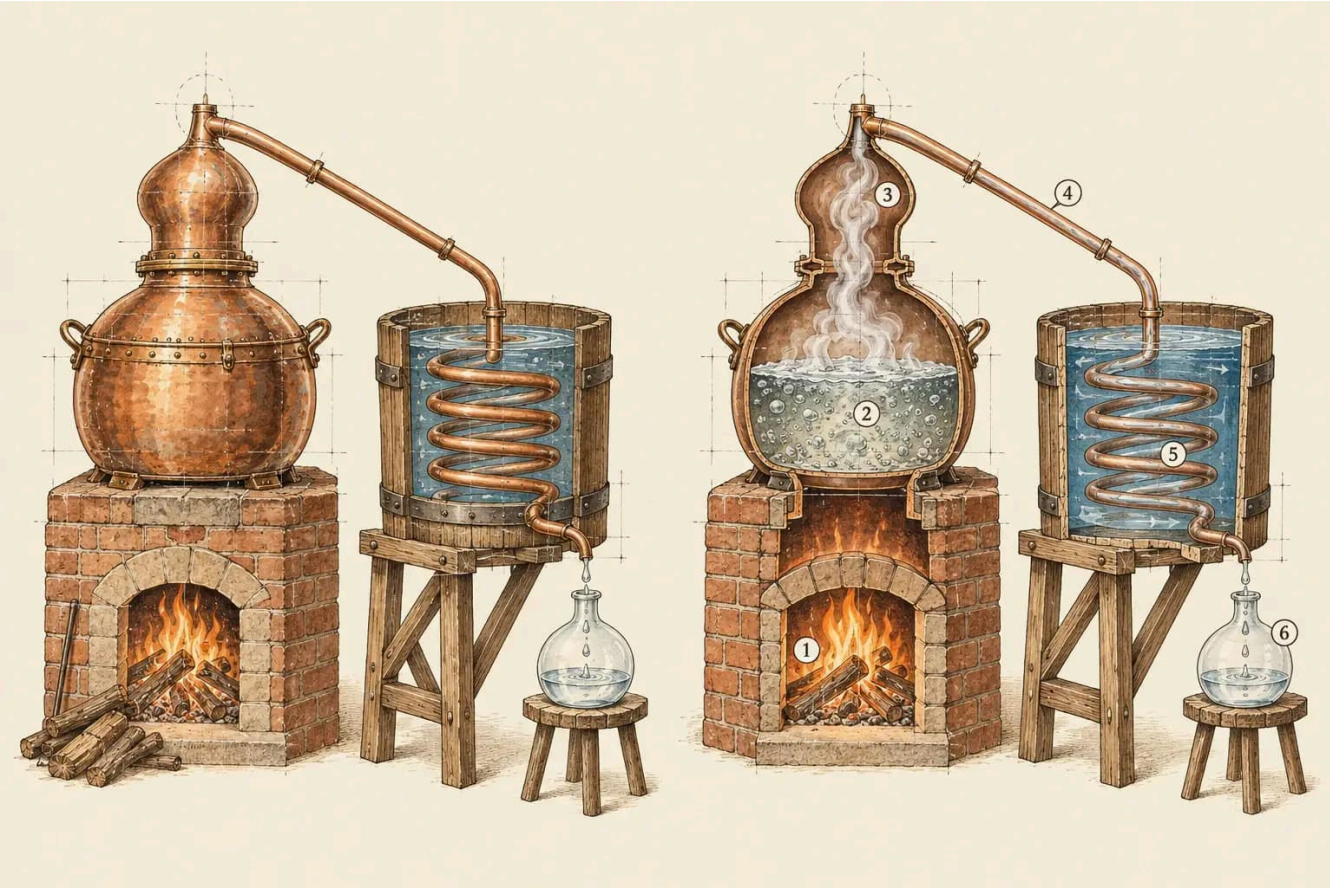
Distillazione

Separare i liquidi bollendo e condensando

c. 300 · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Ceramica (p. 23), Controllo del fuoco (p. 9)

Porta a: Igiene e antisepsi (p. 297), Motore a combustione interna (p. 311), Refrigerazione (p. 280)



1 Fuoco del fornello 2 Caldaia con il liquido in ebollizione 3 Capitello 4 Tubo del vapore 5 Serpentina in un tino d'acqua fredda 6 Recipiente di raccolta

La distillazione separa i componenti di un liquido scaldandolo finché in parte evapora e raffreddando quel vapore, che torna liquido in un altro recipiente. Descritta nell'Egitto romano verso il 300 d.C., ha dato acqua pura, profumi e oli essenziali, alcol per la medicina e, dall'Ottocento, i carburanti raffinati dal petrolio.

Che cos'è

Distillare vuol dire separare delle sostanze facendole evaporare e poi condensare. Si scalda un liquido, quasi sempre fino all'ebollizione, finché una parte diventa vapore; il vapore viene condotto altrove, raffreddato, e torna liquido in un altro recipiente. Ciò che non evapora resta nella caldaia: sale, fango, coloranti, quasi tutti i germi.

Gli speziali la usavano per medicine e acque odorose, i profumieri per estrarre il profumo dai fiori, i medici per ottenere l'alcol forte con cui scioglievano i farmaci e curavano le ferite. Laboratori e ospedali usano acqua distillata perché non contiene quasi più sali disciolti, e per lo stesso motivo la si aggiunge nelle batterie al piombo.

La tavola mostra un alambicco dei primi del Cinquecento, come lo disegnavano i primi libri a stampa sulla distillazione: una caldaia di rame su un piccolo fornello, un capitello a cupola e un tubo che si avvolge in un tino d'acqua fredda prima di gocciolare in una boccia.

Come funziona

Ogni liquido emette vapore, tanto più quanto è caldo, e bolle quando la pressione di quel vapore eguaglia quella dell'aria. Al livello del mare l'acqua bolle a 100 °C, l'etanolo, l'alcol del vino, a circa 78 °C e il metanolo a circa 65 °C. I sali quasi non evaporano: facendo bollire l'acqua di mare e condensando il vapore si ottiene acqua dolce.

Il fuoco scalda la caldaia e il vapore sale nel capitello. Da lì scende lungo un tubo fino alla serpentina, una spirale immersa nell'acqua fredda che gli sottrae calore. Il vapore si condensa dentro il rame e cade a gocce nel recipiente di raccolta.

Gli oli essenziali si ricavano in corrente di vapore. Il vapore attraversa fiori, foglie o scorze e porta via il loro olio profumato. Olio e acqua non si mescolano, quindi ciascuno aggiunge la propria tensione di vapore e la coppia bolle sotto i 100 °C, anche quando l'olio da solo bollirebbe oltre i 250 °C. L'olio passa così senza bruciare e si raccoglie in uno strato a parte.

Nel vaso fiorentino l'olio galleggia sull'acqua, che defluisce dal tubo laterale.

Quando nella caldaia ci sono due liquidi miscibili che evaporano entrambi, come acqua e alcol, la separazione è solo parziale. Il vapore è più ricco del più volatile, ma mai puro, e per questo i distillatori ripassavano il prodotto nell'alambicco. Una colonna di frazionamento ripete l'operazione molte volte in un solo passaggio: il vapore che sale incontra il liquido che ridiscende, il riflusso, e a ogni livello una parte condensa e torna a bollire. Le raffinerie dividono così il greggio in gas, benzina, cherosene, gasolio e residui pesanti secondo gli intervalli di ebollizione.

Come si costruisce

Questa sezione tratta una cosa sola: rendere potabile un'acqua salata o fangosa. Non descrive la produzione di alcol. Distillare superalcolici in casa è vietato senza licenza in molti paesi, e un alambicco mal condotto può concentrare metanolo, che rende ciechi e uccide anche in piccole quantità e non si riconosce né dal sapore né dall'odore.

Distillatore solare. Versate qualche centimetro d'acqua in una vaschetta bassa e scura, in pieno sole. Copritela con un vetro pulito, o con plastica trasparente per alimenti che regga il calore, inclinati in modo che le gocce scivolino sulla faccia inferiore fino a una grondaia lungo il bordo basso, che porta a un barattolo di vetro coperto. Sigillate i bordi perché il vapore non sfugga. Con il sole dei tropici un distillatore ben fatto dà due o tre litri per metro quadrato al giorno; altrove, e con materiali di fortuna, contate su meno.

Pentola e coperchio. Riempite a metà una pentola grande di metallo e mettetela sul fuoco. Al centro sistemate una ciotolina pulita di metallo su una pietra, con il bordo ben sopra l'acqua. Mettete un coperchio di metallo capovolto, con il pomolo verso la ciotola, e tenetelo freddo con neve, acqua fredda o un panno bagnato; non raffreddate mai così un coperchio di vetro, che può andare in pezzi. Mantenete un bollore leggero: un'ebollizione forte schizzerebbe acqua non trattata nella ciotola.

Cercate le perdite. Lasciate asciugare qualche goccia dell'acqua raccolta su un piatto scuro e pulito. Una crosta bianca indica che acqua non trattata schizza o filtra nel recipiente di raccolta. Un piatto pulito non prova altro: né

Con il coperchio capovolto, l'acqua che vi condensa scorre verso il pomolo e gocciola nella ciotola.

che il distillatore separi bene né che l'acqua sia sicura, perché un'acqua limpida può contenere sostanze nocive e solo un'analisi di laboratorio lo può accertare.

Conoscete i limiti. La distillazione lascia indietro sale, metalli come il piombo, nitrati e germi. Non elimina con sicurezza le sostanze che bollono vicino ai 100 °C o sotto, come certi solventi e carburanti, e altre sostanze chimiche passano con il vapore: se la fonte può essere inquinata da prodotti chimici, cercatene un'altra. Conservate l'acqua in recipienti puliti e coperti di vetro, acciaio inox o plastica per alimenti, perché i germi tornano in fretta. Evitate le terrecotte smaltate, il cui smalto può cedere piombo.

> **Sicurezza.** Il vapore ustiona più dell'acqua bollente: sollevate i coperchi lontano dal viso. Non chiudete mai ermeticamente un recipiente che si sta scaldando e non legatene il coperchio; il vapore deve sempre poter uscire, altrimenti la pentola può scoppiare. Il vetro comune si incrina sulla fiamma o con un raffreddamento brusco. Sorvegliate il fuoco, tenetelo lontano dall'erba secca e i bambini a distanza. Non distillate mai carburante, alcol o liquidi sconosciuti: i loro vapori prendono fuoco, e il metanolo di un liquido fermentato passa nel distillato.

Storia ed evoluzione

A Tepe Gawra, nel nord dell'Iraq, vasi del V e IV millennio a.C. hanno attorno all'imboccatura un canaletto che forse raccoglieva un liquido condensato. In esperimenti pubblicati nel 2020 alcune repliche hanno dato acqua profumata, ma l'uso originario resta discusso.

Le prime descrizioni chiare di alambicchi vengono dall'Egitto romano. Verso il 300 d.C. l'alchimista Zosimo di Panopoli scrisse di alambicchi a uno o più tubi e ne attribuì alcuni a Maria l'Ebrea. Alchimisti e medici del mondo islamico ripresero l'apparecchio, e il suo nome arabo, al-anbiq, divenne «alambicco». Nel IX secolo il filosofo al-Kindi scrisse un libro sui profumi e sulla distillazione con più di cento ricette.

Il tribikos degli alchimisti alessandrini mandava il vapore da tre beccucci in tre bocce.

A Bologna, negli anni Settanta del Duecento, alcuni medici descrissero l'aqua vitae, l'«acqua di vita», alcol distillato dal vino e usato come rimedio. A Strasburgo il chirurgo Hieronymus Brunschwig pubblicò nel 1500 il primo manuale a stampa sulla distillazione delle acque medicinali, e nel 1512 un'opera più ampia.

Nel 1830 l'irlandese Aeneas Coffey brevettò un alambicco a due colonne che lavorava di continuo invece che a cotte. Verso il 1854 Samuel Kier gestiva a Pittsburgh una delle prime raffinerie di petrolio e distillava il greggio per ricavarne petrolio da lampada. Nel 2011 alla distillazione spettava ancora circa un terzo della capacità di dissalazione installata nel mondo, spesso in impianti che sfruttano il calore di scarto delle centrali elettriche.

Dati chiave

Punti di ebollizione al livello del mare

Acqua 100 °C, etanolo circa 78 °C, metanolo circa 65 °C

Distillatore solare semplice

Circa 2,3–3 litri per metro quadrato al giorno con sole tropicale

Dissalazione nel 2011

Circa un terzo della capacità mondiale per distillazione, il 60% per osmosi inversa

Prima descrizione chiara di un alambicco

Zosimo di Panopoli, Egitto, verso il 300 d.C.

Alambicco continuo a colonne

Brevettato da Aeneas Coffey nel 1830

Fonti

1. Ancient Distillation and Experimental Archaeology about the Prehistoric Apparatuses of Tepe Gawra (Belgiorno, 2020) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10508
2. Zosimos of Panopolis · Complete Dictionary of Scientific Biography, via Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/zosimos-panopolis
3. Classic kit: Mary's bath (Sella, 2009) · Chemistry World, Royal Society of Chemistry https://www.chemistryworld.com/opinion/classic-kit-marys-bath/3004925.article
4. Distillation · Foundation for Science, Technology and Civilisation (Muslim Heritage) https://muslimheritage.com/distillation/
5. Al-Kindī's Attack on Alchemy and His Perfume Making (Inoue, 2017) · Orient 52, Society for Near Eastern Studies in Japan https://www.jstage.jst.go.jp/article/orient/52/0/52_72/_article
6. Aqua vitae (Wondrich) · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/acref-9780199311132-e-1030
7. Coffey, Aeneas · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/id/acref-9780199311132-e-1328
8. Distilling reliable remedies: Hieronymus Brunschwig's Liber de arte distillandi (1500) (Taape) · Ambix 61, Apollo repository, University of Cambridge https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/260374
9. Liber de arte Distillandi de Compositis (Brunschwig, 1512) · Science History Institute https://digital.sciencehistory.org/works/1jcqz5i
10. Steam Distillation: Separation Theory (Nichols) · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Courses/SUNY_Oneonta/Chem_221%3A_Organic_Chemistry_I_(Bennett)/2%3ALab_Textbook_(Nichols)/05%3A_Distillation/5.05%3A_Steam_Distillation/5.5C%3A_Separation_Theory
11. Drinking Water Treatment: Distillation (G1493) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1493/html/view
12. Solar distillation · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Solar%20energy/solar-distillation/page5.html
13. Some Petroleum Pioneers of Pittsburgh (Mann, 2009) · Heinz History Center https://www.heinzhistorycenter.org/wp-content/uploads/2022/08/4-Petroleum-Pioneers.pdf
14. Modern technology and economical developments in desalination on emphasis of nuclear methodology (Abdallah) · Acta Technica Corviniensis, 2018 https://acta.fih.upt.ro/pdf/2018-2/ACTA-2018-2-08.pdf
15. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data (Sharqawy, Lienhard and Zubair, 2010) · Desalination and Water Treatment 16, via DSpace@MIT https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/69157

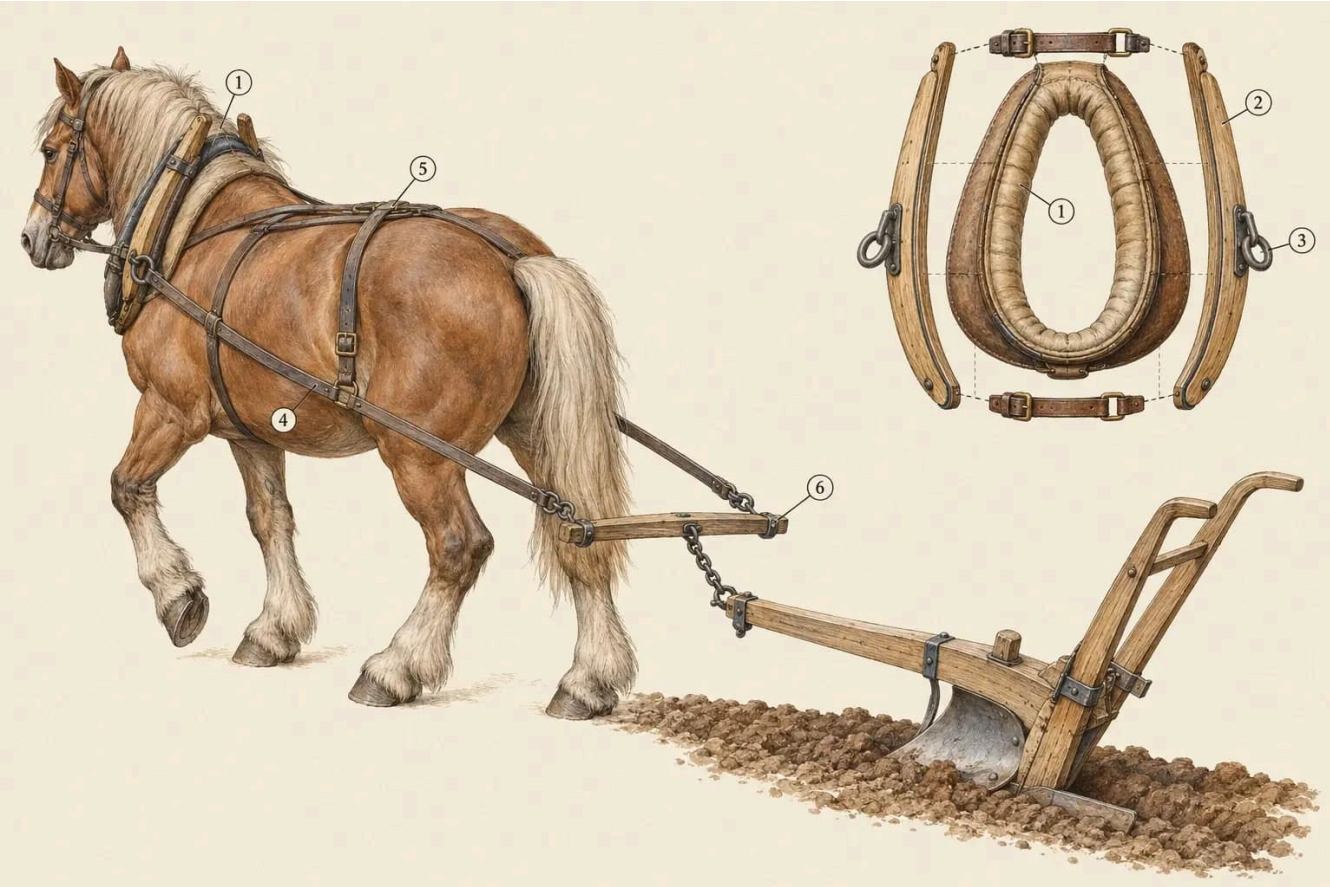
Fatti verificati il 2026-10-14

Collare da tiro

Il cavallo tira con le spalle

c. 480 · Antichità · Mestieri e città

Richiede: Concia delle pelli (p. 102), Corda e cordame (p. 13)



1 Collare imbottito 2 Stecche del collare 3 Gancio della tirella 4 Tirella 5 Dorsale 6 Bilancino

Il collare da tiro è un anello rigido e imbottito che poggia sulle spalle del cavallo; le tirelle vi sono agganciate vicino alla punta della spalla. Il cavallo può così spingere con tutto il suo peso contro il carico senza premere sulla trachea, e nell'Europa medievale prese ai buoi gran parte dell'aratura e dei trasporti.

Che cos'è

Il collare da tiro è un anello di cuoio imbottito di paglia, sagomato per posarsi alla base del collo, contro la parte anteriore delle spalle. Due pezzi curvi di legno o di ferro, le stecche, sono fissati con cinghie in una scanalatura che gira tutto intorno, e vi si agganciano le tirelle che trascinano il carico. Un dorsale sulla schiena tiene le tirelle alla giusta altezza, e una traversa di legno, il bilancino, ne collega le estremità all'aratro o al carro.

Con questa bardatura il cavallo spinge con il petto e le spalle, come una persona che si appoggia a un carretto a mano. Insieme al ferro di cavallo inchiodato e all'aratro pesante, il collare aiutò il cavallo a sostituire il bue in molte aziende agricole dell'Europa settentrionale nel Medioevo.

Come funziona

All'inizio il cavallo andava sotto il giogo, come il bue. Il timone del carro arrivava a un giogo posato sul collo o sul garrese della pariglia, la sporgenza sopra le spalle, tenuto da una cinghia intorno a ciascun collo. I cavalli da carro egizi portavano forcelle da giogo che poggiavano sulle spalle, e le pariglie greche e romane tiravano soprattutto contro una cinghia pettorale. Richard Lefebvre des Noëttes ricostruì tutto questo come una cinghia che risaliva e premeva sulla trachea. Gli esperimenti successivi lo smentiscono (vedi la storia).

La bardatura «gola e sottopancia» come gli storici l'hanno a lungo disegnata: un giogo sul garrese, una cinghia al collo e un sottopancia.

Il bue si adatta meglio al giogo. Ha il collo corto e grosso, e molte razze hanno una gobba o un rilievo muscolare davanti al garrese su cui il legno fa presa. Il giogo da testa si lega alle corna; il giogo da collo poggia sul collo, davanti alle spalle. Il cavallo invece ha il collo lungo e la trachea appena sotto la pelle.

Buoi sotto un giogo da collo: il legno preme sul collo davanti alle spalle e gli archetti lo chiudono da sotto.

Prima venne il pettorale: una larga cinghia che attraversa il petto sotto la trachea, con le tirelle che partono dalle estremità. È leggero e si usa ancora per le carrozze leggere, ma con un carico pesante e a strappi scivola e sfrega.

Il collare distribuisce la stessa spinta su una superficie più ampia e più rigida. La faccia interna poggia sui muscoli davanti alle scapole e lascia uno spazio alla gola. Le stecche formano un telaio rigido, così ogni tirella tira su tutto il collare. Per i bovini da tiro, W. Micuta, della Fondazione Bellerive, stimava l'appoggio di un collare ben imbottito in circa 1.200 cm^2 su entrambe le spalle, contro circa 200 cm^2 di un giogo da collo.

La linea di tiro conta quanto l'imbottitura. I ganci delle stecche stanno poco sopra la punta della spalla, e ogni tirella deve partire ad angolo retto rispetto all'inclinazione della spalla. Se le tirelle salgono verso un attacco alto, fanno leva e sollevano il collare contro la gola. Il bilancino ruota sul suo centro, così il cavallo può muovere le spalle camminando senza dare strappi al carico.

Come costruirlo

I collari li cuciono i sellai, con un rotolo di paglia pressata davanti e una faccia liscia verso il cavallo. Un buon collare usato, regolato con cura, di solito è meglio di uno fatto in casa.

Scegliere la misura. Il collare si misura all'interno, dall'alto in basso: 16 pollici (41 cm) o meno per un pony, 24 pollici (61 cm) o più per un cavallo da tiro pesante. Un cavallo dal collo grosso ha bisogno anche di un collare più largo in alto.

Controllare la calzata. Premete il collare contro le spalle, come sotto sforzo. Ai lati devono passare le dita distese tra il bordo e il collo, ma non la mano intera. Lasciate circa 5 cm alla gola. Un collare troppo corto risale e soffoca; uno troppo lungo scende sulla punta della spalla e sfrega.

Montare le stecche. Devono poggiare piatte nella scanalatura per tutta la lunghezza. Allacciate prima la cinghia in basso, poi tendete dritta quella in alto.

Regolare le tirelle. Il dorsale sostiene le tirelle alla giusta altezza e il sottopancia impedisce che salgano sotto sforzo. Regolateli entrambi perché ogni tirella lasci il gancio ad angolo retto con la spalla, e attaccate abbastanza in basso perché le tirelle non tirino mai il collare verso l'alto.

Attenzione alle piaghe. Il pelo consumato e corto sulla spalla è il primo segnale: correggete la calzata prima che la pelle si apra e lasciate a riposo il cavallo piagato finché non guarisce. Se il cavallo dimagrisce servirà un'imbottitura o un collare più piccolo. A ogni sosta sollevate il collare per far raffreddare le spalle; la sera pulite la faccia del collare e le spalle.

Lo spazio alla gola si controlla con il collare premuto contro le spalle.

> **Sicurezza.** Un cavallo da tiro può pesare quasi una tonnellata; può scalciare, imbizzarrirsi o schiacciarvi contro il carro. Imparate da un conducente esperto e fate tenere il cavallo da un aiutante mentre attaccate o staccate. Seguite ogni volta, allo stesso modo, la sequenza per attaccare e per staccare che vi è stata insegnata. Non scavalcate mai una tirella, non mettetevi mai tra il cavallo e il carico e non legatevi mai al carico con una corda o una redine. Parlate al cavallo prima di toccargli il posteriore. Concedete pause e acqua, e fermatevi se il cavallo mostra sofferenza o se la bardatura scivola.

Storia ed evoluzione

La Cina abbandonò il giogo per prima. Una scatola laccata dello Stato di Chu, dipinta nel IV secolo a.C., mostra cavalli che tirano contro una barra posta di traverso sul petto, e il pettorale, più morbido, è frequente nei rilievi di epoca Han. La prima immagine chiara di una bardatura a collare è una pittura murale della grotta 257 di Mogao, a Dunhuang, datata al 477–499 d.C., anche se l'imbottitura non si distingue bene. Pita Kelekna colloca pettorale e collare già nel I millennio a.C.

Il collare arrivò in Europa nell'Alto Medioevo, probabilmente attraverso l'Asia centrale. Lynn White lo collocò nel mondo carolingio verso l'800; W. Micuta indica l'XI secolo. Nel XII era ormai comune. Con i ferri per i terreni umidi e l'avena della rotazione triennale, i cavalli presero l'aratura in parte del Nord, lavorando più in fretta dei buoi.

Per decenni si credette che la bardatura antica strangolasse il cavallo. Lefebvre des Noëttes provò una ricostruzione nel 1910 e concluse che due cavalli tiravano poco più di 500 kg. In esperimenti pubblicati nel 1977, Jean Spruytte ricostruì bardature egizie, greche e romane, dimostrò che la ricostruzione precedente era sbagliata e con una di esse trainò circa una tonnellata sulla sabbia. Questi studi lasciano al collare la sua utilità per il tiro lento e pesante, come quello dell'aratro, e scartano l'idea di cavalli antichi soffocati dalla loro bardatura.

Dati chiave

Prima immagine chiara
Grotta 257 di Mogao, Dunhuang (Cina), 477–499 d.C.

In Europa
Verso l'800 nel mondo carolingio; diffuso nei secoli XI–XII

Misure del collare
Circa 16–24 pollici (41–61 cm), misurati all'interno, dall'alto in basso

Spazio alla gola
Circa 5 cm, con il collare premuto contro le spalle

Superficie d'appoggio (bovini da tiro)
Circa 1.200 cm^2 per un collare imbottito su entrambe le spalle, contro circa 200 cm^2 di un giogo da collo (stima di W. Micuta)

Fonti

1. Technology in the Middle Ages (Lynn White Jr., in Technology in Western Civilization, 1967) · Oxford University Press (course reading, Manchester University) https://users.manchester.edu/facstaff/ssnaragon/kant/lp/Readings/White,%20Plow.html
2. L'attelage dans l'Antiquité. Le prestige d'une erreur scientifique (Marie-Claire Amouretti, 1991) · Annales. Économies, Sociétés, Civilisations 46-1 https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1991_num_46_1_278939
3. Roman Traction Systems: the dorsal yoke (Judith A. Weller) · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/rts/dorsal.html
4. The Lefebvre des Noëttes review page · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/ldn/index.html
5. The Swiss collar for developing countries (W. Micuta) · FAO https://www.fao.org/4/V0600T/v0600T0j.htm
6. Collars, Hames and Harness Fitting (Horse & Mule Association of America, Leaflet 276, 1944) · Small Farmer's Journal https://smallfarmersjournal.com/collars-hames-and-harness-fitting/
7. Hitching Safely (Jenifer Morrissey, with Doc Hammill) · Rural Heritage https://ruralheritage.com/hitching-safely/
8. Horse Collar Harnessing: Ancient Carriage Tech · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2025-10/24/content_420664.html
9. Efficient equine transport (Pita Kelekna) · Cambridge University Press blog https://cambridgeblog.org/2009/05/efficient-equine-transport/
10. Horse collar · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Horse_collar

Fatti verificati il 2026-10-14

Polvere nera

L'esplosivo delle armi da fuoco e delle miniere

c. 850 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9), Carbone di legna (p. 65)

1 Edificio del mulino 2 Ruota idraulica 3 Argine alberato tra gli edifici 4 Barile di polvere con cerchi di rame
5 Fiaschetta da polvere in corno 6 Cristalli di salnitro

La polvere nera, o polvere da sparo, è una miscela di salnitro, carbone di legna e zolfo che brucia con grande rapidità, liberando gas caldi e una nuvola di fumo carico di particelle solide. Gli alchimisti cinesi la incontrarono nel IX secolo, e nei cinquecento anni successivi divenne il propellente di razzi, armi da fuoco e cannoni, poi uno strumento per le miniere e i grandi lavori.

Che cos'è

La polvere nera è il più antico esplosivo chimico conosciuto. È una polvere di colore nero o grigio scuro composta da tre sostanze: salnitro (nitrato di potassio), carbone di legna e zolfo. Quasi tutti i combustibili hanno bisogno dell'aria per bruciare, mentre la polvere nera porta con sé l'ossigeno e quindi brucia anche in uno spazio chiuso. In una frazione di secondo gran parte della sua massa diventa gas caldo, e la pressione di quel gas può spingere una pallottola fuori da una canna o spaccare la roccia.

Fino all'Ottocento fu l'unico esplosivo di uso comune e il propellente di tutte le armi da fuoco. Il nome di polvere nera la distingue dalle polveri senza fumo che la sostituirono nelle armi a partire dagli anni Ottanta dell'Ottocento.

Si usa ancora nei fuochi d'artificio, nelle micce di sicurezza, nelle armi ad avancarica e in alcune cave.

La tavola mostra dall'esterno un polverificio del Settecento. I mulini sorgevano molto distanziati lungo un fiume che ne muoveva le ruote, separati da argini di terra e da alberi, perché l'esplosione di uno avesse meno probabilità di far saltare il successivo. Sul Brandywine, nel Delaware, molti avevano tre spessi muri di pietra e un tetto e una facciata leggeri verso il fiume, così che lo scoppio di un'esplosione si sfogasse sull'acqua. Accanto alla scena compaiono un barile con cerchi di rame, scelto perché il rame fa scintille molto meno facilmente del ferro, una fiaschetta di corno in cui soldati e cacciatori portavano la polvere, e alcuni cristalli di salnitro.

Come funziona

La combustione è una reazione tra un combustibile e l'ossigeno. In un fuoco di legna l'ossigeno viene dall'aria, e il fuoco non può bruciare più in fretta di quanto l'aria raggiunga la legna. Nella polvere nera l'ossigeno è contenuto nel salnitro, mescolato intimamente al combustibile. Quando la polvere si scalda, il salnitro si decompone e cede il suo ossigeno proprio a contatto con le particelle di combustibile, e la reazione non deve aspettare l'aria.

Ogni ingrediente ha un compito preciso. Il salnitro è l'ossidante e costituisce la maggior parte della massa. Il carbone di legna è il combustibile principale; è poroso, quindi anche una piccola quantità offre all'ossigeno una grande superficie. Anche lo zolfo è un combustibile, ma conta soprattutto perché abbassa la temperatura a cui la miscela prende fuoco e la fa bruciare più in fretta. La purezza del salnitro e il tipo di legno da cui veniva il carbone cambiavano il comportamento di una polvere, ed è per questo che i polveristi curavano tanto l'uno e l'altro.

I prodotti sono in parte gas, soprattutto anidride carbonica, azoto e monossido di carbonio, e in parte sali di potassio solidi. Poco meno della metà della massa diventa gas. Il resto esce come un denso fumo bianco e come un residuo che sporca la canna delle armi, che andava pulita spesso.

La polvere nera deflagra: brucia molto in fretta, ma la reazione passa da un granello all'altro per effetto del calore. All'aperto, la polvere sciolta brucia con una vampata e una nuvola di fumo. Chiusa in una canna, il gas non può sfuggire, la pressione sale, la polvere brucia ancora più in fretta e il gas spinge fuori il proiettile. Gli esplosivi dirompenti come il tritolo o la dinamite invece detonano. Un'onda d'urto li attraversa a diversi chilometri al secondo, più veloce del suono in quel materiale, e la reazione si esaurisce quasi all'istante, con un colpo che frantuma. La polvere nera dà una spinta più lunga e più morbida. È quello che serve a un propellente, che deve accelerare una pallottola senza far scoppiare la canna, ed è il motivo per cui i cavatori la usarono a lungo per staccare e sollevare blocchi di pietra che la dinamite avrebbe mandato in pezzi.

Una scintilla, una fiamma, l'attrito, un urto o l'elettricità statica possono accendere la polvere nera, e molti operai sono morti nelle esplosioni dei polverifici. Quasi ovunque la fabbricazione, il deposito e il trasporto sono regolati dalle leggi sugli esplosivi.

Storia ed evoluzione

Gli alchimisti cinesi della dinastia Tang scaldavano salnitro, zolfo e molte altre sostanze in cerca di elisir di lunga vita. Un testo taoista datato di solito alla metà del IX secolo mette in guardia gli alchimisti da alcune miscele contenenti salnitro: chi le aveva scaldate si era bruciato le mani e il viso, e perfino la casa. Gli storici discutono se un testo precedente, dell'808, descriva già una miscela simile. La miscela prese il nome di *huoyao*, "medicina di fuoco".

Gli eserciti cinesi la portarono presto in guerra. Il *Wujing Zongyao*, un compendio militare completato nel 1044, descrive armi incendiarie e fumogene e contiene le più antiche formule scritte giunte fino a noi. Uno stendardo di seta di Dunhuang, dipinto a metà del X secolo, raffigura una lancia da fuoco, e le truppe Song usarono lance da

fuoco all'assedio di De'an nel 1132. Nel XIII secolo i difensori Jin e Song lanciavano dalle mura bombe a polvere contro gli eserciti mongoli che li assediavano, e il tubo della lancia da fuoco venne fatto di metallo e caricato con proiettili. Il cannone a mano in bronzo trovato nella provincia dello Heilongjiang non porta date, ma il luogo del ritrovamento lo collega a combattimenti documentati nel 1288, il che ne fa una delle più antiche armi da fuoco conservate.

La lancia da fuoco, un tubo di polvere legato a una lancia, sputava fiamme per qualche secondo a distanza ravvicinata.

Le prime armi da fuoco portatili cinesi erano corti tubi di bronzo fissati a un'asta di legno.

Nel XIII secolo la conoscenza della polvere si diffuse verso ovest attraverso l'impero mongolo e il mondo islamico. Nel sultanato mamelucco il trattato del siriano Hasan al-Rammah, scritto alla fine del Duecento, descrive sostanze incendiarie e razzi, e il frate inglese Ruggero Bacone citò la polvere nel 1267. I primi documenti e le prime immagini europee di armi da fuoco risalgono agli anni Venti del Trecento: nel 1326 la città di Firenze ordinò cannoni di metallo e relative munizioni, e un trattato che Walter de Milemete scrisse nel 1326-1327 per il giovane Edoardo III contiene il disegno di un cannone. Vent'anni dopo gli inglesi usarono probabilmente alcuni piccoli cannoni nella battaglia di Crécy. Nel Quattrocento le artiglierie d'assedio potevano abbattere in poche settimane le alte mura medievali, e gli ingegneri militari risposero con mura basse e spesse e bastioni angolati.

Il salnitro era l'ingrediente difficile da procurarsi. In Europa i salnitrai avevano il diritto di scavare i pavimenti di stalle, colombaie e cantine, e più tardi i governi crearono nitriere, dove il salnitro si formava in cumuli di terra e letame. Nel Seicento le compagnie commerciali europee ne comprarono grandi quantità in India, nel Gujarat, nel Bihar e nel Bengala. Nel 1775 il chimico Antoine Lavoisier divenne uno dei quattro commissari della nuova amministrazione reale delle polveri e, dal suo laboratorio all'Arsenale di Parigi, lavorò per migliorare la fornitura e la qualità della polvere francese. Nell'Ottocento i giacimenti di nitrato di sodio del deserto cileno rifornirono l'industria degli esplosivi e dei fertilizzanti, finché all'inizio del Novecento i chimici tedeschi impararono a ricavare composti dell'azoto dall'aria.

Il salnitro si forma lentamente dove i rifiuti organici marciscono nel terreno umido, e per secoli lo si raschiò da muri e pavimenti come questi.

I polverifici furono tra i luoghi di lavoro più pericolosi dell'età industriale. Gli stabilimenti du Pont sul Brandywine, nel Delaware, aperti nel 1802, contarono 288 esplosioni e almeno 228 morti prima di chiudere nel 1921. All'ingresso gli operai venivano perquisiti in cerca di fiammiferi e di parti metalliche su abiti e scarpe. La polvere nera scavò canali, gallerie e miniere: una delle prime testimonianze di brillamento in miniera viene da Banská Štiavnica, nel Regno d'Ungheria, nel 1627. Dagli anni Settanta dell'Ottocento la dinamite la sostituì nella maggior parte dei lavori da mina, e negli anni Ottanta e Novanta le polveri senza fumo a base di nitrocellulosa la sostituirono nelle armi da fuoco. Sopravvive nei fuochi d'artificio, nelle micce e tra chi tira con armi storiche.

Dati chiave

Un antico avvertimento scritto
Metà del IX secolo, un testo alchemico taoista, Cina

Più antiche formule scritte conservate
1044, il compendio militare Wujing Zongyao

Una delle più antiche armi da fuoco conservate
Cannone a mano in bronzo dello Heilongjiang, datato dal contesto a circa il 1288

Prima immagine europea di un'arma da fuoco
1326-1327, manoscritto di Walter de Milemete, Inghilterra

Polverifici du Pont, Delaware (1802-1921)
288 esplosioni, almeno 228 morti

Fonti

1. China in 1000 CE, Song dynasty module: gunpowder · Asia for Educators, Columbia University https://afe.easia.columbia.edu/songdynasty-module/tech-gunpowder.html
2. Christ Church MS 92: Walter of Milemete, De nobilitatibus, sapientiis et prudentiis regum (1326–1327) · Christ Church, Oxford (manuscript catalogue) https://www.chch.ox.ac.uk/sites/default/files/2023-09/MS-92.pdf
3. Eleutherian Mills (Hagley), National Register of Historic Places nomination form · U.S. National Park Service https://npgallery.nps.gov/NRHP/GetAsset/NHLS/66000259_text
4. Powder Yard Trail · Hagley Museum and Library https://www.hagley.org/pyt
5. Antoine-Laurent Lavoisier · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/antoine-laurent-lavoisier/
6. History of gunpowder · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_gunpowder
7. Heilongjiang hand cannon · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Heilongjiang_hand_cannon

Fatti verificati il 2026-10-12

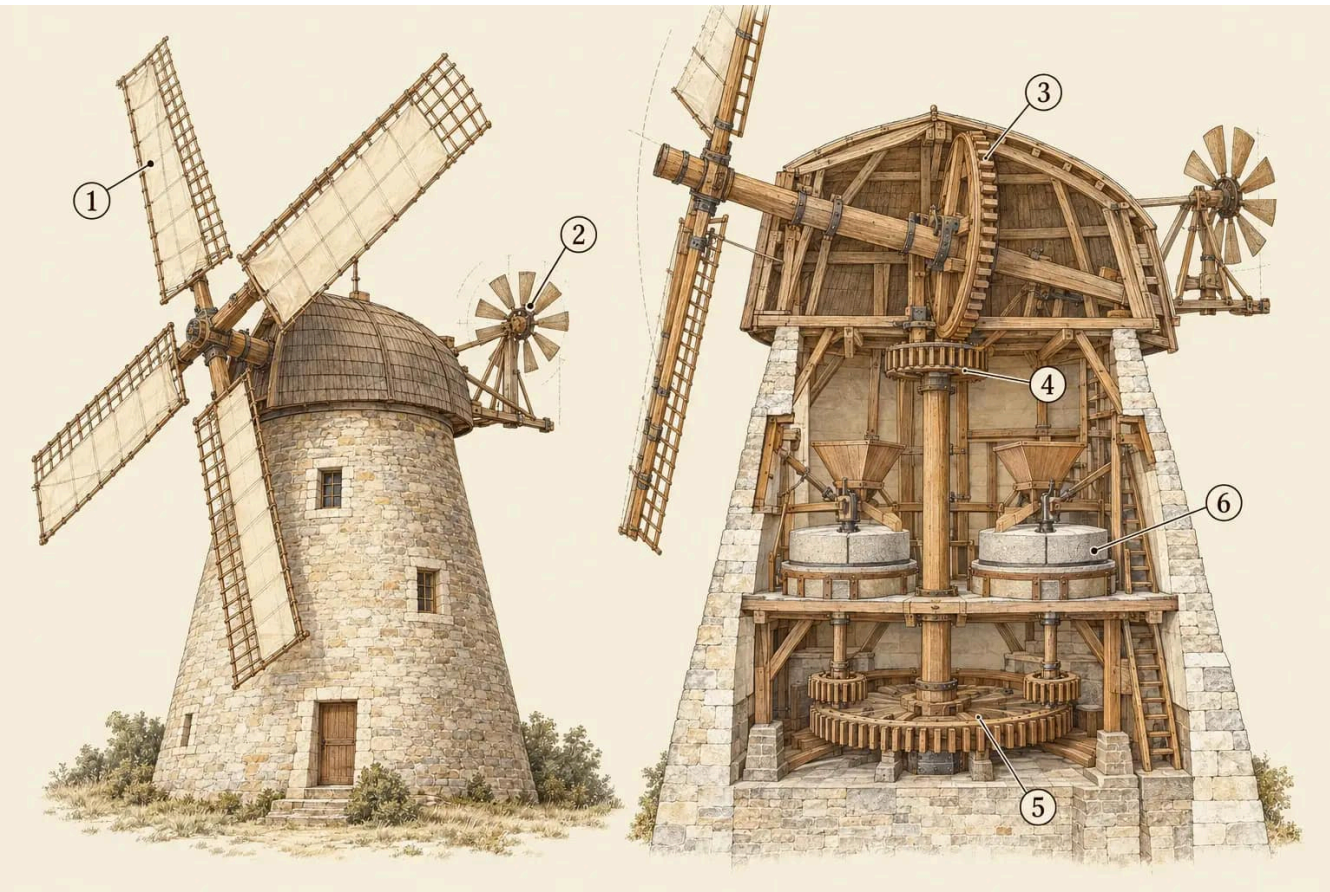
Mulino a vento

Il vento trasformato in farina

c. 900 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Ingranaggi (p. 154), Ruota idraulica (p. 158), Corda e cordame (p. 13)

Porta a: Turbina eolica (p. 337)



1 Pale 2 Ventola di orientamento 3 Ruota del freno 4 Lanterna 5 Grande ruota dentata 6 Macine

Un mulino a vento cattura il vento con grandi pale e trasmette quell'energia, attraverso ingranaggi di legno e ferro, a una macina che frantuma il grano. Dal XII secolo all'arrivo del vapore fu, insieme alla ruota idraulica, la principale fonte di forza meccanica in Europa.

Che cos'è

Un mulino a vento è una macchina che trasforma il movimento dell'aria in rotazione, e quella rotazione in lavoro utile. Per gran parte della sua storia quel lavoro è stato macinare il grano. I mulini a vento hanno anche prosciugato polder, segato legname, spremuto semi oleosi e triturato pigmenti.

Il mulino disegnato qui è un mulino a torre: una torre fissa di pietra con un cappello che ruota per portare le pale contro il vento. Questo tipo si diffuse in Europa dal tardo Medioevo, perché la muratura regge pale grandi e macchinari pesanti e li tiene al riparo dalle intemperie.

Come funziona

Il vento spinge sulle pale, leggermente svergolate e inclinate. Si comportano come le pale di un'elica: una parte della spinta diventa una coppia che fa girare l'albero delle pale, un grosso albero quasi orizzontale alloggiato nel cappello.

Il mulino a cavalletto ruota tutto intero sul suo palo; nel mulino a torre ruota solo il cappello.

Sull'albero è calettata la ruota del freno, una grande ruota con i denti piantati su una faccia. Ingrana con la lanterna, più piccola, montata sull'albero verticale: il moto passa dall'orizzontale al verticale e acquista velocità. Più in basso, la grande ruota dentata muove un piccolo pignone sull'asse di ogni coppia di macine. Nel mulino di Gedney Dyke, nel Lincolnshire, una ruota del freno di 96 denti muoveva una lanterna di 68, e una grande ruota di 120 denti pignoni di 18: le macine giravano così circa nove volte più veloci delle pale.

La girante poggia sulla nottola, in cima al fuso di ferro che attraversa la macina dormiente.

Il fuso, un asse di ferro, sale attraverso la macina fissa, detta dormiente. In cima porta la nottola, una barra o una croce di ferro che si incastra negli incavi dell'occhio della macina superiore, la girante, e ne sostiene tutto il peso. In alcuni mulini la grande ruota sta sopra le macine e il moto scende da un corto albero di ferro, ma la girante resta appoggiata al fuso. Il grano cade dalla tramoggia nell'occhio. I solchi incisi nelle due pietre lo tagliano e spingono la macinatura verso il bordo, da dove esce come farina. Il mugnaio alza o abbassa il fuso con un sistema di leve, e quella distanza decide quanto fine sarà la farina.

La potenza del vento cresce con il cubo della sua velocità: un vento due volte più forte porta otto volte più energia. Nessun rotore può estrarne più del 59,3%, il limite pubblicato da Albert Betz nel 1920. I mulini tradizionali restano molto al di sotto.

Come costruirlo

Un mulino a vento richiede una comunità organizzata: carpentieri, muratori, un fabbro e un mugnaio capace di rabbigliare le macine. I passaggi qui sotto danno l'ordine dei lavori e le scelte che contano; le misure spettano al costruttore di mulini.

Scegliere il sito. Un'altura aperta, lontana da alberi ed edifici, esposta al vento dominante. Sottovento a un albero o a una casa l'aria resta turbolenta per circa venti volte la sua altezza, quindi gli ostacoli vanno tenuti lontani dal lato da cui soffia il vento.

Innalzare la torre. Una torre rastremata di pietra o mattoni, con muri spessi alla base. In cima porta un anello in piano, di legno o di ferro, su cui il cappello gira su rulli.

Ricavare l'albero e le ruote. L'albero delle pale si squadra da un tronco di quercia e si rinforza con ferro nei punti di usura; dalla fine del Settecento molti furono fusi in ghisa. Le ruote sono di legno duro e i denti sono pezzi separati, spesso di carpino o di melo, che si sostituiscono quando si consumano.

Costruire le pale. Quattro bracci portano ciascuno un graticcio di listelli su cui si stende una tela. A mulino fermo e con le pale incatenate, il mugnaio stende più o meno tela su ogni pala secondo il vento, come un marinaio prende

i terzaroli.

Scegliere le macine. La pietra deve essere dura e porosa. La pietra francese di La Ferté-sous-Jouarre era ricercata in tutta Europa. Di solito la macina si componeva di più pezzi uniti con gesso e cerchiati di ferro.

Montare il freno. Una fascia di legno stringe il cerchio della ruota del freno. Deve trattenere le pale con vento forte, quindi va provata prima con una brezza leggera, e un costruttore di mulini deve verificare che, con le catene delle pale, tenga anche in burrasca prima che il mulino lavori.

> **Sicurezza.** Non passare mai nel raggio delle pale, anche quando girano piano, e non toccare una pala prima di aver serrato il freno e incatenato le pale. Tenere d'occhio il tempo: togliere le tele e mettere in sicurezza il mulino prima che arrivi la tempesta, perché in piena burrasca nessuno può lavorare sulle pale. All'interno, tenere mani, capelli e abiti larghi lontano da ingranaggi e alberi in movimento. Un freno surriscaldato può incendiare il cappello, e molti mulini sono bruciati così. La polvere di farina nell'aria è infiammabile: niente fiamme libere all'interno.

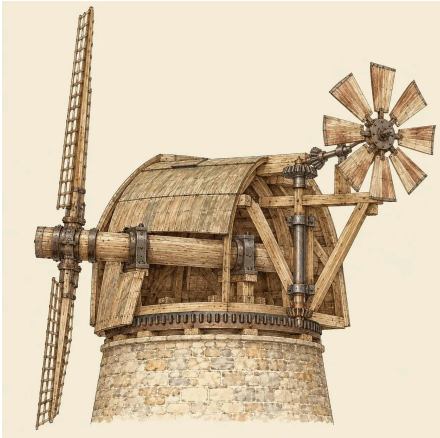
Storia ed evoluzione

I primi mulini a vento ben documentati si trovavano nel Sistan, al confine tra gli attuali Iran e Afghanistan. I geografi arabi li descrivono nel X secolo, e forse sono più antichi. Le loro pale girano attorno a un asse verticale, tra muri che incanalano il vento.

Il mulino ad asse orizzontale compare in Europa alla fine del XII secolo. Una delle più antiche attestazioni datate riguarda un mulino a cavalletto a Weedley, nello Yorkshire, registrato nel 1185 in un inventario delle terre dei Templari. Il mulino a torre, in cui gira solo il cappello, si diffuse più tardi e permise mulini molto più grandi.

Nel 1745 il fabbro inglese Edmund Lee brevettò la ventola di orientamento, una piccola ruota a palette sul retro del cappello. Quando il vento cambia direzione, la ventola comincia a girare e trascina il cappello finché le pale tornano di fronte al vento. Nel 1772 il costruttore di mulini scozzese Andrew Meikle introdusse le pale a molla, fatte di persiane che si aprono da sole sotto le raffiche.

A metà dell'Ottocento i Paesi Bassi contavano tra nove e diecimila mulini a vento, usati per macinare e soprattutto per prosciugare le terre. La macchina a vapore e poi il motore elettrico li hanno sostituiti; oggi ne restano circa mille. Le turbine eoliche moderne sfruttano la stessa fisica del rotore per azionare generatori.



La ventola fa ruotare il cappello sul suo anello dentato finché le pale tornano contro il vento.

Dati chiave

Velocità delle pale
Circa 10-15 giri/min con vento utile

Velocità della macina girante
Circa 100-150 giri/min

Potenza
Cresce con il cubo della velocità del vento

Limite teorico
59,3% dell'energia del vento (limite di Betz)

Fonti

1. Windmill · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Windmill
2. Betz's law · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
3. Fantail (windmill) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fantail_(windmill)
4. Technical descriptions of English windmills · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/2019/09/13/technical-descriptions-of-english-windmills/31
5. Weedley windmill site (R. Gregory) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/library/index/?which=8434
6. First Windmill Use · Environment & Society Portal, Rachel Carson Center https://www.environmentandsociety.org/taxonomy/term/5347

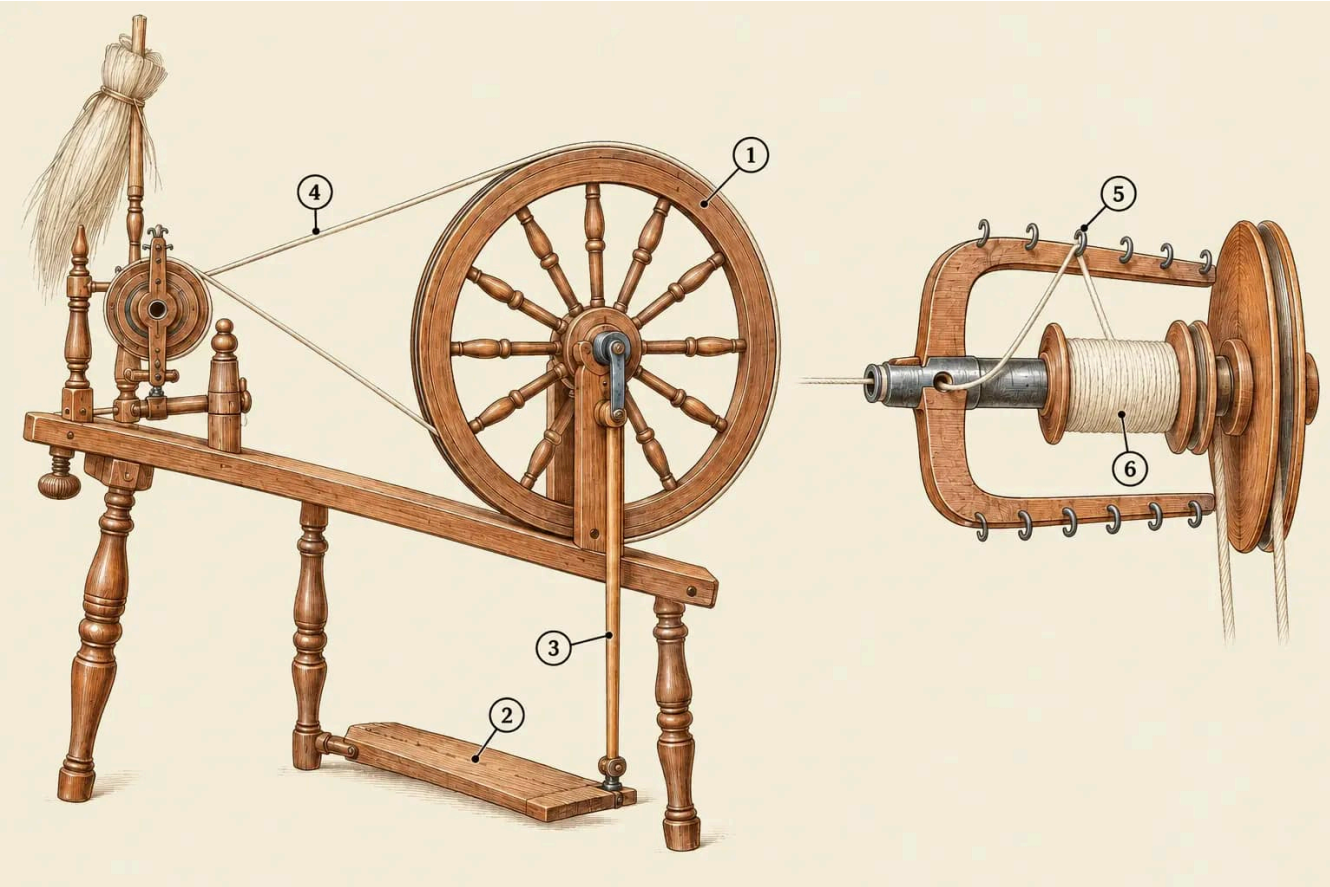
Fatti verificati il 2026-10-11

Filatoio

La fibra in filo, più in fretta

c. 1000 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Ruota e asse (p. 82), Corda e cordame (p. 13)



1 Ruota motrice 2 Pedale 3 Biella (asta del pedale) 4 Corda di trasmissione 5 Aletta con uncini 6 Rocchetto

Il filatoio a ruota torce la fibra in filo con un fuso mosso da una grande ruota, molto più in fretta di un fuso a mano. Il filatoio ad aletta, noto in Germania verso il 1480, avvolge anche il filo su un rocchetto mentre lo fila, così filatura e avvolgimento non si alternano più.

Che cos'è

Filare significa trasformare una massa di fibre corte, come lana, lino o cotone, in un filo continuo. Due cose avvengono insieme: le fibre vengono stirate in uno stoppino sottile e regolare, e lo stoppino viene torto perché le fibre si aggrappino l'una all'altra. È la torsione a dare forza al filo.

Per millenni lo si è fatto con il fuso a mano, un bastoncino appesantito da una fusarola che le dita fanno girare. Il filatoio a ruota monta il fuso su un telaio e lo aziona con una grande ruota tramite una corda. Un giro della ruota grande fa compiere molti giri al piccolo fuso, che torce così molto più in fretta di una mano.

La tavola mostra un filatoio sassone, a pedale e ad aletta, del tipo diffuso in tutta Europa dal XVI secolo, qui in un modello del XVIII secolo.

Come funziona

Nella grande ruota, uno dei tipi antichi, il fuso punta semplicemente verso la filatrice. Lei gira la ruota, tiene la fibra di sbieco rispetto alla punta del fuso e indietreggia stirando un tratto di filo mentre la torsione vi sale. Poi si ferma, tiene il filo perpendicolare al fuso e gira di nuovo la ruota per avvolgere il tratto filato. Filatura e avvolgimento si alternano.

Prima della ruota: fuso e conocchia. La fusarola mantiene il fuso in rotazione.

L'aletta elimina questa pausa. Il filo entra in un fuso cavo da un foro all'estremità anteriore, esce da un foro laterale, percorre un braccio di un'aletta a U, passa su uno dei suoi uncini e si avvolge su un rocchetto montato folle sul fuso. Aletta e rocchetto hanno ciascuno la propria puleggia a gola, di dimensioni diverse. Un'unica corda senza fine fa due volte il giro della ruota grande e una volta il giro di ciascuna puleggia, così la puleggia del rocchetto, più piccola, gira un po' più veloce dell'aletta.

La rotazione dell'aletta torce il filo. La piccola differenza di velocità tra rocchetto e aletta lo avvolge man mano che viene filato. Ogni tanto la filatrice ferma la ruota e sposta il filo da un uncino all'altro perché il rocchetto si riempia in modo uniforme, e regola una vite di tensione che sposta il gruppo dell'aletta lungo la panca per tendere o allentare la corda.

I cardi a mano: la lana viene cardata fra due cardi e arrotolata in rotolini pronti da filare.

Il pedale libera entrambe le mani. Una manovella sull'asse della ruota è collegata da un'asta di legno, la biella, a una tavola incernierata sotto il piede della filatrice. Ogni pressione del piede dà una spinta alla ruota. Una mano porge la fibra, dalla conocchia o da un rotolino di lana cardata, l'altra controlla la torsione. I filatoi sassoni servivano soprattutto per fibre lunghe come il lino e la lana. Il lino si dispone sulla conocchia e se ne tirano poche fibre alla volta. La lana viene prima cardata fra due cardi a mano e arrotolata in un cilindro morbido, perché le fibre restino sciolte e si stirino in modo uniforme.

Come costruirlo

Un filatoio ad aletta richiede pezzi torniti e un montaggio accurato, un lavoro per un falegname esperto con il tornio. Una ruota più semplice, del tipo più antico, mostra il principio e fila la lana.

Fare la panca. Una tavola robusta di circa 1 m su tre o quattro gambe, alta abbastanza da lavorare seduti o in piedi. A un'estremità fissate un montante per la ruota; all'altra un montante più corto per la testa del fuso.

Montare la ruota. Va bene qualsiasi grande ruota ben centrata con il cerchio a gola: una ruota di legno con mozzo, raggi e cerchio, oppure una vecchia ruota di bicicletta senza copertone. Montatela su un asse nel montante e aggiungete una maniglia vicino al cerchio per girarla.

Fare la testa del fuso. Due piccoli ritti sul montante corto reggono un'asta d'acciaio diritta, appuntita a un'estremità, in anelli di cuoio o piccoli cuscinetti. Fissate una piccola puleggia a gola sull'asta, fra i ritti. L'asta sta

di traverso sulla panca, parallela all'asse della ruota, con la puleggia esattamente allineata alla gola della ruota perché la corda scorra diritta; la punta è rivolta verso il lato dove state voi.

Mettere la corda. Annodate un anello di robusto cordino di cotone attorno al cerchio e alla puleggia del fuso, teso abbastanza da muovere il fuso senza slittare. Con una ruota di diametro circa dieci volte quello della puleggia, il fuso compie una decina di giri per ogni giro di ruota.

Filare. Legate un capo di filo al gambo del fuso, avvolgete qualche giro, poi portatelo a spirale fino alla punta perché ne esca. Sovrapponete il suo capo alla lana cardata, girate lentamente la ruota e arretrate di sbieco rispetto alla punta, lasciando che la torsione salga nella fibra. Per avvolgere, girate un poco la ruota all'indietro per sciogliere la spirale, tenete il filo perpendicolare al fuso e girate in avanti; poi riportate il filo a spirale fino alla punta per il tratto seguente. Quando il fuso è pieno, svolgete il filo sull'aspo, legate la matassa senza stringere in più punti, toglietela e lavatela per fissare la torsione.

L'aspo a mano: il filo filato vi si avvolge in una matassa di lunghezza nota prima di lavarlo e tingerlo.

> **Sicurezza.** Tenete dita, capelli e maniche larghe lontano dalla ruota che gira, dalla corda e dal fuso, fermate la ruota prima di sciogliere un groviglio, e coprite la punta affilata del fuso quando il filatoio non è in uso. Controllate che la ruota di bicicletta o di legno sia ben fissata e non sbandi prima di farla girare veloce. Tenete i bambini piccoli lontano da una ruota in movimento.

Storia ed evoluzione

L'origine del filatoio a ruota è discussa. Alcuni storici la collocano in India tra il 500 e il 1000 d.C. circa, altri in Cina, dove era molto usato verso il 1090, o nel mondo islamico, dove è attestato verso il 1030 e raffigurato chiaramente a Baghdad negli anni Trenta del Duecento. Raggiunse l'Europa nel XIII secolo; le immagini europee risalgono a circa il 1280, e gli statuti delle corporazioni di Spira, in Germania, lo menzionano alla fine del XIII secolo (nel 1280 o nel 1298, secondo le fonti). In Europa ruota e fuso convissero a lungo.

L'aletta compare in un'illustrazione tedesca verso il 1480, e anche Leonardo da Vinci ne disegnò una. Il pedale fu aggiunto nel XVI secolo; una tradizione lo attribuisce a un artigiano di Braunschweig nel 1533. Rispetto al fuso, la ruota aumentò molto la produzione di una filatrice. Lo storico Lynn White collegò alla ruota la maggiore disponibilità di stracci di lino e quindi di carta a buon mercato per la stampa.

Negli anni Sessanta del Settecento James Hargreaves costruì la spinning jenny, che azionava molti fusi insieme, e il filatoio idraulico di Richard Arkwright e la mule di Samuel Crompton, del 1779, portarono la filatura in fabbrica. Nel Novecento Mahatma Gandhi fece del charkha, un semplice filatoio a manovella, l'emblema dell'autosufficienza indiana, e ancora oggi c'è chi fila a mano su filatoi a pedale.

Dati chiave

Primi filatoi a ruota
Discusso: India, Cina o mondo islamico, al più tardi nell'XI secolo

Prima aletta
Illustrazione tedesca verso il 1480

Menzione antica in Europa
Statuti delle corporazioni di Spira (Germania), fine del XIII secolo

Pedale
Aggiunto nel XVI secolo

Fonti

1. Spinning Wheel, British (Saxony wheel with flyer) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44835
2. Spinning (Bette Hochberg, Encyclopedia of Clothing and Fashion) · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/fashion/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/spinning
3. Saxon wheel; spinning wheel · Horniman Museum and Gardens https://www.horniman.ac.uk/object/11.40
4. Spinning wheel · Aotea Utanganui, Museum of South Taranaki https://museumofsouthtaranaki.wordpress.com/2016/03/11/spinning-wheel/
5. Spinning wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Spinning_wheel
6. Choosing the whorl to make the yarn you want (Rudy Amann) · Spin Off https://spinoffmagazine.com/choosing-the-whorl-to-make-the-yarn-you-want/
7. Sliding hook flyer, double drive: assembly instructions · Ashford Wheels & Looms https://ashford.co.nz/instructions/SHFDD.pdf
8. DRS spinning wheels revisited · A Fisherman Knits http://gansey.blogspot.com/2018/07/drs-spinning-wheels-revisited.html

Fatti verificati il 2026-10-12

Bussola

Un ago che indica il nord

c. 1088 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Siderurgia del ferro (p. 137), Acciaio (p. 141)

Porta a: Navigazione astronomica (p. 210)

1 Anelli cardanici 2 Mortaio 3 Rosa dei venti 4 Ago magnetico 5 Perno 6 Calamita naturale

Una bussola magnetica è un ago magnetizzato, libero di ruotare, che si allinea al campo magnetico terrestre e così indica il nord con qualsiasi tempo. Descritta in Cina nell'XI secolo e usata in mare in Europa intorno al 1190, permise ai naviganti di tenere la rotta lontano dalla vista della costa e sotto un cielo coperto.

Che cos'è

Una bussola è un piccolo magnete libero di ruotare. Lasciato a sé, si dispone lungo le linee del campo magnetico terrestre, con un'estremità verso il nord magnetico e l'altra verso il sud magnetico. Un navigante che sa dov'è il nord può ricavarne tutte le altre direzioni, di notte, nella nebbia o senza terra in vista.

La tavola mostra una bussola da marina del Cinquecento. L'ago magnetico è incollato sotto un cartoncino dipinto con una rosa dei venti, così l'intera rosa gira insieme all'ago. La rosa poggia su un perno in un mortaio di legno, e il mortaio è sospeso su anelli cardanici per restare orizzontale quando la nave rolla.

Come funziona

La Terra si comporta più o meno come un'enorme barra magnetica. Il suo campo è debole, circa mezzo gauss in superficie, ma a un ago leggero su un buon perno basta pochissima forza per ruotare. L'ago oscilla finché il suo campo non si allinea con la componente orizzontale del campo terrestre, poi si ferma.

Strofinato su una calamita naturale, un ago d'acciaio diventa a sua volta un magnete.

Prima bisogna magnetizzare l'ago. Nel ferro e nell'acciaio, minuscole regioni chiamate domini si comportano ciascuna come un magnete, ma sono orientate in tutte le direzioni e si annullano a vicenda. Strofinando l'ago sempre nello stesso verso con una calamita naturale, cioè un pezzo di magnetite magnetico per natura, molti domini si allineano e l'ago conserva quell'ordine. L'acciaio duro lo mantiene meglio. Il ferro dolce lo perde in fretta, e fino alla metà del Settecento i marinai dovevano ripassare gli aghi con una calamita tenuta a bordo.

Un metodo antico: un ago su un galleggiante, libero di girare sull'acqua ferma.

Il nord magnetico non coincide con il polo geografico, e l'angolo fra i due, la declinazione, cambia da luogo a luogo e lentamente nel corso degli anni. Il campo inoltre è inclinato: nell'emisfero nord tira verso il basso l'estremità nord dell'ago, nell'emisfero sud quella sud, tanto più vicino ai poli magnetici, perciò i costruttori di bussole bilanciano l'ago con un piccolo peso. A bordo, le parti in ferro e il carico deviano ancora l'ago, un errore chiamato deviazione.

Nella tavola, il perno appuntito e il piccolo cappelletto dell'ago riducono l'attrito. La rosa permette al timoniere di leggere la prora rispetto a un segno fisso sul mortaio. Il coperchio di vetro ripara dal vento, e gli anelli cardanici impediscono alla rosa di inclinarsi quando la nave rolla.

Come costruirla

Preparare l'ago. Usate un ago da cucito d'acciaio o una sottile striscia di acciaio duro lunga circa 5 cm. Un ferro troppo dolce non resta magnetizzato.

Magnetizzarlo. Strofinate l'ago dal centro verso un'estremità con un polo di una calamita naturale o di un magnete, staccando la pietra con un ampio arco alla fine di ogni passata. Ripetete venti o trenta volte, sempre nello stesso verso.

Provarlo sull'acqua. Infilate l'ago in un pezzetto di sughero o di canna secca e fatelo galleggiare in una ciotola d'acqua ferma, lontano da oggetti di ferro. Individuate l'estremità che indica il nord e segnatela. A nord dei tropici verificatelo di notte con la stella polare o con l'ombra più corta del mezzogiorno solare, che allora punta a nord; a sud dei tropici quell'ombra punta a sud.

Dargli un perno. Imprimete un piccolo cono in un ritaglio di ottone sottile per ottenere un cappelletto e fissatelo al centro dell'ago. Piantate in verticale una punta d'ago affilata sul fondo di un mortaio di legno e appoggiatevi il cappelletto. Bilanciate l'ago con un po' di cera finché non resta orizzontale.

Aggiungere la rosa e il coperchio. Incollate l'ago sotto un cartoncino leggero con segnate le direzioni della rosa, con il segno del nord sopra l'estremità nord dell'ago. Dipingete all'interno del mortaio un segno fisso, la linea di

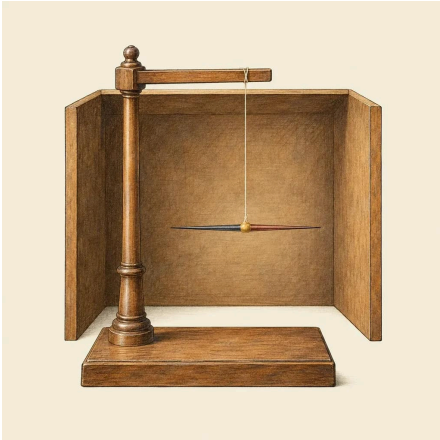
fede, allineato con la prua: la prora si legge sulla rosa in corrispondenza di quel segno. Una lastra di vetro sopra il mortaio tiene lontane le correnti d'aria.

Sospenderla. Per un modello di bussola marina, montate il mortaio in due anelli imperniati ad angolo retto l'uno rispetto all'altro. Una bussola fatta in casa è una dimostrazione: non usatela per navigare prima di averla confrontata con una bussola affidabile.

Storia ed evoluzione

Sia in Cina sia in Grecia, più di duemila anni fa, si sapeva che la calamita naturale attira il ferro. Testi dell'epoca Han citano un oggetto che indicava il sud, usato nella divinazione, forse un cucchiaio di calamita naturale, ma gli storici non concordano su che cosa fosse.

Il manuale militare *Wujing Zongyao*, compilato intorno al 1044, descrive un sottile pesce di ferro arroventato, lasciato raffreddare in direzione nord-sud e poi posato sull'acqua, dove indicava il sud. Intorno al 1088 Shen Kuo descrisse aghi magnetizzati strofinandoli su una calamita naturale, fatti galleggiare sull'acqua o appesi a un filo di seta. Notò anche che l'ago punta un poco a est del sud esatto, una delle prime testimonianze della declinazione. Tra il 1111 e il 1117 Zhu Yu scrisse che i piloti delle navi osservavano l'ago quando le nuvole nascondevano il sole e le stelle.



Secondo Shen Kuo, la montatura migliore era un ago appeso a un unico filo di seta.

In Europa lo studioso inglese Alexander Neckam descrisse intorno al 1190 marinai che usavano un ago magnetizzato. Un testo persiano del 1232 ne dà la prima menzione nel mondo islamico. Nel 1269 Petrus Peregrinus descrisse una bussola a secco su perno, e intorno al 1300 la bussola a secco in scatola con la rosa si diffuse nel Mediterraneo.

Le bussole a liquido, che smorzano le oscillazioni della rosa, si affermarono nell'Ottocento e all'inizio del Novecento, e nel primo decennio del Novecento arrivò la girobussola, che trova il nord vero senza magnetismo.

Dati chiave

Pesce di ferro galleggiante sull'acqua
Wujing Zongyao, 1044 circa

Bussola ad ago e declinazione descritte
Shen Kuo, 1088 circa

Primo uso documentato in mare
Cina, tra il 1111 e il 1117

Prima menzione europea
Alexander Neckam, 1190 circa

Intensità del campo terrestre
Circa 0,5 gauss (50 microtesla)

Fonti

1. History of the compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_compass
2. Compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Compass
3. Shen Kuo: first Renaissance man · AAAS https://www.aaas.org/shen-kuo-first-renaissance-man
4. Lodestone, c. 1700–1720 (NAV0710) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-42922
5. Dry card compass, 1838 (ACO0005) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-7085

Fatti verificati il 2026-10-11

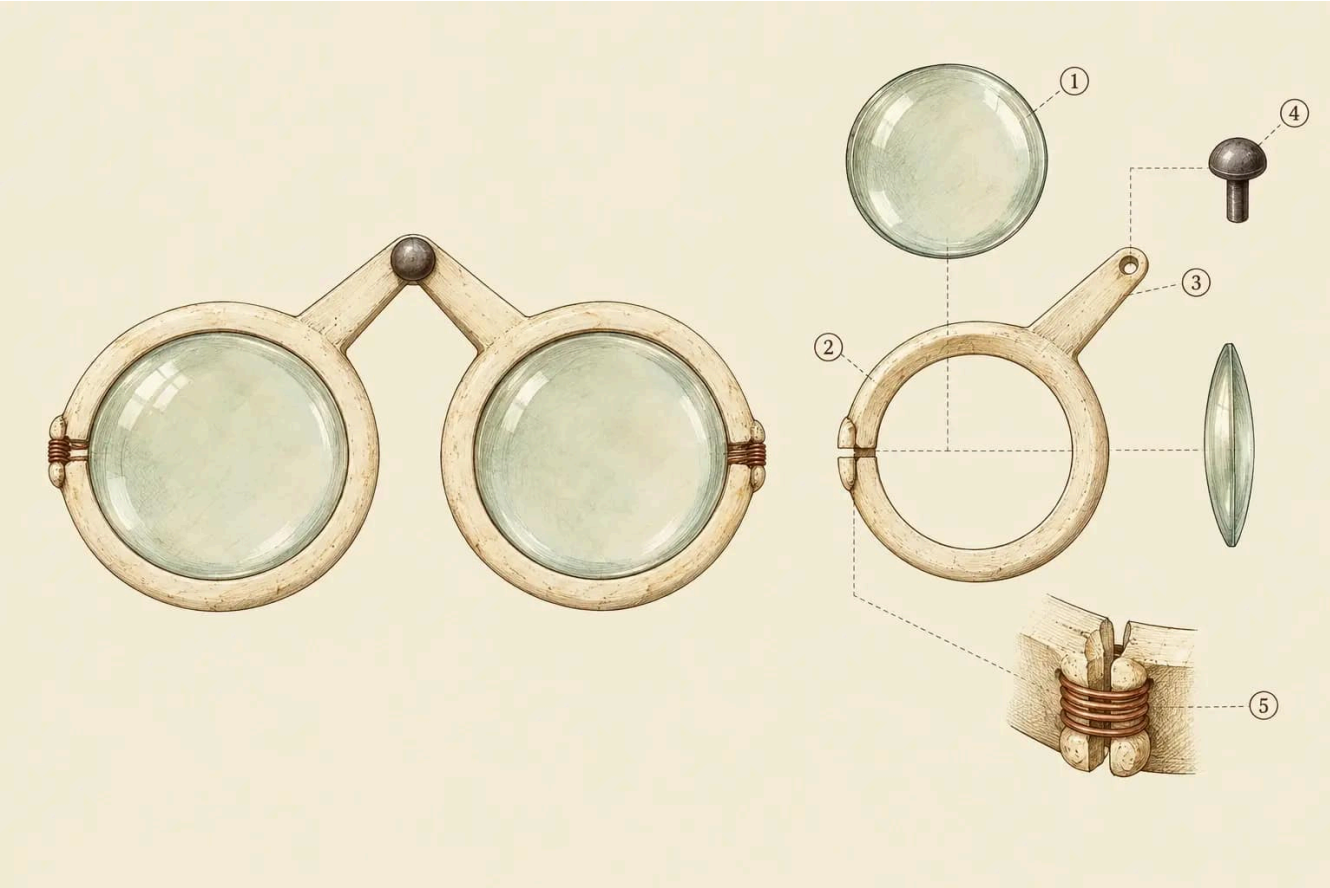
Occhiali

Lenti che allungano una vita di lavoro

c. 1286 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Vetro (p. 133)

Porta a: Microscopio (p. 214), Cannocchiale (p. 218)



1 Lente di vetro biconvessa 2 Cerchio d'osso 3 Manico 4 Ribattino di ferro 5 Legatura in filo di rame

Gli occhiali sono due lenti tenute da una montatura davanti agli occhi per correggere presbiopia, ipermetropia, miopia o astigmatismo. Nacquero in Italia negli anni Ottanta del Duecento come aiuto alla lettura per gli anziani; le lenti per miopi arrivarono nel Quattrocento e le stanghette nel Settecento.

Che cos'è

Gli occhiali mettono una lente davanti a ciascun occhio, in modo che la luce arrivi alla retina già deviata nella misura giusta. I primi aiutavano chi aveva quarant'anni o più a leggere e a fare lavori di precisione, quando mettere a fuoco alla distanza di lettura era diventato difficile.

Il paio della tavola è il tipo più antico, gli occhiali a ribattino del Trecento e del Quattrocento. Ogni vetro è incastonato in un cerchio ricavato da osso, legno o corno. Da ciascun cerchio sporge un manico corto, e i due manici sono uniti da un solo ribattino. Le stanghette non ci sono: il ribattino poggia sul dorso del naso e i cerchi lo stringono ai lati, perciò chi li portava doveva tenere la testa ferma oppure reggerli con una mano.

Come funziona

Dentro l'occhio una lente morbida, il cristallino, cambia forma per mettere a fuoco le cose vicine o lontane. Con l'età si irrigidisce e il punto più vicino che l'occhio vede nitido si allontana: a pochi centimetri dal viso in un bambino, finisce oltre la lunghezza delle braccia nella maggior parte delle persone di sessant'anni. È la presbiopia, ed è per questo che i primi occhiali furono da lettura.

La pietra da lettura, una cupola di cristallo o di vetro posata sulla pagina, fu la lente d'ingrandimento che precedette gli occhiali.

Una lente convessa, più spessa al centro che ai bordi, fa convergere un poco la luce prima che entri nell'occhio e svolge così una parte del lavoro che il cristallino non fa più. Gli ottici misurano questa potenza in diottrie, l'inverso della distanza focale espressa in metri. Una lente da lettura di +2 diottrie concentra la luce parallela in un punto a 50 cm dietro di sé.

La miopia è un altro difetto di messa a fuoco, che può aggiungersi alla presbiopia. Il bulbo oculare è un po' troppo lungo, o la sua ottica troppo potente, e le cose lontane appaiono sfocate. Una lente concava, più sottile al centro, allarga leggermente la luce prima dell'occhio e riporta l'immagine sulla retina. A Firenze lenti del genere si molavano già nel Quattrocento. Nell'astigmatismo la potenza dell'occhio è diversa lungo due direzioni perpendicolari, perciò le linee di un certo orientamento appaiono più sfocate delle altre. Per correggerlo serve una lente più curva in una direzione che nell'altra, e lenti simili arrivarono molto più tardi.

Come costruirli

Per un paio di occhiali a ribattino come quello della tavola servono due lenti, un pezzo d'osso o di legno duro, filo di rame e un piccolo ribattino.

Il vetro grezzo, fissato con la pece a un manico di legno, veniva consumato con abrasivo bagnato in un utensile di bronzo, poi lucidato sul cuoio.

Procurarsi le lenti. Per un paio attraverso cui guardare davvero, prendete due lenti da un paio di occhiali da lettura economici. Molarle da sé è una dimostrazione storica: come un occhialaio, si strofina un disco di vetro di circa 4 cm con abrasivo bagnato dentro un utensile incavato secondo la curva voluta, passando a grane sempre più fini, e poi lo si lucida con il rosso inglese su cuoio o feltro. Per una lente di vetro comune da +2 diottrie ciascuna faccia deve avere un raggio di curvatura di circa 50 cm, una curva molto lieve. Una lente molata a mano non avrà una potenza esatta, e il suo centro ottico non sarà allineato con le pupille.

Ritagliare i cerchi. Tracciare con il compasso due cerchi un po' più grandi delle lenti su una lastra d'osso o di bosso e ritagliarli con una sega fine, lasciando su ciascuno una linguetta per il manico. Incidere all'interno di ogni cerchio una scanalatura a V che accolga il bordo della lente.

Aprire e legare. Segare ogni cerchio dal lato opposto al manico. Aprire appena l'anello, infilare la lente nella scanalatura e richiudere il taglio avvolgendo più giri di sottile filo di rame intorno a due piccole sporgenze lasciate ai suoi lati.

Ribadire i manici. Forare un piccolo buco all'estremità di ogni manico, sovrapporli e mettere un ribattino di rame o di ferro, battuto quanto basta perché le due metà si possano ancora ripiegare. Limare piccole tacche sul bordo

interno, dove i cerchi toccano il naso, perché facciano più presa.

> **Sicurezza.** Lavorate il vetro bagnato e indossate una mascherina antipolvere: la polvere di vetro e di abrasivo danneggia i polmoni. Proteggete gli occhi quando forate l'osso e tagliate il filo, e maneggiate con cura il vetro molato. Non guardate mai il Sole attraverso una lente e non lasciatene mai una al sole vicino a carta o legno, perché può appiccare il fuoco. Questo paio è una replica: non usatelo al posto di occhiali prescritti e adattati da un ottico optometrista o da un oculista, e non guidate mai con esso.

Storia ed evoluzione

Molto prima degli occhiali si ingrandiva la scrittura con cristalli e vetri levigati. Il passo di montare una lente in una cornice davanti a ciascun occhio avvenne in Italia verso il 1280-1290. Dove di preciso non si sa: si fanno spesso i nomi di Pisa e di Firenze, e un'ordinanza veneziana del 1300 puniva già i vetrai che vendevano come cristallo di rocca dischi di vetro «da ogli». In una predica tenuta a Firenze nel 1306, il domenicano Giordano da Pisa disse che l'arte di fare gli occhiali non aveva ancora vent'anni e che lui stesso aveva parlato con l'uomo che li aveva fatti per primo. Il suo nome non ci è arrivato.

Il più antico dipinto di occhiali che si conosca è un affresco del 1352 di Tommaso da Modena nella sala del capitolo di San Nicolò a Treviso, dove un cardinale domenicano legge con un paio di occhiali a ribattino. Le montature vere si conservano di rado. Un paio in osso del Quattrocento è stato trovato a Trig Lane, sulle rive del Tamigi a Londra, in un'epoca in cui la città importava ogni anno migliaia di occhiali dai Paesi Bassi. Nel 1466 il duca di Milano ne ordinò duecento paia suddivise per età, segno che le gradazioni delle lenti erano ormai abbastanza standard.

All'inizio del Cinquecento gli occhiali correggevano sia la miopia sia la presbiopia, e ponti di cuoio o di osso di balena avevano preso il posto del ribattino. Verso il 1730 all'ottico londinese Edward Scarlett si attribuisce l'introduzione di stanghette rigide che premevano sui lati della testa. In lettere del 1784 e del 1785 Benjamin Franklin descrisse i suoi «occhiali doppi», con metà lente per lontano e metà per leggere. Nell'Ottocento arrivò il pince-nez, tenuto sul naso da una molla, e nel Novecento le montature di plastica, le lenti organiche, più leggere, e poi quelle ad alto indice, più sottili.

Occhiali doppi della fine del Settecento: sopra la lente per lontano, sotto quella da lettura.

Dati chiave

Primo documento veneziano
Ordinanza del 2 aprile 1300 sui «roidi da ogli», dischi di vetro per gli occhi

Primi occhiali dipinti
1352, affresco di Tommaso da Modena a Treviso

Stanghette
Attribuite all'ottico londinese Edward Scarlett, verso il 1730

Testimonianza sulla data
Predica di Giordano da Pisa, Firenze, 1306: l'arte «non ha ancora vent'anni»

Lente da lettura tipica
+2 diottrie, cioè 50 cm di distanza focale

Fonti

1. History of spectacles · College of Optometrists, British Optical Association Museum https://www.college-optometrists.org/history-of-spectacles
2. Spectacles (bone rivet spectacles from Trig Lane) · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/v/object-407684/spectacles/
3. Medieval Eyeglasses: Wearable Technology of the Thirteenth Century · Medievalists.net https://www.medievalists.net/2016/03/medieval-eyeglasses-wearable-technology-of-the-thirteenth-century/
4. The Earliest Depiction of Eyeglasses in a Painted Work of Art · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=1447
5. A Venetian ordinance on the production of lenses (2 April 1300) · HistoryofInformation.com https://historyofinformation.com/detail.php?id=2217
6. Renaissance Vision from Spectacles to Telescopes (Vincent Ilardi, 2007), book description · American Philosophical Society, via Goodreads https://www.goodreads.com/book/show/1685277.Renaissance_Vision_from_Spectacles_to_Telescopes
7. Benjamin Franklin invents bifocal glasses · HISTORY.com https://www.history.com/this-day-in-history/may-23/benjamin-franklin-invents-bifocal-glasses
8. University Physics Volume 3, 2.5 The Eye · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-5-the-eye
9. Presbyopia · EyeWiki, American Academy of Ophthalmology https://eyewiki.org/Presbyopia
10. A Review of Depth of Focus in Measurement of the Amplitude of Accommodation (Burns, Allen, Edgar and Evans, Vision 2, 2018) · MDPI, via PubMed Central https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6835437/
11. Optics of the Human Eye (Atchison and Smith, 2nd edition, 2023) · CRC Press https://www.routledge.com/Optics-of-the-Human-Eye/Atchison/p/book/9781003128601
12. Schematic eyes: Gullstrand, Gullstrand-Emsley and reduced eyes (lecture notes) · Al-Mustaqbal University https://www.uomus.edu.iq/img/lectures21/MUCLecture_2024_11210775.pdf

Fatti verificati il 2026-10-12

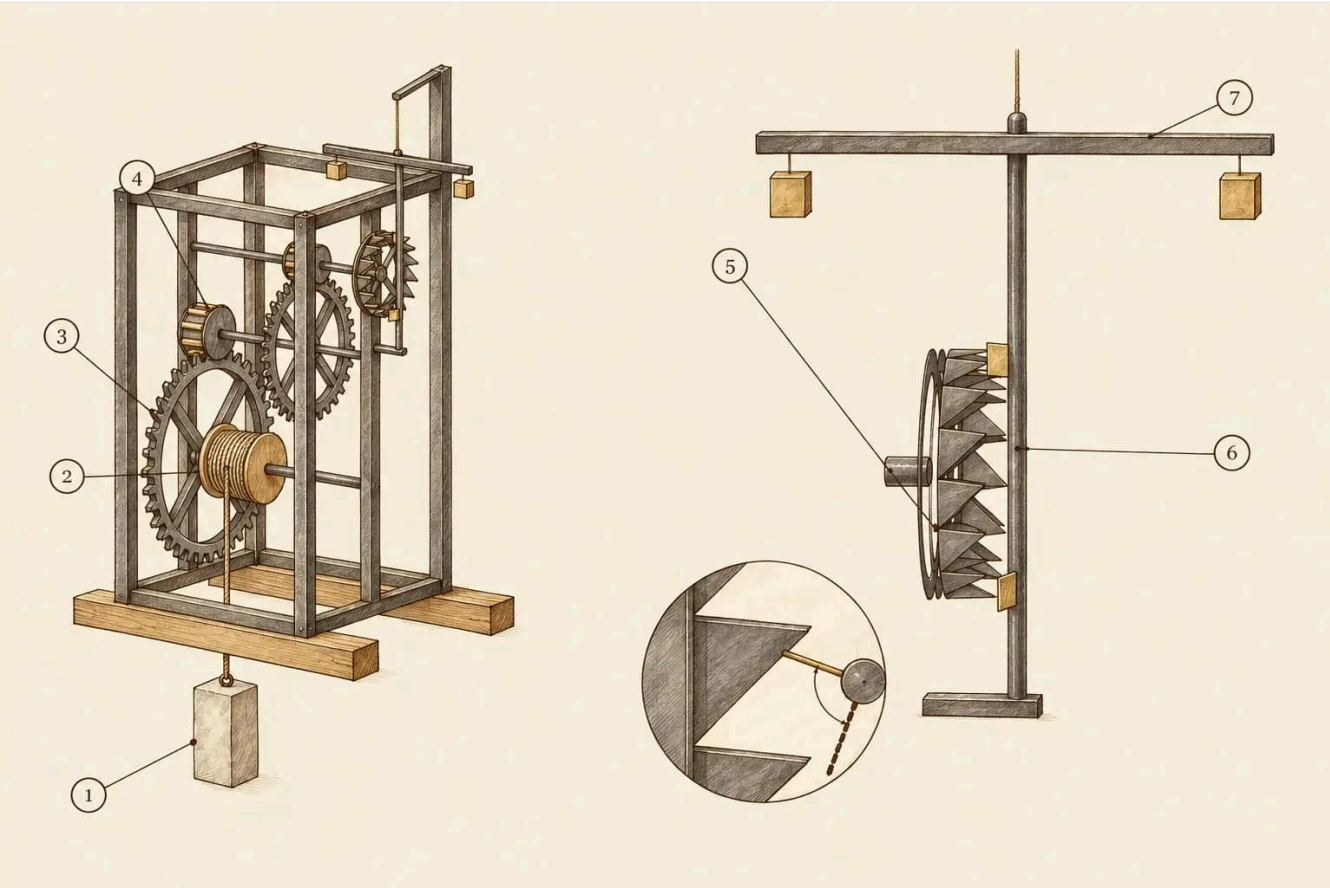
Orologio meccanico

Il tempo diviso in battiti uguali

c. 1300 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Ingranaggi (p. 154), Siderurgia del ferro (p. 137)

Porta a: Navigazione astronomica (p. 210)



1 Peso motore 2 Tamburo e corda 3 Ruota grande 4 Rocchetto a lanterna 5 Ruota a corona 6 Verga e palette 7 Foliot con i suoi pesi

In un orologio meccanico un peso che scende fa girare un treno di ingranaggi, e uno scappamento lascia avanzare quel treno solo a piccoli passi regolari. I primi furono costruiti in Europa alla fine del Duecento: grandi macchine di ferro nei campanili che battevano le ore su una campana.

Che cos'è

Un orologio meccanico divide il tempo in battiti uguali e li conta con gli ingranaggi. I primi, costruiti dalla fine del Duecento, erano grandi gabbie di ferro battuto nel campanile di una chiesa o nella torre di una città. Li muoveva un pesante peso di pietra e li regolava uno scappamento a verga e foliot: una barra oscillante che lasciava girare le ruote solo a passi piccoli e regolari. Molti non avevano quadrante: battevano le ore su una campana e la gente conosceva l'ora a orecchio.

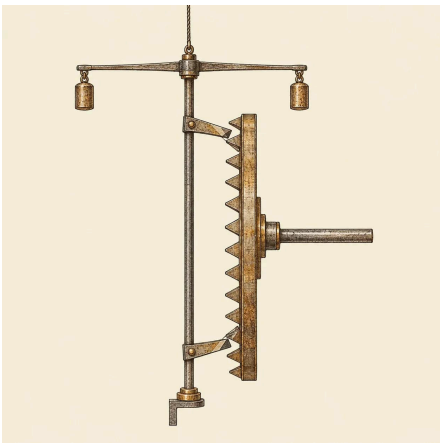
Nella cattedrale di Salisbury un orologio di questo tipo funziona ancora nella navata. Di solito lo si identifica con un orologio ricordato lì nel 1386, e per questo lo si indica spesso come il più antico orologio funzionante del

mondo; la datazione si basa su indizi indiretti, e per il titolo vengono proposti anche altri orologi. Le sue ruote stanno in una gabbia di ferro a quattro montanti tenuta insieme da tenoni a cuneo invece che da bulloni. Un peso muove il treno del tempo, che segna l'ora; un altro muove il treno della suoneria, che fa suonare la campana.

Come funziona

Il peso pende da una fune avvolta su un tamburo di legno. Scendendo lentamente fa girare il tamburo e la ruota grande fissata sullo stesso albero. La ruota grande muove un piccolo pignone sull'albero successivo, che porta un'altra ruota, e così via fino alla ruota di scappamento. A ogni passaggio da ruota a pignone l'albero successivo gira più in fretta.

Lasciato a sé stesso, il peso farebbe girare tutto il treno e cadrebbe in pochi secondi. Lo scappamento lo impedisce. La ruota di scappamento è una ruota a corona, con denti a dente di sega che sporgono da una faccia. Davanti pende la verga, un'asta verticale con due piccole alette, le palette: una incontra i denti in cima alla ruota, l'altra in fondo, disposte all'incirca ad angolo retto. Un dente scosta la paletta in alto e fa ruotare la verga; così la paletta in basso si porta davanti a un dente dall'altra parte della ruota, che la respinge nel verso opposto. La verga oscilla avanti e indietro, e la ruota avanza di mezzo dente a ogni movimento in un verso, di un dente intero a ogni andata e ritorno.



Lo scappamento a verga visto di profilo, dove i denti di tutto il bordo della ruota a corona si allineano in un'unica colonna: la ruota spinge a turno le due palette, e il foliot con i suoi pesi oscilla in cima alla verga.

Il foliot è una barra orizzontale fissata di traverso in cima alla verga, con un piccolo peso appeso vicino a ciascuna estremità. La sua inerzia rallenta ogni battito. Allontanando i pesi il battito si fa più lento e l'orologio ritarda; avvicinandoli, anticipa. Il foliot non ha un periodo proprio, perciò la marcia cambia anche con la forza del peso motore, l'attrito e lo stato dell'olio, e un errore tipico era di circa un quarto d'ora al giorno. Il custode rimetteva l'orologio in ora con una meridiana e ricaricava i pesi ogni giorno.

Come costruirlo

Con attrezzi a mano, compensato e tondini di legno duro si può costruire un modello di scappamento a verga e foliot. Ticchetta e mostra come lo scappamento trattiene un peso che scende; senza quadrante, non segna l'ora. Quanto segue riassume le fasi: per la forma dei denti e l'interasse degli alberi seguite un progetto quotato pubblicato per un modello di scappamento in legno.

Costruire il telaio. Due montanti di circa 40 cm uniti da traverse e forati per tre alberi orizzontali uno sopra l'altro, agli interassi del progetto. Usate tondini come alberi e foderate i fori con brevi pezzi di tubetto d'ottone perché girino liberi. Avvitate il telaio a una base pesante o a una mensola a muro perché non possa ribaltarsi.

Fare il treno. Sull'albero in basso vanno un tamburo per la cordicella e la ruota grande; su quello di mezzo un rocchetto a lanterna di tondini e una seconda ruota; su quello in alto un altro rocchetto a lanterna e la ruota a corona. Ogni ruota deve ingranare con il suo rocchetto senza impuntarsi né saltare: tagliate i denti secondo il profilo del progetto e rifiniteli con la lima.

Fare lo scappamento. La ruota a corona richiede un numero dispari di denti, 15 è comune, che sporgano da una faccia: tagliateli sul bordo di un corto anello di compensato sottile o di legno duro e incollate l'anello sulla faccia di un disco. Montate la verga, un tondino ben dritto, in verticale davanti alla ruota, con due palette sottili a circa 90

Un rocchetto a lanterna: asticciole tonde fra due dischi, facili da fare a mano, ingranano con i denti della ruota più grande.

gradi fra loro, all'altezza della parte alta e di quella bassa della ruota. Con un numero dispari di denti, una paletta incontra una punta mentre l'altra sta davanti a un vano. Fissate di traverso in cima alla verga il foliot, una barra leggera di circa 30 cm con due pesi scorrevoli.

Regolare senza il peso. Fate girare il treno a mano, con un dito sul tamburo, e verificate che le palette lavorino a turno: un dente in alto sfugge, poi un dente in basso si arresta contro l'altra paletta, senza denti saltati né inceppamenti. Piegate o limate le palette solo a peso tolto. Poi avvolgete sul tamburo una cordicella con un carico ammesso ben superiore al peso, legatene il capo al tamburo, appendete il peso indicato dal progetto, spesso 1-2 kg per un piccolo modello in legno. Per regolare il battito, togliete o sostenete il peso, spostate di poco i pesi del foliot, lasciatelo di nuovo pendere e contate i battiti in un minuto; ripetete finché il battito è regolare.

> **Sicurezza.** Se una paletta sfugge, il treno si scatena e il peso cade: togliete o sostenete sempre il peso prima di toccare lo scappamento, e fatelo scendere dentro una guida chiusa, un tubo o una cassetta, che termini a terra. Tenete mani, piedi e animali fuori dalla sua corsa. Bloccate il pezzo in una morsa e tenete le mani dietro la lama quando tagliate i denti; indossate occhiali protettivi quando forate.

Storia ed evoluzione

Orologi ad acqua e meridiane misuravano il tempo da millenni quando comparve l'orologio meccanico. Il passo decisivo, un meccanismo che fa scendere un peso a scatti regolari, fu compiuto da qualche parte in Europa alla fine del Duecento, e grandi orologi pubblici sono documentati in città italiane nella prima metà del Trecento. Allora gli orologi compaiono nei registri di cattedrali e abbazie, ma la stessa parola latina, horologium, indicava anche gli orologi ad acqua, così che non si può dare un nome al primo orologio meccanico. Alla fine del Trecento grandi orologi di ferro funzionavano in molte cattedrali; il movimento di quello di Wells, del 1392, si trova oggi allo Science Museum di Londra, mentre il quadrante è rimasto nella cattedrale.

La grande svolta arrivò nel 1656-1657, quando Christiaan Huygens, riprendendo un'idea di Galileo, regolò un orologio con un pendolo. Un pendolo oscilla quasi nello stesso tempo qualunque sia la forza motrice. Il primo orologio a pendolo di Huygens sbagliava di meno di un minuto al giorno, i successivi di meno di dieci secondi. Molti orologi da torre furono trasformati; quelli di Salisbury e di Wells persero il foliot a favore di un pendolo, e a quello di Salisbury fu rimontata una verga con foliot ricostruiti nel restauro del 1956. Verso il 1675 la molla a spirale diede agli orologi da tasca un regolatore con un periodo proprio; il loro errore scese a una decina di minuti al giorno, lontano da un orologio a pendolo ma molto meglio di prima.

Il treno della suoneria tira il filo, il martello batte sulla campana e l'ora si sente in tutta la città.

Dati chiave

Primi orologi meccanici
Europa, fine del XIII secolo

Orologio funzionante più antico (secondo alcuni)
Cattedrale di Salisbury, verso il 1386; senza quadrante, batte le ore

Errore di un orologio a foliot
Nell'ordine di un quarto d'ora al giorno, secondo fattura e manutenzione

Orologio a pendolo (Huygens)
1656; meno di un minuto al giorno all'inizio, poi meno di 10 secondi

Fonti

1. What to see: the world's oldest clock · Salisbury Cathedral https://www.salisburycathedral.org.uk/discover/what-to-see/
2. Wells Cathedral clock, 1392 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co1347/wells-cathedral-clock-1392
3. A walk through time: the revolution in timekeeping · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/popular-links/walk-through-time/walk-through-time-revolution
4. Clocks in the Scientific Revolution · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/article/2315/clocks-in-the-scientific-revolution/
5. Oldest clock · Guinness World Records https://guinnessworldrecords.com/world-records/oldest-clock
6. Model of verge escapement with foliot regulator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/ModelVergeEscapementWithFoliotRegulator.html
7. Salisbury Cathedral clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Salisbury_Cathedral_clock
8. Dynamics of the verge and foliot clock escapement (P. Hoyng and A. C. T. Nieuwenhuizen) · arXiv https://arxiv.org/abs/1604.06681
9. Turret clock, Cotehele (c. 1490) · National Trust Collections https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/347888
10. Cotehele clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cotehele_clock
11. Before Big Ben (Jonathan Betts) · Building Conservation https://buildingconservation.com/articles/bigben/bigben.html

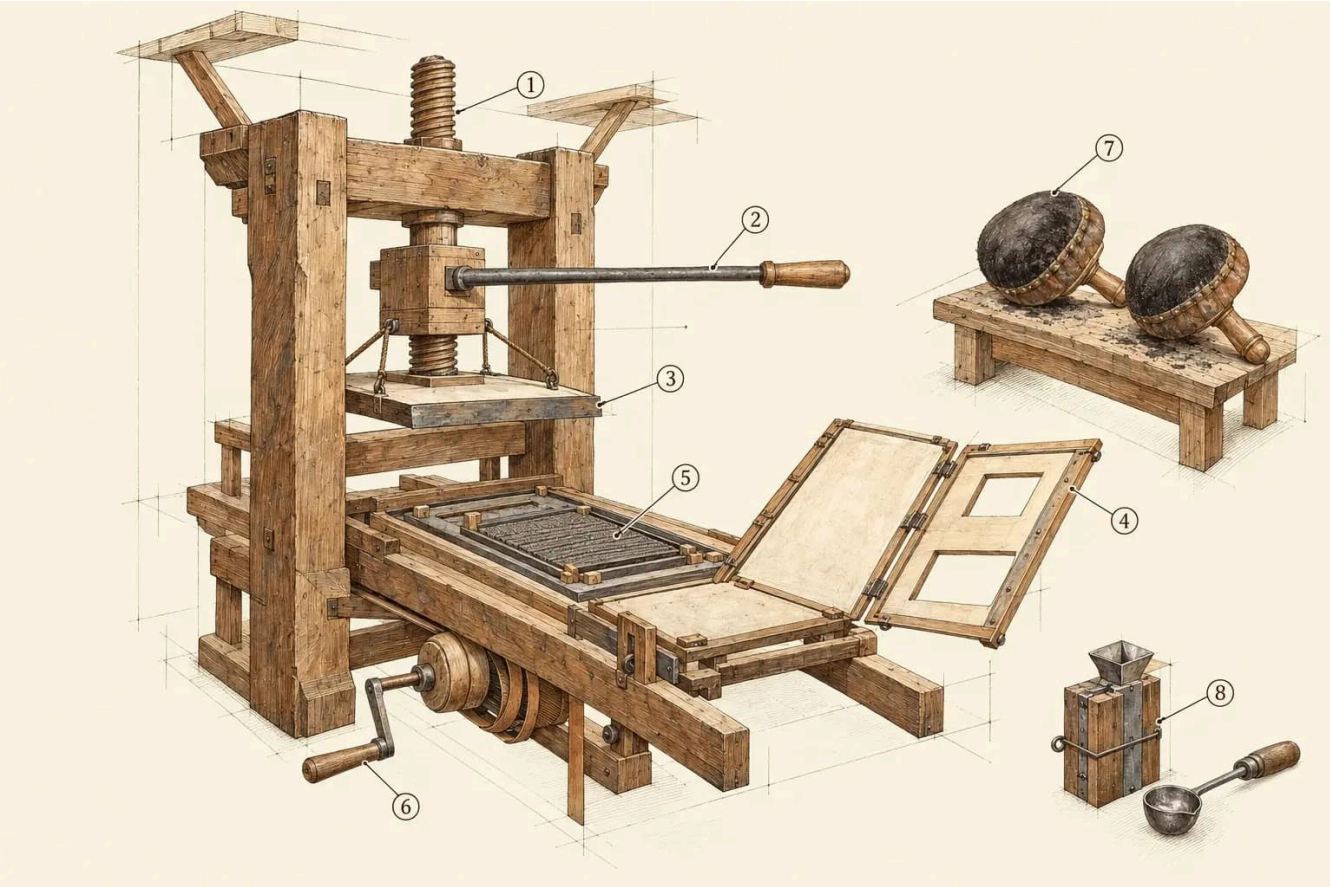
Fatti verificati il 2026-10-12

Torchio da stampa

Caratteri mobili, copiati a migliaia

c. 1440 · Medioevo · Mestieri e città

Richiede: Carta (p. 170), Siderurgia del ferro (p. 137), Scrittura (p. 86), Acciaio (p. 141)



1 Vite 2 Barra (mazza) 3 Platina 4 Timpano e fraschetta 5 Forma sul piano del carrello 6 Manovella 7 Mazzi per inchiostrare 8 Stampo a mano per fondere i caratteri

Il torchio da stampa preme caratteri di metallo inchiostrati su carta umida per mezzo di una vite di legno, così che una pagina di testo può essere copiata centinaia di volte in un giorno. Gutenberg lo unì intorno al 1440 a caratteri mobili fusi e a un inchiostro a base d'olio, e nel giro di cinquant'anni la stampa si era diffusa in tutta Europa.

Che cos'è

Un torchio da stampa deposita l'inchiostro sulla carta per pressione. Lettere fuse in metallo vengono accostate per formare una pagina, inchiostrate, coperte con un foglio umido e schiacciate sotto una piastra piana. Una volta sollevato, il foglio porta l'immagine speculare dei caratteri, che quindi si legge nel verso giusto.

La macchina in sé era un'idea antica. I torchi a vite spremevano uva e olive fin dall'epoca romana, e i cartai li usavano per pressare i fogli bagnati. La novità stava nell'unione del torchio con caratteri di metallo riutilizzabili, che si potevano fondere in fretta e in misure esatte, con un inchiostro che aderiva al metallo e con carta a buon mercato.

Come funziona

Il lavoro comincia dai caratteri. Un incisore di punzoni lima la forma di una lettera, rovesciata, sull'estremità di una barretta d'acciaio. Il punzone viene battuto in un piccolo blocco di rame, dove lascia una lettera incavata: la matrice. La matrice va sul fondo di uno stampo a mano, il fonditore vi versa il metallo fuso e, un attimo dopo, apre lo stampo e ne fa cadere un carattere, una piccola asta con la lettera in rilievo su un'estremità.

Le due metà dello stampo scorrono per adattarsi alla larghezza di ogni lettera, mentre l'altezza di tutti i caratteri resta la stessa.

Lo stampo di Gutenberg si poteva regolare per una «i» stretta o per una «M» larga senza cambiare l'altezza del carattere. È questo che permette a migliaia di caratteri separati di stare insieme e di stampare in modo uniforme. Il metallo, una lega di piombo, stagno e antimonio, fonde a bassa temperatura, riempie i dettagli fini e si consuma lentamente.

I mazzi erano imbottiti di lana o di crine di cavallo e si battevano sui caratteri.

Il compositore prende i caratteri dalla cassa, li allinea riga per riga nel compositoio e forma le pagine. Le pagine vengono poi serrate con dei cunei in un telaio di ferro. Il risultato è la forma, che poggia su un piano di pietra nel carrello del torchio.

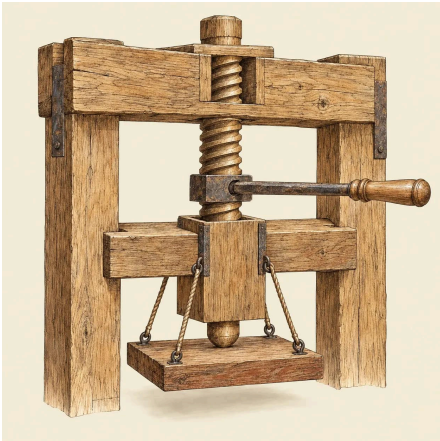
Un torcoliere batte i caratteri con due mazzi carichi di un inchiostro fatto di nerofumo e olio di lino. Il suo compagno posa un foglio umido sul timpano, un telaio incernierato rivestito di pergamena, e vi ripiega sopra la fraschetta per tenere puliti i margini. Timpano e fraschetta si abbassano sulla forma. Girando la manovella, il carrello scorre sotto la platina. Una tirata alla barra fa girare la vite di una frazione di giro, la platina scende e il foglio è stampato.

Come costruirlo

Per un torchio funzionante servono un falegname, un fabbro e qualcuno che sappia incidere le lettere.

Costruire l'incastellatura. Unite due pesanti montanti di quercia con un cappello in alto e una traversa più in basso, e puntellate il tutto contro il pavimento e il soffitto. Se l'incastellatura si flette, l'impressione viene sfocata.

Fare la vite e la platina. Una vite di legno duro e a fibra fitta, come il bosso o il pero, tagliata con un filetto grosso, gira in una madrevite fissata nel cappello. Sotto la madrevite, la vite gira dentro una scatola quadrata di legno che scorre in una tavola di guida senza poter ruotare. A questa scatola è appesa con corde la platina piana, così scende dritta senza ruotare.



La scatola scorre nella tavola di guida senza ruotare, e la platina appesa alle corde scende dritta.

Montare il carrello. Una pietra liscia incassata in un cassone di legno scorre su guide sotto la platina. Una manovella, un asse con impugnatura e cinghie di cuoio, la fa entrare e uscire.

Fondere i caratteri. È un lavoro da fonderia specializzata. Incidete punzoni d'acciaio, batteteli nel rame e fondete in uno stampo in due parti, con le precauzioni indicate sotto. In mancanza di una

fonderia, anche lettere intagliate in legno duro di testa possono stampare, sebbene più lentamente e in modo meno uniforme.

Preparare l'inchiostro. Macinate il nerofumo nella vernice di lino, cioè olio già addensato col calore, finché non diventa denso come il miele. Comprate la vernice già pronta o fatela preparare da una persona esperta, perché scaldare l'olio comporta rischio d'incendio.

Inumidire la carta. La carta leggermente umida prende molto meglio l'inchiostro. Impilatela per una notte tra fogli bagnati.

> **Sicurezza.** Fondete caratteri solo in un laboratorio attrezzato per il piombo fuso, con crogiolo a temperatura controllata, aspirazione dei fumi, visiera, grembiule e guanti di cuoio. Il metallo fuso schizza con violenza se tocca l'acqua o un attrezzo umido, quindi preriscaldate mestoli e stampi. Il piombo è velenoso: non mangiate mai mentre lavorate, conservate scorie e polvere in contenitori chiusi e lavatevi le mani alla fine. Gli stracci imbevuti di olio di lino possono incendiarsi da soli asciugando: stendeteli all'aperto o teneteli in una latta metallica chiusa piena d'acqua. State lontani dalla corsa della barra.

Storia ed evoluzione

I caratteri mobili furono realizzati per la prima volta in Cina. Negli anni Quaranta dell'XI secolo Bi Sheng stampò con caratteri di argilla cotta, un metodo descritto da Shen Kuo. Più tardi gli stampatori coreani fusero caratteri in bronzo, e il più antico libro conservato stampato con caratteri metallici, lo *Jikji*, risale al 1377. Stampare caratteri cinesi, in Cina come in Corea, richiede migliaia di tipi diversi, e questo rendeva il metodo costoso.

Johannes Gutenberg, artigiano di Magonza formato nella lavorazione dei metalli, lavorò alla stampa a Strasburgo all'incirca dal 1437 al 1444. In una causa del 1439 alcuni testimoni parlano di un torchio, di piombo e di forme usati in un'impresa segreta, in cui di solito si riconoscono i primi esperimenti di stampa. Tornato a Magonza, con il denaro di Johann Fust, stampò la Bibbia a 42 linee all'incirca tra il 1452 e il 1455. Se ne fecero circa 180 copie, per lo più su carta e le altre su pergamena; ne sopravvivono 48 o 49.

Il mestiere si diffuse in fretta. Entro il 1480 c'erano tipografi al lavoro in circa 110 località, ed entro il 1500 in circa 270 città, che avevano prodotto oltre venti milioni di copie.

Intorno al 1800 il torchio Stanhope, costruito interamente in ferro, raddoppiò la resa. Nel 1814 la macchina a cilindro mossa a vapore di Friedrich Koenig stampò *The Times* a 1.100 fogli l'ora.

Dati chiave

Primi esperimenti di stampa di Gutenberg
Fine degli anni Trenta del Quattrocento, probabilmente a Strasburgo

Bibbia a 42 linee
1455 circa, all'incirca 180 copie, 48 o 49 conservate

Lega dei caratteri
Piombo, stagno e antimonio

Resa di un torchio di legno verso il 1600
Da 1.500 a 3.600 impressioni circa per giornata di lavoro

Città europee con tipografie entro il 1500
Circa 270

Fonti

1. Printing press · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Printing_press
2. The Gutenberg Bible · Library of Congress https://www.loc.gov/exhibits/bibles/interactives/gutenberg/index.html
3. Johannes Gutenberg (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/johannes-gutenberg/
4. Shen Kuo · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shen_Kuo
5. Joseph Moxon, Mechanick Exercises on the Whole Art of Printing (1683): the press · Transcription by R. Holme https://rholme.taths.org.uk/texpic/20/20_02a/20_02a.htm
6. Making Books: the Renaissance and Today, glossary of the Beaver Press · MIT OpenCourseWare https://ocw.mit.edu/courses/21h-343j-making-books-the-renaissance-and-today-spring-2016/pages/end-view

Fatti verificati il 2026-10-11

IV

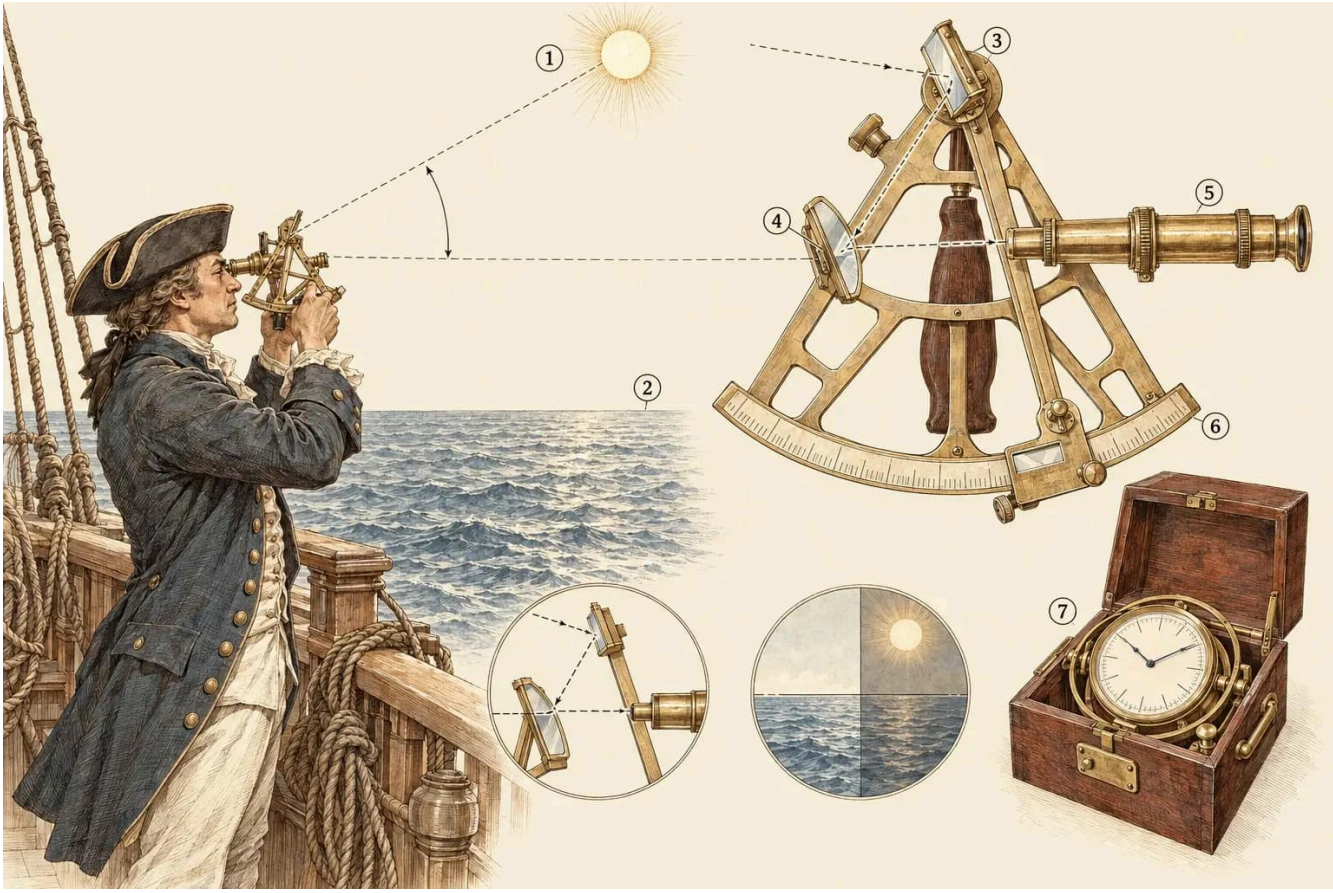
Scienza e industria

Navigazione astronomica

La posizione della nave letta nel cielo

c. 1460 · Rinascimento · Scienza e industria

Richiede: Bussola (p. 194), Vela (p. 90), Numerazione posizionale (p. 98), Misure e campioni (p. 128), Orologio meccanico (p. 201)



1 Sole 2 Orizzonte del mare 3 Specchio grande (indice) 4 Specchio piccolo, argentato per metà 5 Cannocchiale di mira 6 Limbo graduato 7 Cronometro marino

La navigazione astronomica trova la posizione di una nave dall'altezza del Sole, della Luna e delle stelle sull'orizzonte. La latitudine si ricava dalla stella Polare, che i piloti portoghesi misuravano col quadrante verso il 1460, o dal Sole di mezzogiorno; la longitudine richiede l'ora di un meridiano di riferimento, che dagli anni 1760 fornirono i cronometri e le tavole lunari.

Che cos'è

Fuori vista della costa, la bussola e la velocità stimata tengono la rotta, ma gli errori si sommano. Il cielo offre un controllo, perché l'altezza di una stella o del Sole sull'orizzonte dipende dal punto in cui ci si trova.

La latitudine, cioè la distanza a nord o a sud dell'equatore, viene prima: i piloti dell'oceano Indiano la ricavavano dalla Polare con le dita o con il kamal, e gli europei portarono in mare quadranti e astrolabi nel Quattrocento. La longitudine dipende dall'ora e resta un problema difficile fino al Settecento. La tavola mostra un sestante e un cronometro marino di quest'ultima epoca.

Come funziona

La stella Polare si trova vicinissima al punto del cielo sopra l'asse terrestre. Al polo nord sta quasi allo zenit; all'equatore, quasi sull'orizzonte. In mezzo, la sua altezza corrisponde più o meno alla latitudine. Ai tempi di Colombo distava 3,5° dal polo e i piloti correggevano la lettura; oggi lo scarto è sotto il grado.

A sud dell'equatore si usa il Sole al mezzogiorno vero, quando è più alto. Il suo angolo dall'equatore celeste, la declinazione, oscilla nel corso dell'anno tra circa 23,4° N e 23,4° S e si calcola in anticipo. Con il Sole di mezzogiorno a sud, la latitudine è 90° meno la sua altezza, più la declinazione, con il sud negativo. Con il Sole a nord, come sempre a sud dei tropici, la latitudine è la declinazione meno (90° meno l'altezza).

Sul primo quadrante un filo a piombo pende davanti a una scala mentre si traguarda la stella lungo un bordo. L'astrolabio nautico pende da un anello; per il Sole il navigatore ruota l'alidada finché un raggio passa dal foro in alto e cade su quello in basso. Entrambi oscillano su un ponte che rolla, ed errori di parecchi gradi erano comuni.

L'astrolabio nautico era fuso pesante e traforato perché il vento non lo facesse oscillare.

L'ottante e il sestante misurano invece dall'orizzonte del mare. La luce del Sole colpisce lo specchio grande sul braccio mobile, si riflette sullo specchio piccolo ed entra nel cannocchiale. Metà dello specchio piccolo è trasparente: l'orizzonte si vede attraverso, accanto al Sole riflesso. Con i vetri colorati inseriti, il navigatore sposta il braccio finché il lembo inferiore del Sole tocca l'orizzonte e legge il limbo. Delle tavole correggono poi l'altezza dell'occhio, la rifrazione e il semidiametro del Sole, circa 16′. La doppia riflessione raddoppia l'angolo, così un arco di un sesto di cerchio misura fino a 120°.

Per la longitudine, la Terra ruota di 15° all'ora. Se il Sole passa al meridiano locale quando un orologio regolato su Greenwich segna le 15, la nave è circa 45° a ovest di Greenwich, prima della correzione dell'equazione del tempo: secondo la stagione, il Sole anticipa o ritarda fino a 16 minuti. Il difficile era un orologio che restasse esatto in mare. L'altro metodo, la distanza lunare, confronta l'angolo misurato tra la Luna e una stella brillante con tavole stampate per ricavare l'ora di riferimento.

Tra un'osservazione e l'altra, la stima fatta con bussola, solcometro e orologio si traccia sulla carta; ogni punto astronomico la corregge.

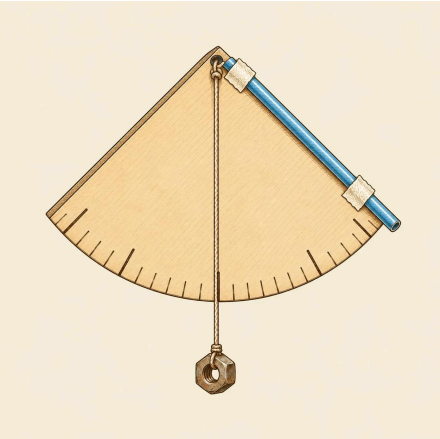
Come fare

Un quadrante di cartone dà la latitudine con un errore di uno o due gradi, cioè da 100 a 200 km.

Costruire il quadrante. Ritagliare da un cartone rigido un quarto di cerchio di circa 15 cm di raggio. Con un goniometro, graduare l'arco da 0 su un bordo dritto a 90 sull'altro. Fissare una cannuccia lungo il bordo segnato 90. Appendere all'angolo un filo con un dado. Il filo indica allora l'angolo della cannuccia sopra l'orizzontale.

Misurare la Polare. In una notte serena nell'emisfero nord, prolungare di circa cinque volte la linea che unisce le due stelle in fondo al carro dell'Orsa Maggiore per trovare la Polare. Traguardarla nella cannuccia, lasciare fermare il filo e leggere. La media di cinque letture dà una latitudine approssimata.

Oppure misurare il Sole di mezzogiorno con l'ombra. Non traguardare mai il Sole. Piantare un bastone dritto su un terreno piano e controllare con il filo a piombo che sia verticale. Verso mezzogiorno, segnare la punta dell'ombra ogni cinque minuti: l'ombra più corta indica il mezzogiorno vero, che di rado cade alle 12 dell'orologio.



Si traguarda nella cannuccia e si legge dove il filo incrocia la scala.

L'altezza del Sole è l'angolo la cui tangente è l'altezza del bastone divisa per quell'ombra; si può anche disegnare il triangolo in scala e misurare l'angolo col goniometro.

Correggere secondo la data. Cercare la declinazione del Sole del giorno in effemeridi, positiva a nord. A nord dei tropici, latitudine = 90° − altezza + declinazione. L'11 aprile la declinazione è di circa +8°. Se un bastone di 100 cm proietta un'ombra minima di 77 cm, l'altezza è circa 52,4° e la latitudine 90 − 52,4 + 8 = 45,6° N, vicina ai 45,8° di Lione. Poi confrontare con una carta.

> **Sicurezza.** Non guardare mai il Sole, né a occhio nudo né attraverso una cannuccia, un tubo, un binocolo o un mirino, neanche per un attimo; gli occhiali da sole non proteggono e il danno è permanente. Di notte uscire in due, portare una torcia e stare lontani da bordi di scogliere, banchine, argini e dalla riva.

Storia ed evoluzione

I navigatori del Pacifico viaggiavano senza strumenti, orientandosi sui punti dove sorgono e tramontano le stelle e stimando la latitudine dall'altezza della Croce del Sud. Nel 1976 Mau Piailug guidò così la canoa Hōkūleʻa dalle Hawaii a Tahiti.

Con il kamal dei piloti dell'oceano Indiano, un nodo stretto tra i denti fissava la distanza di una tavoletta i cui bordi andavano dall'orizzonte alla stella. Ahmad ibn Majid, dell'Oman, mise per iscritto questo sapere nel 1490.

Il kamal: ogni nodo corrispondeva all'altezza della Polare in un porto noto.

Diogo Gomes racconta di aver preso la Polare col quadrante in un viaggio in Guinea verso il 1460, ma le sue date sono incerte. Passato l'equatore, negli anni 1470, i portoghesi si affidarono al Sole di mezzogiorno, all'astrolabio e alle tavole di declinazione di Abraham Zacuto, stampate a Leiria nel 1496. Seguirono la balestriglia e, verso il 1594, il quadrante di Davis. John Hadley presentò il suo ottante alla Royal Society nel 1731. L'orologio H4 di John Harrison fu provato in mare nel 1761; il Nautical Almanac di Nevil Maskelyne, uscito nel 1766 per l'anno 1767, conteneva tavole lunari. I segnali orari regolari via radio cominciarono nel 1904, e il GPS divenne pienamente operativo nel 1995.

Dati chiave

Un grado di latitudine
Circa 111 km (60 miglia nautiche)

Rotazione terrestre
15° di longitudine all'ora, 1° ogni 4 minuti

Declinazione del Sole
Tra circa 23,4° N e 23,4° S nel corso dell'anno

Polare misurata col quadrante in mare
Diogo Gomes, verso il 1460

Ottante di Hadley
Presentato alla Royal Society il 13 maggio 1731

Fonti

1. What is a mariner's astrolabe? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/space-astronomy/what-mariners-astrolabe
2. Quadrant · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/quadrant/
3. Mariner's astrolabe · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/?p=211
4. Back staff · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/back-staff/
5. Martin Behaim: his life and his globe (E. G. Ravenstein, 1908), pp. 15–17 · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0029/ocr
6. Martin Behaim: his life and his globe, Zacuto's Almanach · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0031/ocr
7. The navigator Ahmad ibn Majid · AramcoWorld https://archive.aramcoworld.com/issue/200504/the.navigator.ahmad.ibn.majid.htm
8. The Star Compass · Polynesian Voyaging Society https://worldwidevoyage.hokulea.com/education-at-sea/polynesian-navigation/the-star-compass/
9. Wayfinding revival · Science Learning Hub, University of Waikato https://www.sciencelearn.org.nz/resources/631-wayfinding-revival
10. John Hadley · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/DNB/Hadley.html
11. Octant / sextant · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/OctantSextantBis.html
12. Who was John Harrison? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/discover/explore/longitude-found-john-harrison
13. John Harrison · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/john-harrison
14. Nevil Maskelyne and the lunar method · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/topics/longitude-found-nevil-maskelyne-lunar-method
15. The Evolution of Time Measurement, Part 5: Radio Controlled Clocks (M. A. Lombardi, 2012) · NIST https://tf.nist.gov/general/pdf/2536.pdf
16. The System: Celebrating 20 Years of GPS · GPS World https://www.gpsworld.com/the-system-celebrating-20-years-of-gps/
17. Longitude and Local Noon · ESO, Sea and Space https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/seaspace/navigation/navastro/navastro-5.html
18. Declination of the Sun · Plymouth State University https://vortex.plymouth.edu/dept/tutorials/sun/sun4a.html
19. The American Practical Navigator (Pub. 9), chapter 14: Instruments for celestial navigation · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/05-%20Part%203-%20Celestial%20Navigation/Chapter%2014-%20Instruments%20For%20Celestial%20Navigation.pdf
20. The American Practical Navigator (Pub. 9), appendix B: Calculations and conversions (dip of the horizon) · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/13-%20Appendices/Appendix%20B-%20Calculations%20and%20Conversions.pdf
21. Mate sextant, Kelvin & Hughes, 1967 (NAV1204) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-43416
22. The calculation of astronomical refraction in marine navigation (G. G. Bennett, 1982) · Journal of Navigation https://doi.org/10.1017/S0373463300022037
23. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF

Fatti verificati il 2026-10-14

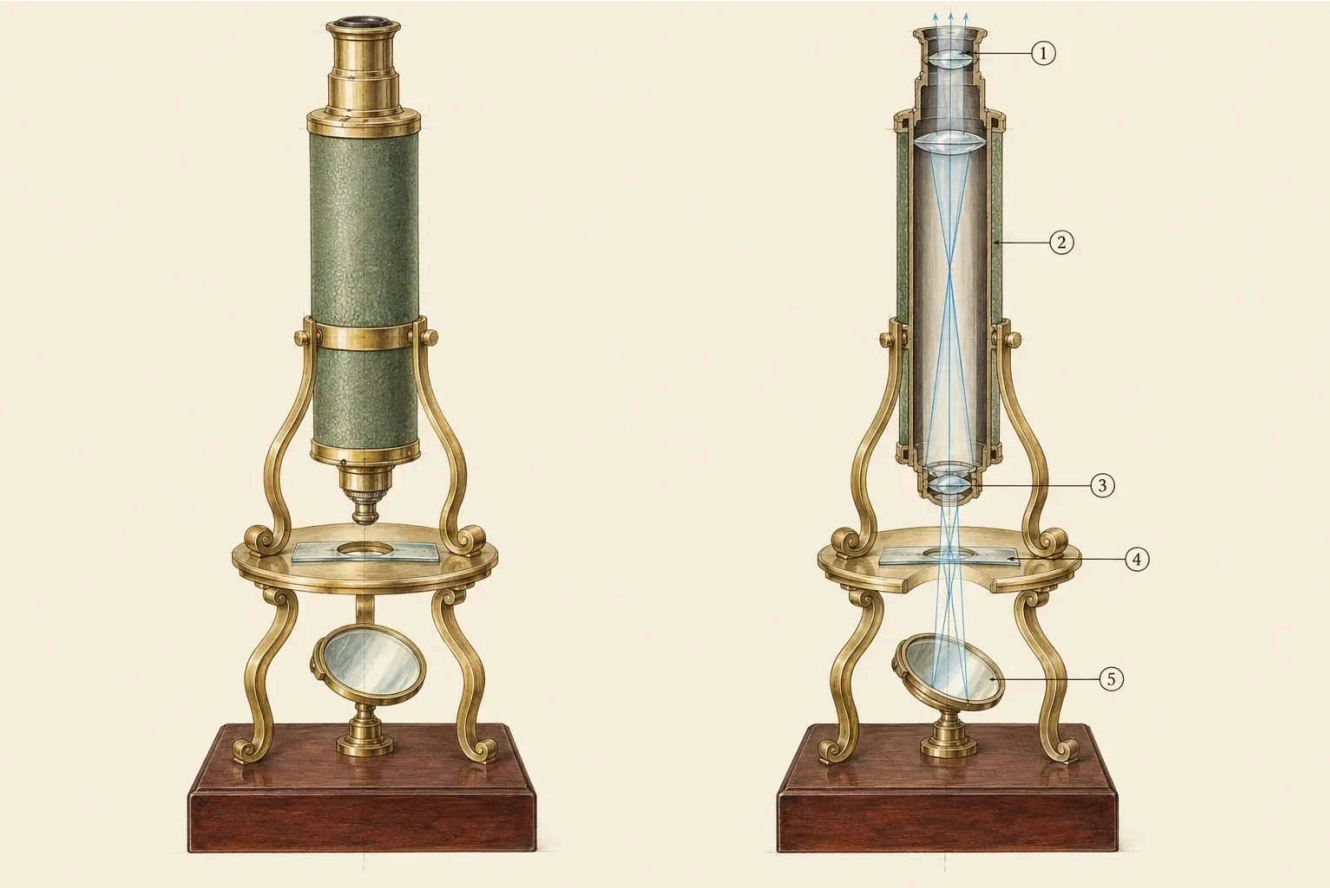
Microscopio

Un mondo troppo piccolo per l'occhio

c. 1590 · Rinascimento · Scienza e industria

Richiede: Occhiali (p. 197)

Porta a: Igiene e antisepsi (p. 297)



1 Oculare 2 Tubo 3 Obiettivo 4 Tavolino e vetrino 5 Specchio concavo

Il microscopio usa una o più lenti per mostrare ciò che è troppo piccolo per l'occhio. Gli strumenti composti, con due lenti in un tubo, comparvero nei Paesi Bassi verso il 1600, e negli anni Settanta del Seicento le minuscole lenti singole di Antoni van Leeuwenhoek mostrarono per la prima volta batteri ed esseri unicellulari.

Che cos'è

Il microscopio mostra dettagli troppo piccoli per l'occhio nudo, da un decimo di millimetro fino a pochi millesimi. Il tipo più semplice, il microscopio semplice, è una sola lente molto forte tenuta vicino all'occhio. Il microscopio composto usa due lenti o gruppi di lenti in un tubo: la prima forma un'immagine ingrandita, la seconda ingrandisce di nuovo quell'immagine.

Lo strumento della tavola è un microscopio composto del tipo messo a punto verso il 1725-1730 dal costruttore londinese Edward Culpeper. Tre gambe curve di ottone su una base di legno reggono il tavolino; altre tre reggono il

manicotto in cui il tubo scorre su e giù per la messa a fuoco. Sotto il tavolino, uno specchio concavo raccoglie la luce del giorno o di una candela e la rimanda verso l'alto attraverso il preparato.

Come funziona

Il preparato, spesso una sezione sottile o una goccia di liquido su un vetrino, poggia sopra un foro del tavolino. Lo specchio lo illumina da sotto. Appena sopra il vetrino l'obiettivo, piccolo e molto curvo, forma nel tubo un'immagine reale, ingrandita e capovolta. L'oculare, in alto, funziona come una lente d'ingrandimento su quell'immagine. Nella tavola, una lente di campo posta sotto la lente dell'occhio allarga la zona visibile in un colpo solo.

I due ingrandimenti si moltiplicano. Un obiettivo da dieci e un oculare da dieci danno in tutto cento ingrandimenti. Alzando o abbassando il tubo si mette a fuoco il preparato; ai forti ingrandimenti la profondità nitida è di pochi millesimi di millimetro.

Ingrandire di più non sempre fa vedere di più. Le prime lenti deviavano ogni colore in modo leggermente diverso e circondavano l'immagine di frange colorate. Joseph Jackson Lister risolse in gran parte il problema verso il 1830 con obiettivi che univano due tipi di vetro. Più avanti nel secolo Ernst Abbe, che lavorava con la ditta Zeiss a Jena, mostrò che la natura ondulatoria della luce pone essa stessa un limite: un microscopio ottico tradizionale non separa due punti molto più vicini di circa 0,2 µm, all'incirca metà della lunghezza d'onda della luce visibile; il valore esatto dipende dal colore della luce e dall'apertura dell'obiettivo. Per vedere più in piccolo servono i microscopi elettronici o speciali metodi a fluorescenza.

Lo strumento di Leeuwenhoek visto di lato: la vite lunga alza e abbassa la punta portaoggetti, quella corta la avvicina o la allontana dalla lente.

Come costruirlo

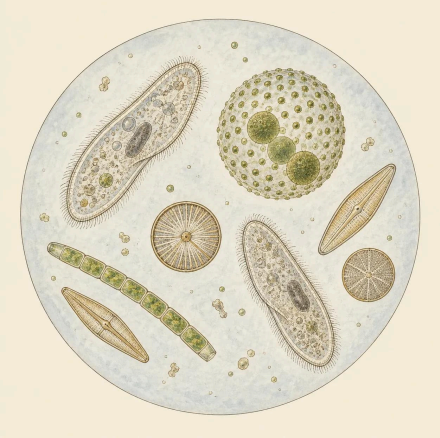
Un microscopio a lente singola del tipo di Leeuwenhoek è alla portata di un dilettante accurato e può arrivare a cento ingrandimenti o più.

Fare la lente. La soluzione più semplice è una sfera di vetro o di zaffiro di 2-3 mm, di quelle vendute per l'ottica o per gli accoppiatori di fibre. Una sfera di vetro comune di 2 mm ha una distanza focale di circa 1,5 mm, misurata dal centro, e ingrandisce circa 150 volte. Il preparato deve stare ad appena mezzo millimetro dalla superficie del vetro. Leeuwenhoek ricavava lenti anche fondendo il vetro; scaldare la punta di una bacchetta sottile di vetro finché non si forma una perla tonda funziona, ma richiede una fiamma a gas ed è meglio lasciarlo a chi ha imparato a lavorare il vetro alla lampada.

Montarla. In due sottili strisce di ottone o di alluminio di circa 5 × 2,5 cm praticare un foro di circa metà del diametro della sfera, che fa da diaframma ed esclude il bordo sfocato della lente. Svasare ogni foro dal lato interno perché la sfera vi si alloggi, chiudere la lente fra le strisce e unirle con ribattini o bulloni vicino ai bordi. Togliere tutte le bave e arrotondare gli spigoli.

Aggiungere il portaoggetti. Fissare dietro la piastra un piccolo blocco montato su una lunga vite che attraversa una squadretta, così che girando la vite il blocco salga o scenda. Al blocco fissare una punta, o un vetrino coprioggetto con i bordi rifiniti, che tenga il preparato appena dietro la lente, e una seconda vite che attraversi il

blocco e prema sulla piastra, per regolare la distanza. Usate filettature fini: il preparato va portato a meno di mezzo millimetro dalla lente e spostato di centesimi di millimetro.



Una goccia d'acqua di stagno vista a circa cento ingrandimenti: parameci, una colonia di Volvox, diatomee e un'alga verde.

Usarlo. Avvicinare la lente all'occhio senza toccarlo, con il preparato dall'altra parte, e guardare verso una luce intensa e diffusa, una parete bianca o un cielo coperto. Una goccia d'acqua di stagno su un vetrino coprioggetto mostra protozoi e alghe in movimento.

> **Sicurezza.** Non puntate mai un microscopio o il suo specchio verso il Sole: la luce solare concentrata può danneggiare l'occhio in modo permanente in un istante. Il vetro caldo sembra freddo: lasciate raffreddare perle e bacchette su un piano resistente al calore e tenete le fiamme lontane da tutto ciò che brucia. Indossate occhiali protettivi quando forate il metallo. L'acqua di stagno non è pulita: lavatevi le mani dopo averla toccata.

Storia ed evoluzione

Alcuni occhialai dei Paesi Bassi furono i primi a mettere due lenti in un tubo, tra il 1590 e il 1620 circa. Racconti successivi attribuirono l'invenzione a Zacharias Janssen di Middelburg, ma si basano soprattutto su dichiarazioni del figlio rese decenni dopo; anche Cornelis Drebbel e altri costruirono strumenti simili. Nel 1624 Galileo mandò uno dei suoi «occhialini» a Federico Cesi, e l'anno dopo Johannes Faber, membro dell'Accademia dei Lincei fondata da Cesi, propose di chiamarlo microscopio.

La Micrographia di Robert Hooke, pubblicata dalla Royal Society nel 1665, rese famoso il microscopio composto. Le sue trentotto incisioni mostravano una pulce, un pidocchio e una sottile fetta di sughero, i cui scomparti vuoti Hooke chiamò cellule. A Delft il mercante di tessuti Antoni van Leeuwenhoek vide dettagli più fini con una sola lente. Costruì diverse centinaia di piccoli microscopi, alcuni oltre i 250 ingrandimenti, e dal 1673 mandò alla Royal Society lettere in cui descriveva globuli del sangue, spermatozoi e folle di «animaletti». In una lettera del 1676 sull'acqua in cui aveva lasciato macerare del pepe descrisse organismi che oggi sappiamo essere batteri, i primi mai visti, e nel 1683 ne trovò di simili nel tartaro dei suoi denti.

Il microscopio di Hooke, anni Sessanta del Seicento: un globo pieno d'acqua concentra sul campione la luce di una lucerna a olio.

Il microscopio composto superò davvero la lente semplice solo nell'Ottocento, quando gli obiettivi acromatici di Lister e la teoria di Abbe ne fecero uno strumento di laboratorio preciso. I microscopi elettronici, costruiti dagli anni Trenta del Novecento, vedono molto al di sotto del limite della luce, e dagli anni Novanta alcuni metodi a fluorescenza permettono anche ai microscopi ottici di superarlo.

Dati chiave

Primi microscopi composti
Paesi Bassi, verso il 1590-1620; l'inventore è controverso

Le migliori lenti di Leeuwenhoek
Da circa 70 a oltre 250 ingrandimenti, con una risoluzione vicina a 1 µm

Limite del microscopio ottico tradizionale
Circa 0,2 µm, metà della lunghezza d'onda della luce visibile

Il nome
Proposto nel 1625 da Johannes Faber dell'Accademia dei Lincei

Micrographia di Hooke
1665, 38 tavole incise; primo uso di «cellula» in biologia

Fonti

1. Museum of Microscopy: The Leeuwenhoek Microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/leeuwenhoek.html
2. Culpeper microscope with boxfoot made by George Adams in 1738 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co119233
3. Johannes Faber (biography) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/biography/JohannesFaber.html
4. Galileo and the microscope: timeline (estoria04) · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/microscopio/dswmedia/storia/pdf/estoria04.pdf
5. Fleas, mould and plant cells: under a 17th-century microscope · British Library https://www.bl.uk/stories/blogs/posts/fleas-mould-and-plant-cells-under-a-17th-century-microscope
6. History of the achromatic and aplanatic microscope · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
7. De microscoop van Antoni van Leeuwenhoek · Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Microbiologie https://www.knvm.org/outreach/mijlpalen-in-de-microbiologie/de-microscoop-van-antoni-van-leeuwenhoek
8. Robert Hooke (Museum of Microscopy) · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/hooke.html
9. Hooke's Microscope · Lens on Leeuwenhoek https://lensonleeuwenhoek.net/node/7761
10. Museum of Microscopy: Culpeper microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/culpeper.html
11. Culpeper tripod microscope · The Golub Collection, University of California, Berkeley https://golubcollection.berkeley.edu/thumb181
12. Descriptive Catalogue of the Collection of Microscopes in charge of the Utrecht University Museum (P. H. van Cittert, 1934) · Utrecht University Library https://objects.library.uu.nl/download/1874-307223/fulltext
13. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
14. Resolution · Nikon MicroscopyU https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/resolution

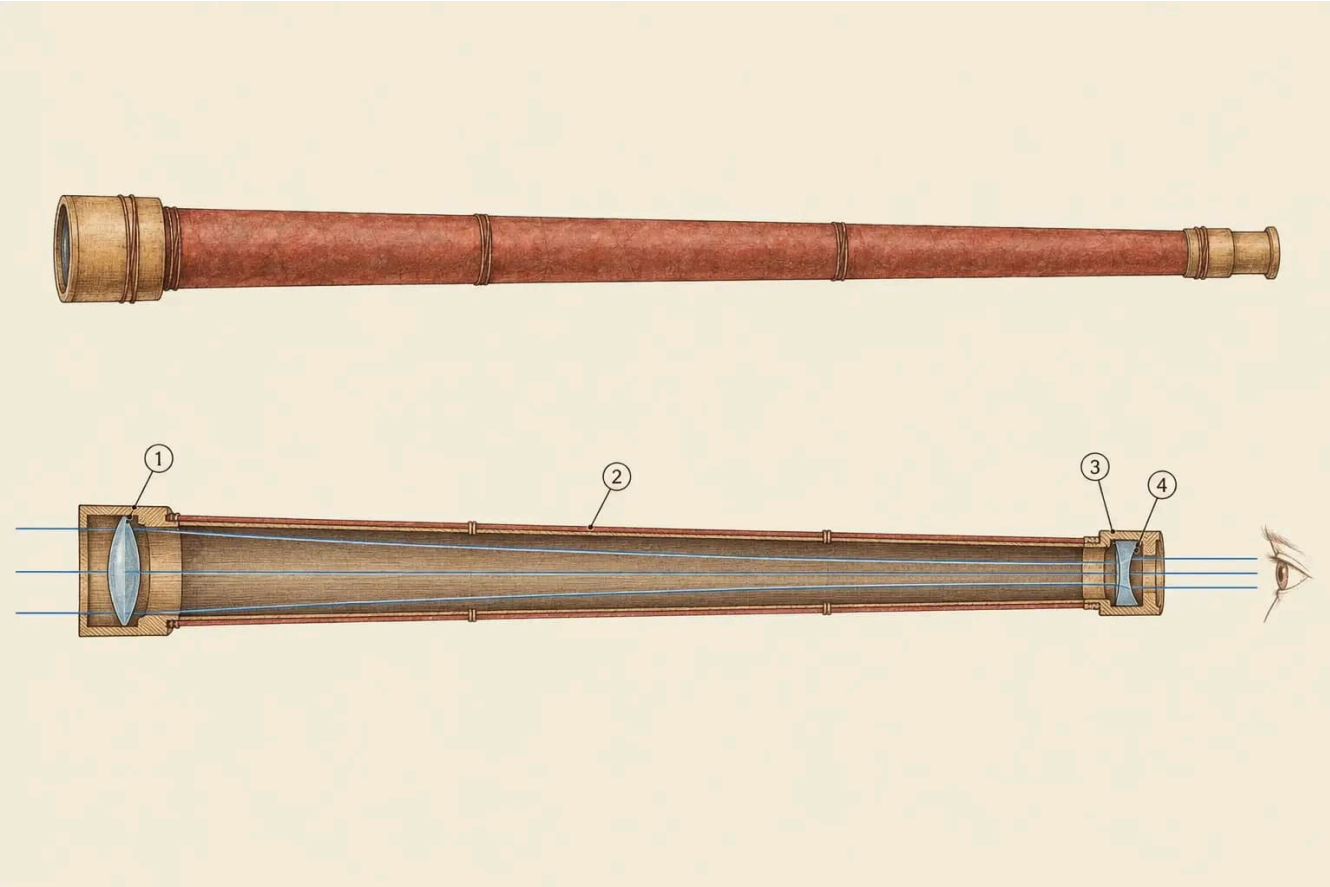
Fatti verificati il 2026-10-12

Cannocchiale

Avvicinare il lontano

1608 · Rinascimento · Scienza e industria

Richiede: Occhiali (p. 197)



1 Obiettivo convergente 2 Tubo principale 3 Alloggiamento dell'oculare 4 Oculare divergente

Il cannocchiale raccoglie la luce di un oggetto lontano con una lente o uno specchio e ingrandisce l'immagine che ne forma. Alcuni occhialai dei Paesi Bassi costruirono i primi nel 1608, e gli strumenti perfezionati di Galileo mostrarono montagne sulla Luna alla fine del 1609 e quattro satelliti in orbita attorno a Giove nel gennaio 1610.

Che cos'è

Il cannocchiale e il telescopio fanno sembrare vicine le cose lontane. Il loro elemento principale, l'obiettivo, raccoglie molta più luce della pupilla e forma un'immagine dell'oggetto lontano; un oculare più piccolo ingrandisce poi quell'immagine per l'occhio. Nel cannocchiale, o rifrattore, l'obiettivo è una lente sul davanti del tubo; nel telescopio a riflessione è uno specchio curvo in fondo.

Lo strumento della tavola è uno dei due cannocchiali di Galileo Galilei giunti fino a noi, conservato al Museo Galileo di Firenze. Il tubo principale è fatto di due mezzi tubi di legno tenuti insieme da filo di rame e rivestiti di carta. Un corto alloggiamento sul davanti regge l'obiettivo, una lente convessa di 51 mm di diametro e 1330 mm di

focale; un altro, dietro, regge l'oculare, una piccola lente concava. Lo strumento ingrandisce 14 volte e mostra un campo di appena un quarto di grado, circa metà del diametro della Luna piena.

Come funziona

La luce di una stella o di un campanile lontano arriva come un fascio quasi parallelo. L'obiettivo convesso lo devia facendolo convergere verso un punto, il fuoco, che nel cannocchiale di Galileo si trova 1330 mm dietro la lente. Da solo l'obiettivo vi formerebbe una piccola immagine capovolta.

Nello schema galileiano l'oculare concavo intercetta la luce convergente prima che raggiunga il fuoco. Allarga i raggi quanto basta per renderli di nuovo paralleli, ma ora viaggiano con angoli più ampi di quando sono arrivati: l'occhio vede l'oggetto più grande e diritto. L'ingrandimento è la focale dell'obiettivo divisa per quella dell'oculare, senza contare il segno meno di quest'ultima: 1330 mm diviso 94 mm dà circa 14.

Nel 1611 Giovanni Keplero propose un oculare convesso. Il cannocchiale kepleriano dà un'immagine capovolta, cosa che a un astronomo non dà fastidio, e un campo molto più largo, e diventò il comune cannocchiale astronomico. Una lente inoltre devia ogni colore in modo un po' diverso e circonda gli oggetti brillanti di frange colorate. Isaac Newton evitò il difetto raccogliendo la luce con uno specchio concavo, che riflette allo stesso modo tutti i colori.

Il telescopio di Newton sostituì la lente dell'obiettivo con uno specchio metallico curvo in fondo a un tubo corto; un piccolo specchio piano manda la luce di lato.

Come costruirlo

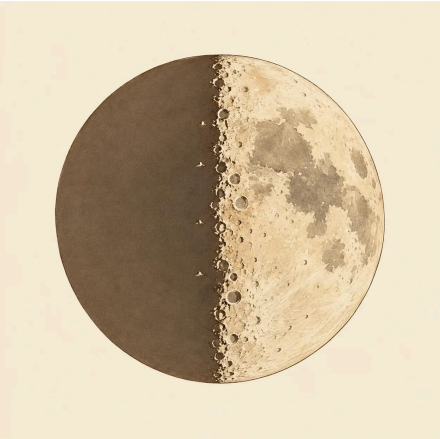
Un cannocchiale galileiano come quello di Galileo richiede due lenti e un tubo di circa un metro.

Scegliere le lenti. Per l'obiettivo, una lente convergente di circa +1 diottria (1000 mm di focale) e 40-50 mm di diametro; va bene una lente semplice, mentre un doppietto acromatico di un fornitore di ottica dà un'immagine più nitida. Per l'oculare, una lente divergente di circa −10 diottrie (−100 mm di focale) e 20-25 mm di diametro. Questa coppia ingrandisce 1000 : 100 = 10 volte.

Fare il tubo. Le lenti vanno poste a circa 900 mm l'una dall'altra: la focale dell'obiettivo meno quella dell'oculare, presa senza il segno meno. Usate due tubi di cartone o di plastica che scorrano uno dentro l'altro, per regolare la lunghezza di qualche centimetro. Dipingete o rivestite l'interno di nero opaco per eliminare i riflessi.

Montare le lenti. Fissate l'obiettivo all'estremità anteriore fra due anelli di cartone o di legno, ben perpendicolare al tubo. Mettete l'oculare in un corto tappo all'estremità posteriore, con il lato cavo verso l'occhio.

Mettere a fuoco e osservare. Appoggiate il tubo su qualcosa di stabile, un treppiede fotografico o una staccionata, e fate scorrere i tubi finché un comignolo lontano non appare nitido. Di notte si vedono i crateri della Luna e, in una serata calma, i quattro satelliti maggiori di Giove.



Al primo quarto, alcune vette illuminate oltre la linea d'ombra mostrarono a Galileo che la Luna aveva montagne.

> **Sicurezza.** Non puntate mai un cannocchiale né alcuna lente verso il Sole, neppure per un attimo o al tramonto, e non lasciatelo mai dove un bambino potrebbe farlo: la luce solare concentrata può danneggiare l'occhio all'istante e per sempre, e può incendiare il tubo. Per guardare il Sole attraverso uno strumento serve un filtro costruito apposta, che copra tutta l'apertura anteriore, fissato saldamente, controllato ogni volta per graffi e fori e usato secondo le istruzioni del fabbricante. Gli occhialini per eclissi e i filtri avvitati sull'oculare non proteggono dietro un cannocchiale.

Storia ed evoluzione

Il 2 ottobre 1608 Hans Lipperhey, occhialaio di Middelburg, chiese agli Stati Generali, all'Aia, un brevetto per uno strumento con cui vedere le cose lontane come se fossero vicine. Jacob Metius di Alkmaar presentò una domanda simile qualche settimana dopo, altri rivendicarono la stessa idea e il brevetto fu negato. Nessun cannocchiale di quei primi costruttori si è conservato; quello di Lipperhey ingrandiva probabilmente circa tre volte.

La notizia dell'«occhiale olandese» si diffuse in fretta. In Inghilterra Thomas Harriot usava uno strumento da sei ingrandimenti già nell'estate del 1609, e a Padova Galileo, che molava da sé le sue lenti, costruì un occhiale da tre ingrandimenti nell'estate del 1609 e ne presentò uno da otto al Senato veneziano in agosto. In autunno arrivava a una ventina; le fonti non concordano se abbia studiato la Luna prima con questo strumento o con uno più debole. Il suo secondo cannocchiale conservato ingrandisce 21 volte. Nel marzo 1610 il suo breve libro Sidereus Nuncius descrisse le montagne della Luna, le innumerevoli stelle della Via Lattea e quattro satelliti in orbita attorno a Giove. Il nome telescopio fu proposto nel 1611 dal principe Federico Cesi, fondatore dell'Accademia dei Lincei.

Giove e i suoi quattro grandi satelliti stanno quasi su una linea; nel gennaio 1610 Galileo li vide cambiare posto da una notte all'altra.

Gli astronomi costruirono poi cannocchiali sempre più lunghi per ridurre lo sfocato colorato. Chester Moore Hall realizzò verso il 1733 obiettivi acromatici fatti con due tipi di vetro, che si diffusero però solo quando John Dollond cominciò a produrli alla fine degli anni Cinquanta del Settecento. Il telescopio di Newton, progettato nel 1668 e presentato in una seconda versione alla Royal Society a cavallo fra il 1671 e il 1672, fece da modello ai telescopi a specchio che William Herschel costruiva da sé; con uno di essi scoprì il pianeta Urano nel 1781.

Dati chiave

Primo documento scritto
Domanda di brevetto di Hans Lipperhey, L'Aia, 2 ottobre 1608

Lo strumento di Lipperhey
Probabilmente circa 3 ingrandimenti

Il cannocchiale di Galileo a Firenze
Obiettivo di 51 mm, focale di 1330 mm, 14 ingrandimenti

Sidereus Nuncius
Pubblicato a Venezia nel marzo 1610

Telescopio di Newton
Progettato nel 1668; seconda versione mostrata alla Royal Society nel 1671-1672

Fonti

1. Galileo's telescope (inv. 2427) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/object/GalileosTelescope.html
2. Instruments: Galileo's telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/pencil/eng/html/Tools/01%20Cannocchiale.htm
3. Scientist of the Day: Hans Lipperhey · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/hans-lipperhey/
4. Galileo's telescope: reflecting telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/storia/estoria6_st.html
5. History of the achromatic and aplanatic microscope (Hall and Dollond) · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
6. Telescope · The Galileo Project, Rice University https://galileo.library.rice.edu/sci/instruments/telescope.html
7. 7-foot Newtonian (reflector) telescope · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-11122
8. Galileo's telescope (inv. 2427): measurements of the lenses · Museo Galileo (IMSS) https://imss.fi.it/news/cielimedicei/01/estrumento2.html
9. Galileo's knowledge of optics and the functioning of the telescope, revised (Y. Zik and G. Hon) · arXiv https://arxiv.org/abs/1307.4963
10. Learning from Galileo's errors (E. Bernieri) · arXiv https://arxiv.org/abs/1206.4244
11. Telescopes of Galileo (V. Greco, G. Molesini and F. Quercioli), Applied Optics 32, 6219–6226 · Optica Publishing Group https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-32-31-6219
12. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
13. University Physics Volume 3, 4.5 Circular Apertures and Resolution · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/4-5-circular-apertures-and-resolution
14. Astronomy 2e, 6.1 Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/astronomy-2e/pages/6-1-telescopes

Fatti verificati il 2026-10-12

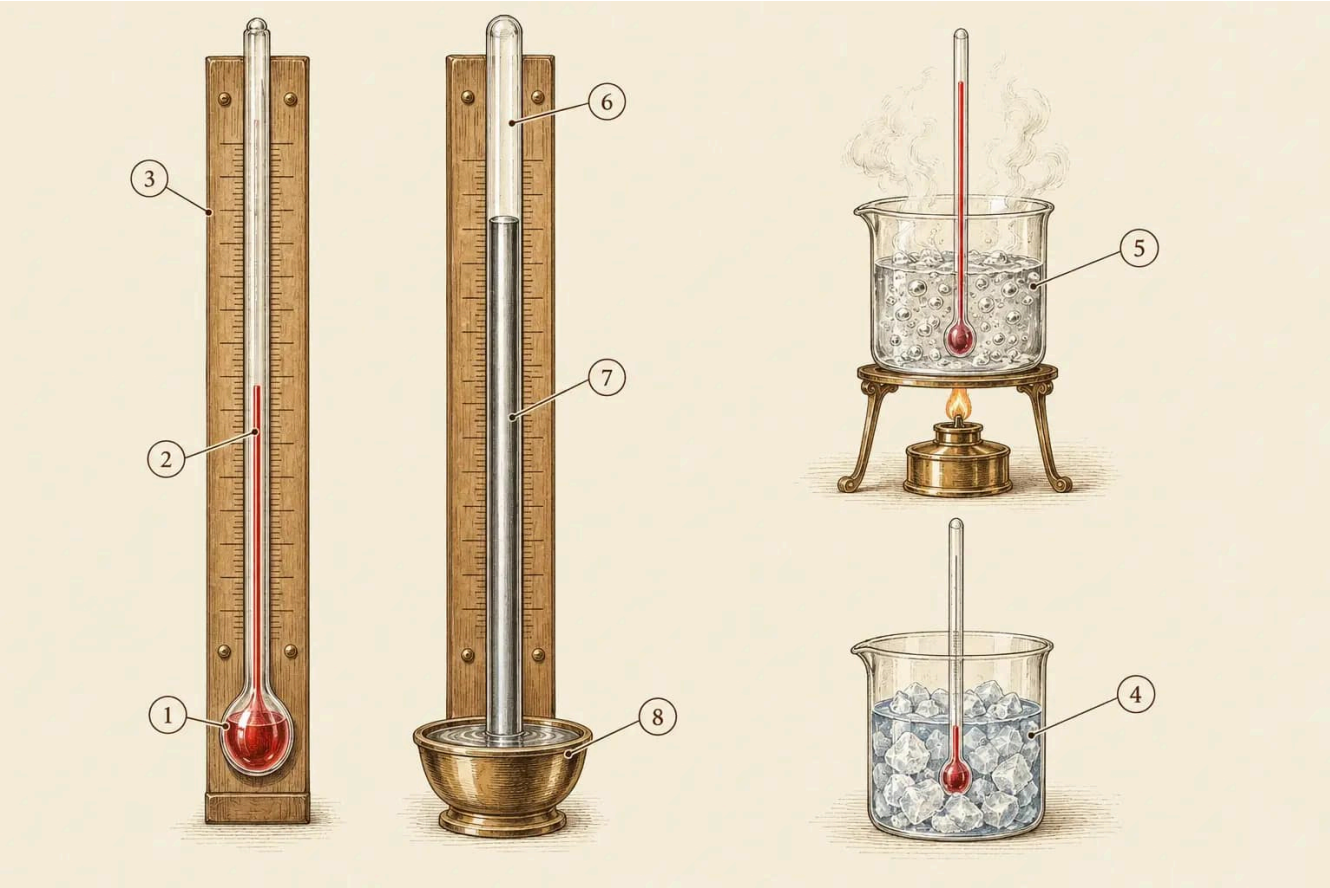
Termometro e barometro

Temperatura e pressione lette sul vetro

c. 1654 · Rinascimento · Scienza e industria

Richiede: Vetro (p. 133), Misure e campioni (p. 128), Numerazione posizionale (p. 98)

Porta a: Refrigerazione (p. 280)



1 Bulbo con il liquido 2 Stelo di vetro sottile 3 Scala graduata 4 Ghiaccio fondente, punto fisso inferiore (0 °C)
5 Acqua bollente, punto fisso superiore (100 °C a 1013,25 hPa) 6 Spazio vuoto in cima al tubo chiuso
7 Colonna di mercurio, circa 760 mm 8 Vaschetta aperta

Un termometro mostra la temperatura come lunghezza di un filo di liquido in un sottile tubo di vetro, letta su una scala fissata dal ghiaccio che fonde e dall'acqua che bolle. Il suo compagno, il barometro, pesa l'aria con l'altezza della colonna di liquido che l'atmosfera riesce a sostenere: circa 760 mm di mercurio al livello del mare.

Che cos'è

Un termometro trasforma la temperatura in una lunghezza che si può leggere. Un bulbo di vetro pieno di liquido prosegue in un tubo dal canale strettissimo. Quando il liquido si scalda si dilata, e il suo filo sale lungo una scala.

Il barometro è uscito dalle stesse botteghe italiane e pesa l'aria sopra di noi con l'altezza di una colonna di liquido. Con termometri costruiti allo stesso modo, osservatori di città diverse poterono confrontare le loro letture, come fece la prima rete meteorologica dal 1654.

Come funziona

I liquidi crescono un poco quando si scaldano: l'etanolo di circa lo 0,11% del suo volume per grado, il mercurio di circa lo 0,018%, il vetro molto meno. Il canale rende visibile la differenza, perché tutto il volume in più del bulbo deve entrarvi. Un bulbo con un quinto di centimetro cubo di alcol guadagna circa 0,2 mm^3 per grado; in un canale di 0,2 mm di diametro diventa un passo di circa 7 mm.

Una scala ha bisogno di punti che chiunque possa riprodurre. Il ghiaccio puro fonde sempre alla stessa temperatura, e l'acqua pura bolle sempre alla stessa temperatura finché la pressione dell'aria resta uguale. La scala Celsius li chiama 0 e 100 e mette cento passi uguali in mezzo. In montagna l'acqua bolle a temperatura più bassa, circa un grado in meno ogni 300 m di quota. Tarare uno strumento significa confrontarlo con questi punti o con un riferimento affidabile e annotare lo scarto; senza taratura, due termometri possono differire di parecchi gradi. Conta anche in cucina: l'agenzia britannica per la sicurezza alimentare chiede 70 °C mantenuti per due minuti al centro dei cibi cotti.

L'acqua da sola si contrae scaldandosi tra 0 e 4 °C e gela a 0 °C. I primi termometri sigillati contenevano alcol e, dal Settecento, gli strumenti di precisione soprattutto mercurio, che resta liquido in un ampio intervallo e non bagna il vetro.

Il barometro di Torricelli era un tubo di vetro lungo circa un metro, chiuso a un capo, riempito di mercurio e capovolto in una vaschetta di mercurio. La colonna scendeva finché ne restavano circa 760 mm sopra la vaschetta, con uno spazio quasi vuoto in alto. Il suo peso bilancia la spinta dell'aria sulla superficie libera. Il mercurio è 13,6 volte più denso dell'acqua, quindi un barometro ad acqua richiede più di 10 m di tubo, la stessa altezza che limita una pompa aspirante.

Vicino al livello del mare la colonna scende di circa un millimetro ogni 11 m di salita, così il barometro misura anche la quota. Un barometro che scende annuncia spesso vento e pioggia, uno che sale bel tempo. I barometri aneroidi sostituiscono il liquido con una capsula metallica sigillata che si deforma.

Come costruirlo

Il termometro a liquido è uno strumento didattico: confrontatelo con un riferimento per conoscerne l'errore e non usatelo mai per i cibi o per controllare la febbre. Il barometro a barattolo indica soltanto se la pressione sale o scende.

Il termometro a liquido. Prendete una bottiglietta di vetro da circa 100 ml, una cannuccia trasparente lunga almeno 25 cm e della plastilina. Mescolate a volumi uguali acqua e alcol isopropilico al 70%, tinti con colorante alimentare: la miscela si dilata più dell'acqua ed evita il suo strano comportamento vicino al congelamento. Riempite la bottiglia fino all'orlo, infilate bene la cannuccia nel liquido e sigillate il collo con la plastilina, senza bolle d'aria. A temperatura ambiente il liquido deve stare circa 8 cm sopra la plastilina; aggiungetene o toglietene un poco dalla cannuccia con un contagocce. Più la bottiglia è grande e la cannuccia sottile, più ampio è il passo per grado. Incollate una striscia di carta dietro la cannuccia.

Il punto fisso inferiore: la bottiglia resta nel ghiaccio fondente finché il filo non si ferma.

Fissare i punti. Mettete la bottiglia in una ciotola di ghiaccio tritato con un po' d'acqua, abbastanza profonda da coprirla fino al collo. Mescolate, aspettate che il filo si fermi, anche un quarto d'ora, e segnate 0; il liquido deve restare visibile sopra la plastilina. Lasciatela tornare a temperatura

ambiente, poi mettetela accanto a un termometro da cucina digitale in una ciotola d'acqua tiepida del rubinetto a circa 40 °C, mescolate, aspettate che entrambe le letture si stabilizzino e segnate il valore del riferimento; il filo non deve arrivare in cima. Se una delle due prove fallisce, cambiate la quantità di liquido o la bottiglia e rifate entrambi i punti. Dividete l'intervallo in passi uguali e confrontate con il riferimento a temperatura ambiente per conoscere l'errore. Non stringete mai la bottiglia.

Un barometro a barattolo: la membrana si abbassa quando la pressione sale, e la punta della cannuccia si alza.

Il barometro a barattolo. Tagliate il collo di un palloncino, tendetelo bene su un barattolo di vetro a bocca larga e legatelo con lo spago perché l'aria non passi. Incollate un capo di una cannuccia lunga al centro della membrana e lasciate sporgere l'altro oltre il bordo, davanti a un cartoncino. Quando la pressione esterna sale, la membrana si abbassa e la punta si alza. L'aria chiusa si dilata anche con il caldo: un grado sposta la lancetta più o meno quanto 3,5 hPa di pressione. Tenete il barattolo al riparo dal sole, in una stanza la cui temperatura cambi poco, e confrontate i suoi movimenti con la tendenza della pressione data dal servizio meteorologico.

La lettura. Tenete l'occhio all'altezza della cima del filo.

> **Sicurezza.** Non costruite mai uno strumento a mercurio: i suoi vapori sono tossici. Se si rompe un vecchio termometro a mercurio, fate uscire persone e animali e teneteli fuori, aprite le finestre verso l'esterno e chiudete le porte verso il resto della casa. Non usate aspirapolvere né scopa. Su un pavimento duro, con i guanti, radunate le goccioline con un cartoncino rigido, spostatele su carta da cucina umida, raccogliete le più minute con nastro adesivo e chiudete tutto in un sacchetto etichettato. Su tappeti o imbottiti, ritagliate o mettete da parte la parte contaminata e chiedete consiglio al servizio sanitario o ambientale locale. Finita la pulizia, arieggiate la stanza per almeno 24 ore e portate i rifiuti a una raccolta di rifiuti pericolosi secondo le indicazioni locali. L'alcol isopropilico è infiammabile e tossico: tenetelo lontano da fiamme e bambini. Usate acqua calda del rubinetto, mai bollente, e non passate mai il vetro direttamente dal ghiaccio all'acqua calda.

Storia ed evoluzione

Filone di Bisanzio ed Erone di Alessandria sapevano che l'aria scaldata si gonfia e spinge l'acqua lungo un tubo. Benedetto Castelli ricordava di aver visto Galileo mostrare un termoscopio del genere intorno al 1600, e nel 1612 il medico Santorio, a Venezia, gli aveva aggiunto una scala per seguire le febbri. Essendo aperto, risentiva anche della pressione dell'aria.

Il termoscopio di Galileo: quando l'aria nell'ampolla si raffredda, l'acqua sale nel collo.

Torricelli descrisse il barometro a mercurio in una lettera del giugno 1644. Nel 1648 Florin Périer, cognato di Pascal, ne portò uno in cima al Puy de Dôme, dove la colonna stava circa 8,5 cm più in basso che a Clermont. A Firenze gli artigiani del granduca Ferdinando II chiusero l'alcol nel vetro sigillato e nel 1654 il granduca inviò termometri identici alla prima rete meteorologica.

Daniel Gabriel Fahrenheit costruì termometri a mercurio ad Amsterdam dagli anni Dieci del Settecento e pubblicò il suo metodo nel 1724. Anders Celsius propose la sua scala nel 1742, con 0 all'ebollizione e 100 al congelamento;

fu capovolta poco dopo la sua morte, nel 1744. Nel 1848 William Thomson, poi lord Kelvin, propose una scala assoluta, il cui zero è oggi fissato a −273,15 °C.

Nel 1868 Carl Wunderlich, con i dati di circa 25.000 malati, collocò la media normale intorno a 37 °C e l’inizio della febbre verso 38 °C. Robert FitzRoy avviò gli avvisi di burrasca britannici nel 1861 e pubblicò la prima previsione pubblica sul Times nell’agosto dello stesso anno. Sensori digitali e termometri ad altri liquidi hanno poi in gran parte sostituito i termometri a mercurio, oggi limitati in molti Paesi.

Dati chiave

Punti fissi (Celsius)
0 °C per il ghiaccio fondente, 100 °C per l'acqua che bolle a 1013,25 hPa

Dilatazione per grado
Etanolo circa lo 0,11% del volume, mercurio circa lo 0,018%

Temperatura corporea (Wunderlich, 1868)
Circa 37 °C in media; 38 °C «probabilmente febbrile»; dati di circa 25.000 malati

Pressione dell'aria al livello del mare
Circa 760 mm di mercurio, ovvero circa 10,3 m d'acqua

Prima rete meteorologica
1654, istituita da Ferdinando II di Toscana con termometri ad alcol sigillati

Fonti

1. Letter by Castelli on the invention of the thermoscope · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/LetterByCastelliOnInventionThermoscope.html
2. Medici meteorological network · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/MediciMeteorologicalNetworkBis.html
3. Fifty-degree thermometer · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/FiftydegreeThermometer.html
4. Thermometers of the Accademia del Cimento · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/section/ThermometersAccademiaCimentoArtScienceGlassware.html
5. Torricellian experiment · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/TorricellianExperiment.html
6. This Month in Physics History: Torricelli demonstrates the existence of a vacuum · APS News, American Physical Society https://www.aps.org/apsnews/2012/10/torricelli-demonstrates-existence-vacuum
7. Blaise Pascal (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/blaise-pascal/
8. On September 19, 1648, Pascal conducted an experiment that proved the existence of atmospheric pressure · Scientific Russia https://en.scientificrussia.ru/articles/under-atmospheric-pressure
9. Fahrenheit, Daniel Gabriel (ADB and NDB entries) · Deutsche Biographie, Bavarian Academy of Sciences https://www.deutsche-biographie.de/sfz14129.html
10. Daniel Gabriel Fahrenheit · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/biography/DanielGabrielFahrenheit.html
11. The Legacy of Anders Celsius · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-legacy-of-anders-celsius/
12. Kelvin: History · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/si-redefinition/kelvin/kelvin-history
13. Wunderlich, Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten (1868) · HistoryofMedicine.com (Jeremy Norman) https://archive.historyofmedicine.com/id/3542
14. Thermometry and the role of fever in medicine · Healio https://www.healio.com/news/hematology-oncology/20120325/thermometry-and-the-role-of-fever-in-medicine
15. Robert FitzRoy and the early Met Office · Met Office https://www.metoffice.gov.uk/research/library-and-archive/archive-hidden-treasures/robert-fitzroy
16. Air pressure · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure
17. Learning lesson: the "dry" barometer · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/ll-pressure2
18. Cubical expansion coefficients of liquids · The Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/cubical-expansion-coefficients-d_1262.html
19. Calibrating your food thermometer · Texas A&M AgriLife Extension https://agrilifeextension.tamu.edu/calibrating-your-food-thermometer
20. High-altitude cooking (Guide E-215) · New Mexico State University Cooperative Extension https://pubs.nmsu.edu/_e/E215/
21. Cooking your food · Food Standards Agency https://www.gov.uk/government/publications/cooking-your-food/cooking-your-food
22. What to do if a mercury thermometer breaks · US Environmental Protection Agency https://www.epa.gov/mercury/what-do-if-mercury-thermometer-breaks

Fatti verificati il 2026-10-14

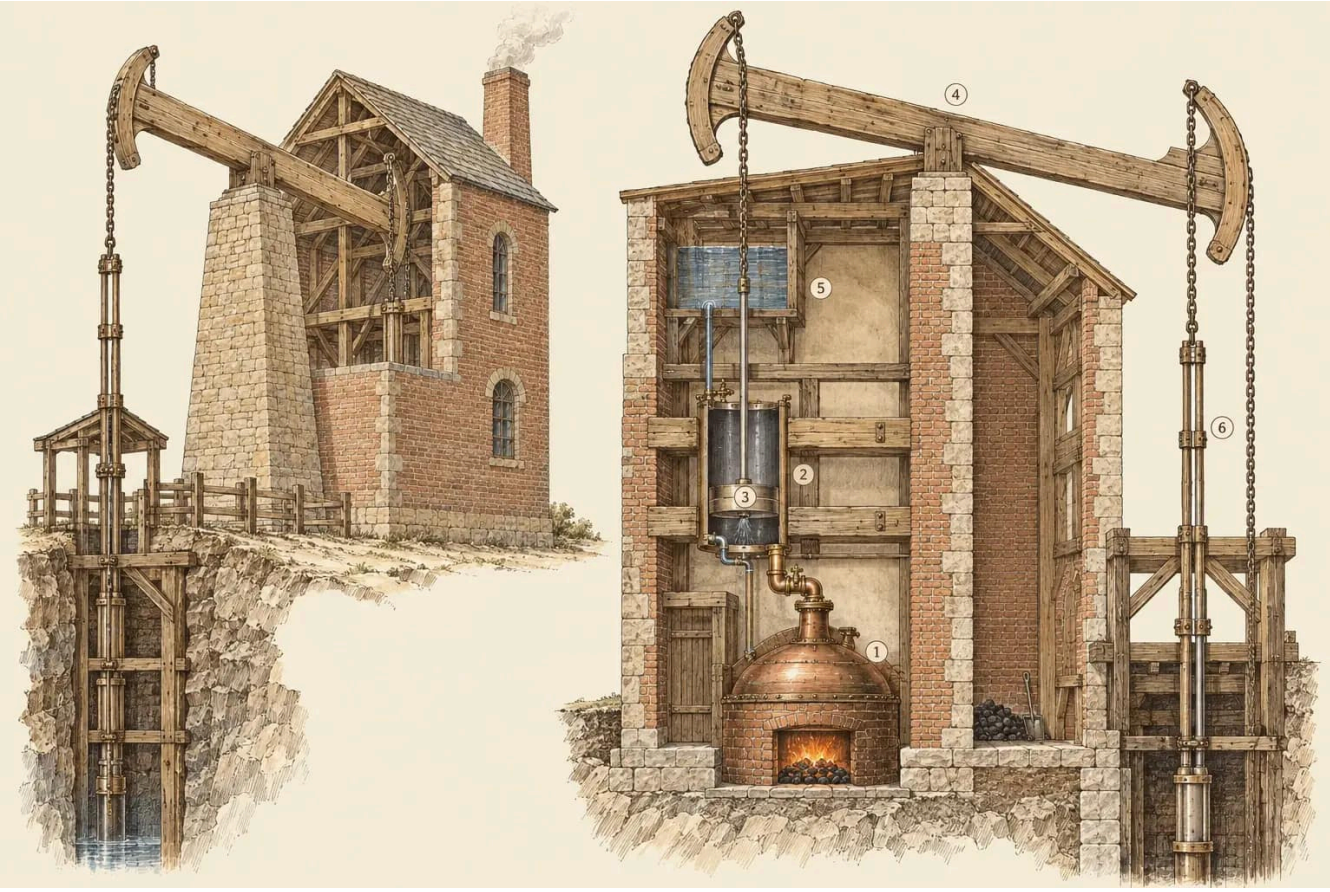
Macchina a vapore

Il calore trasformato in moto

1712 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Siderurgia del ferro (p. 137), Ingranaggi (p. 154), Pompa a pistone (p. 162)

Porta a: Motore a combustione interna (p. 311), Refrigerazione (p. 280), Locomotiva a vapore (p. 244), Turbina a vapore (p. 323)



1 Caldaia 2 Cilindro 3 Pistone 4 Bilanciere 5 Serbatoio dell'acqua d'iniezione 6 Aste della pompa

Una macchina a vapore trasforma il calore di un fuoco in movimento usando il vapore per spingere un pistone. La macchina di Thomas Newcomen del 1712 prosciugava le miniere, e i miglioramenti di James Watt dal 1765 in poi resero la forza del vapore abbastanza economica da muovere le fabbriche della Rivoluzione industriale.

Che cos'è

Una macchina a vapore usa il vapore dell'acqua bollente per spingere un pistone, e così trasforma un combustibile in lavoro meccanico. Le prime pompavano acqua fuori dalle miniere; quelle successive azionarono filande e altri macchinari, e spinsero navi e locomotive.

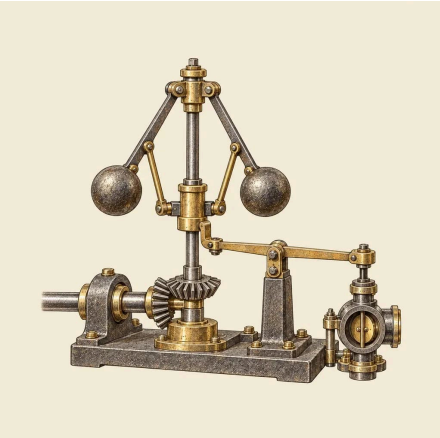
La macchina della tavola è del tipo costruito da Thomas Newcomen nel 1712. Si chiama macchina atmosferica perché il lavoro lo compie la pressione dell'aria esterna; il vapore serve solo a creare il vuoto. La caldaia lavora appena sopra la pressione atmosferica, quindi rischia molto meno di scoppiare delle caldaie ad alta pressione dell'Ottocento.

Come funziona

La macchina è costruita attorno a un cilindro verticale, aperto in alto, con dentro un pistone. Il pistone pende da una catena a un'estremità di un grande bilanciere di legno che oscilla sul muro della sala macchine. All'altra estremità pendono le aste della pompa, che scendono nel pozzo fino alle pompe sul fondo della miniera.

Le pesanti aste tirano verso il basso la loro estremità del bilanciere, e così sollevano il pistone; il vapore della caldaia sottostante riempie il cilindro. Una valvola chiude il vapore. Un getto d'acqua fredda dal serbatoio viene spruzzato nel cilindro: il vapore si condensa subito in poca acqua e lascia un vuoto parziale. L'aria sopra il pistone ora preme più forte del vapore rarefatto rimasto sotto. Su un cilindro di mezzo metro di diametro, questa differenza di pressione può arrivare in teoria a circa 20 kilonewton, il peso di due tonnellate; la forza utile era molto minore. Il pistone scende, il bilanciere oscilla e le aste risalgono, sollevando l'acqua della miniera.

L'eolipila di Erone di Alessandria, nel I secolo d.C., girava spinta da getti di vapore ma non compiva alcun lavoro utile.



Nelle macchine successive di Watt, le sfere del regolatore si allargano quando la macchina accelera e chiudono in parte la valvola del vapore.

Quando il vapore rientra, spinge fuori l'aria da una piccola valvola di sfiato, mentre l'acqua di condensa scende per un tubo separato con valvola di non ritorno. Il ciclo si ripete circa dodici volte al minuto. Un'asta munita di arresti, appesa al bilanciere, apre e chiude le valvole da sola.

A ogni colpo il getto freddo raffredda il cilindro, e la carica di vapore successiva deve riscaldarlo prima di poterlo riempire. Gran parte del carbone se ne va in questo riscaldamento.

La soluzione di James Watt fu condensare il vapore in un recipiente separato, sempre freddo, mentre il cilindro restava caldo. In seguito chiuse la parte alta del cilindro, fece agire il vapore su entrambi i lati del pistone e aggiunse ingranaggi per ottenere un moto rotatorio, così che la macchina potesse azionare intere officine e non solo pompe.

Come costruirla

Una macchina atmosferica richiede un calderaio, un fonditore capace di colare e alesare un cilindro, un carpentiere per il bilanciere e un muratore per l'edificio.

Costruite la caldaia. Un tempo era un involucro chiodato di rame o di ferro battuto, con la parte superiore a cupola, murato sopra una griglia da fuoco, con una valvola di sicurezza a peso, rubinetti per controllare il livello dell'acqua e un tubo di alimentazione. Una ricostruzione funzionante richiede una caldaia progettata, collaudata e ispezionata da un calderaio qualificato; non improvvisatela mai.

Colate e alesate il cilindro. Il cilindro sta appena sopra la caldaia, sorretto da robuste travi murate nelle pareti, ed è collegato a essa solo da un breve tubo del vapore. L'alesaggio deve essere tondo e liscio per tutta la lunghezza, altrimenti il pistone perde; alesare con precisione fu uno dei problemi più difficili del Settecento.

Montate il pistone. Guarnite il bordo con corda o cuoio e tenete sopra un sottile strato d'acqua per la tenuta.

Innalzate il bilanciere. Ricavatelo dalla quercia, con un settore curvo a ogni estremità perché le catene tirino in verticale. Appoggiate il perno centrale su un muro spesso.

Installate le valvole. Una fa entrare il vapore e un'altra spruzza acqua fredda da un serbatoio posto in alto nell'edificio; una valvola di sfiato fa uscire l'aria, e un tubo con valvola di non ritorno scarica la condensa. Manovratele prima a mano, poi con arresti fissati a un'asta appesa al bilanciere.

> **Sicurezza.** Una caldaia con la valvola di sicurezza ostruita, bloccata o sovraccaricata può esplodere: non ostruite né escludete mai la via di scarico e non aggiungete mai peso alla valvola. Vapore e acqua calda ustionano gravemente. Durante il funzionamento state lontani da bilanciere, catene e aste, e recintate il pozzo.

Storia ed evoluzione

Erone di Alessandria descrisse nel I secolo d.C. una sfera fatta girare da getti di vapore, che restò una curiosità. Nel 1690 Denis Papin mostrò che la condensazione del vapore sotto un pistone poteva sollevare un peso. Thomas Savery brevettò nel 1698 una pompa senza pistone: aspirava l'acqua condensando vapore in un recipiente e poi la spingeva più in alto con la pressione del vapore, ma bastava solo per dislivelli modesti.

Newcomen, commerciante di ferramenta di Dartmouth, e il suo socio John Calley misero in funzione la prima macchina nel 1712, in una miniera di carbone vicino al castello di Dudley. Poiché il brevetto di Savery copriva il sollevamento dell'acqua per mezzo del fuoco, le macchine di Newcomen furono costruite sotto quel brevetto fino alla sua scadenza nel 1733. Alla morte di Newcomen, nel 1729, ne funzionavano già più di cento in Gran Bretagna e in Europa.

L'ingranaggio sole e pianeta di Watt, del 1781, trasformava il moto alternato del bilanciere in rotazione.

Nel 1763 James Watt, costruttore di strumenti all'Università di Glasgow, ricevette l'incarico di riparare un modellino di macchina Newcomen. Due anni dopo ebbe l'idea del condensatore separato, che brevettò nel 1769. Con Matthew Boulton iniziò a vendere macchine nel 1776. Consumavano circa un quarto del combustibile di una macchina Newcomen di pari potenza. Verso il 1800, mentre il brevetto di Watt scadeva, Richard Trevithick e altri passarono al vapore ad alta pressione per costruire macchine più piccole e leggere, che presto finirono su rotaia e sulle navi.

Dati chiave

Prima macchina in funzione
1712, miniera di carbone di Conygree, presso Dudley (Inghilterra)

Cadenza
Circa 12 colpi al minuto

Condensatore separato di Watt
Ideato nel 1765, brevettato nel 1769, circa il 75% di combustibile in meno

Pressione in una caldaia Newcomen
Circa 0,07-0,14 bar sopra la pressione atmosferica

Macchine Newcomen costruite entro il 1729
Più di 100

Fonti

1. Newcomen atmospheric engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_atmospheric_engine
2. Watt steam engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine
3. Newcomen atmospheric engine (object 1920-124) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50900/newcomen-atmospheric-engine-atmospheric-steam-engine
4. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki (ASME) https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
5. A new age · Science Museum https://blog.sciencemuseum.org.uk/a-new-age/

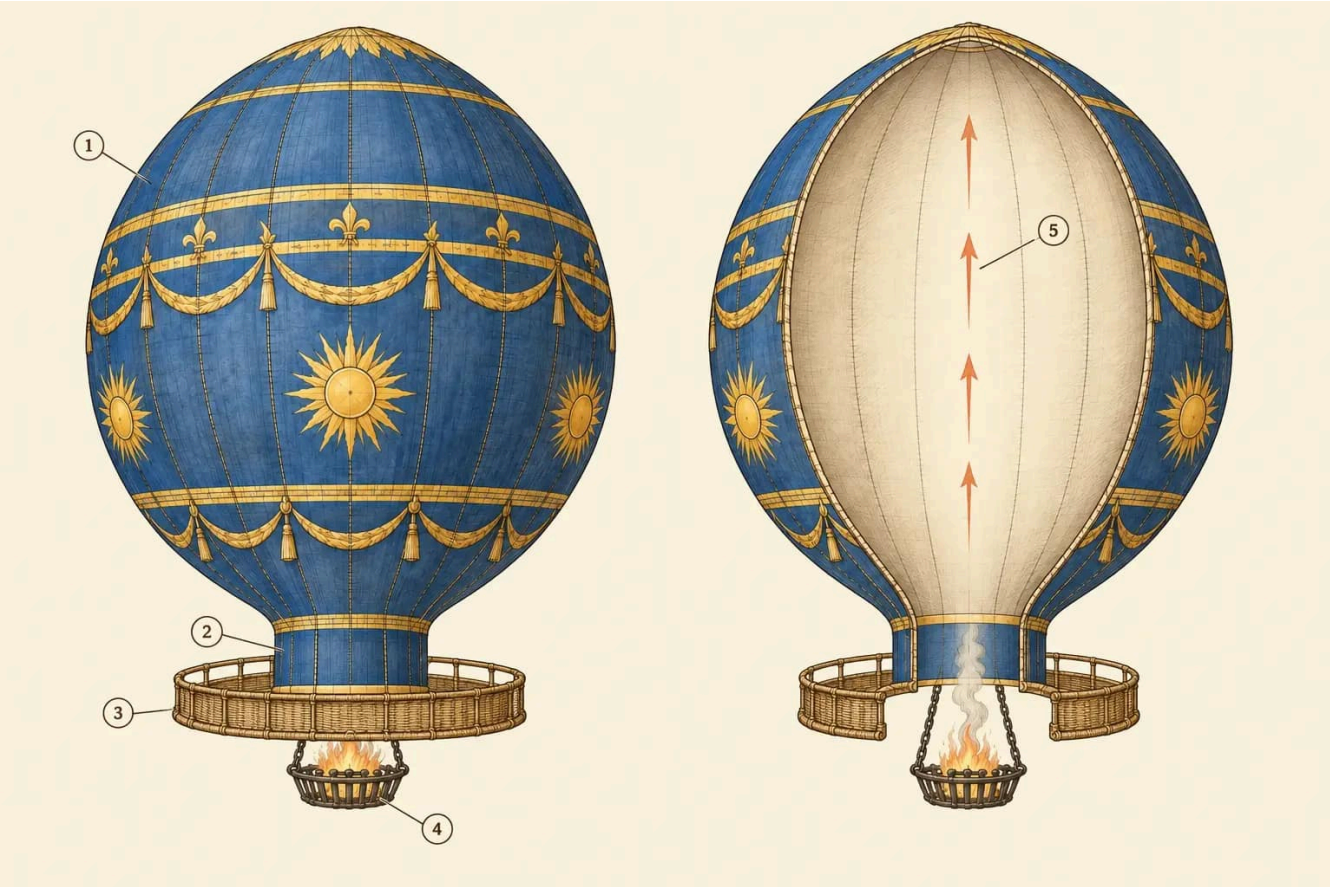
Fatti verificati il 2026-10-11

Mongolfiera

Salire sull'aria calda

1783 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Carta (p. 170), Controllo del fuoco (p. 9), Tessitura (p. 44)



1 Involucro 2 Bocca aperta 3 Galleria di vimini 4 Braciere 5 Aria calda ascendente

Una mongolfiera sale perché l'aria riscaldata nel suo involucro è più leggera dell'aria più fresca che la circonda. I fratelli Montgolfier, che nel 1782 avevano fatto volare un piccolo modello in una stanza, ne mostrarono una in pubblico per la prima volta in Francia nel 1783, e il 21 novembre di quell'anno il loro pallone portò due uomini sopra Parigi, il primo volo umano libero.

Che cos'è

Una mongolfiera è un grande sacco leggero, l'involucro, aperto in basso e pieno di aria riscaldata. L'aria calda è meno densa di quella fredda, perciò il sacco e ciò che vi è appeso pesano meno dell'aria esterna che spostano, e l'insieme sale. Niente lo spinge: un pallone sale quando si scalda l'aria che contiene, scende quando quell'aria si raffredda e va alla deriva con il vento.

Il pallone della tavola è quello costruito da Joseph ed Étienne Montgolfier, cartai di Annonay, per il primo volo libero con persone a bordo, il 21 novembre 1783. Le cronache gli attribuiscono un'altezza di poco più di 20 m. Era di tela, descritta come lino o taffetà, foderata di carta, spalmata di una vernice all'allume contro il fuoco e dipinta

d’azzurro e d’oro. Una galleria di vimini ad anello girava attorno alla bocca aperta e portava i due aeronauti; al centro dell’apertura pendeva un braciere di ferro in cui bruciava paglia.

Come funziona

Alla pressione del livello del mare, un metro cubo d’aria a 20 °C pesa circa 1,2 kg. Riscaldato a 100 °C, lo stesso volume pesa solo circa 0,95 kg, perché l’aria si è dilatata e una parte è uscita dalla bocca aperta. Ogni metro cubo d’aria calda nell’involucro dà quindi circa un quarto di chilo di spinta, che deve reggere l’involucro e l’attrezzatura prima di qualsiasi passeggero. Per portare qualcosa serve un volume enorme: l’involucro dei Montgolfier del 1783 conteneva più di mille metri cubi.

L’aria calda sale nella cupola e preme sulla tela. Il calore sfugge a poco a poco attraverso il tessuto e dalla bocca, così l’aria va riscaldata di continuo. Nel 1783 gli aeronauti infilavano paglia con il forcone nel braciere attraverso aperture della galleria; per salire aggiungevano combustibile, per scendere lasciavano calare il fuoco. Durante il primo volo l’involucro prese fuoco più volte, e i due spensero i focolai con spugne bagnate.

Una mongolfiera moderna funziona allo stesso modo con materiali migliori. L’involucro è di nylon o di poliestere, la cesta di vimini, e un bruciatore a propano lancia brevi e potenti fiammate nella bocca dell’involucro. Il pilota sale o scende per trovare venti che soffiano in altre direzioni: è l’unico modo di governarla.

Una mongolfiera moderna: bombole di propano in una cesta di vimini e un bruciatore sotto la bocca aperta di un involucro di nylon.

Come costruirla

Un modello di carta velina gonfiato con l’aria calda di un asciugacapelli mostra il principio senza alcuna fiamma. Deve essere grande e leggero, perché l’aria di un asciugacapelli è solo moderatamente calda.

Tagliare gli spicchi. Preparate una dima di cartone per uno spicchio: una lunga foglia appuntita di 2 m di lunghezza e 40 cm nel punto più largo, con l’estremità inferiore tagliata dritta dove è larga 8 cm. Tagliate otto spicchi dalla carta velina più sottile che trovate, unendo i fogli con la colla stick se serve.

Incollare l’involucro. Incollate gli spicchi bordo a bordo, sovrapponendoli di circa 1 cm, in modo che le punte si uniscano in alto e le estremità dritte in basso formino una bocca rotonda. Chiudete la cima con una piccola toppa rotonda. Incollate la bocca a un anello di filo di ferro sottile o di cartoncino leggero di 20 cm di diametro, perché resti aperta.

Gonfiarla. In casa, in una stanza fresca e senza correnti d’aria, fate tenere l’involucro dritto dall’alto a un aiutante, con la bocca in basso. Soffiate nella bocca per due o tre minuti l’aria di un asciugacapelli alla temperatura massima, da circa 20 cm sotto, tenendolo in movimento e senza coprirne la presa d’aria. Spegnete l’asciugacapelli e allontanatelo prima di lasciare, così che a sollevarla sia solo l’aria calda all’interno. Se il sacco tira verso l’alto, sale verso il soffitto e ridiscende quando l’aria si raffredda; se no, l’aria non è abbastanza calda per il suo peso, e una carta più sottile o un involucro più grande aiuteranno.

Un modello a otto spicchi di carta: l'aria calda di un asciugacapelli può sollevarlo se la carta è abbastanza leggera.

> **Sicurezza.** Non scaldate mai un pallone di carta con una candela, un bruciatore o qualunque fiamma, e non liberate mai lanterne volanti: ricadono ancora accese e appiccano incendi. Tenete l'asciugacapelli ad almeno 20 cm dalla carta, non copritene mai la presa d'aria e smettete subito se la carta scurisce o sa di bruciato. Le vere mongolfiere le pilotano solo piloti con licenza, con attrezzature certificate.

Storia ed evoluzione

Joseph Montgolfier fece volare in una stanza un piccolo pallone di seta nel novembre 1782, poi ne costruì di più grandi con il fratello Étienne. Il 4 giugno 1783, nella piazza del mercato di Annonay, lanciarono un pallone senza equipaggio, di tela e carta, di circa 11 m di diametro, che salì molto in alto sopra la città e ricadde a più di un chilometro e mezzo dopo una decina di minuti.

Il 19 settembre 1783, a Versailles, davanti a Luigi XVI e Maria Antonietta, un pallone portò in un cesto una pecora, un'anatra e un gallo. Due mesi dopo, il 21 novembre, Jean-François Pilâtre de Rozier, insegnante di scienze, e il marchese d'Arlandes, ufficiale dell'esercito, si alzarono dal parco del castello della Muette, accanto al Bois de Boulogne, all'estremità occidentale di Parigi. Volarono per circa 25 minuti, a non più di 900 m di quota, e scesero in aperta campagna vicino all'attuale place d'Italie, a circa 9 km. Dieci giorni dopo Jacques Charles e Nicolas-Louis Robert partirono dalle Tuileries con un pallone a idrogeno. I palloni a gas restavano in aria molto più a lungo, e l'aria calda fu poi poco usata.

I primi passeggeri, a Versailles nel settembre 1783: una pecora, un'anatra e un gallo.

La mongolfiera tornò alla fine degli anni Cinquanta del Novecento, quando l'americano Ed Yost unì un involucro di tessuto sintetico a un bruciatore alimentato a propano in bombola. Il suo volo da Bruning, nel Nebraska, il 22 ottobre 1960, è considerato il primo di una mongolfiera moderna, e dal 1961 la sua azienda, la Raven Industries, vendette mongolfiere per lo sport.

Dati chiave

Prima ascensione pubblica
Annonay, 4 giugno 1783, senza equipaggio

Primi passeggeri
Una pecora, un'anatra e un gallo, Versailles, 19 settembre 1783

Primo volo umano libero
21 novembre 1783, Parigi: circa 25 minuti, circa 9 km

Spinta dell'aria calda
Circa 0,25 kg per metro cubo con aria a 100 °C contro 20 °C, al livello del mare

Mongolfiera moderna
Ed Yost, Bruning (Nebraska), 22 ottobre 1960: bruciatore a propano

Fonti

1. Model of Montgolfier balloon used in first demonstration to carry human passengers in free flight · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co29133/model-of-montgolfier-balloon-used-in-first-demonstration-to-carry-human-passengers-in-free-flight
2. Montgolfier balloon · The Museum of Flight, Seattle https://www.museumofflight.org/aircraft/montgolfier-baloon
3. Smithsonian recalls 1st manned (balloon) flight · The Christian Science Monitor https://www.csmonitor.com/1983/1205/120524.html
4. Scientist of the Day: Jacques-Alexandre Charles · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/jacques-alexandre-charles
5. How the CIA's secret balloon program led Ed Yost to invent the modern hot air balloon · Seattle Ballooning https://seattleballooning.com/how-the-cia-secret-balloon-program-led-ed-yost-to-invent-the-modern-hot-air-balloon/
6. Ed Yost · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ed_Yost
7. 21 November 1783 · This Day in Aviation https://www.thisdayinaviation.com/?p=9465
8. Montgolfier brothers (Hall of Fame) · San Diego Air & Space Museum https://sandiegoairandspace.org/hall-of-fame/honoree/montgolfier-brothers
9. Scientist of the Day: The Montgolfier Brothers · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/the-montgolfier-brothers/
10. Earth Atmosphere Model (metric units) · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html
11. Drag of a Sphere · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-of-a-sphere

Fatti verificati il 2026-10-12

Vaccinazione

Istruire il corpo in anticipo

1796 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Vetro (p. 133)

Porta a: Penicillina (p. 354)

1 Vacca da latte, fonte del vaiolo bovino 2 Mungitrice 3 Lancetta nel suo astuccio 4 Fiala di vetro 5 Penna d'oca e calamaio 6 L'Inquiry di Jenner (1798)

La vaccinazione allena il sistema immunitario con una forma indebolita, uccisa o parziale di un germe, perché il corpo sappia poi respingere la malattia vera. Edward Jenner dimostrò nel 1796 che il vaiolo bovino protegge dal vaiolo, e due secoli dopo la vaccinazione fece del vaiolo la prima malattia umana eradicata.

Che cos'è

La vaccinazione prepara il corpo contro una malattia infettiva, di solito prima che la incontri. La persona riceve una versione indebolita, uccisa o parziale del germe, oppure le istruzioni per produrne una parte. Il sistema immunitario reagisce come a una vera infezione, ma con rischi molto minori di quelli della malattia vera e propria, e conserva memoria dell'incontro. Se in seguito arriva il germe vero, la difesa parte in fretta e di solito lo ferma prima che causi danni seri.

La parola viene dal latino *vacca*. Il primo vaccino usava il vaiolo bovino, una malattia lieve del bestiame che le mungitrici prendevano sulle mani, per proteggere dal vaiolo, una delle malattie più letali della storia. La tavola è una composizione: l'ambiente rurale dell'esperimento del 1796 e, accanto, oggetti dell'epoca, una lancetta nel suo astuccio, una fiala di vetro, una penna d'oca e il libro che Jenner pubblicò nel 1798.

Come funziona

Il sistema immunitario impara a riconoscere i germi dalle loro forme molecolari, gli antigeni. Al primo incontro gli servono giorni per trovare le cellule giuste e moltiplicarle. Alcuni globuli bianchi, i linfociti B, producono anticorpi che si legano al germe e lo segnalano per la distruzione. Altri, i linfociti T, uccidono le cellule infette e coordinano la risposta. È per questo ritardo che una prima infezione può diventare grave.

Superata l'infezione, resta una popolazione di cellule della memoria, talvolta per tutta la vita. Un secondo incontro con lo stesso antigene scatena una reazione più rapida e più forte. Il vaccino offre quel primo incontro con un rischio molto minore di quello della malattia stessa.

Il vaiolo bovino proteggeva dal vaiolo perché i due virus sono parenti stretti: i loro antigeni si somigliano abbastanza da far sì che l'immunità verso l'uno copra anche l'altro. I vaccini successivi furono ottenuti in altri modi. Alcuni usano un germe vivo così indebolito da causare malattia solo di rado, un metodo inaugurato da Louis Pasteur; non si danno a tutti, perché una persona con difese immunitarie molto deboli può comunque ammalarsi. Altri usano un germe ucciso, un frammento purificato o una tossina inattivata. I più recenti forniscono alle cellule il codice genetico per produrre per breve tempo una proteina innocua del germe.

Per le malattie che si trasmettono da persona a persona, il germe non riesce più a circolare facilmente quando una quota sufficiente della comunità è immune e non lo trasmette più. Questa immunità di gregge protegge anche chi non può ricevere un determinato vaccino o vi risponde male. La quota necessaria dipende da quanto è contagiosa la malattia, e da quanto bene e per quanto tempo il vaccino blocca la trasmissione. Il tetano, che si contrae dal terreno e non da altre persone, non offre questa protezione condivisa.

I vaccini sono sviluppati e prodotti sotto una rigorosa regolamentazione sanitaria e di solito somministrati da personale sanitario. Come ogni farmaco possono avere effetti collaterali, che vengono sorvegliati dopo l'autorizzazione.

Come si producono i vaccini

Per gran parte dell'Ottocento l'unico vaccino fu quello contro il vaiolo, e la difficoltà principale era mantenere vivo il virus da un paziente all'altro.

Da braccio a braccio. Nessuno sapeva ancora coltivare in laboratorio il virus del vaiolo bovino, quindi lo si manteneva nelle persone. Circa una settimana dopo la vaccinazione, nel punto dell'innesto si formava una vescicola. Il vaccinatore la apriva con una lancetta e usava il liquido chiaro che conteneva, detto linfa, per vaccinare la persona successiva. Per mandare il vaccino lontano, la linfa veniva seccata su piccole punte d'avorio, penne d'oca o fili, oppure sigillata tra due lastrine di vetro, e inumidita prima dell'uso. La spedizione spagnola di Balmis, salpata nel 1803, portò il vaccino oltre l'Atlantico in 22 bambini orfani, vaccinati due alla volta durante la traversata. Passando da una persona all'altra, la linfa poteva trasmettere anche altre malattie, tra cui la sifilide.

Linfa di vitello. A Napoli i vaccinatori mantenevano il virus nei vitelli fin dai primi anni del secolo. Dopo che il metodo fu presentato a un congresso medico a Lione nel 1864, si diffuse in Francia e poi in tutta Europa. I vitelli venivano vaccinati con graffi superficiali su una zona di pelle rasata, e qualche giorno dopo si raccoglieva la polpa delle vescicole. Nel 1891 il medico inglese Sydney Copeman dimostrò che, mescolata con glicerina, questa polpa

perdeva nel giro di alcune settimane la maggior parte dei batteri, mentre il virus si conservava. La linfa di vitello glicerinata, chiusa in sottili tubetti di vetro, divenne il vaccino standard in Gran Bretagna verso il 1900. Quando nel Novecento i virologi esaminarono il virus delle scorte di vaccino, scoprirono che si trattava del virus vaccinico, un poxvirus imparentato con quello del vaiolo bovino ma distinto da esso.

Punte d'avorio e lastrine di vetro sigillate portavano la linfa secca da un vaccinatore all'altro.

Le squadre del programma di eradicazione rintracciavano ogni caso e vaccinavano le persone che lo circondavano.

Vaccino liofilizzato e ago biforcato. Nel caldo dei tropici la linfa liquida perdeva efficacia in un giorno o due. Nei laboratori del Lister Institute a Elstree, a nord di Londra, Leslie Collier mise a punto un vaccino liofilizzato, protetto dall'aggiunta di peptone, che si conservava per mesi senza refrigerazione; vi lavorò tra il 1948 e il 1955. Durante la campagna di eradicazione avviata nel 1967, l'OMS usò soltanto vaccino liofilizzato e fece controllare i lotti da laboratori di riferimento in Canada e nei Paesi Bassi. All'inizio della campagna, meno di un vaccino su dieci tra quelli in uso rispondeva allo standard. L'ago biforcato, messo a punto negli anni Sessanta dai Wyeth Laboratories, negli Stati Uniti, è una corta asta d'acciaio che termina con due punte tra le quali resta sospesa una sola goccia di vaccino. Il vaccinatore lo premeva una quindicina di volte sulla pelle della parte alta del braccio, in una piccola area. Richiedeva un quarto del vaccino necessario prima, si poteva sterilizzare e riutilizzare, e si imparava a usarlo in pochi minuti.

Vaccini moderni. I vaccini vivi attenuati usano un germe indebolito fino a provocare la malattia solo di rado: il virus del morbillo, per esempio, è stato indebolito facendolo crescere per molte generazioni in colture cellulari, e il BCG contro la tubercolosi è un batterio attenuato. I vaccini inattivati partono da un germe coltivato, i virus in uova o in colture cellulari, che viene poi ucciso con una sostanza chimica come la formaldeide; il vaccino antipolio di Jonas Salk del 1955 era fatto così. Le anatossine contro il tetano e la difterite sono tossine batteriche inattivate in modo simile. I vaccini a subunità contengono solo parti scelte e purificate del germe: il vaccino ricombinante contro l'epatite B, autorizzato negli Stati Uniti nel 1986, è una proteina virale prodotta da cellule di lievito che ne portano il gene. I vaccini a mRNA non contengono alcuna parte del germe. L'RNA messaggero viene copiato da enzimi a partire da uno stampo di DNA, purificato e racchiuso in minuscole particelle di grasso che lo trasportano dentro le cellule.

Controllo di qualità. La produzione parte da un lotto di semenza di virus, batteri o cellule conservato congelato, perché il ceppo non cambi da un lotto all'altro. I produttori analizzano ogni lotto per identità, sterilità, purezza e potenza, e ne conservano dei campioni. Nella maggior parte dei Paesi un'autorità nazionale e il suo laboratorio di controllo esaminano questi risultati, e a volte ripetono le analisi, prima che il lotto possa essere messo in circolazione.

> **Sicurezza.** Questa sezione descrive come laboratori e fabbriche hanno prodotto i vaccini. Non tentare mai di preparare un vaccino per conto proprio: un materiale fatto in casa può contenere germi pericolosi, provocare infezioni gravi e non dare alcuna protezione. Usare solo vaccini autorizzati, di lotti approvati per la distribuzione, somministrati da personale sanitario oppure, per i pochi prodotti autorizzati a questo scopo, esattamente come prescritto.

Storia ed evoluzione

Molto prima dei vaccini esisteva la variolizzazione, l'infezione deliberata di una persona sana con materiale preso da una pustola di vaiolo. Di solito provocava una forma più lieve seguita da un'immunità per tutta la vita, ma alcuni ne morivano. La pratica era antica in Cina, in India e nell'Impero ottomano. Lady Mary Wortley Montagu la conobbe a Costantinopoli e nel 1721 fece variolizzare sua figlia a Londra, contribuendo a diffonderla in Gran Bretagna.

Nell'Inghilterra occidentale i contadini avevano notato da tempo che le mungitrici che avevano avuto il vaiolo bovino sembravano risparmiate dal vaiolo. Il chirurgo John Fewster ne parlò nel 1768, e nel 1774 Benjamin Jesty, agricoltore del Dorset, trasmise di proposito il vaiolo bovino alla moglie e a due dei loro figli durante un'epidemia.

Edward Jenner, medico a Berkeley, nella contea di Gloucestershire, trasformò l'osservazione popolare in un esperimento. Il 14 maggio 1796 prelevò materiale da una pustola di vaiolo bovino sulla mano della mungitrice Sarah Nelmes e lo introdusse nel braccio di James Phipps. Qualche settimana dopo espose il ragazzo a materiale vaioloso, e Phipps non si ammalò. La Royal Society non pubblicò la sua prima relazione, così nel 1798 Jenner pubblicò il caso, insieme ad altri, a proprie spese in un breve libro, l'*Inquiry*. Nel giro di pochi anni la vaccinazione si diffuse in tutta Europa e nelle Americhe.

Alla fine degli anni Settanta dell'Ottocento Louis Pasteur scoprì che una coltura di batteri del colera dei polli lasciata invecchiare non faceva più ammalare, ma proteggeva ancora gli animali. Mise a punto vaccini contro il carbonchio delle pecore nel 1881 e poi contro la rabbia. Il 6 luglio 1885 Joseph Meister, un bambino di nove anni morso da un cane rabbioso, iniziò la cura e sopravvisse. Di solito viene indicato come il primo vaccinato contro la rabbia, anche se gli storici hanno trovato tentativi precedenti su pazienti nel maggio e nel giugno 1885. Il virus della rabbia impiega di solito settimane a raggiungere il cervello, perciò una vaccinazione fatta poco dopo il morso, prima di qualsiasi sintomo, poteva ancora prevenire la malattia. Ogni sospetta esposizione richiede cure mediche immediate. Il Novecento aggiunse vaccini contro difterite, tetano, pertosse, tubercolosi, poliomielite, morbillo e molte altre malattie.

Pasteur otteneva i suoi vaccini indebolendo il germe della malattia stessa.

Nel 1967 l'Organizzazione mondiale della sanità lanciò una campagna intensificata per eliminare il vaiolo. L'ultimo caso naturale si verificò in Somalia nel 1977, e l'8 maggio 1980 l'Assemblea mondiale della sanità dichiarò la malattia eradicata. Nel 2020 vaccini a RNA messaggero, frutto di decenni di ricerca, furono impiegati contro la COVID-19 meno di un anno dopo l'identificazione del virus.

Dati chiave

Prima vaccinazione di Jenner
14 maggio 1796, Berkeley (Gloucestershire)

Inizio della cura antirabbica di Joseph Meister
6 luglio 1885, Parigi

Ago biforcato
Anni Sessanta, Wyeth Laboratories; un quarto del vaccino usato prima

Letalità del vaiolo
Circa il 30% dei casi (vaiolo maggiore)

Vaiolo dichiarato eradicato
8 maggio 1980, Organizzazione mondiale della sanità

Fonti

1. Smallpox · World Health Organization https://www.who.int/health-topics/smallpox
2. Jenner, Fewster and Jesty · British Society for the History of Medicine https://bshm.org.uk/jenner-fewster-and-jesty/
3. The final years 1877–1887 · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/en/about-us/final-years-1877-1887
4. Edward Jenner · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Jenner
5. Edward Jenner's ivory vaccination points, England, 1821 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148487/edward-jenners-ivory-vaccination-points-england-1821-vaccination-point
6. Ivory vaccination points in a wooden box, Europe, 1801-1900 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148479/ivory-vaccination-points-europe-1801-1900-vaccination-point
7. Vaccine points used by Edward Jenner · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/j36r9neu
8. The XIX century smallpox prevention in Naples and the risk of transmission of human blood-related pathogens · Journal of Translational Medicine https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4328853/
9. Sydney Arthur Monckton Copeman · Royal College of Physicians https://history.rcp.ac.uk/inspiring-physicians/sydney-arthur-monckton-copeman
10. Collier, Professor Leslie Harold (papers) · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/egjmdv8t
11. Smallpox vaccines · World Health Organization https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/smallpox-vaccines
12. Donald Ainslie Henderson (1928–2016): smallpox eradication, leadership and legacy · The Journal of Infectious Diseases https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5388283/
13. Different types of vaccines · History of Vaccines (College of Physicians of Philadelphia) https://historyofvaccines.org/vaccines-101/what-do-vaccines-do/different-types-vaccines/
14. Lot release of vaccines by NRAs/NCLs · World Health Organization https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/norms-and-standards/vaccine-standardization/lot-release-of-vaccines
15. Smallpox and its eradication (Fenner, Henderson, Arita, Ježek, Ladnyi), chapter 7 · World Health Organization https://iris.who.int/handle/10665/39485
16. Smallpox vaccination in 2003: key information for clinicians · Clinical Infectious Diseases https://doi.org/10.1086/374792
17. Expected vaccine reactions (smallpox vaccine) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/smallpox/hcp/vaccines/expected-vaccine-reactions.html
18. Vaccination, Encyclopaedia Britannica, 9th edition, volume 24 · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/Page:Encyclop%C3%A6dia_Britannica,_Ninth_Edition,_v._24.djvu/40

Fatti verificati il 2026-10-12

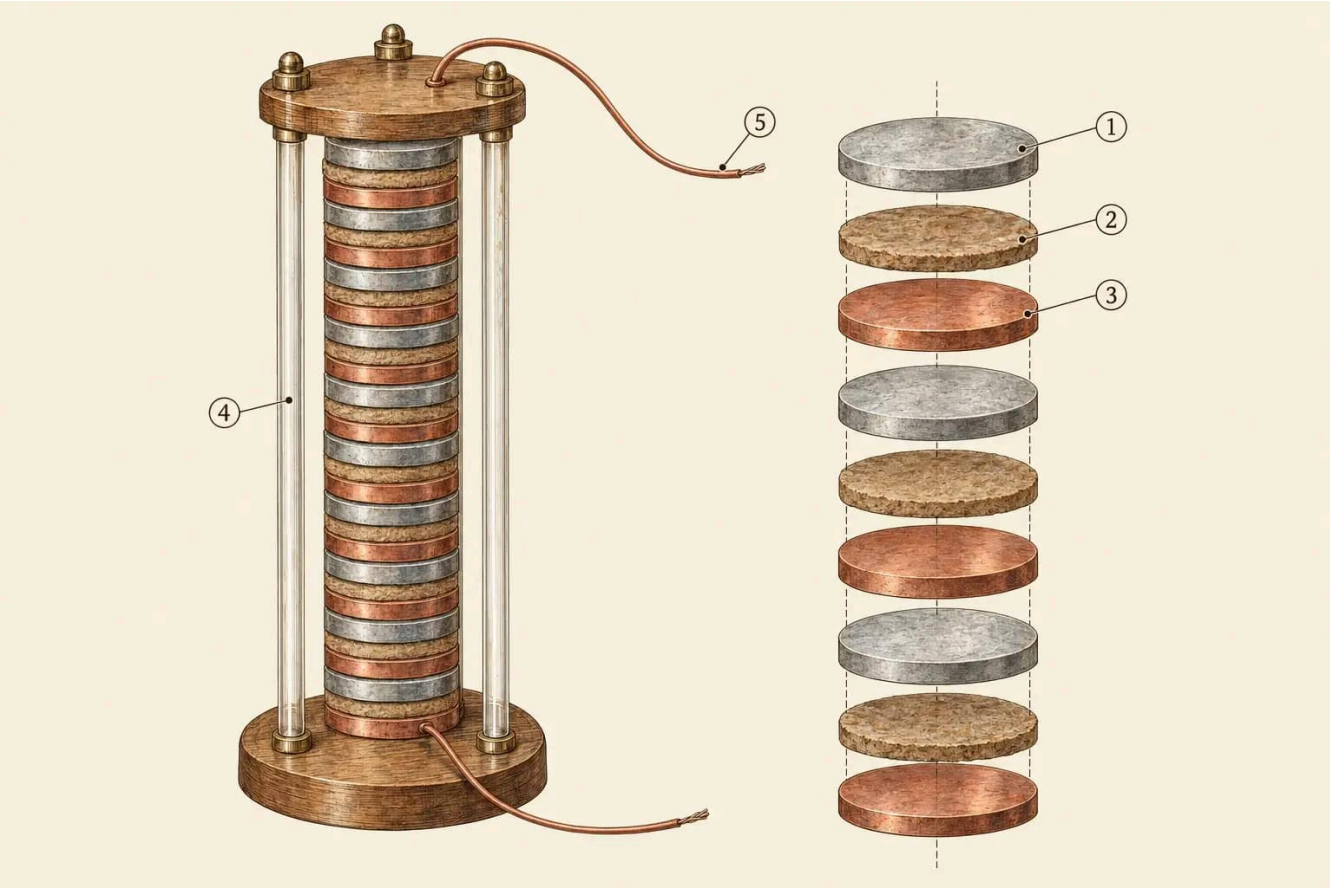
Pila

Corrente elettrica dalla chimica

1800 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Bronzo (p. 124)

Porta a: Motore elettrico (p. 276), Generatore elettrico (p. 272), Accumulatore al piombo (p. 301), Cella solare (p. 367), Telegrafo elettrico (p. 284)



1 Disco di zinco 2 Cartone imbevuto di salamoia 3 Disco di rame 4 Asta di vetro 5 Filo di uscita

Una pila trasforma in corrente elettrica continua le reazioni chimiche che avvengono su due elettrodi, separati da un elettrolita che conduce gli ioni. La pila di zinco, rame e salamoia di Alessandro Volta fu la prima, nel 1800, e tutte le pile e le batterie venute dopo, dal vaso del telegrafo alla batteria al litio del telefono, funzionano sullo stesso principio.

Che cos'è

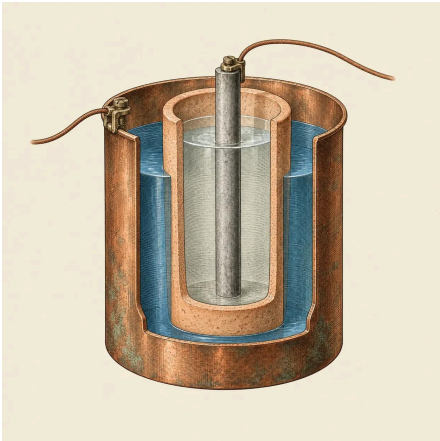
Una pila immagazzina energia in forma chimica e la restituisce come corrente quando un circuito con una lampada o un altro utilizzatore ne collega i due poli. L'unità di base si chiama elemento. Ai tempi di Volta «batteria» indicava più elementi collegati, come la colonna che egli impilò nel 1800; oggi la parola si usa anche per un elemento singolo.

Prima della pila l'elettricità arrivava solo come brevi scintille; la pila dava una corrente che continuava a scorrere per ore.

Come funziona

Ogni elemento della pila ha un disco di zinco, un disco di rame e, in mezzo, un dischetto di cartone o di panno imbevuto di acqua salata. Lo zinco cede elettroni più facilmente del rame. Sul lato dello zinco, atomi di metallo passano nella salamoia come ioni e lasciano gli elettroni nel disco. Dal lato del rame, una reazione riprende gli elettroni, consumando l'ossigeno disciolto nella salamoia o liberando idrogeno. Quando un circuito esterno unisce le due estremità, gli elettroni lo percorrono dallo zinco al rame, e gli ioni che attraversano lo strato umido chiudono il circuito.

Una coppia zinco-rame in salamoia dà poco meno di un volt. Venti coppie in serie sommano le loro tensioni, abbastanza da pizzicare le dita bagnate: così Volta provava le sue pile. La corrente dipende dalla superficie dei dischi e dalla velocità della reazione.



Nella pila Daniell sul recipiente si deposita rame invece di idrogeno, e la tensione resta stabile.

Mentre la pila lavora, l'ossigeno disciolto vicino al rame si esaurisce e bolle di idrogeno cominciano a coprirlo, così la corrente cala. Il peso della colonna spreme anche la salamoia dagli strati bassi, e lo zinco si consuma. Nel 1836 John Frederic Daniell diede a ciascun metallo il suo liquido: lo zinco in una soluzione, il rame nel solfato di rame, con un setto poroso tra i due. Si deposita rame al posto dell'idrogeno, e l'elemento mantiene a lungo circa 1,1 volt.

In un accumulatore, una corrente spinta in senso opposto fa procedere la reazione all'indietro.

Come costruirla

Una piccola pila dà poca tensione e poca corrente, ma mostra bene il principio.

Servono da quindici a venti dischi di rame (vanno bene vecchie monete di rame), altrettanti dischi di zinco (lamiera di zinco o rondelle zincate), carta assorbente o cartone ritagliati un po' più piccoli, sale, acqua, due fili isolati e, se possibile, un voltmetro.

Pulire il metallo. Strofinare ogni disco di rame con carta vetrata fine finché brilla.

Bagnare i separatori. Sciogliere due cucchiai colmi di sale in un bicchiere d'acqua e immergervi il cartone. Strizzare ogni dischetto: deve restare umido senza gocciolare. La salamoia che cola lungo la colonna mette in cortocircuito gli elementi.

Impilare sempre nello stesso ordine. Rame, separatore umido, zinco, poi di nuovo nello stesso ordine fino in cima. Non invertire mai l'ordine a metà e non lasciare che i due metalli di un elemento si tocchino oltre il bordo del separatore.

Sostenere la colonna. Tre aste di legno o di vetro fissate in una base tengono la pila dritta senza schiacciarla.

Collegare e misurare. Fissare un filo al disco di rame in basso e l'altro al disco di zinco in alto. Si ottiene poco meno di un volt per elemento. Un LED rosso richiede circa due volt e pochissima corrente: collegare la gamba lunga all'estremità di rame e quella corta all'estremità di zinco, e provarlo soltanto su quattro o cinque elementi, che dovrebbero farlo brillare debolmente. Collegato al contrario su più elementi, un LED può danneggiarsi. Quando dopo qualche ora i separatori si seccano, smontare la pila, lavare e asciugare i dischi.

> **Sicurezza.** La pila in sé è a bassa tensione, ma un cortocircuito su una batteria potente scalda i fili fino a ustionare la pelle e fondere l'isolante: non collegare mai direttamente i poli. Non collegare mai una pila o una batteria alla rete elettrica e non tentare di ricaricarla da una presa a muro. Non aprire le batterie in commercio: gli accumulatori al piombo contengono acido solforico, che ustiona pelle e occhi, e durante la carica liberano idrogeno esplosivo; gli elementi al litio possono prendere fuoco se forati, schiacciati o messi in cortocircuito. Il solfato di rame e i sali di zinco sono velenosi: indossare guanti e occhiali, lavarsi le mani e tenere il materiale lontano dai bambini.

Storia ed evoluzione

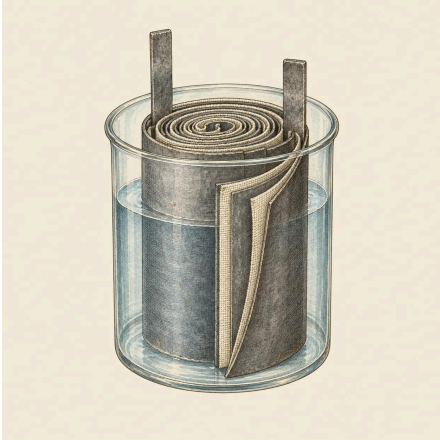
Le zampe di rana di Galvani si contraevano ogni volta che un arco di due metalli univa nervo e muscolo.

Negli anni Ottanta del Settecento l'anatomista bolognese Luigi Galvani vide zampe di rana sezionate contrarsi quando toccavano contemporaneamente due metalli diversi. Nel 1791 pubblicò la sua teoria dell'«elettricità animale». Alessandro Volta, professore di fisica a Pavia, sosteneva che l'elettricità venisse dai metalli e che la rana la rivelasse soltanto, e volle dimostrarlo senza animali.

Prima collegò con strisce di metallo alcune tazze di salamoia, poi costruì la pila, più compatta. Il 20 marzo 1800 descrisse entrambi i dispositivi in una lettera, scritta in francese, a Sir Joseph Banks, presidente della Royal Society di Londra. La Società la pubblicò lo stesso anno con un'incisione della pila, la prima immagine stampata di una batteria.

In poche settimane William Nicholson e Anthony Carlisle usarono una pila per scomporre l'acqua in idrogeno e ossigeno. Qualche anno dopo Humphry Davy isolò sodio e potassio con grandi batterie. Napoleone assistette a una dimostrazione di Volta a Parigi nel 1801 e lo ricompensò; l'unità del potenziale elettrico, il volt, porta il suo nome.

Le linee telegrafiche avevano bisogno di una corrente costante, e la pila Daniell la forniva. Nel 1859 Gaston Planté arrotolò a spirale due fogli di piombo separati da un divisorio e li immerse in acido solforico diluito. Johann Ritter aveva presentato nel 1803 una pila sperimentale capace di accumulare carica, ma quella di Planté fu la prima batteria ricaricabile pratica. Perfezionato da Camille Faure nel 1881, l'accumulatore al piombo avvia ancora la maggior parte delle automobili.



La spirale di piombo di Planté, immersa nell'acido diluito, si poteva caricare e scaricare molte volte.

Nel 1866 Georges Leclanché costruì un elemento con una barra di zinco, una barra di carbone circondata da biossido di manganese e una soluzione di cloruro di ammonio; nel 1868 ne erano già in funzione ventimila sulle reti telegrafiche. Altri inventori addensarono poi il liquido in una pasta, e questa pila a secco alimentò le prime torce tascabili e le radio degli anni Venti. Le prime pile alcaline cilindriche in commercio arrivarono nel 1959, e le batterie agli ioni di litio entrarono in commercio all'inizio degli anni Novanta.

Dati chiave

Annuncio
20 marzo 1800, in una lettera alla Royal Society

Prima batteria ricaricabile pratica
Elemento al piombo di Gaston Planté, 1859

Tensione di un elemento zinco-rame
Meno di 1 V in salamoia; 1,1 V nella pila Daniell

Batterie agli ioni di litio in commercio
Inizio degli anni Novanta

Fonti

1. Voltaic Pile (1800) · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/voltaic-pile-1800/
2. Electricity and Magnetism Timeline, 1800 to 1819 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/timeline/1800-1819/
3. Volta and the Pile · The Electrochemical Society, Electrochemistry Encyclopedia https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-v01-volta.htm
4. Scientist of the Day: Alessandro Volta · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/alessandro-volta
5. Timeline of Battery Development · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chem1_(Lower)/16%3A_Electrochemistry/16.07%3A_Timeline_of_Battery_Development
6. Battery History · Energizer https://oem.energizer.com/english/battery-history/

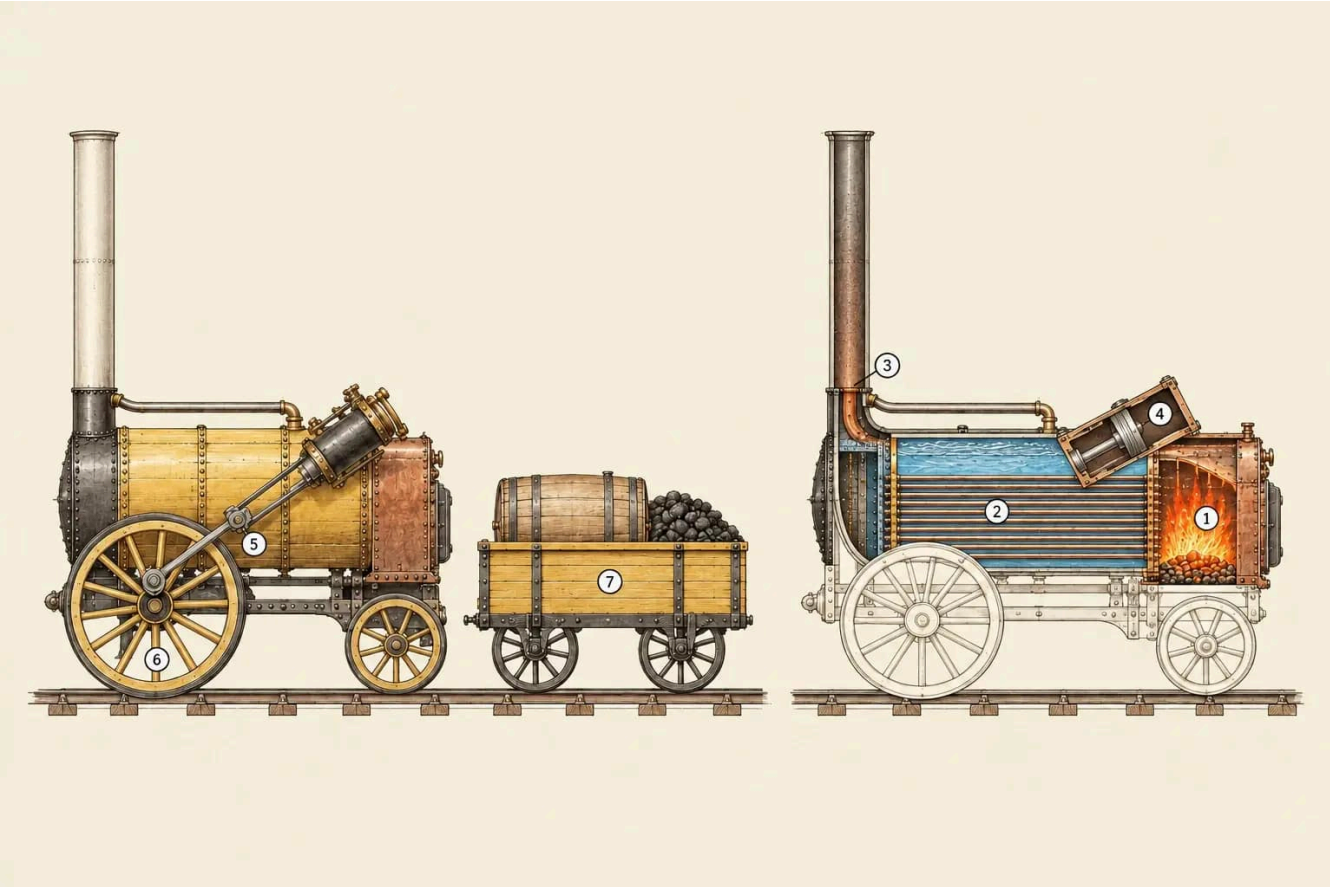
Fatti verificati il 2026-10-11

Locomotiva a vapore

Il vapore sui binari

1804 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Macchina a vapore (p. 227), Ruota e asse (p. 82)



1 Focolare 2 Tubi di fumo 3 Scarico e camino 4 Cilindro 5 Biella 6 Ruota motrice 7 Tender

Una locomotiva a vapore è una macchina a vapore su ruote che porta con sé combustibile e acqua e traina treni sulle rotaie. Richard Trevithick fece correre la prima in Galles nel 1804, e la Rocket di Robert Stephenson del 1829 fissò lo schema seguito dalla maggior parte delle locomotive successive: una caldaia piena di tubi di fumo, uno scarico sotto il camino e cilindri che muovono direttamente le ruote.

Che cos'è

Una locomotiva a vapore è una macchina a vapore montata su un telaio con ruote, costruita per trainare treni su una ferrovia. Porta con sé carbone o coke e acqua, brucia il combustibile in un focolare e trasforma la pressione del vapore nella rotazione delle ruote motrici per mezzo di stantuffi e bielle. Le sue ruote di ferro corrono su rotaie di ferro o d'acciaio, dove rotolano molto più facilmente che su una strada, e così una sola macchina può tirare molti carri carichi.

La tavola mostra la Rocket, costruita nel 1829 da Robert Stephenson and Company a Newcastle upon Tyne. Riuniva in una sola macchina una caldaia attraversata da molti tubi di fumo e uno scarico del vapore nel camino, due soluzioni rimaste comuni nelle locomotive a vapore successive.

Come funziona

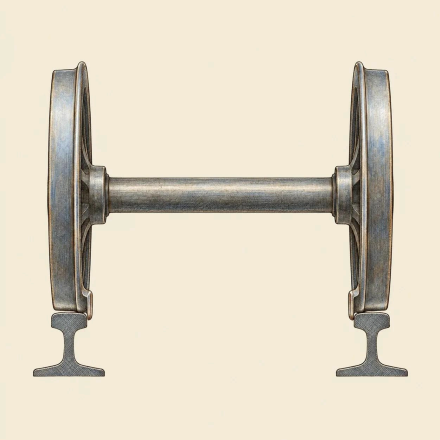
Il fuoco brucia su una griglia nel focolare, nella parte posteriore. I suoi gas caldi avanzano attraverso il corpo cilindrico della caldaia dentro 25 tubi di rame di circa 76 mm di diametro, immersi nell'acqua. Tanti tubi piccoli offrono all'acqua molto più metallo caldo di un solo grande condotto: sulla Rocket i tubi fornivano una superficie riscaldata pari a diverse volte quella delle pareti del focolare (le cifre variano a seconda delle fonti). Il vapore si raccoglie sopra l'acqua a circa 3,4 bar sopra la pressione atmosferica.

Dalla caldaia il vapore va ai due cilindri, uno per lato. Un cassetto di distribuzione lo fa entrare prima dietro lo stantuffo e poi davanti, così lo stantuffo viene spinto nei due sensi. Ogni asta dello stantuffo muove una biella, che fa girare un perno di manovella fissato nella grande ruota anteriore dello stesso lato. Il peso che grava su quella coppia di ruote, circa 2,6 tonnellate sulla Rocket, insieme all'aderenza fra ruote e rotaie, limita quanto la macchina può tirare prima che le ruote slittino.

Il vapore usato esce dai cilindri per un tubo che termina con un ugello sotto il camino; ogni sbuffo trascina via il fumo e richiama aria fresca attraverso il fuoco. Più la macchina lavora, più il tiraggio è forte, e questo aiuta la caldaia a tenere il passo con il consumo dei cilindri; il fuochista deve comunque alimentare il fuoco e mantenere il livello dell'acqua.

Lo scarico soffia il vapore usato nel camino e ravviva il fuoco a ogni colpo di stantuffo.

Come costruirla



Il bordino sul lato interno di ogni ruota tiene la sala fra le rotaie.

Le locomotive vere si costruiscono nelle officine ferroviarie. I calderai curvano lamiere di ferro o d'acciaio, le chiodano per formare il corpo cilindrico e il focolare e fissano i tubi nelle piastre tubiere alle due estremità. Prima di poter essere accesa, la caldaia viene provata con acqua a una pressione superiore a quella di esercizio, stabilita dalle norme applicabili, e controllata da un ispettore indipendente. I fonditori colano i cilindri, i meccanici li alesano e vi montano stantuffi e cassetti, e le ruote ricevono cerchioni di ferro calettati a caldo. Le ferrovie storiche che oggi restaurano locomotive sono soggette a prove e controlli simili.

Un modello senza vapore mostra come vengono mosse le ruote.

Ritagliare la ruota. Segate nel compensato un disco di circa 20 cm di diametro. Incollate saldamente al centro un tondino che farà da asse e fate un secondo foro a 5 cm dal centro per il perno di manovella, un tondino corto incollato. Avvitate su una tavola due blocchetti verticali forati per accogliere l'asse con un po' di gioco, così che la ruota giri libera fra i due.

Fare il cilindro. Incollate un tubo di cartone o di plastica lungo circa 15 cm su un blocchetto di legno avvitato alla tavola accanto alla ruota, così che il tubo stia nel piano della ruota, con l'asse all'altezza dell'asse della ruota e puntato verso il suo centro. Un tondino che vi scorra dentro liberamente fa da asta dello stantuffo.

Collegare. Tagliate un listello sottile di circa 25 cm come biella. Forate un'estremità a misura del perno e incernierate l'altra all'estremità dell'asta con un chiodino. Controllate che la ruota possa fare un giro completo senza che la biella urti il tubo.

Far girare. Spingete e tirate l'asta: la ruota compie un giro ogni 10 cm di andata e 10 cm di ritorno. Notate i due punti morti, in cui perno, asse ed estremità dell'asta sono allineati e spingere non serve a nulla. Nelle locomotive vere a due cilindri le manovelle dei due lati sono sfasate di un quarto di giro, così una è sempre fuori dal suo punto morto.

> **Sicurezza.** Non scaldate mai acqua in un recipiente chiuso e non tentate di costruire una caldaia: il vapore sotto pressione può far scoppiare un recipiente e ustionare gravemente. I modelli a vapore vivo vanno fatti funzionare solo a partire da kit commerciali con caldaie collaudate e valvole di sicurezza efficienti, sotto la sorveglianza di un adulto. Tenete le dita lontane dalla manovella quando la ruota gira.

Storia ed evoluzione

Richard Trevithick, ingegnere della Cornovaglia, costruì per la ferriera di Penydarren, a Merthyr Tydfil, la prima locomotiva che corse su rotaie. Il 21 febbraio 1804 trainò dieci tonnellate lunghe di ferro, circa 10 tonnellate metriche, su cinque carri, con settanta uomini a bordo, lungo la linea a rotaie che portava al canale di Abercynon, circa 14 km, a quasi 8 km/h secondo il suo stesso racconto. Al ritorno si spezzò un bullone e la caldaia cominciò a perdere; la macchina rientrò solo il giorno dopo. Era troppo pesante per le piastre di ghisa della linea, che si rompevano sotto di lei, e finì come macchina fissa che azionava un maglio.

Sulla linea di Penydarren, corte piastre di ghisa inchiodate a blocchi di pietra guidavano ruote senza bordino, e si spezzarono sotto il peso della locomotiva.

Nell'ottobre 1829 la ferrovia Liverpool-Manchester organizzò a Rainhill delle prove per scegliere le sue locomotive. Si presentarono cinque macchine e solo la Rocket le portò a termine. Nelle corse di prova tenne medie di 19-23 km/h, a seconda di come si calcolano; senza carico toccò circa 48 km/h. Vinse il premio di 500 sterline e l'ordine delle locomotive della linea. All'inaugurazione della ferrovia, nel 1830, la Rocket investì il deputato William Huskisson, che morì per le ferite. Ricostruita in gran parte entro diciotto mesi, fu messa da parte prima di dieci anni. I suoi resti entrarono nel 1862 nel museo dell'Ufficio brevetti di Londra e oggi fanno parte della collezione del Science Museum Group.

Le locomotive successive divennero molto più grandi, con più ruote accoppiate per reggere il peso e trainare treni pesanti, e con pressioni più alte. Il 3 luglio 1938 la Mallard della London and North Eastern Railway raggiunse i 203 km/h su una discesa a sud di Grantham, ancora oggi il record della trazione a vapore. Fu ritirata nel 1963, quando il diesel e l'elettrico presero il sopravvento.

Dati chiave

Prima corsa su rotaie
21 febbraio 1804, ferriera di Penydarren, Merthyr Tydfil: dieci tonnellate lunghe di ferro (circa 10 t) e 70 uomini

Caldaia della Rocket
25 tubi di rame, circa 3,4 bar sopra la pressione atmosferica

Prove di Rainhill, ottobre 1829
La Rocket tenne medie di 19-23 km/h nelle prove e toccò circa 48 km/h senza carico

Record di velocità a vapore
Mallard, 3 luglio 1938: 203 km/h

Fonti

1. Rocket locomotive (object 1862-5) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co26704
2. Richard Trevithick’s steam locomotive · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/blog/1012
3. London & North Eastern Railway steam locomotive 'Mallard' · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co205732
4. Rocket's engineering excellence · Science and Industry Museum https://blog.scienceandindustrymuseum.org.uk/rocket-engineering-excellence/
5. Stephenson's Rocket · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket
6. Penydarren tramplate · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/collections/online/object/11d39d27-d867-308a-b20a-9398afef1c6e
7. The Penydarren Tramroad · Industrial Railway Society, Industrial Railway Record https://shop.irsociety.co.uk/Archives/59/Penydarren.htm
8. Rocket · steamlocomotives.org https://www.steamlocomotives.org/locomotives/rocket
9. Rocket 0-2-2 Liverpool & Manchester Railway · Preserved British Steam Locomotives https://preservedbritishsteamlocomotives.com/rocket-0-2-2-liverpool-manchester-railway/

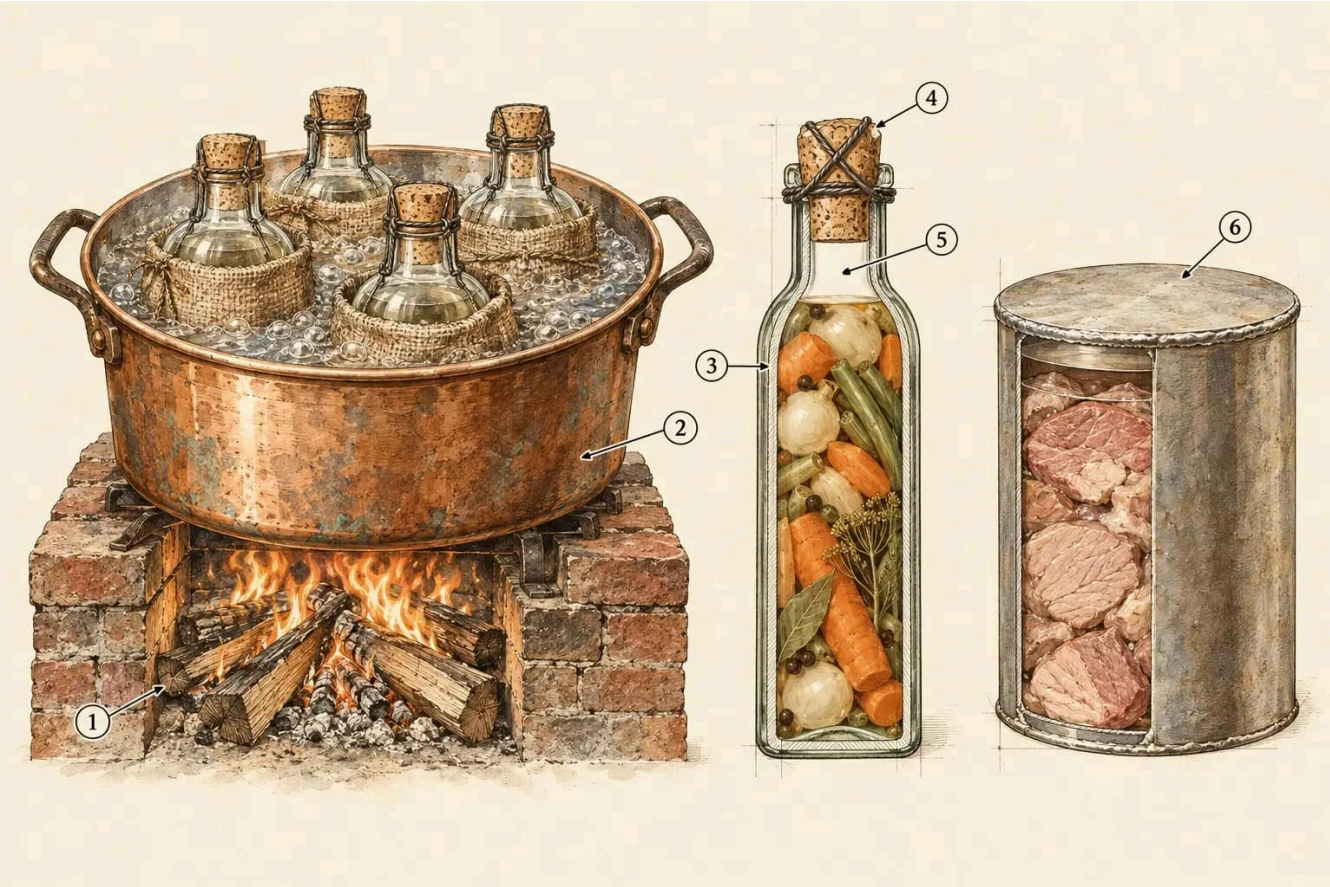
Fatti verificati il 2026-10-12

Conserve e pastorizzazione

Chiudere, scaldare, tenere fuori i microbi

1810 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Vetro (p. 133), Siderurgia del ferro (p. 137), Controllo del fuoco (p. 9)



1 Fuoco di legna 2 Paiolo di rame con acqua bollente 3 Bottiglia di vetro piena di verdure 4 Tappo di sughero legato con il fil di ferro 5 Spazio di testa lasciato sotto il tappo 6 Coperchio saldato di una latta di banda stagnata

La conserva chiude il cibo in un vasetto o in una latta e lo scalda quanto basta per uccidere i microbi che lo guasterebbero; il coperchio chiuso impedisce ad altri di entrare. Nicolas Appert pubblicò il metodo nel 1810, Louis Pasteur lo spiegò mezzo secolo dopo, e il suo trattamento più blando, la pastorizzazione, rese più sicuri latte, vino e birra.

Che cos'è

Il sale e l'essiccazione conservano il cibo togliendo l'acqua ai microbi. La conserva li uccide: il cibo viene chiuso in un vasetto o in una latta e scaldato abbastanza a lungo da distruggere i microbi che potrebbero guastarlo o far ammalare. Finché la chiusura tiene, non entrano nuovi germi, e il contenuto si mantiene per mesi senza freddo.

La tavola mostra il metodo pubblicato da Nicolas Appert nel 1810, bottiglie tappate immerse nell'acqua bollente, accanto alla latta saldata di banda stagnata adottata poco dopo in Inghilterra. La pastorizzazione, parente più delicata, scalda latte, vino o birra sotto il punto di ebollizione. Uccide gran parte dei germi che causano malattie, non tutti i microbi, perciò il latte pastorizzato va tenuto in frigorifero.

Come funziona

A 100 °C le cellule attive di batteri, lieviti e muffe muoiono in pochi minuti. Finché il vasetto è caldo, l'aria esce da sotto il coperchio. Raffreddandosi, il contenuto si ritira, il vapore nello spazio di testa condensa e il vuoto preme il coperchio sul bordo.

Il più difficile da vincere è Clostridium botulinum. La sua spora resiste all'ebollizione, e se ne trovano sulla maggior parte delle verdure fresche. All'aria restano inattive; in un vasetto chiuso con un cibo umido e poco acido, a temperatura ambiente, germinano e producono la tossina botulinica, una delle sostanze più velenose conosciute, spesso senza alcun segno visibile.

Le spore non crescono con un pH di 4,6 o inferiore, quindi gran parte della frutta, le marmellate, i sottaceti e i pomodori o i fichi con acido aggiunto sono sicuri dopo un bagnomaria bollente, che uccide i lieviti e le muffe che li guasterebbero. Verdure, carne e pesce sono meno acidi. Le loro spore vanno distrutte a 116–121 °C, e l'acqua arriva a quella temperatura solo sotto pressione, in una pentola per conserve a circa 0,7–1 bar sopra la pressione atmosferica, che lavora come un'autoclave da cucina. Ogni cibo, tipo di riempimento e formato di vasetto ha lì il suo tempo collaudato; a 100 °C servirebbero ore per lo stesso effetto, e nessuna ricetta collaudata tratta questi cibi a bagnomaria.

La pentola a pressione per conserve trattiene il vapore, così i vasetti arrivano a 116–121 °C invece di 100 °C.

I tempi si misurano con termometri posti nel punto che si scalda più lentamente in ogni vasetto e per ogni cibo. In quota l'acqua bolle sotto i 100 °C, e le tabelle aggiungono tempo o pressione.

La pastorizzazione usa temperature più basse. Le centrali del latte di solito lo scaldano a 72 °C per 15 secondi, o a 63 °C per 30 minuti, poi lo raffreddano. Così muoiono i batteri attivi della tubercolosi, della salmonellosi e di altre malattie un tempo trasmesse dal latte. Le spore e alcuni microbi innocui sopravvivono, e il latte inacidisce in pochi giorni fuori dal frigorifero.

Come farla

Seguite solo indicazioni ufficiali collaudate: la guida dell'USDA e il National Center for Home Food Preservation negli Stati Uniti, Health Canada, o l'autorità per la sicurezza alimentare del vostro paese. I passaggi seguenti riguardano soltanto il bagnomaria bollente, per i cibi acidi.

Scegliere una ricetta collaudata. Seguirla alla lettera: formato del vasetto, spazio di testa, acido aggiunto (succo di limone in bottiglia o acido citrico per i pomodori), tempo e correzione per l'altitudine. Aggiungere cipolla o peperone ai pomodori può renderli pericolosi.

Preparare l'attrezzatura. Una pentola alta con coperchio e griglia, vasetti per conserve con il bordo integro, coperchi nuovi in due pezzi (una capsula piatta con guarnizione, tenuta da una ghiera a vite) e una pinza per vasetti. Lavare tutto con acqua calda e detersivo. Se il tempo di trattamento è inferiore a 10 minuti, sterilizzare prima i vasetti vuoti facendoli bollire per 10 minuti, più un minuto ogni 300 m di quota oltre i 300 m.

Riempire e chiudere. Lasciare lo spazio di testa indicato, eliminare le bolle d'aria, pulire il bordo e avvitare la ghiera senza forzare, perché l'aria possa uscire.

Trattare col calore. Mettere i vasetti sulla griglia nell'acqua calda, coperti da almeno 2,5 cm d'acqua (5 cm oltre i 30 minuti). Far partire il tempo solo a bollore pieno; se il bollore si ferma, ricominciare da zero. Alla fine spegnere il

La capsula con la guarnizione si usa una volta sola; la ghiera dura anni.

fuoco, togliere il coperchio e aspettare cinque minuti.

Raffreddare e controllare. Estrarre i vasetti dritti e lasciarli riposare da 12 a 24 ore. Togliere le ghiere e premere ogni capsula: se è chiusa bene è incavata al centro e non si muove. Mettere in frigorifero un vasetto non sigillato e consumarlo entro pochi giorni.

Conservare e sorvegliare. Tenere i vasetti datati in un luogo fresco, buio e asciutto. Prima di aprire, cercare coperchi bombati o allentati, perdite, schiuma, liquido torbido, muffa o odore strano.

> **Sicurezza.** Il botulismo è raro ma può uccidere. Non trattate mai verdure, carne, pesce, pollame o piatti che li contengono a bagnomaria, in forno o in pentola aperta, a meno che una ricetta collaudata di sottaceti non li abbia acidificati: altrimenti servono una pentola a pressione per conserve e un procedimento a pressione collaudato. Per il latte e i latticini non esiste alcun metodo casalingo collaudato: non metteteli mai in conserva. Non accorciate mai un tempo e non riducete l'acido. Non assaggiate mai un vasetto sospetto: la tossina non si vede, non ha odore né sapore. Nel dubbio, buttatelo. Vista annebbiata o doppia, palpebre cadenti, parola impastata, difficoltà a deglutire o debolezza che si estende dopo aver mangiato una conserva sono un'emergenza: chiamate subito il numero di emergenza locale (il 112 in Italia). L'acqua bollente e i vasetti caldi scottano; usate la pinza.

Storia ed evoluzione

Appert, pasticciere a Parigi, cominciò i suoi esperimenti negli anni Novanta del Settecento, quando la Francia in guerra aveva bisogno di viveri che durassero. Il 30 gennaio 1810 lo Stato gli concesse 12.000 franchi a condizione che pubblicasse il procedimento, e il suo libro uscì lo stesso anno. Non seppe mai perché il metodo funzionasse.

Lo stesso anno Peter Durand ottenne un brevetto britannico che comprendeva latte di banda stagnata, cioè lamiera di ferro ricoperta di stagno. Bryan Donkin e John Hall lo acquistarono e nel 1812 aprirono un conservificio, dove ogni latta era saldata a mano. Dal 1813 rifornivano l'esercito e la marina britannici. Nel 1981 il gruppo di Owen Beattie ipotizzò che il piombo di latte saldate male avesse indebolito la spedizione artica perduta di John Franklin, partita nel 1845; studi sulle ossa del 2013 e del 2018 hanno mostrato che gran parte di quel piombo era stata assorbita prima del viaggio e i risultati del 2018 non confermano che abbia avuto un ruolo decisivo.

Le prime latte si aprivano con martello e scalpello; l'apriscatole arrivò decenni dopo.

Louis Pasteur dimostrò negli anni Cinquanta e Sessanta dell'Ottocento che fermentazione e deterioramento sono opera di microbi vivi, e nel 1865 brevettò il riscaldamento del vino per impedirgli di guastarsi. La pastorizzazione del latte fu proposta nel 1886. Il latte trasmetteva allora tubercolosi, scarlattina e diarrea infantile, ma lo storico Peter Atkins ha osservato che in Gran Bretagna il metodo si diffuse lentamente e incise poco prima degli anni Venti; nel 1921 circa metà del latte di Londra veniva trattato col calore.

Le industrie conserviere adottarono le autoclavi a vapore a metà Ottocento. Negli anni Novanta comparvero macchine che chiudevano le latte senza saldatura, all'inizio del Novecento si diffuse la latta «sanitaria» aggraffata e

dal 1900 circa i tempi furono fissati su basi batteriologiche. Dagli anni Ottanta la saldatura elettrica ha via via sostituito la cucitura laterale saldata a stagno.

Dati chiave

Premio di Appert
12.000 franchi dallo Stato francese, il 30 gennaio 1810, a condizione di pubblicare il metodo

Soglia di acidità per il bagnomaria
pH 4,6 o inferiore

Cibi poco acidi
116–121 °C, raggiungibili solo sotto pressione

Pastorizzazione del latte
72 °C per 15 secondi, oppure 63 °C per 30 minuti

Botulismo
Sintomi di solito 12–36 ore dopo il pasto; mortale nel 5–10% dei casi

Fonti

1. Ensuring Safe Canned Foods · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/ensuring-safe-canned-foods/
2. How to Use Boiling Water and Pressure Canners · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-canners/
3. Recommended Jars and Lids · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-jars-and-lids/
4. Cooling Jars and Testing Jar Seals · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/cooling-jars-and-testing-jar-seals/
5. Selecting the Correct Processing Time · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/selecting-the-correct-processing-time/
6. Sterilization of Empty Jars · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/sterilization-of-empty-jars/
7. Preventing Botulism · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/botulism/prevention.html
8. Home canning safety · Health Canada https://www.canada.ca/en/health-canada/services/general-food-safety-tips/home-canning-safety.html
9. Canning Controversies: No to Home Canning Dairy Products · Clemson Cooperative Extension, Home & Garden Information Center https://hgic.clemson.edu/canning-controversies/
10. Botulism (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/botulism
11. Nicolas Appert · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Nicolas_Appert
12. Nicolas Appert · Encyclopedia.com (World of Invention; Encyclopedia of Food and Culture) https://www.encyclopedia.com/people/food-and-drink/food-and-cooking-biographies/nicolas-appert
13. 30 janvier 1810 : Nicolas Appert, inventeur de la conserve · Hérodote.net https://www.herodote.net/30_janvier_1810-evenement-18100130.php
14. Scientist of the Day: Bryan Donkin · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/bryan-donkin/
15. Food processing: canning (Technology in Australia 1788–1988) · Australian Science and Technology Heritage Centre, University of Melbourne https://austehc.unimelb.edu.au/tia/084.html
16. Louis Pasteur : un héritage universel · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/dossiers/louis-pasteur-heritage-universel
17. White Poison? The Social Consequences of Milk Consumption, 1850–1930 (Atkins, 1992) · Social History of Medicine 5, Durham University https://pjatkins.webspace.durham.ac.uk/wp-content/uploads/sites/201/2022/07/White-Poison-1992.pdf
18. Raw Milk Misconceptions and the Danger of Raw Milk Consumption · U.S. Food and Drug Administration https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/raw-milk-misconceptions-and-danger-raw-milk-consumption
19. Western researchers acquit tins in expedition's fate · Western News, Western University https://news.westernu.ca/2013/04/western-researchers-acquit-tins-in-expeditions-fate/
20. Researchers provide new insights into fate of Franklin Expedition · University of Saskatchewan https://news.usask.ca/articles/research/2018/researchers-provide-new-insights-into-fate-of-franklin-expedition-.php

Fatti verificati il 2026-10-14

Bicicletta

Due ruote mosse dalle gambe

1817 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Ruota e asse (p. 82), Siderurgia del ferro (p. 137)

1 Manubrio 2 Cannotto di sterzo e forcella 3 Sella 4 Pedivella e corona 5 Catena 6 Pignone posteriore 7 Pneumatico

La bicicletta è una macchina a due ruote che il ciclista tiene in equilibrio sterzando e spinge con le gambe, attraverso pedali, una catena e un pignone sulla ruota posteriore. Nata dalla macchina da corsa in legno di Karl Drais nel 1817, prese nel 1885 la forma della bicicletta di sicurezza a catena che, con le gomme ad aria, permette di percorrere una distanza con una piccola parte dell'energia necessaria a piedi.

Che cos'è

Una bicicletta porta una persona su due ruote disposte una dietro l'altra. Il ciclista siede su una sella, mantiene la macchina in piedi sterzando e spinge la ruota posteriore con le gambe, attraverso pedali, pedivelle e una catena. Non ha motore, e la manutenzione ordinaria richiede solo pochi attrezzi a mano.

La tavola mostra una bicicletta di sicurezza degli anni Novanta dell'Ottocento, l'impianto da cui discendono quasi tutte le bici di oggi: due ruote della stessa misura, un telaio di tubi d'acciaio a forma di due triangoli e gomme piene d'aria.

Come funziona

L'equilibrio viene dallo sterzo. Quando la bicicletta comincia a inclinarsi, il ciclista gira un poco la ruota anteriore dalla parte dell'inclinazione e le ruote tornano sotto il suo peso. A passo d'uomo le correzioni devono essere più ampie, ed è per questo che una bici lenta sbanda.

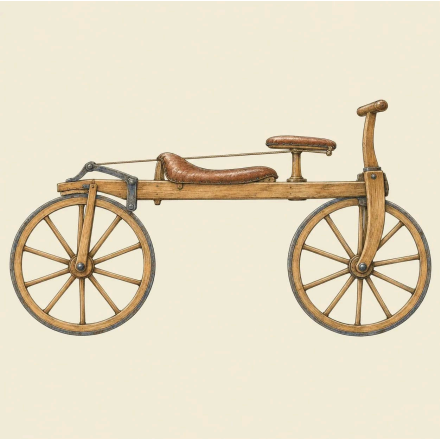
I pedali fanno girare due pedivelle fissate in direzioni opposte su un perno che attraversa la parte bassa del telaio. Una grande corona dentata, solidale con la pedivella destra, tira una catena a rulli, che fa girare un piccolo pignone sul mozzo posteriore. Con 44 denti davanti e 18 dietro, a ogni giro di pedali la ruota compie circa 2,4 giri, e una ruota di 70 cm di diametro percorre così circa 5,4 m. Le macchine più antiche, con i pedali sul mozzo anteriore, non avevano questa moltiplica: per andare più lontano a ogni pedalata serviva una ruota più grande.

Una catena pulita e lubrificata trasmette alla ruota quasi tutto il lavoro delle gambe, fino al 99% circa nelle prove di laboratorio. In pianura, oltre i 30 km/h circa, tre quarti o più dello sforzo servono a spostare l'aria. A parità di sforzo, un ciclista va circa tre volte più veloce di chi cammina, così una data distanza gli costa molta meno energia: secondo le stime, fra un terzo e un quinto di quella necessaria a piedi.

Uno pneumatico si schiaccia intorno a un sasso invece di sollevare tutta la macchina per superarlo. Su una strada dissestata scorre quindi più dolcemente e spreca meno fatica delle gomme piene usate prima. Raggi sottili di filo d'acciaio, tenuti in tensione, mantengono rotondo e rigido un cerchio leggero.

Lo pneumatico degli anni Novanta dell'Ottocento: una camera d'aria gonfia dentro un copertone di gomma e tela.

Come costruirla



La macchina del 1817 non aveva pedali: si avanzava spingendo il terreno con un piede e poi con l'altro, e si frenava tirando una cordicella che agiva sulla ruota posteriore.

La macchina di Drais era un lavoro da falegname e da carradore: una trave di frassino, due ruote di legno cerchiate di ferro, una forcella anteriore che ruotava su un perno di ferro, una sella imbottita, una tavoletta per gli avambracci e un freno posteriore tirato da una cordicella. Per provare oggi lo stesso modo di andare, la soluzione più sicura è trasformare una piccola bicicletta in buono stato in una bici senza pedali: telaio, ruote e freni restano quelli originali.

Scegliere la bicicletta. Deve essere abbastanza piccola perché il ciclista, con la sella al minimo, poggi entrambi i piedi ben piatti a terra con le ginocchia appena piegate, e deve avere due freni a mano, anteriore e posteriore: un freno a contropedale smette di funzionare appena si toglie la catena. Controllate che il telaio non abbia crepe, che le ruote girino dritte e che entrambi i freni funzionino.

Togliere la trasmissione. Smontate i due pedali con una chiave per pedali; quello sinistro ha la filettatura inversa e si svita in senso orario. Per togliere la catena aprite la maglia rapida o spingete fuori un perno con uno smagliacatena, oppure rivolgetevi a un meccanico di biciclette. Se avete un estrattore per pedivelle, rimuovete anche pedivelle e corona, così che nulla possa impigliarsi nelle gambe.

Regolare la sella. Abbassate la sella finché entrambi i piedi poggiano piatti, tenendo il segno di inserimento minimo del reggisella sempre nascosto dentro il telaio, e stringete bene il collarino.

Provare i freni. Tirate ciascuna leva spingendo la bici in avanti: la ruota deve fermarsi. Altrimenti regolate il freno o fatelo regolare da un meccanico di biciclette prima che qualcuno la usi.

Imparare a scivolare. Su un sentiero piano e tranquillo camminate prima a cavalcioni, poi spingetevi con un piede e con l'altro, sollevate entrambi per brevi tratti in scivolata e frenate per fermarvi.

> **Sicurezza.** Indossate il casco e girate lontano dal traffico. Prima di ogni uscita controllate i freni, i dadi delle ruote o gli sganci rapidi e il collarino della sella. Tenete le dita lontane dai raggi in movimento e dai denti della corona se è ancora montata, e non affrontate discese finché non sapete fermarvi con sicurezza.

Storia ed evoluzione

Karl Drais, funzionario dell'amministrazione forestale del Baden, uscì da Mannheim sulla sua Laufmaschine il 12 giugno 1817. I resoconti di quell'uscita parlano di 13-15 km in circa un'ora; una prova cronometrata su 12,5 km diede una media superiore ai 12 km/h, più del doppio del passo di un camminatore. In Francia la macchina fu venduta dal 1818 come vélocipède e in Gran Bretagna fu copiata come hobby horse. Un esemplare conservato pesa 23 kg; le macchine giunte fino a noi hanno un freno posteriore azionato da una cordicella. Le strade erano cattive, e la moda passò nel giro di pochi anni.

Negli anni Sessanta dell'Ottocento, a Parigi, si fissarono pedivelle e pedali alla ruota anteriore. Si discute ancora se l'idea sia del carradore Pierre Lallement o della bottega di Pierre Michaux. Lallement la portò negli Stati Uniti e vi ottenne un brevetto il 20 novembre 1866; le macchine di Michaux accesero in Francia, alla fine del decennio, la prima mania del velocipede. Le ruote di legno cerchiate di ferro valsero loro in inglese il soprannome di boneshakers, «scuotiossa». Negli anni Settanta i raggi di filo metallico e le gomme piene alleggerirono le ruote, e quella anteriore crebbe fin dove arrivavano le gambe del ciclista. Questi bicicli erano veloci, ma a ogni ostacolo il ciclista rischiava di volare a testa in giù oltre il manubrio.

Nel biciclo degli anni Settanta dell'Ottocento i pedali muovevano direttamente la ruota anteriore, e la velocità dipendeva dalla sua grandezza.

La bicicletta di sicurezza risolse il problema mettendo il ciclista in basso, fra due ruote piccole, e muovendo quella posteriore con una catena. Nel 1885 John Kemp Starley costruì la Rover a Coventry; l'esemplare conservato a Londra pesa 16,8 kg e ha ancora gomme piene. Nel 1887 o nel 1888 (le fonti divergono) John Boyd Dunlop, veterinario a Belfast, realizzò gomme ad aria per il triciclo del figlio e le brevettò il 7 dicembre 1888. Il brevetto fu poi annullato, perché Robert William Thomson aveva brevettato la stessa idea negli anni Quaranta, ma gli pneumatici Dunlop entrarono in produzione a Belfast alla fine del 1890. In pochi anni il telaio a diamante e lo pneumatico divennero la norma, e la bicicletta di sicurezza fu usata sia dalle donne sia dagli uomini. Ruota libera, cambi e freni migliori arrivarono più tardi, senza cambiarne l'impianto.

Dati chiave

Prima uscita con la macchina da corsa

12 giugno 1817, da Mannheim: da 13 a 15 km in circa un'ora (i resoconti divergono)

Brevetto dello pneumatico Dunlop

7 dicembre 1888 (poi annullato: R. W. Thomson aveva brevettato l'idea negli anni Quaranta dell'Ottocento)

Rendimento della catena

Fino al 99% circa con una catena pulita e lubrificata

Bicicletta di sicurezza Rover

1885, Coventry; 16,8 kg, trasmissione a catena, gomme piene

Energia rispetto al camminare

Fra un terzo e un quinto per la stessa distanza (le stime variano)

Fonti

1. Draisienne · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/draisienne/
2. Rover 'Safety' Bicycle, 1885 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co25833/rover-safety-bicycle-1885
3. J. B. Dunlop · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/J._B._Dunlop
4. Pierre Lallement and the Modern-Day Pedal Bicycle · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/pierre-lallement-and-the-modern-day-pedal-bicycle-today-in-history-november-20
5. Bicycle performance · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_performance
6. Laufmaschine (draisine) by Karl Drais · Klassik Stiftung Weimar https://www.klassik-stiftung.de/startseite/digital/sammlungshighlights/laufmaschine/
7. Gain Ratios · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gain.html
8. Glossary: Chain · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gloss_ch.html
9. H. Renold · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/H._Renold
10. Roller chain sprocket diameters · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hardware/roller_chain_sprocket_diameters_13887.htm

Fatti verificati il 2026-10-12

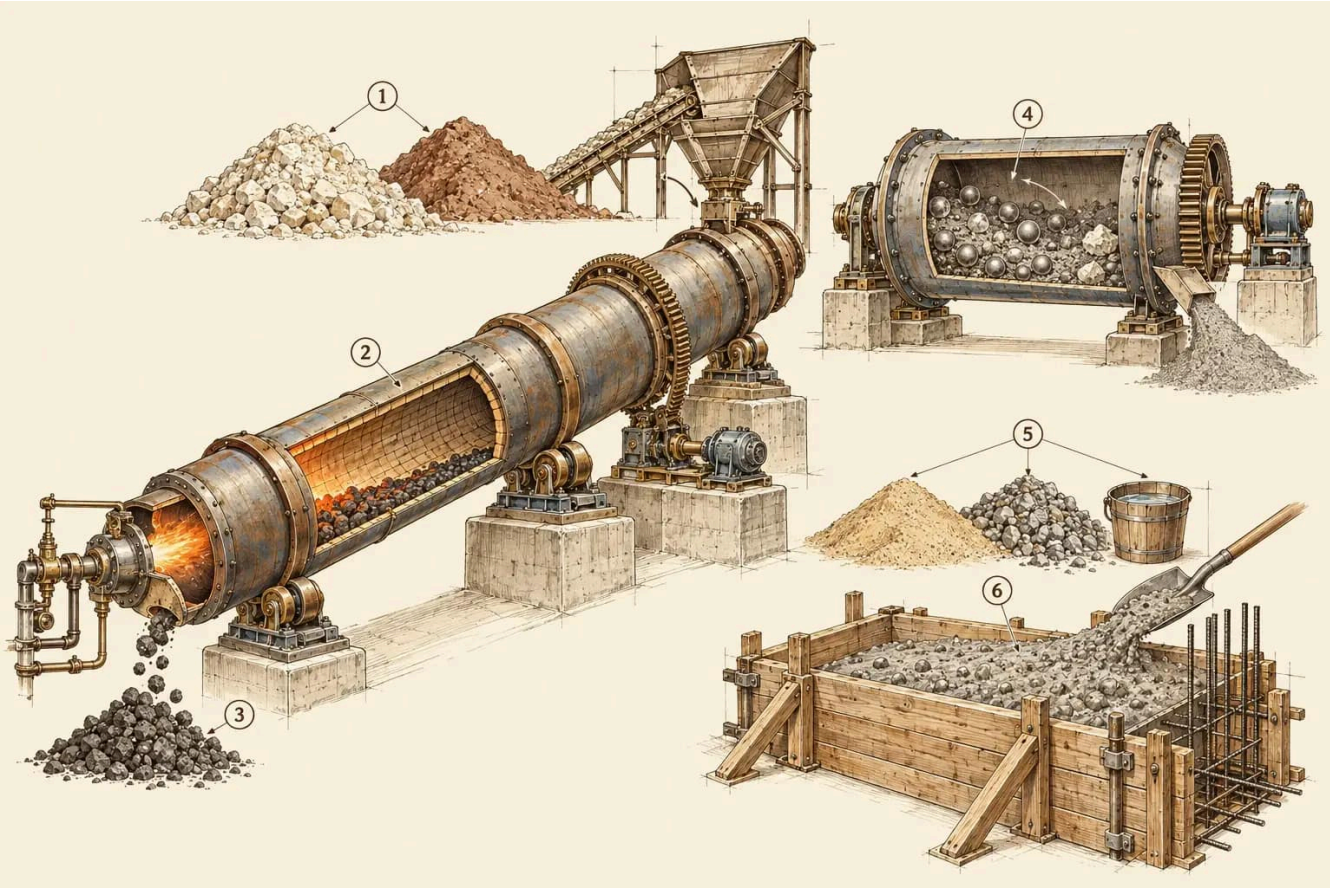
Cemento Portland

Il legante che fa presa sott'acqua

1824 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Calce e malta di calce (p. 31), Calcestruzzo romano (p. 166), Misure e campioni (p. 128)

Porta a: Cemento armato (p. 306)



1 Calcare e argilla frantumati 2 Forno rotante, fiamma all'estremità bassa 3 Noduli di clinker 4 Mulino: clinker con un po' di gesso 5 Sabbia, ghiaia e acqua per l'impasto 6 Cassaforma di legno con calcestruzzo fresco

Il cemento Portland è calcare e argilla cotti insieme a circa 1450 °C fino a formare noduli duri, il clinker, poi macinati con un po' di gesso. Con l'acqua indurisce per reazione chimica, anche immerso, e legato a sabbia e ghiaia dà il calcestruzzo, il materiale da costruzione più usato al mondo.

Che cos'è

Il cemento Portland è una polvere grigia: calcare e argilla cotti finché fondono in parte in grumi duri, il clinker, che poi si macina con un po' di gesso. Con l'acqua forma una pasta che si irrigidisce in poche ore e continua a indurire per settimane.

È un legante idraulico: indurisce reagendo con l'acqua, in uno scavo umido come sotto il mare. La malta di calce aerea, invece, indurisce lentamente per carbonatazione, a contatto con l'aria. Il calcestruzzo romano resisteva all'acqua grazie alla pozzolana, una cenere vulcanica la cui silice reagisce con la calce spenta. Nel cemento

Portland la calce e la silice dell'argilla sono già combinate nel forno: la polvere ha bisogno solo d'acqua, e diventa molto più resistente.

Mescolato con sabbia e ghiaia dà il calcestruzzo: questi inerti occupano la maggior parte del volume e il cemento li incolla tra loro.

Come funziona

La cottura. La farina cruda è di solito per circa quattro quinti calcare, con argilla o scisto che portano silice, allumina e ossido di ferro. Nel forno il calcare perde l'anidride carbonica e diventa calce viva, che poi si combina con i minerali dell'argilla. Verso i 1450 °C una parte della carica fonde e il resto sinterizza in noduli scuri. Un clinker tipico contiene circa il 55% di alite e il 20% di belite, due silicati di calcio; l'alite si forma solo con una cottura spinta, oltre i 1300 °C circa. Il clinker viene poi raffreddato in fretta.

Il clinker all'uscita dal forno; macinato con un po' di gesso, diventa cemento.

La macinazione. Il clinker si macina finissimo con circa il 5% di gesso, che impedisce al suo alluminato di irrigidire la pasta pochi minuti dopo l'impasto.

La presa. Nell'acqua, alite e belite formano silicati di calcio idrati, un gel poco cristallino che si sviluppa da ogni granulo e li lega l'uno all'altro, liberando idrossido di calcio e calore. L'alite dà la resistenza dei primi giorni, la belite quella che arriva dopo la prima settimana.

Acqua e resistenza. L'acqua in eccesso lascia pori, e i pori indeboliscono il calcestruzzo. Nel 1918 Duff Abrams, al Lewis Institute di Chicago, dimostrò che la resistenza dipende soprattutto dal rapporto tra acqua e cemento; la maggior parte degli impasti sta tra 0,4 e 0,6 in massa. Un calcestruzzo che si secca troppo presto smette di reagire; in alcune prove ha raggiunto solo circa metà della resistenza di uno tenuto umido.

Come si costruisce

Il clinker richiede un forno industriale, ma il cemento in sacchi, entro la data di scadenza, si impasta a mano su una tavola per il plinto di un palo o una piccola soletta da giardino. Tutto ciò che sostiene un edificio o un veicolo richiede il progetto di un ingegnere.

La cassaforma. Per una soletta, scavate fino al terreno compatto, costipate uno strato di ghiaione e piantate tutt'intorno tavole di costa, tenute da picchetti all'esterno, con il bordo superiore in bolla e la faccia interna oliata. Per un plinto, la buca stessa fa da stampo.

Mescolare a secco, poi poca acqua. Una regola comune è un secchio di cemento per due di sabbia per calcestruzzo e tre di ghiaia lavata fino a 20 mm. Rimestate il mucchio secco finché è di un grigio uniforme, versate l'acqua in un cratere e spingetevi dentro con la pala l'impasto secco dei bordi, poco alla volta. Un rapporto di 0,5 equivale a circa 12,5 litri per un sacco da 25 kg, contando l'acqua già presente nella sabbia umida. Fermatevi quando l'impasto è bagnato in modo uniforme e abbastanza morbido da riempire la cassaforma ed essere compattato, ma tiene ancora la forma sulla pala: l'acqua in più lo rende più facile da gettare, ma il calcestruzzo indurito più debole.

Gettare, compattare, tenere umido. Riempite la cassaforma a strati, pestando ciascuno con un'asta e battendo le tavole per far uscire l'aria; staggiate la superficie con un regolo. Riparate il calcestruzzo fresco da sole e vento

L'acqua va in un cratere aperto nell'impasto secco, che si ripiega dai bordi.

mentre lavorate. Quando la superficie non si segna più, tenetela umida sotto un telo di plastica o una tela di juta bagnata per almeno 7 giorni, di più se fa fresco, e proteggetela dal gelo.

Provare un cubetto. Riempite con lo stesso impasto una o due casseforme oliate di 10 cm di lato interno, in due strati pestati con un'asta, e lasciatele maturare sotto la stessa tela bagnata della soletta. Un laboratorio prove materiali schiaccia questi cubetti in una pressa a 7 e a 28 giorni e ne indica la resistenza: così si controlla il calcestruzzo in cantiere. Rompere un cubetto con una mazzetta dice poco e proietta schegge e polvere.

> **Sicurezza.** Il cemento fresco è fortemente alcalino. Intrappolato contro la pelle in un guanto o in uno stivale, può causare gravi ustioni chimiche. Indossate guanti impermeabili, maniche lunghe, i pantaloni sopra gli stivali e occhiali protettivi. Lavate subito la pelle sporca; se il cemento entra negli occhi, sciacquate con abbondante acqua pulita per almeno 15 minuti e rivolgetevi a un medico. La polvere irrita i polmoni: svuotate i sacchi all'aperto, con il vento alle spalle e una mascherina FFP3. Tagliare il calcestruzzo indurito solleva polvere di silice: usate una sega con getto d'acqua e una mascherina FFP3 di cui sia stata verificata la tenuta. Un sacco pesa 25 kg: sollevatelo piegando le ginocchia, o in due.

Storia ed evoluzione

Nel 1756 l'ingegnere inglese John Smeaton, incaricato di ricostruire il faro di Eddystone al largo di Plymouth, provò diverse calci per trovare una malta che facesse presa tra due maree. Le migliori venivano da un calcare argilloso; murò la torre con calce idraulica e pozzolana. In Francia, nel 1817-1818, Louis Vicat mostrò come l'argilla permetta alla calce di far presa sott'acqua e ottenne una calce idraulica artificiale da creta e argilla, per un ponte a Souillac.

La torre di Smeaton a Eddystone, 1759: pietre a coda di rondine in una malta che fa presa in acqua di mare.

Il 21 ottobre 1824 Joseph Aspdin, muratore di Leeds, brevettò una pietra artificiale «che chiamo cemento Portland», dalla pietra chiara di Portland, nel Dorset. Il suo prodotto era probabilmente troppo poco cotto per dirsi oggi cemento Portland. Negli anni 1840 il figlio William e Isaac Charles Johnson, entrambi vicino a Londra, cossero l'impasto fino al clinker, che i produttori precedenti scartavano come stracotto; ciascuno rivendicò la scoperta. La data indicata qui, 1824, è quella del brevetto e del nome.

Frederick Ransome brevettò un forno rotante nel 1885. Le sue prove in Inghilterra fallirono, ma nel 1890 un forno di questo tipo, alimentato a petrolio, funzionava in Pennsylvania, e questi forni sostituirono presto quelli fissi.

Nel 2018, secondo Chatham House, il mondo produceva oltre 4 miliardi di tonnellate di cemento l'anno, e questa produzione emetteva circa l'8% della CO_2 mondiale. Più della metà veniva dal calcare stesso, che libera la sua anidride carbonica nel forno. I produttori sostituiscono parte del clinker con loppa d'altoforno, ceneri volanti, argilla calcinata o calcare per ridurre questa quota.

Dati chiave

Temperatura del forno
Circa 1450 °C

Dosaggio comune a mano
1 parte di cemento, 2 di sabbia, 3 di ghiaia in volume

Produzione mondiale
Oltre 4 miliardi di tonnellate l'anno, circa l'8% delle emissioni mondiali di CO_2 (2018)

Gesso
Circa il 5%, macinato con il clinker

Rapporto acqua/cemento
Di solito da 0,4 a 0,6 in massa

Fonti

1. About cement · Cement Kilns (D. Moore), history of the British cement industry https://www.cementkilns.co.uk/cement.html
2. Aspdin's 1824 patent · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/cemkilndoc008.html
3. Early rotary kilns · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/early_rotary_kilns.html
4. Hard-Headed Man (M. Rinde, 2015) · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/hard-headed-man/
5. Aberthaw Lime and Cement Works, Rhoose (listing record 83144) · Cadw, via British Listed Buildings https://britishlistedbuildings.co.uk/300083144-aberthaw-lime-and-cement-works-rhoose
6. Louis Vicat · École polytechnique https://225.polytechnique.fr/en/225-stories/louis-vicat.html
7. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
8. Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018 (R. M. Andrew, 2019) · Earth System Science Data https://essd.copernicus.org/articles/11/1675/2019/
9. Composition of cement · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/composition%20of%20cement.htm
10. Curing concrete: normal, hot and cold weather · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/curing.html
11. Water-cement ratio of concrete · Gilson Company https://www.globalgilson.com/blog/water-cement-ratio-of-concrete
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm
14. Cutting paving blocks, kerbs and flags · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cutting-paving-blocks-kerbs-and-flags.htm
15. Cement hydration · MC-Bauchemie, MCpedia https://www.mc-bauchemie.com/mcpedia/cement-hydration

Fatti verificati il 2026-10-14

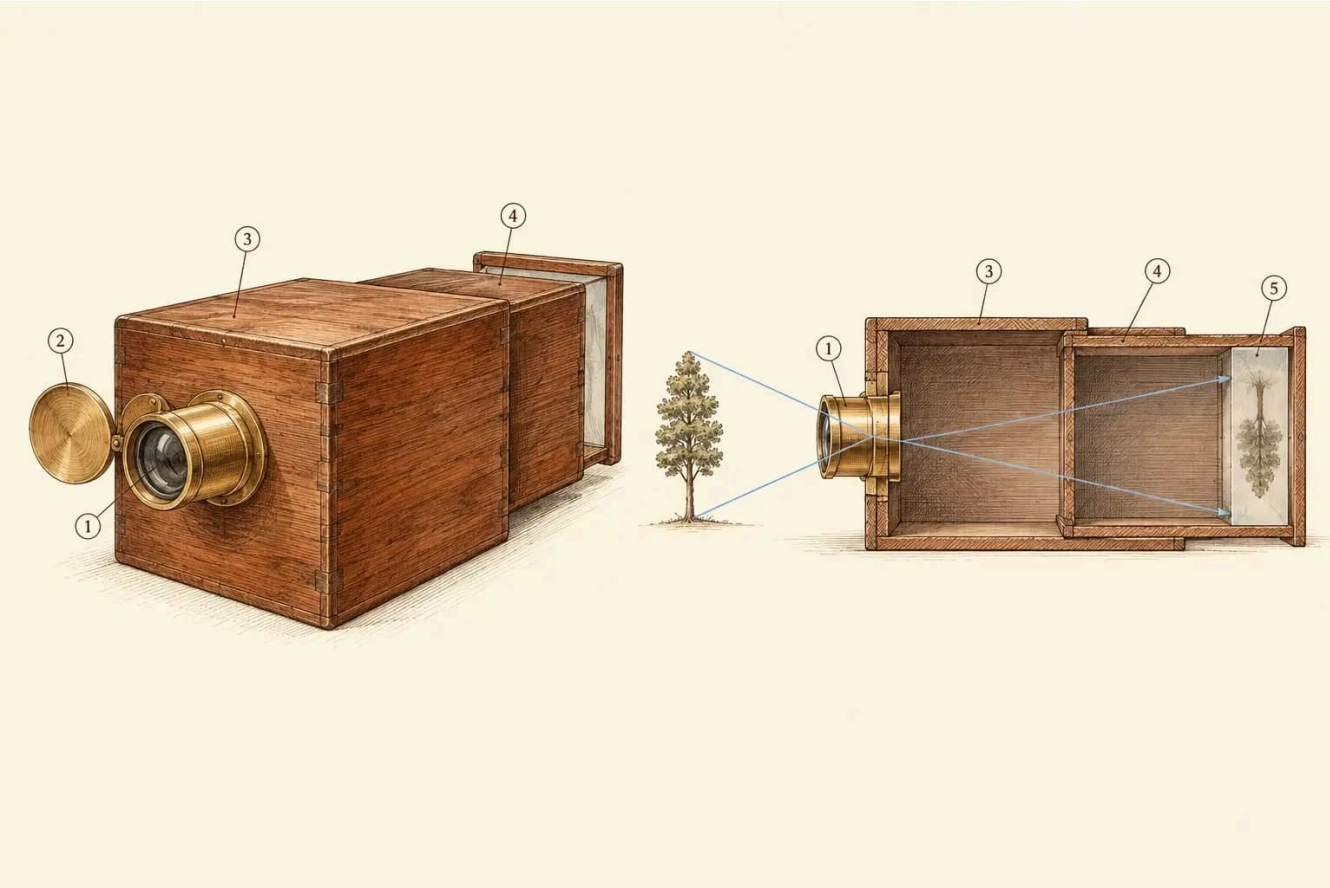
Fotografia

Luce che lascia una traccia

c. 1827 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Vetro (p. 133)

Porta a: Radiografia (p. 346)



1 Obiettivo nel suo barilotto d'ottone 2 Coperchio girevole d'ottone 3 Cassa anteriore 4 Cassa posteriore scorrevole 5 Vetro smerigliato per la messa a fuoco

La fotografia fissa l'immagine formata da una lente su una superficie che la luce modifica chimicamente. Nicéphore Niépce realizzò nel 1826 o 1827 la più antica fotografia ripresa con una camera giunta fino a noi, e il dagherrotipo, reso pubblico a Parigi nel 1839, fu il primo procedimento venduto al pubblico, con apparecchi e lastre in vendita nel giro di poche settimane.

Che cos'è

La fotografia registra un'immagine fatta di luce. Un obiettivo proietta una piccola immagine della scena su una superficie ricoperta di una sostanza che la luce trasforma; dopo il trattamento, le luci e le ombre della scena restano fissate su quella superficie per sempre. La parola significa «scrivere con la luce», e i pionieri parlavano di immagini che si disegnavano da sole.

L'apparecchio della tavola è quello che Alphonse Giroux cominciò a vendere a Parigi nel 1839 su progetto di Louis Daguerre, il primo costruito in serie per il pubblico. Sono due casse di legno, una che scorre dentro l'altra. Quella

anteriore porta un obiettivo semplice in un barilotto d'ottone, con un coperchio rotondo d'ottone che si gira di lato per iniziare la posa. Dietro, un vetro smerigliato mostra l'immagine per la messa a fuoco; poi lo si sostituisce con un telaietto che porta la lastra sensibile.

Come funziona

La luce di ogni punto della scena attraversa l'obiettivo e si concentra in un punto sul fondo dell'apparecchio. Ne risulta una piccola copia nitida e capovolta della scena, la stessa immagine che la camera oscura mostrava dal Rinascimento. Spingendo dentro o tirando fuori la cassa posteriore finché l'immagine sul vetro smerigliato non è nitida, si mette a fuoco.

I disegnatori usavano camere oscure portatili come questa molto prima della fotografia; uno specchio rimanda l'immagine su un vetro dove la si può ricalcare.

Alla fotografia serviva un modo per conservare quell'immagine. Alcuni composti d'argento anneriscono alla luce, alcune resine vi induriscono. Niépce ricopriva una lastra di peltro con bitume di Giudea sciolto in essenza di lavanda. Dove arrivava la luce il bitume induriva; poi un solvente toglieva le parti rimaste molli e restava un'immagine di bitume sul metallo nudo.

Il dagherrotipo usava l'argento. Una lastra di rame argentata e lucidata veniva resa sensibile con vapori di iodio, esposta per alcuni minuti nella camera, sviluppata sopra mercurio riscaldato, che si depositava sulle parti toccate dalla luce, e fissata con acqua salata o con l'«iposolfito». Il risultato era un positivo a specchio, unico e ricchissimo di dettagli. La calotipia di Talbot funzionava diversamente: dava un negativo su carta da cui si potevano stampare per contatto quante copie positive si voleva, il principio di gran parte della fotografia su pellicola venuta dopo.

Come costruirla

Due progetti semplici mostrano in casa le due metà della fotografia: una fotocamera stenopeica forma l'immagine e la carta per cianotipia registra chimicamente la luce. Non tentate un dagherrotipo fuori da un laboratorio professionale con cappa aspirante e sotto la guida di personale formato: usa mercurio riscaldato e iodio, entrambi tossici.

Fare la camera. Prendete una scatola a tenuta di luce, per esempio una scatola da scarpe, e dipingetene l'interno di nero opaco. Ritagliate un foro di circa 2 cm al centro di un'estremità e copritelo con un pezzo di sottile foglio d'alluminio forato con un ago; un foro di circa 0,3 mm va bene per una scatola profonda 10-15 cm. Coprite il foro stenopeico con un'aletta di cartoncino nero che si possa alzare e abbassare: è l'otturatore.

Guardare l'immagine. Aprite una finestra nell'estremità opposta e copritela con carta da lucido. Davanti a una scena luminosa, con la testa e la scatola sotto un panno scuro, vedrete sulla carta l'immagine capovolta, proprio come in una camera oscura.

Fare una cianotipia. La carta già sensibilizzata, venduta come «carta solare» e usata secondo le istruzioni del produttore, è la scelta più semplice. La cianotipia, pubblicata da John Herschel nel 1842, usa sali di ferro che diventano blu di Prussia alla luce ultravioletta. Posate una foglia o una fronda di felce sulla carta, al sole e sotto una lastra di vetro, per qualche minuto, poi sciacquate la carta in acqua e lasciatela asciugare.

Andare oltre. La cianotipia è troppo lenta per una ripresa attraverso il foro stenopeico: la posa durerebbe settimane. Per fotografare con la scatola stessa, sostituite la carta da lucido con un fondo a tenuta di luce, sigillate

Un fotogramma in cianotipia: dove la felce fermava la luce, la carta è rimasta bianca.

i bordi con nastro nero e caricate in camera oscura carta fotografica o pellicola in bianco e nero. Si sviluppa e si fissa poi con i normali prodotti da camera oscura, con i guanti, in un locale ben aerato e secondo le indicazioni delle etichette.

> **Sicurezza.** I prodotti per cianotipia e i bagni da camera oscura irritano pelle, occhi e vie respiratorie: indossate guanti e occhiali protettivi, teneteli lontano da alimenti, bambini e animali, e smaltiteli come indicato sulle etichette. Se preparate da soli la soluzione per cianotipia, non scaldate mai il ferricianuro di potassio e non mescolatelo mai con acidi. Non guardate il Sole attraverso il foro stenopeico né attraverso altro. I procedimenti antichi che usano mercurio, cianuro o etere sono adatti solo a un laboratorio professionale con aspirazione.

Storia ed evoluzione

La camera oscura era nota molto prima della fotografia, e nel Settecento i disegnatori portavano con sé casse portatili per ricalcare paesaggi. I chimici sapevano che i sali d'argento anneriscono alla luce, ma nessuno riusciva a fermare l'annerimento. Nella sua tenuta di Saint-Loup-de-Varennes, in Borgogna, Nicéphore Niépce ottenne nel 1816 immagini fugaci con la camera e, nel 1826 o 1827, la veduta dalla finestra del suo laboratorio, oggi la più antica fotografia da camera conservata, all'Harry Ransom Center di Austin. La sua posa è stimata di solito in diversi giorni, anche se alcuni racconti parlano di circa otto ore.

Niépce si associò con Louis Daguerre nel 1829 e morì nel 1833. Daguerre proseguì, e il 19 agosto 1839 il suo procedimento fu illustrato nei particolari in una seduta congiunta dell'Académie des sciences e dell'Académie des beaux-arts; lo Stato francese lo aveva acquistato e ne lasciò l'uso libero a tutti, tranne che in Inghilterra e Galles, dove fu brevettato. In Inghilterra Henry Talbot faceva immagini su carta da alcuni anni e annunciò il suo primo procedimento lo stesso anno; nel 1840 ideò il negativo della calotipia, reso pubblico nel 1841.

Un dagherrotipo era un'unica lastra argentata, custodita sotto vetro in un piccolo astuccio a cerniera.

Dal 1851 il collodio umido di Frederick Scott Archer portò i negativi sul vetro, più nitidi della carta e molto più rapidi del dagherrotipo, ma la lastra andava rivestita di collodio, esposta e sviluppata nel giro di pochi minuti. Negli anni Ottanta le fabbriche vendevano lastre secche pronte all'uso: George Eastman cominciò a produrle per la vendita nel 1880 e nel 1888 mise in vendita la prima Kodak, una scatola caricata con pellicola per cento fotografie, da rimandare intera in fabbrica per lo sviluppo. La pellicola a colori si diffuse nel Novecento, e alla fine del secolo i sensori elettronici cominciarono a sostituire la chimica; davanti a loro, un obiettivo forma ancora l'immagine come nella cassa di Giroux.

Dati chiave

Più antica fotografia da camera conservata
Niépce, Saint-Loup-de-Varennes, 1826 o 1827; lastra di peltro di 16,7 × 20,3 cm

La sua posa
Probabilmente diversi giorni al sole (alcuni racconti parlano di circa 8 ore)

Dagherrotipo reso pubblico
19 agosto 1839, Académie des sciences, Parigi

Negativo su carta (calotipia)
Ideato da Henry Talbot nel 1840, reso pubblico nel 1841

Prima Kodak
1888, caricata con pellicola per 100 fotografie

Fonti

1. The Niépce Heliograph · Harry Ransom Center, University of Texas at Austin https://www.hrc.utexas.edu/niepce-heliograph/
2. Daguerre introduced photography 175 years ago · George Eastman Museum https://www.eastman.org/blog/daguerre-introduced-photography-175-years-ago
3. Giroux Daguerreotype camera · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1427511/giroux-daguerreotype-camera-camera-daguerre-louis/
4. Hill & Adamson: salted paper prints and the calotype · University of Glasgow Archives & Special Collections https://www.gla.ac.uk/myglasgow/archivespecialcollections/discover/specialcollectionsa-z/hilladamson/saltedpaperprints
5. Collodion glass negatives and the attendant photographic process · Bibliothèque nationale de France https://expositions.bnf.fr/les-nadar/en/the-nadars/collodion-glass-negatives.html
6. Album of cyanotypes of British and Foreign Ferns (Anna Atkins) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co416960
7. Kodak and the Eastman company · Duke University Libraries https://library.duke.edu/rubenstein/scriptorium/eaa/kodak.html
8. Richard Beard (daguerreotype patent in England and Wales) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp40983/richard-beard
9. Historique et description des procédés du daguerréotype et du diorama (Daguerre, 1839) · Internet Archive https://archive.org/details/bub_gb_Ae4TAAAAQAAJ
10. History and practice of photogenic drawing on the true principles of the Daguerréotype (McLean, 1839) · Wellcome Collection, via Internet Archive https://archive.org/details/b29310301
11. Replica of Daguerre-Giroux camera · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8189231/replica-of-daguerre-giroux-camera
12. From Daguerreotype to Digital: the daguerreotype process · The Historic New Orleans Collection https://hnoc.org/virtual-exhibitions/from_daguerreotype_to_digital/daguerreotype-process

Fatti verificati il 2026-10-12

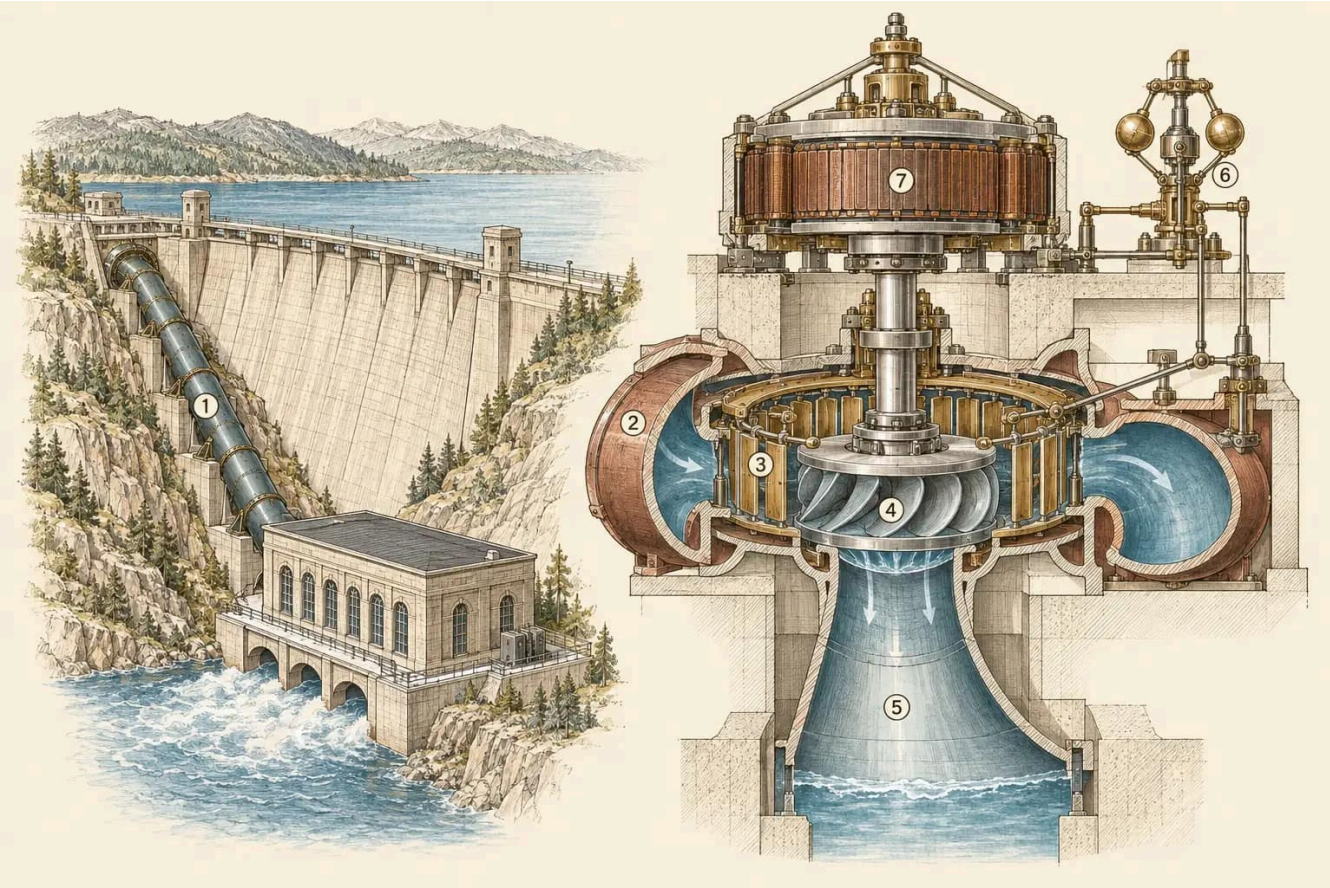
Turbina idraulica

Il salto d'acqua trasformato in elettricità

1827 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Ruota idraulica (p. 158), Acciaio (p. 141), Generatore elettrico (p. 272)

Porta a: Alluminio (p. 333)



1 Condotta forzata 2 Cassa a spirale 3 Pale direttrici 4 Girante 5 Tubo di scarico 6 Regolatore 7 Generatore

Una turbina idraulica è una girante a pale che l'acqua in pressione fa ruotare molto velocemente, dentro una cassa chiusa o sotto un getto. Come la ruota idraulica, sfrutta l'energia di un salto d'acqua, ma in una macchina molto più piccola e veloce, e dagli anni Ottanta dell'Ottocento muove i generatori delle centrali idroelettriche.

Che cos'è

Una turbina idraulica è una ruota di pale curve, la girante, che l'acqua in pressione fa girare ad alta velocità. Come la ruota idraulica, ricava energia dall'acqua che cade da una certa altezza. Ma una ruota per di sopra gira all'aria aperta sotto il peso dell'acqua nelle sue cassette, e una ruota per di sotto per la spinta della corrente, a pochi giri al minuto. La turbina riceve l'acqua da una condotta e gira decine o centinaia di volte più in fretta, così una macchina molto più piccola fornisce la stessa potenza.

La sua velocità le permette di azionare un generatore elettrico con pochi ingranaggi o nessuno. Quasi tutte le centrali idroelettriche usano uno di tre modelli: la ruota Pelton, la turbina Francis o la turbina Kaplan.

Come funziona

In una turbina ad azione un ugello trasforma tutta la pressione in un getto veloce e la girante gira in aria. In una turbina a reazione la girante è chiusa e piena d'acqua; la pressione cala tra le pale, che lavorano come ali curve.

La ruota Pelton è una turbina ad azione per salti alti e portate piccole. Uno spigolo divide ogni cucchiaia, fende il getto e rimanda ogni metà quasi in senso opposto. La turbina Francis, a reazione e la più diffusa, copre i salti medi, all'incirca da 40 a 600 metri. La turbina Kaplan, un'elica le cui pale ruotano sul mozzo, serve per salti bassi e grandi portate, sotto gli 80 metri circa.

Lo spigolo di ogni cucchiaia taglia il getto in due e rimanda indietro le due metà.

La tavola mostra un gruppo Francis. L'acqua scende lungo la condotta forzata (1) fino alla cassa a spirale (2), che si restringe avvolgendosi attorno alla macchina perché l'acqua entri in modo uniforme da ogni lato. Le pale direttrici (3) la mettono in rotazione e regolano la portata. Attraversa la girante (4) dall'esterno verso il centro ed esce in basso dal tubo di scarico (5), un condotto che si allarga, la rallenta a poco a poco e recupera parte dell'energia che le resta.

La potenza disponibile è $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$: densità dell'acqua ρ (circa 1.000 kg/m^3), gravità g (9,81 m/s^2), portata Q in m^3/s, salto netto H in metri e rendimento η. Con 100 metri di salto, 0,2 m^3/s e l'85 % per turbina e generatore insieme, $P = 1.000 \times 9{,}81 \times 0{,}2 \times 100 \times 0{,}85 \approx 167$ kW. Una grande turbina Francis da sola supera il 90 %.

Il generatore (7) sta sullo stesso albero, e la sua frequenza segue la velocità. Il regolatore (6) la mantiene costante chiudendo le pale direttrici quando l'albero accelera e aprendole quando rallenta. Deve agire con gradualità: chiudere di colpo una lunga condotta provoca un colpo d'ariete, una sovrappressione capace di farla scoppiare. A 100 giri al minuto un generatore ha bisogno di 60 poli per dare 50 hertz.

Come si costruisce

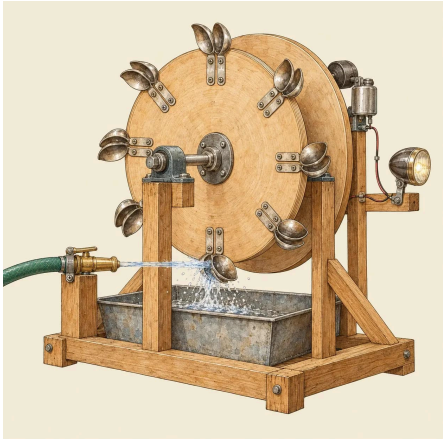
Una ruota di cucchiai alimentata da una canna da giardino che pesca in un ruscello può accendere un fanale da bicicletta. Chiedete prima il permesso al proprietario e all'ente che gestisce le acque: nella maggior parte dei paesi prelevare acqua da un corso d'acqua richiede un'autorizzazione.

Misurare il salto. Stendete una canna dalla presa fino al punto in cui starà la ruota, tenete l'estremità alta sott'acqua e lasciatela scorrere finché non esce più aria. Chiudete poi l'estremità bassa con un manometro: ogni bar di pressione statica corrisponde a circa 10,2 metri di salto. Una livella da cantiere e una stadia, spostate verso valle da un riferimento al successivo, servono da controllo.

Misurare la portata. Per un rivolo sotto i 5 litri al secondo circa, fatelo passare da un tubo in una piccola diga di terra e cronometrate quanto impiega a riempire un secchio. Per un ruscello più grande, cronometrate un galleggiante su 10 metri, moltiplicate la velocità per 0,85 circa, poi per la larghezza e la profondità media.

Calcolare la potenza. Con 8 metri di salto e 0,3 litri al secondo nella canna, l'acqua porta $P = 1.000 \times 9{,}81 \times 0{,}0003 \times 8 \approx 24$ W. La canna e l'ugello perdono parte del salto, e una ruota e una dinamo fatte in casa trasformano in elettricità solo una parte modesta del resto. Contate su pochi watt, forse abbastanza per una dinamo da bicicletta da 3 watt, e misurate quello che ottenete davvero. Lasciate la maggior parte del ruscello ai pesci.

Fare la girante. Fissate un disco di compensato di circa 30 cm di diametro su un asse d'acciaio che gira in due cuscinetti. Avvitate sul bordo da otto a dieci coppie di cucchiai da minestra, affiancati, con le coppe che sporgono



Due cucchiai affiancati formano una rozza cucchiaia doppia.

dal bordo, rivolte al getto, e si uniscono in uno spigolo.

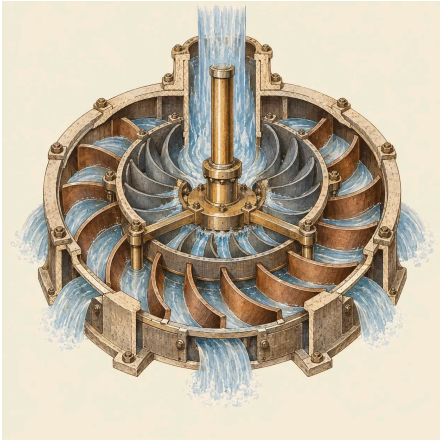
Puntare il getto. Montate un ugello a getto sulla canna e bloccatelo perché il getto colpisca gli spigoli in direzione tangente. Senza perdite uscirebbe a 12,5 m/s; con l'attrito nella canna è più probabile che esca a circa 10 m/s. I cucchiai rendono meglio a metà della velocità del getto, misurata sul cerchio in cui il getto li colpisce: circa 270 giri al minuto se quel cerchio ha 35 cm di diametro.

Aggiungere la dinamo. Montate sull'asse un secondo disco liscio di circa 35 cm e appoggiate contro il suo bordo il rullino di una dinamo a bottiglia. A 270 giri al minuto quel bordo si muove come lo pneumatico di una bicicletta a circa 18 km/h. Collegatela a un fanale da bicicletta con due fili isolati: sulla bicicletta il telaio fa da ritorno alla corrente, qui serve un filo. Riportate l'acqua nel ruscello a valle della ruota.

> **Sicurezza.** Non lavorate mai da soli vicino a un ruscello e non entrateci quando è in piena: l'acqua veloce e fredda travolge e annega. Una canna che scende di 8 metri è già a quasi un bar. Aprite e chiudete lentamente le condotte lunghe, perché un arresto brusco provoca un colpo d'ariete che fa saltare i raccordi. Tenete occhi e dita fuori dal getto, proteggete la girante con un carter e chiudete l'acqua prima di toccarla. Isolate ogni collegamento e tenete le dita lontane anche dal rullino della dinamo. I generatori più grandi raggiungono tensioni pericolose: non collegatene mai uno all'impianto elettrico di un edificio.

Storia ed evoluzione

Nel 1825 Claude Burdin, professore alla Scuola delle miniere di Saint-Étienne, costruì a Pontgibaud una turbina con un rendimento del 67 %. Il suo ex allievo Benoît Fourneyron ne fece una macchina industriale: nell'aprile 1827, nella ferriera di Pont-sur-l'Ognon, installò una turbina da sei cavalli con un salto di 1,40 metri.



Nella turbina di Fourneyron l'acqua va verso l'esterno, dalle direttrici fisse alla corona mobile.

Nel 1849 a Lowell, nel Massachusetts, James B. Francis costruì una turbina perfezionata a flusso centripeto e pubblicò le sue prove nel 1855. Nei distretti auriferi della California Lester Pelton realizzò la sua prima ruota nel 1878 e brevettò la cucchiaia doppia nel 1880.

Nel 1878 Lord Armstrong illuminò la sua casa di Cragside, nel Northumberland, con lampade ad arco alimentate dall'acqua dei laghi della tenuta. Ad Appleton, nel Wisconsin, una centrale fornì corrente continua dal 30 settembre 1882. Nel 1895 la centrale Adams alle cascate del Niagara avviò generatori Westinghouse da 5.000 cavalli, a corrente alternata secondo il sistema di Nikola Tesla; da novembre 1896 la sua corrente raggiunse Buffalo. Viktor Kaplan depositò nel 1913 il brevetto delle pale orientabili, e la prima turbina Kaplan industriale entrò in funzione a Velm, in Austria, nel 1919.

Nel 2023 il mondo contava 1.412 GW di potenza idroelettrica. La diga delle Tre Gole, in Cina, ne ha da sola 22,5 GW, e per il suo bacino sono state spostate circa 1,3 milioni di persone. Le dighe sbarrano la strada ai pesci migratori e trattengono i sedimenti: secondo uno studio pubblicato nel 2019, solo il 37 % dei 246 fiumi più lunghi del mondo scorreva ancora libero per tutta la sua lunghezza.

Dati chiave

Prima turbina industriale

Benoît Fourneyron, aprile 1827, Pont-sur-l'Ognon (Francia): 6 CV con un salto di 1,40 m

Potenza disponibile

$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$

Le cucchiaie doppie di Pelton

Brevetto statunitense 233.692, 26 ottobre 1880

Centrale più grande

Diga delle Tre Gole, Cina: 22,5 GW

Potenza idroelettrica mondiale

1.412 GW nel 2023

Fonti

1. Usine de transformation des métaux dite forges de Pont-sur-l'Ognon (IA70000081) · Ministère de la Culture, base Mérimée https://pop.culture.gouv.fr/notice/merimee/IA70000081
2. Instrument de démonstration en mécanique des fluides n° 5 : tourniquet hydraulique · Inventaire du patrimoine, Région Bourgogne-Franche-Comté https://patrimoine.bourgognefranchecomte.fr/dossier/pdf/IM21008546
3. Boyden Hydraulic Turbines (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/AboutASME/Who%20We%20Are/Engineering%20History/Landmarks/5-Boyden-Hydraulic-Turbines-1871.pdf
4. #157 Pelton Waterwheel Collection · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/157-pelton-waterwheel-collection
5. US 233,692: Water-wheel (L. A. Pelton, 26 October 1880) · United States Patent Office, via Google Patents https://patents.google.com/patent/US233692A/en
6. 100 Jahre Kaplan-Turbine (H. Jaberg, WasserWirtschaft 6/2014) · Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, TU Graz https://www.hfm.tugraz.at/fileadmin/user_upload/pics/news/2020/201406_Helmut_Jaberg_Viktor-Kaplan-Kaplanturbine.pdf
7. History of Cragside · National Trust https://www.nationaltrust.org.uk/visit/north-east/cragside/history-of-cragside
8. Milestones: Vulcan Street Plant, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Vulcan_Street_Plant,_1882
9. Milestones: Adams Hydroelectric Generating Plant, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Adams_Hydroelectric_Generating_Plant,_1895
10. Niagara Power Houses · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/niagara/
11. Types of Hydropower Turbines · U.S. Department of Energy, Water Power Technologies Office https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines
12. Turbine types · Electrical and Mechanical Services Department, Hong Kong SAR Government https://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric/Turbine_types.html
13. Glossary of Hydropower Terms · U.S. Bureau of Reclamation https://www.usbr.gov/power/edu/Glossary%20of%20Hydropower%20Terms.pdf
14. Hydraulic head · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Hydraulic_head
15. Water (FAO Training Series), chapter 3: Estimates of water flow · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705e/x6705e03.htm
16. 2024 World Hydropower Outlook · International Hydropower Association https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook
17. Thousands being moved from China's Three Gorges, again (Reuters) · Eco-Business https://www.eco-business.com/news/thousands-being-moved-from-chinas-three-gorges-again/
18. New study: just one-third of the world's longest rivers remain free-flowing · McGill University Reporter (on Grill et al., Nature 569, 2019) https://reporter.mcgill.ca/new-study-just-one-third-of-the-worlds-longest-rivers-remain-free-flowing/
19. Fluid Machinery, lectures 26–27: Pelton wheel · NPTEL, Indian Institute of Technology Kanpur https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_7/7_5.html
20. Pelton Impulse Water Turbine Design Formulas · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hydraulic/pelton_impulse_water_turbine_15629.htm

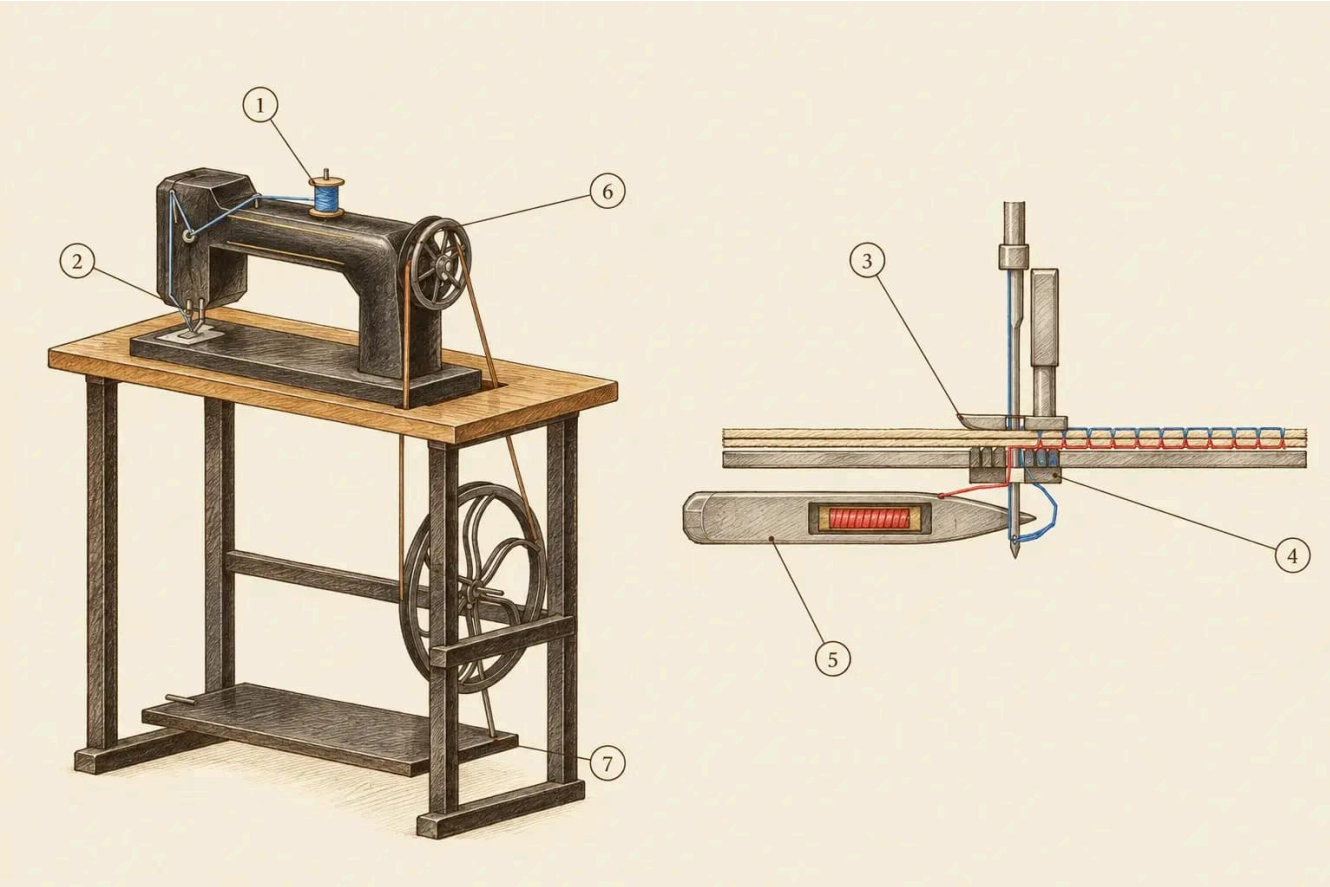
Fatti verificati il 2026-10-14

Macchina da cucire

Mille punti al minuto

1830 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Ingranaggi (p. 154), Siderurgia del ferro (p. 137), Tessitura (p. 44), Acciaio (p. 141)



1 Rocchetto del filo superiore 2 Barra dell'ago e ago 3 Piedino premistoffa 4 Griffa di trasporto 5 Navetta con spolina 6 Volantino 7 Pedale e volano

Una macchina da cucire unisce il tessuto con punti formati meccanicamente, il più delle volte allacciando un filo superiore, portato da un ago con la cruna vicino alla punta, a un filo inferiore custodito in una navetta o in una capsula della spolina. La macchina a punto catenella di Barthélemy Thimonnier, del 1830, fu la prima usata in un laboratorio; il brevetto del punto annodato di Elias Howe nel 1846 e la macchina di Isaac Singer nel 1851 ne fecero uno strumento dell'industria e della casa.

Che cos'è

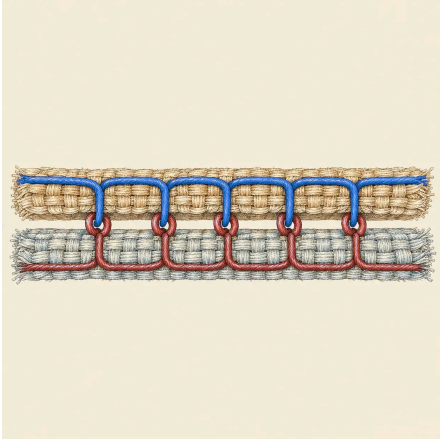
Una macchina da cucire fa passare un ago infilato ripetutamente attraverso il tessuto, e a ogni passaggio annoda il filo perché i punti tengano. Il suo meccanismo ripete pochi movimenti: l'ago scende e risale, un crochet o una navetta afferra il filo sotto la stoffa e il tessuto avanza di un punto.

La maggior parte delle macchine fa il punto annodato: due fili, uno dall'alto e uno dal basso, si allacciano a metà dello spessore della stoffa. La macchina tipica degli anni Sessanta-Ottanta dell'Ottocento, quella che portò il

cucito a macchina nelle botteghe e nelle case, era una testa di ghisa su un supporto a pedale, con ago diritto e navetta a forma di barca.

Come funziona

L'ago di una macchina da cucire ha la cruna vicino alla punta, al contrario di un ago a mano, e non viene mai lasciato: resta stretto nella sua barra mentre punta e cruna attraversano la stoffa. Porta il filo superiore attraverso il tessuto e il foro della placca d'ago. Quando comincia a risalire, l'attrito trattiene un po' di filo sotto la stoffa e accanto all'ago si apre un piccolo cappio.



In un punto annodato finito, il filo superiore e quello inferiore si allacciano fra gli strati di stoffa.

In quell'istante la navetta appuntita passa nel cappio, portando dentro una piccola spolina di filo inferiore. Il cappio scivola intorno alla navetta e ne esce dietro, così il filo superiore avvolge ora quello inferiore. Il tendifilo, davanti alla macchina, tira allora il filo superiore e l'incrocio risale a metà della stoffa. Molle di tensione su entrambi i fili decidono dove si ferma: se un filo è troppo teso, il nodo si vede su una faccia.

La navetta a barca contiene la spolina del filo inferiore; il filo esce da un foro sul fianco, dove una piccola molla, qui non disegnata, ne regola la tensione.

Tra un punto e l'altro la stoffa deve avanzare. Il piedino la preme su una piccola barretta dentata, la griffa, che esce da fessure della placca, spinge il tessuto di una lunghezza di punto e poi ridiscende. Lo stesso albero principale che muove la barra dell'ago con una manovella aziona da sotto la navetta e la griffa, e così i tre movimenti restano sincronizzati. In una macchina a pedale i piedi fanno oscillare un largo pedale di ferro, una biella fa girare un pesante volano e una cinghia di cuoio porta il moto fino al volantino sul braccio.

Il punto catenella a un filo, più antico, non ha bisogno del filo inferiore. Nella macchina di Thimonnier un ago a uncino tirava ogni nuovo cappio attraverso il precedente; le macchine successive a catenella a un filo usano un ago con la cruna e, sotto, un crochet che trattiene ogni cappio per il punto seguente. È un punto veloce, ma se si tira il capo del filo alla fine della cucitura, l'intera cucitura può disfarsi.

Come costruirla

Una macchina da cucire vera richiede aghi temprati, camme e pezzi ben aggiustati, fatti in un'officina meccanica. Un grande modello su un semplice telaio mostra come si allacciano i due fili di un punto annodato.

Fare il telaio. Tendete un pezzo di tela di juta a trama larga su una cornice o un telaio da ricamo e fissatelo a un'altezza comoda, lasciando spazio per passare la mano sotto.

Fare l'ago. Prendete un tondino di legno lungo circa 30 cm e spesso 8 mm, appuntite un'estremità con un temperamatite lasciandola smussata e praticate un foro da 4 mm a circa 1 cm dalla punta. Infilate in questa cruna un filo di lana grosso di un colore, lasciando una coda di circa 15 cm.

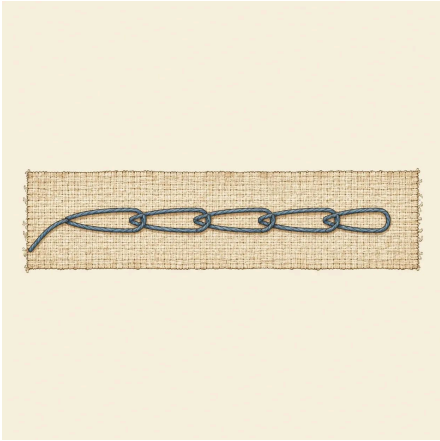
Fare la navetta. Avvolgete circa due metri di filo di lana di un secondo colore attorno a una molletta da bucato o a una piccola navetta di legno. Prima del primo punto fissate con nastro adesivo il capo di ciascun filo al retro del telaio, così che non si sfili.

Cucire. Una persona spinge l'ago nella juta finché la cruna è ben sotto, poi lo solleva di un centimetro tenendo fermo il filo sopra la stoffa, così che sotto si apra un cappio. Una seconda persona fa passare la navetta nel cappio, da davanti a dietro, svolgendo filo quando serve. Risollevate l'ago e tirate i due fili finché l'incrocio affonda nella trama. Fate il punto successivo circa 2 cm più avanti sulla stoffa e ripetete. Girando il telaio si vedono i due colori legati fra le due facce.

> **Sicurezza.** Per forare bloccate il pezzo in una morsa o con un morsetto e tenete le dita lontane dalla punta. Su una macchina da cucire vera tenete le dita lontane dall'ago in movimento, non mettete mai la mano sotto il piedino mentre la macchina gira e spegnete e staccate la spina di una macchina elettrica prima di infilarla, cambiare l'ago o togliere i pelucchi.

Storia ed evoluzione

Dalla fine del Settecento diversi inventori brevettarono congegni per cucire, ma la prima macchina usata nella produzione fu quella del sarto francese Barthélemy Thimonnier, brevettata nel 1830. Faceva il punto catenella con un ago a uncino, come nel ricamo a tamburo. Presto ebbe 80 macchine che cucivano abiti militari in un laboratorio parigino. Una folla di sarti, temendo per il proprio mestiere, vi entrò e le distrusse. Quasi tutti i resoconti datano l'assalto al 1831; alcuni lo spostano di dieci anni. Thimonnier morì nel 1857.



Nel punto catenella ogni asola è trattenuta solo dalla successiva. Nulla trattiene l'ultima, così tirando il filo da quel capo la cucitura si disfa un'asola dopo l'altra.

Negli Stati Uniti Elias Howe ottenne il 10 settembre 1846 il brevetto n. 4750 per una macchina a punto annodato. Usava un ago curvo con la cruna vicino alla punta e una navetta con il secondo filo, e lui sosteneva che cucisse 250 punti al minuto. Nel 1851 Isaac Merritt Singer brevettò una macchina il cui ago diritto saliva e scendeva sopra un piano, la disposizione usata ancora oggi. I brevetti si sovrapponevano e i fabbricanti si fecero causa a vicenda fino al 1856, quando Howe, Singer, Wheeler and Wilson e Grover and Baker misero in comune i loro brevetti nella Sewing Machine Combination; Howe riceveva un compenso su ogni macchina venduta.

Edward Clark, socio di Singer, vendette le macchine a rate e tramite agenti che andavano di porta in porta. Nel 1875 furono concesse licenze per circa 250.000 macchine Singer, contro circa 104.000 del concorrente più vicino, Wheeler and Wilson. I crochet rotativi sostituirono la navetta sulle macchine veloci, dalla fine dell'Ottocento si montarono motori elettrici e le fabbriche di abbigliamento finirono per dipendere da file di macchine a motore che cucivano diverse migliaia di punti al minuto.

Dati chiave

Macchina di Thimonnier

Brevettata in Francia nel 1830; 80 macchine cucivano uniformi a Parigi finché dei sarti non le distrussero

Brevetto di Singer

12 agosto 1851: ago diritto con moto verticale sopra un piano

Macchine Singer su licenza nel 1875

Circa 250.000 macchine su licenza, più del doppio del concorrente più vicino

Brevetto del punto annodato di Howe

Brevetto statunitense n. 4750, 10 settembre 1846; 250 punti al minuto secondo lui

Sewing Machine Combination

1856, il primo consorzio di brevetti dell'industria americana

Fonti

1. Copy of Thimonnier's chain-stitch sewing machine, 1830 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44718/copy-of-thimonniers-chain-stitch-sewing-machine-1830-sewing-machines
2. Sewing Machine (Designs for Democracy) · U.S. National Archives https://www.archives.gov/exhibits/designs_for_democracy/symbols_and_substance/articles/sewing_machine_1.html
3. Isaac M. Singer (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/isaac-m-singer/
4. 'New Family' sewing machine (model 12/12k) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1351206
5. The Invention of the Sewing Machine (Grace Rogers Cooper, Smithsonian Institution, 1968) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/files/32677/32677-h/32677-h.htm
6. Singer New Family sewing machine, 1865 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44768/singer-new-family-sewing-machine-1865-1
7. Instructions for using and adjusting the Singer 12K sewing machine · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/singer12k/
8. Howe Machine Company instruction book · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/howe/index4.html
9. Singer oscillating shuttle machines: retiming · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/28timing
10. Needles for domestic Singer sewing machines · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/needles

Fatti verificati il 2026-10-12

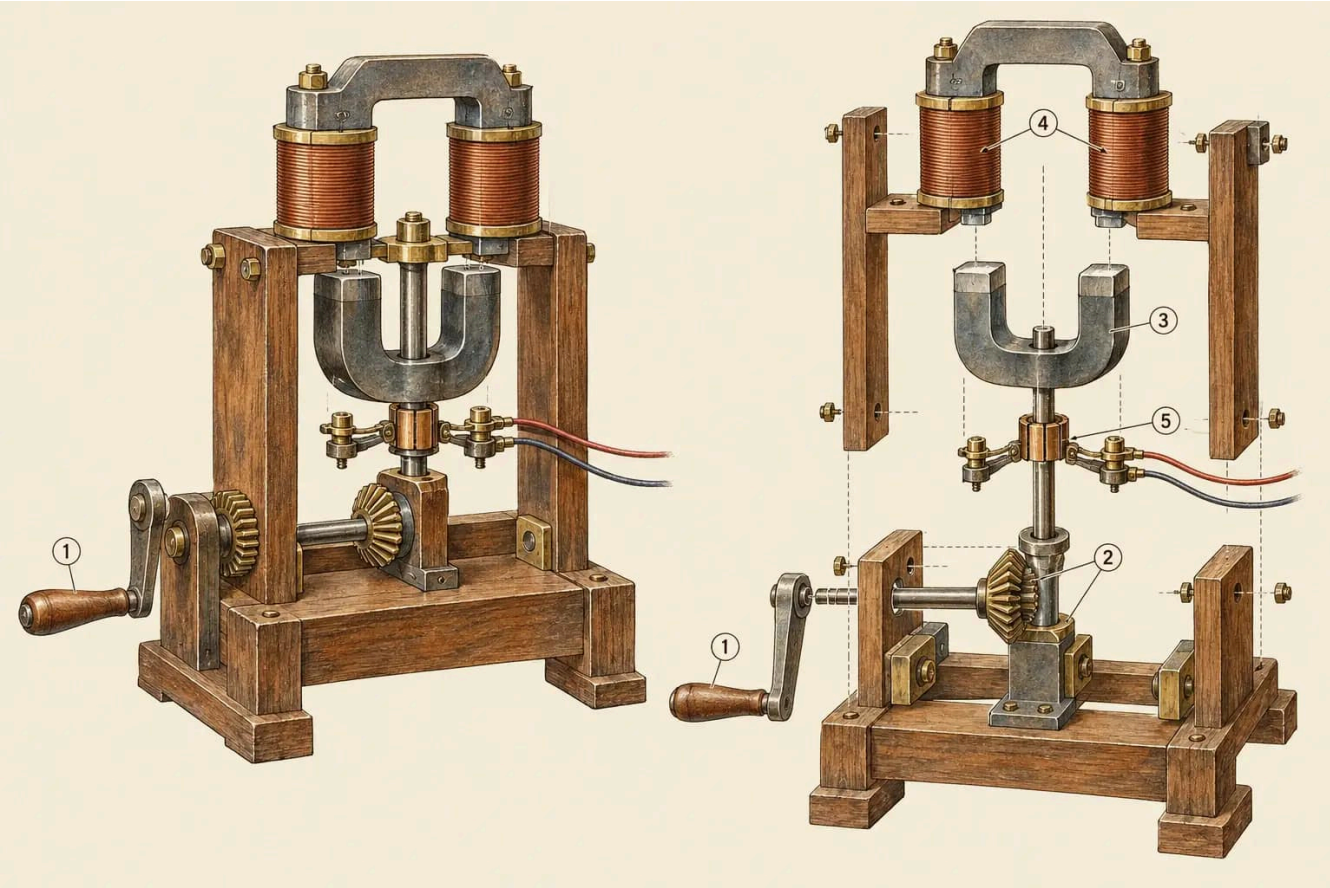
Generatore elettrico

Il moto trasformato in corrente

1831 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Pila (p. 240), Siderurgia del ferro (p. 137)

Porta a: Alluminio (p. 333), Accumulatore al piombo (p. 301), Lampadina a incandescenza (p. 319), Radio (p. 342), Turbina a vapore (p. 323), Trasformatore (p. 328), Turbina idraulica (p. 264), Turbina eolica (p. 337), Radiografia (p. 346)



1 Manovella 2 Ingranaggi conici 3 Magnete a ferro di cavallo 4 Bobine su nuclei di ferro 5 Commutatore e spazzole

Un generatore elettrico trasforma il movimento meccanico in corrente elettrica facendo scorrere un magnete e una bobina di filo l'uno davanti all'altra. Michael Faraday ne scoprì il principio nel 1831, e quasi tutta l'elettricità consumata oggi viene ancora da macchine basate su di esso.

Che cos'è

Un generatore trasforma in corrente elettrica il lavoro meccanico di una manovella, di una ruota idraulica, di una macchina a vapore o di una turbina. Servono un magnete, una bobina di filo di rame e un modo per far passare l'uno davanti all'altra.

Le pile costano care e si esauriscono; i generatori producevano elettricità in grande quantità dal carbone o da una caduta d'acqua. Centrali, alternatori d'auto, dinamo da bicicletta e turbine eoliche funzionano così.

Come funziona

Il principio è l'induzione elettromagnetica: quando il flusso magnetico attraverso una bobina (la quantità di campo che la attraversa) cambia, ai suoi capi compare una tensione. Se il flusso resta costante, non c'è tensione. Più il flusso cambia in fretta e più spire ha la bobina, più alta è la tensione.

L'anello a induzione di Faraday: l'ago si muoveva solo nell'istante in cui la pila veniva collegata o scollegata.

Nella macchina della tavola, costruita da Hippolyte Pixii nel 1832, una manovella fa girare un albero verticale tramite due ingranaggi conici. L'albero porta un magnete permanente a ferro di cavallo i cui poli passano appena sotto due bobine fisse su nuclei di ferro. Quando un polo nord arriva sotto una bobina, il flusso che la attraversa aumenta e la corrente scorre in un verso. Quando il polo si allontana, il flusso diminuisce e la corrente si inverte. Il polo sud ripete poi il ciclo con il campo rovesciato, così la macchina, da sola, produce corrente alternata.

Pixii aggiunse un commutatore, su suggerimento di André-Marie Ampère: un interruttore sull'albero che scambia le due uscite a ogni mezzo giro, proprio quando la corrente cambia verso. Ne esce una corrente continua pulsante, capace di caricare accumulatori o di scomporre l'acqua.

Il disco di Faraday del 1831 dava una debole corrente continua senza interruzioni.

Appena la corrente circola, le bobine diventano magneti e si oppongono al movimento: la manovella si fa più dura quando si collega una lampada. L'energia elettrica ottenuta è il lavoro della mano o del motore, meno le perdite per attrito e calore.

Nell'Ottocento i magneti permanenti erano deboli, e le grandi macchine usavano elettromagneti. In una dinamo autoeccitata li alimenta una parte della corrente prodotta dalla macchina stessa. Il magnetismo residuo del ferro fa nascere una piccola corrente, che rafforza il campo, che aumenta la corrente, finché la tensione si stabilizza a un livello fissato dalla velocità e dalla saturazione del ferro. Un generatore moderno di centrale fa ruotare un elettromagnete dentro avvolgimenti fissi; con due poli gira a 3.000 giri al minuto per dare 50 hertz, o a 3.600 per 60 hertz.

Come costruirlo

Un piccolo alternatore a manovella può accendere un LED o la lampadina di una torcia.

Costruire il rotore. Ritagliare un disco di compensato o di legno duro di circa 15 cm di diametro e incollare su una faccia otto magneti piatti a disco (in ferrite o al neodimio), ben distanziati vicino al bordo, in modo che le facce rivolte verso l'esterno si alternino: nord, sud, nord, sud. Legarli con lo spago, perché un magnete fissato male vola via ad alta velocità.

Avvolgere le bobine. Avvolgere otto bobine piatte di filo di rame smaltato da 0,3 a 0,5 mm, qualche centinaio di spire ciascuna, tutte nello stesso senso, su una sagoma grande circa come un magnete.

Montare lo statore. Fissare le bobine su una tavola parallela al rotore, una di fronte a ciascun magnete, a pochi millimetri di distanza. Due bobine vicine hanno sempre davanti poli opposti: collegarle quindi in serie invertendo

una bobina su due, così le tensioni si sommano.

Moltiplicare la velocità. Una cinghia tra una puleggia grande sulla manovella e una piccola sull'albero del rotore moltiplica la velocità per quattro o cinque.

Raddrizzare e provare. L'uscita è in corrente alternata. Quattro diodi a ponte la trasformano in corrente continua pulsante. Accendere un LED dal ponte attraverso una resistenza da un kiloohm e mezzo watt, che mantiene la corrente sotto circa 20 milliampere finché l'uscita resta sotto circa 20 volt; controllare la tensione con un tester prima di girare forte la manovella. Per caricare una batteria serve un regolatore di carica adatto al suo tipo, non bastano i diodi.

Senza magneti comprati, si possono magnetizzare barre d'acciaio dentro una bobina alimentata per qualche secondo da una batteria, con una lampadina d'auto in serie per limitare la corrente. Una dinamo autoeccitata, una volta avviata dal magnetismo residuo, non ha bisogno di magneti permanenti.

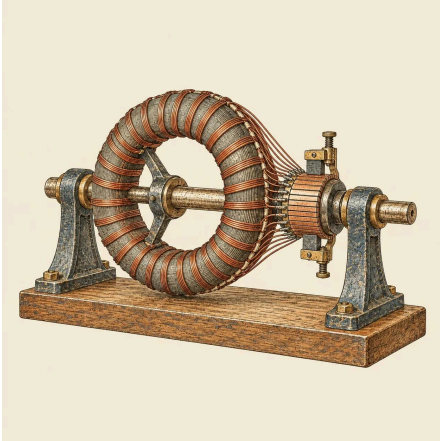
> **Sicurezza.** Le parti rotanti possono afferrare dita, capelli e abiti larghi: proteggere la cinghia e il rotore. I magneti al neodimio si attraggono così forte da pizzicare la pelle e frantumarsi; tenerli lontani dai portatori di pacemaker. La tensione cresce con la velocità e sulle macchine più grandi raggiunge livelli pericolosi. Non collegare mai un generatore artigianale o portatile all'impianto elettrico di un edificio o alla rete: la corrente reimmessa nelle linee può uccidere chi ci lavora, e solo un elettricista che installa un commutatore di rete adeguato può fare questo collegamento.

Storia ed evoluzione

Nel 1820 Hans Christian Ørsted mostrò che una corrente elettrica devia l'ago di una bussola. Michael Faraday ne dedusse che il magnetismo doveva poter produrre a sua volta elettricità. Il 29 agosto 1831, alla Royal Institution di Londra, avvolse due bobine su un anello di ferro e vide l'ago di un galvanometro scattare ogni volta che collegava o scollegava una pila sull'altra bobina. In autunno fece girare un disco di rame tra i poli di un magnete e ne ricavò una corrente continua. Presentò i risultati alla Royal Society il 24 novembre 1831.

Entro un anno Pixii, costruttore di strumenti a Parigi, realizzò la macchina della tavola. Nel 1866 e nel 1867 Samuel Alfred Varley, Werner Siemens e Charles Wheatstone annunciarono ciascuno la dinamo autoeccitata, e Siemens diede il nome al principio «dinamoelettrico». Intorno al 1870 Zénobe Gramme costruì un indotto ad anello che dava una corrente regolare.

Il 4 settembre 1882 la centrale di Thomas Edison in Pearl Street, a New York, cominciò a fornire corrente continua a 110 volt con sei dinamo «Jumbo» azionate a vapore. La corrente alternata prevalse poi sulle lunghe distanze, perché i trasformatori ne alzano la tensione; nel 1891 una linea trifase portò energia per 175 km, da Lauffen am Neckar a Francoforte. Charles Parsons accoppiò una dinamo a una turbina a vapore nel 1884, e da allora i generatori azionati da turbine alimentano la maggior parte delle grandi centrali. Nel 1975 entrò in servizio alla diga di Grand Coulee il primo di tre gruppi da 600 MW, con uno statore di 22 metri di diametro.



L'anello di Gramme distribuiva l'avvolgimento tutto intorno all'indotto, così la corrente pulsava appena.

Dati chiave

Scoperta dell'induzione
29 agosto 1831, Michael Faraday

Dinamo autoeccitata
1866-1867 (Varley, Siemens, Wheatstone)

Macchina magnetoelettrica di Pixii
Parigi, 1832

Centrale di Pearl Street, 1882
Sei dinamo da circa 100 kW ciascuna, corrente continua a 110 V

Fonti

1. Michael Faraday · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/michael-faraday/
2. Magnetoelectric machine by Pixii · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/MagnetoelectricMachineByPixii.html
3. Chronik: Generatoren · VDE Verband der Elektrotechnik https://www.vde.com/de/geschichte/chronik/generatoren
4. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

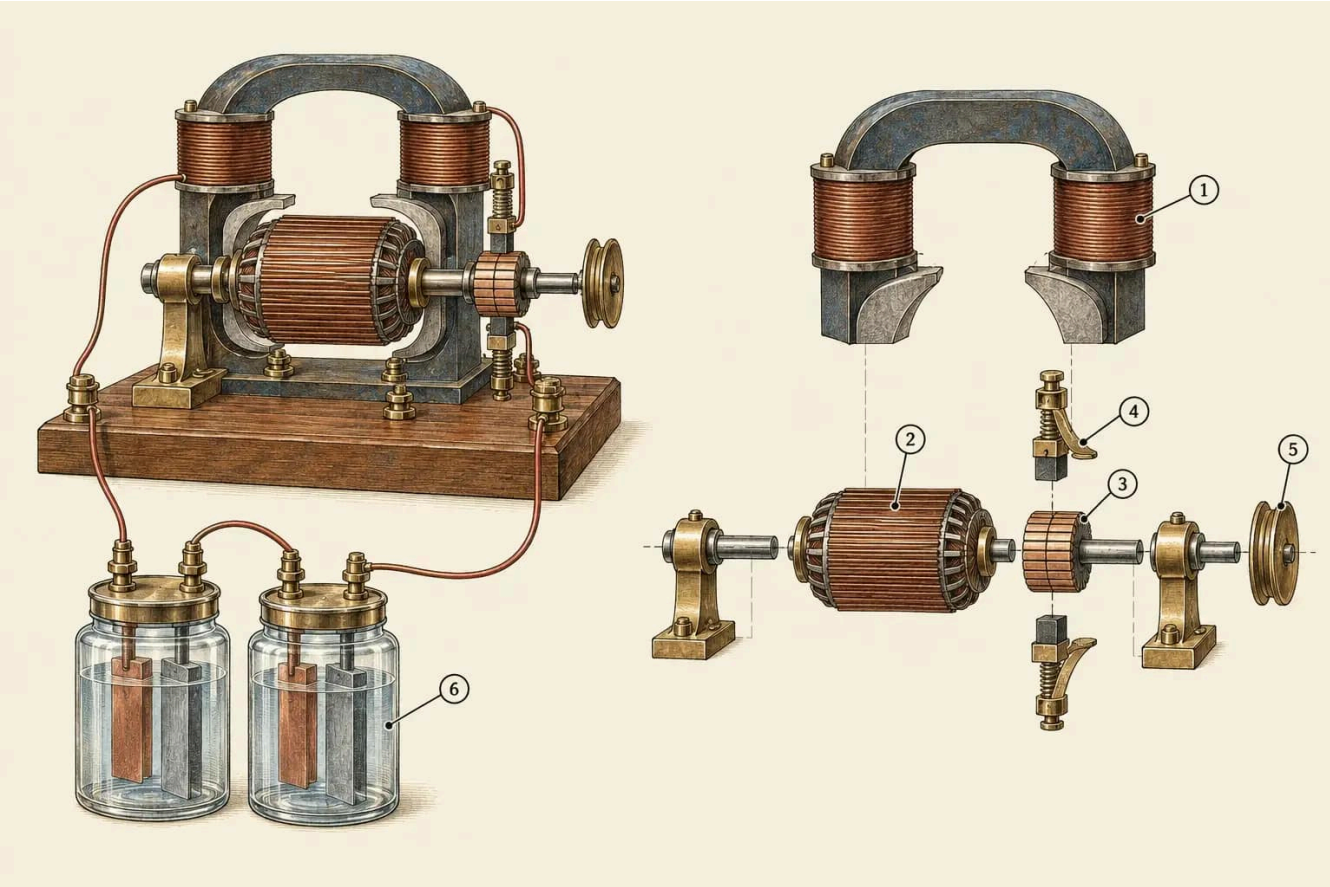
Fatti verificati il 2026-10-11

Motore elettrico

La corrente trasformata in rotazione

1834 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Pila (p. 240), Siderurgia del ferro (p. 137)



1 Magnete di campo (induttore) 2 Avvolgimento dell'indotto 3 Commutatore 4 Spazzola 5 Albero e puleggia 6 Pila

Un motore elettrico trasforma la corrente in rotazione: una bobina percorsa da corrente tra i poli di un magnete riceve una spinta laterale, e un commutatore o un campo rotante mantiene quella spinta nello stesso verso. Il motore di Moritz Jacobi del 1834 erogava molta più potenza di tutti i precedenti; oggi i sistemi azionati da motori consumano circa metà dell'elettricità mondiale.

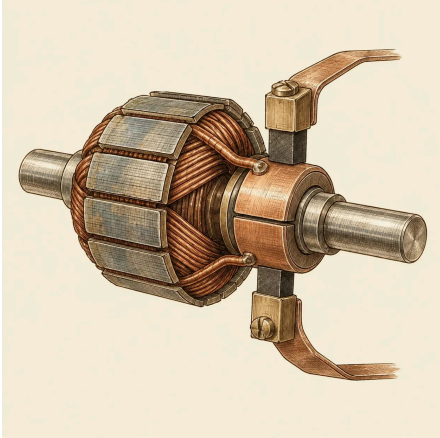
Che cos'è

Un motore elettrico trasforma la corrente elettrica in rotazione. Muove ventilatori, pompe, ascensori, tram e macchine utensili. La piattaforma Electric Motor Systems del programma 4E dell'Agenzia internazionale dell'energia stima che i sistemi azionati da motori abbiano consumato circa il 53% dell'elettricità mondiale nel 2023.

La tavola mostra un motore a corrente continua della fine dell'Ottocento alimentato da una pila.

Come funziona

Un filo percorso da corrente dentro un campo magnetico riceve una spinta laterale, perpendicolare sia alla corrente sia al campo. In una bobina posta fra due poli, i due lati lunghi sono percorsi dalla corrente in versi opposti: uno viene spinto in su, l'altro in giù, e la bobina gira.



Commutatore a due settori: a ogni mezzo giro le spazzole passano all'altra metà.

Da sola, la bobina ruoterebbe finché il suo piano non fosse perpendicolare al campo, oscillerebbe un poco e lì si fermerebbe. Il commutatore lo impedisce. È un anello montato sull'albero e diviso in settori isolati, ciascuno collegato alla bobina; due spazzole fisse vi strisciano sopra e portano la corrente. Nella forma più semplice, a due settori, le spazzole passano all'altro settore a ogni mezzo giro, la corrente nella bobina si inverte e la coppia continua ad agire nello stesso verso.

L'indotto di una macchina porta molte bobine distribuite attorno a un tamburo di ferro, ciascuna collegata ai propri settori, così la coppia resta regolare. Il ferro è fatto di lamierini sottili isolati, perché in un nucleo pieno circolerebbero correnti parassite che sprecano energia in calore. Il campo viene da magneti permanenti in molti motori piccoli, e da elettromagneti nella maggior parte delle macchine dell'Ottocento, come quella della tavola.

Un indotto che gira funziona anche da generatore. Le sue bobine producono una tensione opposta a quella di alimentazione, la forza controelettromotrice, che cresce con la velocità. All'avvio non c'è, e la corrente può essere parecchie volte quella di regime. Man mano che il motore accelera, questa tensione sale e la corrente scende, finché la coppia eguaglia il carico. Se la si fa girare a mano, con il campo eccitato e un carico collegato, la stessa macchina fornisce corrente: motore e generatore sono un unico apparecchio usato nei due sensi.

I motori a induzione, alimentati in corrente alternata, non hanno commutatore. Avvolgimenti fissi percorsi da correnti sfasate creano un campo magnetico rotante. Questo induce correnti nelle barre di rame o alluminio del rotore, che gira un po' più lentamente del campo.

Come costruirlo

Il motore da laboratorio scolastico richiede una pila da 1,5 V (torcia o stilo), circa un metro di filo di rame smaltato da 0,5 a 0,8 mm, due graffette grandi, un magnete a disco in ferrite o neodimio, un elastico robusto e carta vetrata fine.

Avvolgere la bobina. Avvolgere il filo da 10 a 20 volte attorno a un pennarello, lasciando 4-5 cm diritti a ogni estremità. Passare ogni capo due volte attorno al fascio per tenerlo unito. I due capi devono uscire da lati opposti, allineati con il centro della bobina: fanno da asse.

Fare il commutatore. Su un capo, togliere tutto lo smalto con la carta vetrata. Sull'altro, tenere la bobina in verticale come sarà montata e togliere lo smalto solo dalla metà superiore del filo. Quel capo conduce per mezzo giro e isola per l'altro mezzo, così la bobina non riceve mai una spinta all'indietro; supera il mezzo giro morto per inerzia.

Montare i supporti. Piegare ogni graffetta in un montante con un piede piatto in basso e un piccolo occhiello in cima. Tendere l'elastico per il lungo attorno alla pila, sopra i due piedi, in modo che prema ciascuna graffetta

Il commutatore del motore a graffette: rame nudo sopra, smalto lasciato sotto; la corrente passa solo nel mezzo giro in cui il lato nudo poggia sulla graffetta.

contro un polo. Mettere il magnete sul fianco della pila, sotto gli occhielli: resta attaccato all'involucro d'acciaio. Appoggiare la bobina negli occhielli, pochi millimetri sopra il magnete.

Avviarlo. Dare alla bobina una leggera spinta. Se oscilla soltanto, girarla da capo a capo o ripassare la carta vetrata sul lato scoperto.

Farlo più grande. Un magnete più forte dà più coppia; anche più spire aiutano, purché il filo più lungo non riduca troppo la corrente. Un motore da officina riunisce più bobine su un nucleo di ferro lamellare, con un commutatore a molti settori e spazzole a molla, come nella tavola.

> **Sicurezza.** Usare solo una o due comuni pile da 1,5 V: mai la rete elettrica, una batteria d'auto o una batteria agli ioni di litio. La bobina è quasi un cortocircuito, e queste sorgenti possono erogare abbastanza corrente da ustionare la pelle, fondere il filo o appiccare un incendio. Anche una piccola pila si scalda, che il motore giri o no: fare prove brevi e sorvegliate, e staccare la pila appena lei o il filo si intiepidiscono, prima di regolare o carteggiare, e alla fine. I magneti al neodimio si attraggono con tanta forza da pizzicare la pelle e possono frantumarsi. Tenerli lontani da pacemaker e altri impianti medici e fuori dalla portata dei bambini piccoli: due magneti ingeriti possono attrarsi attraverso la parete dell'intestino.

Storia ed evoluzione

Nel 1820 Hans Christian Ørsted vide deviare l'ago di una bussola vicino a un filo percorso da corrente. Il 3 settembre 1821 Michael Faraday fece girare attorno a un magnete un filo immerso nel mercurio, e nel 1822 Peter Barlow fece ruotare una ruota a stella fra i poli di un magnete. Erano dimostrazioni di potenza quasi nulla. I campi intensi arrivarono con l'elettromagnete, che William Sturgeon realizzò a metà degli anni Venti dell'Ottocento, e verso il 1832 William Ritchie e Sturgeon costruirono macchine rotanti con commutatore.

La rotazione di Faraday (1821): il capo libero del filo gira attorno al magnete.

Nel maggio 1834, a Königsberg, Moritz Hermann Jacobi completò un motore con otto elettromagneti a ferro di cavallo che sviluppava circa 15 watt. Questa tavola sceglie il 1834: Faraday aveva mostrato il principio e la piccola macchina di Sturgeon girava già uno spiedo, ma la macchina di Jacobi era molto più potente, e nessun altro costruttore la eguagliò prima del 1839 circa. Il brevetto americano di Thomas Davenport arrivò nel 1837.

Le pile rendevano costosi questi motori finché il generatore non portò corrente a buon mercato. Nel 1873 si scoprì che una dinamo di Zénobe Gramme girava come motore se un'altra la alimentava. Galileo Ferraris, a Torino, studiò il campo rotante dal 1885 e pubblicò nel marzo 1888; Nikola Tesla, che lavorava per conto suo a New York, ottenne il brevetto del motore a induzione il 1° maggio 1888. Oggi motori a magneti permanenti comandati dall'elettronica muovono droni e auto elettriche.

Dati chiave

Motore di Jacobi, maggio 1834

Circa 15 W a 60–130 giri/min, alimentato da pile zinco-rame

Primo brevetto di motore negli Stati Uniti

Thomas Davenport, brevetto n. 132, febbraio 1837

Campo magnetico rotante

Galileo Ferraris, pubblicato nel marzo 1888; brevetto di Nikola Tesla, 1° maggio 1888

Quota dell'elettricità mondiale

Circa il 53% consumato dai sistemi a motore nel 2023

Fonti

1. The invention of the electric motor 1800–1854 · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1376.php
2. Jacobi's Motor · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1382.php
3. 200 Years Ago, Faraday Invented the Electric Motor · IEEE Spectrum https://spectrum.ieee.org/200-years-ago-faraday-invented-the-electric-motor
4. Barlow's Wheel – 1822 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/barlow-s-wheel-1822/
5. Replica of William Sturgeon's rotary electromagnetic engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36713/replica-of-william-sturgeons-rotary-electromagnetic-engine
6. Zenobe Gramme · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Zenobe_Gramme
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885–1888 · IEEE, Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Tesla's Electro-magnetic motor · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Tesla's_Electro-magnetic_motor
9. AC Motors · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/motorac.html
10. Simple DC Motor (demonstration 5K40.18) · Oberlin College Physics Department https://www2.oberlin.edu/physics/catalog/demonstrations/em/simpledcmotor.html
11. Policy Brief: Electric Motor Systems, why are they important? · IEA 4E Electric Motor Systems Platform (EMSA) https://www.iea-4e.org/emsa/publications/policy-brief-electric-motor-systems-why-are-they-important/
12. College Physics 2e, 22.8 Torque on a Current Loop: Motors and Meters · OpenStax, via LibreTexts https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/22%3A_Magnetism/22.08%3A_Torque_on_a_Current_Loop_-_Motors_and_Meters
13. College Physics 2e, 23.6 Back Emf · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/23-6-back-emf
14. RE-280RA/SA metal-brush motor datasheet · Mabuchi Motor Co. (copy hosted by the University of North Carolina at Charlotte) https://webpages.charlotte.edu/~jmconrad/ECGR4161-2009-01/labs/re_280rasa.pdf

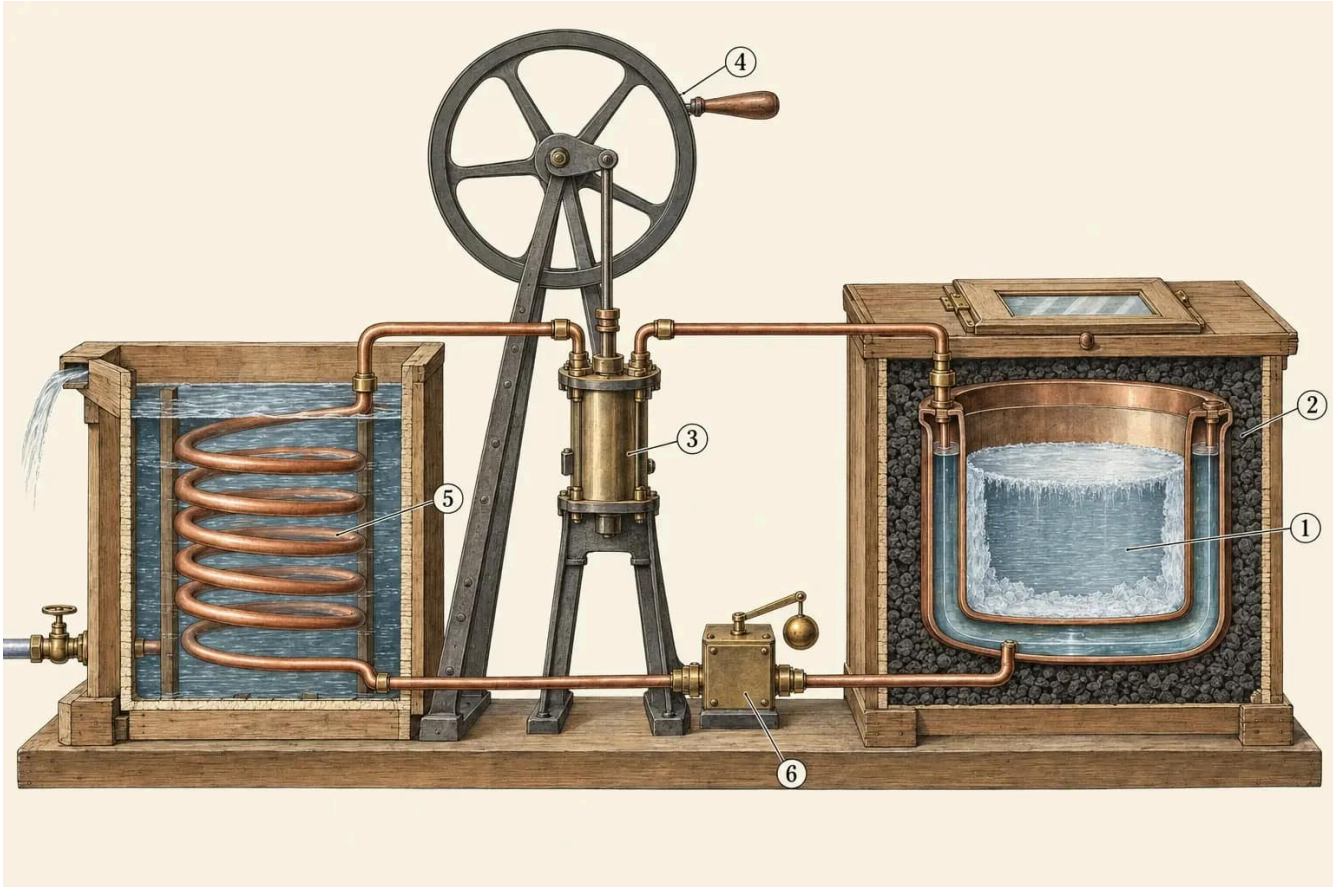
Fatti verificati il 2026-10-14

Refrigerazione

Pompare il calore fuori da una scatola

1834 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Macchina a vapore (p. 227), Pompa a pistone (p. 162), Termometro e barometro (p. 222), Distillazione (p. 174)



1 Recipiente a doppia parete con l'acqua da congelare 2 Cassa riempita di carbone di legna 3 Pompa 4 Volano e maniglia 5 Serpentina nella vasca dell'acqua di raffreddamento 6 Scatola della valvola zavorrata

La refrigerazione mantiene uno spazio più freddo dell'ambiente facendovi bollire un liquido, che assorbe calore, e portando poi il vapore all'esterno per comprimerlo e riportarlo allo stato liquido. Jacob Perkins brevettò a Londra nel 1834 la prima macchina a compressione di vapore a circuito chiuso; le macchine ad ammoniaca raffreddavano birrifici e navi negli anni Settanta dell'Ottocento, e il frigorifero elettrico domestico si diffuse dalla fine degli anni Venti del Novecento.

Che cos'è

Un frigorifero toglie calore a uno spazio chiuso e lo scarica fuori, dal freddo verso il caldo, al contrario di come il calore scorre da sé. Il cibo si conserva più a lungo perché i batteri e le muffe che lo guastano crescono lentamente al freddo. Le stesse macchine producono ghiaccio, raffreddano la birra durante la fabbricazione, portano carne congelata da un continente all'altro e climatizzano gli edifici.

Quasi tutte funzionano con il ciclo a compressione di vapore. La tavola ne mostra la prima forma funzionante: una macchina a etere che l'ingegnere John Hague costruì a Londra sul brevetto di Jacob Perkins del 1834. La pompa

era azionata a mano.

Come funziona

Un liquido che evapora prende calore da tutto ciò che tocca; il sudore rinfresca la pelle allo stesso modo. Più la pressione è bassa, più la temperatura di ebollizione scende: l'etere bolle a circa 35 °C all'aria aperta, ma in un recipiente in cui una pompa tiene bassa la pressione bolle ben al di sotto del punto di congelamento dell'acqua.

Il doppio vaso di terracotta sfrutta lo stesso effetto: l'acqua che evapora dalla sabbia umida sottrae calore al vaso interno.

Nella macchina di Hague il recipiente di rame a doppia parete contiene nella vaschetta interna l'acqua da congelare, e l'etere occupa lo spazio fra le due pareti. La pompa aspira il vapore d'etere dalla parte alta di questa camicia, così l'etere liquido continua a bollire e sottrae calore all'acqua finché non gela. Carbone di legna in polvere pressato intorno al recipiente frena il calore che arriva dalla stanza.

La stessa pompa spinge poi il vapore in un tubo di rame avvolto, la serpentina, immerso in una vasca d'acqua corrente. Una valvola caricata a circa 15 libbre per pollice quadrato, poco più di un bar, trattiene il vapore sotto pressione nella serpentina. Compresso e raffreddato dall'acqua, il vapore torna liquido e cede il calore preso al recipiente, più il lavoro fornito alla pompa. Il liquido supera la valvola, la sua pressione cala e torna nella camicia per bollire di nuovo. La stessa carica di etere gira così in tondo senza consumarsi.

Un frigorifero moderno fa lo stesso con un compressore elettrico, una griglia di tubi sul retro che scalda la cucina, un tubo sottile o una valvola dove la pressione cala, e un evaporatore dentro l'apparecchio. I frigoriferi ad assorbimento sostituiscono la pompa con un liquido che assorbe il vapore del refrigerante e con un bruciatore o una resistenza che lo scaccia di nuovo.

Come costruirlo

Un vero circuito frigorifero contiene un fluido volatile sotto pressione. L'etere è molto infiammabile e il suo vapore può esplodere; l'ammoniaca è tossica; i refrigeranti di oggi sono conservati liquidi a diversi bar e alcuni sono infiammabili. Le macchine si costruiscono e si caricano in fabbrica; lasciate qualsiasi apertura, carica o svuotamento di un circuito a frigoristi qualificati, secondo le norme locali. Non costruite compressori né recipienti a pressione, e non tagliate né forate mai i tubi di un vecchio frigorifero.

L'effetto su cui si basa si può mostrare senza rischi con un raffreddatore a doppio vaso.

Scegliere i vasi. Prendete due vasi di terracotta non smaltata, nuovi e puliti, uno più largo dell'altro di circa 5 cm tutto intorno; quello interno, che tocca il cibo, deve essere venduto per uso alimentare, mai un vecchio vaso da giardino. Chiudete i fori di scolo con argilla o un tappo di sughero.

Riempire l'intercapedine. Mettete uno strato di sabbia sul fondo del vaso grande, appoggiatevi sopra il piccolo e riempite di sabbia lo spazio fra i due fino all'orlo.

Bagnare. Versate acqua pulita nella sabbia finché è inzuppata ma non allagata. Coprite il vaso interno con un panno di cotone umido.

Sistemare. Mettete il raffreddatore all'ombra, dove l'aria secca gli circola intorno. L'acqua che trasuda dalla parete esterna evapora e sottrae calore alla sabbia e al vaso interno. Con aria calda e secca l'interno può restare alcuni

gradi sotto la temperatura ambiente; con aria umida l'effetto è scarso. Aggiungete acqua una o due volte al giorno.

> **Sicurezza.** Un raffreddatore a evaporazione rallenta soltanto il deterioramento: non arriva ai 5 °C o meno necessari per carne, pesce e latticini; usatelo solo per frutta e verdura intere, non tagliate, che si conservano a temperatura ambiente, mai per frutta tagliata, insalate o cibi cotti, e controllatene la temperatura con un termometro. Tenete puliti sabbia e panno e fate asciugare spesso i vasi per evitare la muffa. Non aprite, forate o scaldate mai il circuito di un frigorifero o di un condizionatore.

Storia ed evoluzione

Prima che le macchine arrivassero in cucina, un blocco di ghiaccio raffreddava la ghiacciaia rivestita di zinco.

Molto prima di qualsiasi macchina si conservava il ghiaccio invernale in fosse e ghiacciaie e si rinfrescava l'acqua in brocche porose. In Scozia William Cullen mostrò che un liquido che evapora rapidamente a pressione ridotta, l'etere nella sua dimostrazione più nota, raffredda l'acqua circostante fino a farla gelare; i resoconti datano questi lavori fra il 1748 e il 1756. Rimase una dimostrazione di laboratorio. Nel 1805 l'americano Oliver Evans descrisse un ciclo chiuso a compressione di vapore, ma non lo costruì mai.

Jacob Perkins, inventore americano stabilito a Londra, brevettò una macchina a circuito chiuso il 14 agosto 1834. Hague la costruì; produsse un po' di ghiaccio ma non trovò compratori. L'idea divenne un'attività commerciale negli anni Cinquanta dell'Ottocento, quando James Harrison in Australia e Alexander Twining negli Stati Uniti costruirono le prime macchine per il ghiaccio vendute. Nel 1859 il francese Ferdinand Carré brevettò una macchina ad assorbimento con ammoniaca disciolta in acqua. Negli anni Settanta Carl von Linde progettò a Monaco macchine a compressione di ammoniaca; una delle prime, venduta nel 1876, andò a un birrificio di Trieste. Lo stesso anno la nave francese Frigorifique, attrezzata da Charles Tellier, trasportò per la prima volta via mare carne refrigerata fra Rouen e Buenos Aires.

I piccoli motori elettrici resero possibile il frigorifero domestico. Il Monitor Top della General Electric, del 1927, con il compressore in un tamburo sopra il mobile, costava circa 525 dollari al lancio e scese a circa 200 in pochi anni. I clorofluorocarburi come il freon, sviluppati nel 1928 e prodotti industrialmente dall'inizio degli anni Trenta, sostituirono poi i refrigeranti tossici o infiammabili dei primi apparecchi di casa, come l'anidride solforosa, il cloruro di metile e l'ammoniaca. In seguito si scoprì che distruggevano lo strato di ozono, e il Protocollo di Montréal del 1987 ne avviò l'abbandono; nel 2016 l'emendamento di Kigali vi aggiunse i loro sostituti, gli HFC, potenti gas serra. Nel 2024 l'Istituto internazionale della refrigerazione stimava che refrigerazione e climatizzazione consumino circa un quinto dell'elettricità mondiale.

Il Monitor Top del 1927: il compressore sta nel tamburo, e la serpentina di rame che lo circonda cede il calore tolto all'interno del mobile.

Dati chiave

Brevetto di Perkins

Brevetto britannico n. 6662, 14 agosto 1834, con etere come fluido

Macchina ad assorbimento ad ammoniaca di Carré

1859, Francia

Quota dell'elettricità mondiale usata per il freddo

Circa il 20% (Istituto internazionale della refrigerazione)

Valvola zavorrata della macchina di Hague

Caricata a circa 15 libbre per pollice quadrato (circa 1 bar)

Protocollo di Montréal sui gas che distruggono l'ozono

Firmato nel 1987, in vigore nel 1989; HFC aggiunti a Kigali nel 2016

Fonti

1. #274 Perkins Vapor-Compression Cycle for Refrigeration (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/getmedia/cb9bea09-6d23-425e-bfe5-5f6d786919fb/274-Perkins-Vapor-Comp-Refrig.pdf
2. Froid · Encyclopédie Larousse https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/froid/53766
3. Historical beginnings: using natural refrigeration · Chillventa / NürnbergMesse https://www.chillventa.de/en/expert-insights/refrigeration/beginnings-of-refrigeration
4. Cornerstones of compression: making cold · COMPRESSORtech2 https://www.compressortech2.com/news/cornerstones-of-compression-making-cold/8054876.article
5. GE Monitor-Top Refrigerator · Albany Institute of History & Art https://albanyinstitute.org/online-exhibition/50-objects/section/ge-monitor-top-refrigerator
6. The Montreal Protocol · UNEP Ozone Secretariat https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol
7. New IIR figures highlight the role of the refrigeration sector · International Institute of Refrigeration https://iifiir.org/en/news/de-nouveaux-chiffres-de-l-iif-mettent-en-lumiere-la-place-du-secteur-du-froid
8. Got a question about Monitor Top refrigerators? (model history) · cool386.com https://www.cool386.com/ge/ge1.html
9. Diethyl ether: phase change data (vapour pressure, enthalpy of vaporization) · NIST Chemistry WebBook https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C60297&Mask=4
10. Diethyl ether (compound summary, vapor pressure) · PubChem, National Library of Medicine https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3283

Fatti verificati il 2026-10-12

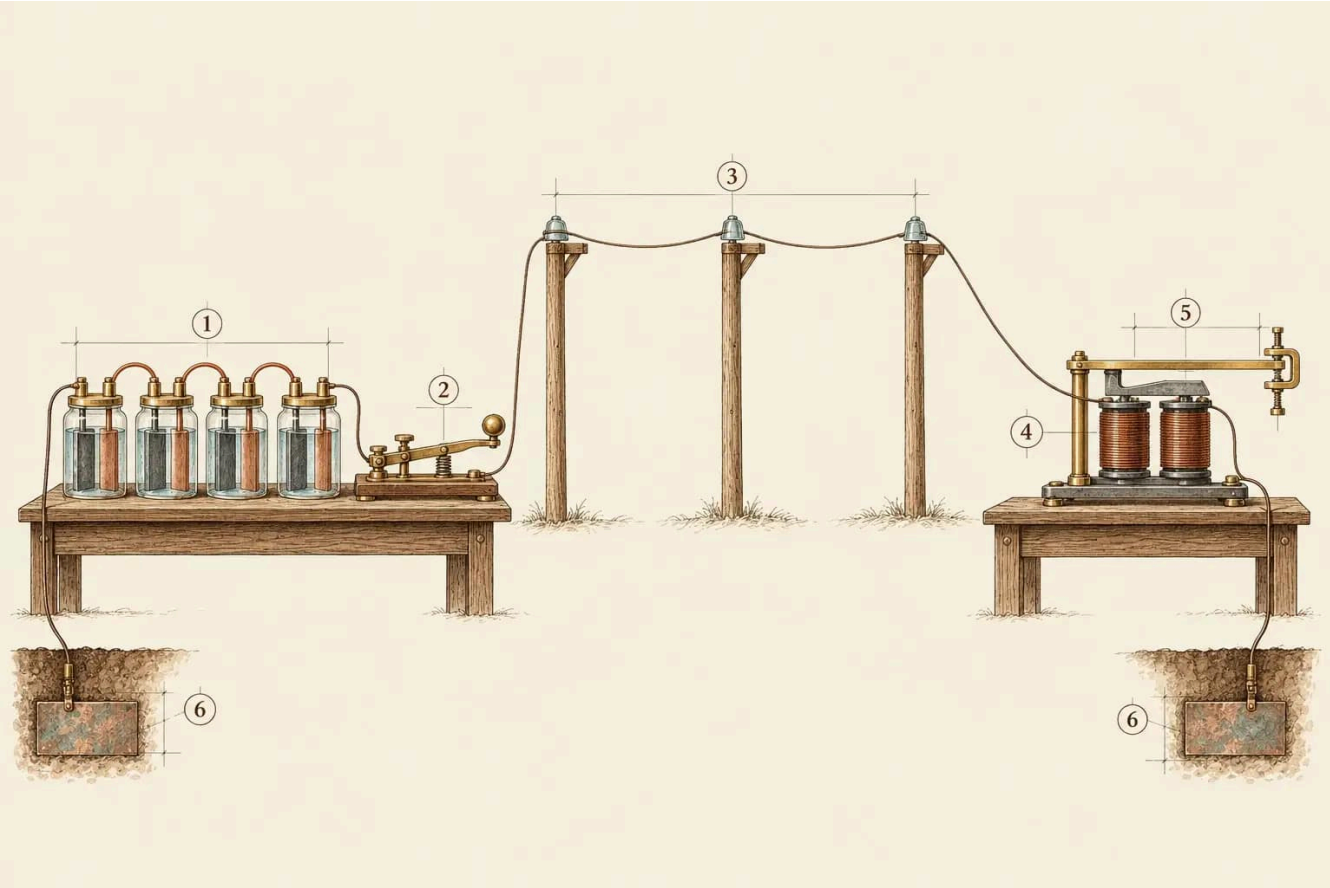
Telegrafo elettrico

Messaggi scritti inviati lungo un filo

1837 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Pila (p. 240), Scrittura (p. 86)

Porta a: Radio (p. 342), Telefono (p. 315)



1 Pila 2 Tasto 3 Filo di linea sugli isolatori 4 Elettromagnete del ricevitore acustico 5 Leva dell'ancora 6 Piastra di terra

Il telegrafo elettrico trasmette messaggi lungo un filo come impulsi di corrente forniti da una pila: un tasto apre e chiude il circuito e all'arrivo un elettromagnete rende leggibili gli impulsi. William Cooke e Charles Wheatstone brevettarono un telegrafo ad aghi in Gran Bretagna nel 1837, Samuel Morse e Alfred Vail presentarono il loro telegrafo scrivente nel 1838, e trent'anni dopo i cavi univano i continenti.

Che cos'è

Il telegrafo elettrico invia messaggi scritti sotto forma di segnali elettrici lungo un filo. A un capo un operatore apre e chiude un circuito; all'altro capo uno strumento si muove ogni volta che passa la corrente. Le lettere vengono compitate con un codice. Nei primi apparecchi a cinque aghi di Cooke e Wheatstone gli aghi indicavano lettere su un quadro; gli apparecchi ad aghi successivi usavano un codice di deviazioni a sinistra e a destra.

La tavola mostra la forma più semplice, la linea a un solo filo usata con il codice Morse: una pila, un tasto, una fila di pali e, alla stazione ricevente, un ricevitore acustico. È il terreno stesso a riportare indietro la corrente.

Come funziona

La pila è una fila di elementi, ciascuno con una piastra di zinco e una di rame immerse in un liquido, collegati in serie perché le loro tensioni si sommino. Un polo della pila va a terra attraverso una piastra metallica interrata, l'altro al tasto. Il tasto è una leva d'ottone con molla: premendola si chiude un contatto e la pila si collega alla linea.

La corrente corre lungo il filo di linea, sostenuto da isolatori di vetro perché non si disperda nel legno bagnato dei pali, e attraversa le bobine di un elettromagnete alla stazione d'arrivo. Da lì scende nel suolo attraverso una seconda piastra di terra e torna alla pila passando per il terreno. Usare la terra come ritorno fa risparmiare metà del filo.

Finché passa corrente, le bobine diventano una calamita e attirano un'ancora di ferro fissata a una leva imperniata, che batte contro un fermo con uno scatto. Quando si lascia il tasto, una molla solleva la leva contro un secondo fermo, con un suono diverso. Una pressione breve dà un punto, una più lunga una linea, e i loro gruppi rappresentano lettere e cifre. I primi apparecchi di Morse imprimevano in rilievo o tracciavano a inchiostro punti e linee su una striscia di carta in movimento, ma gli operatori capirono presto di poter leggere gli scatti a orecchio.

Un tasto Morse: premendo il pomello si chiude il contatto sotto la leva.

Come costruirlo

Un tasto e un ricevitore acustico si possono montare su un tavolo e far funzionare con una piccola pila, così il principio si vede bene.

Avvolgere l'elettromagnete. Avvolgete circa 30 metri di filo di rame smaltato da 0,2 mm di diametro in strati ordinati intorno a un grosso chiodo o bullone di ferro lungo una decina di centimetri, lasciando libere le due estremità. Raschiate lo smalto dall'ultimo centimetro di ciascuna. Questa bobina ha una resistenza di circa 16 ohm, quindi una batteria da 4,5 volt di tre pile AA vi fa passare meno di 0,3 ampere.

Fare il ricevitore. Forate una tavoletta e incollatevi il chiodo in piedi, con la testa in alto, senza schiacciare l'avvolgimento. Ritagliate da un barattolo una striscia di latta di circa 1 per 8 cm, limatene i bordi e avvitate un'estremità a un blocchetto di legno in modo che l'altra stia pochi millimetri sopra la testa del chiodo. Piegatela perché torni indietro quando la si spinge, e fissate una vite in una piccola staffa di legno appena sopra l'estremità libera: la striscia batte sul chiodo quando viene attirata e contro la vite quando torna su. Regolate la distanza a 2 o 3 mm, piegando la striscia finché viene attirata con decisione e torna comunque indietro.

Fare il tasto. Avvitate su un'altra tavoletta una lamina d'ottone elastica o una striscia di latta piegata, in modo che un'estremità resti un po' sollevata. Mettete sotto l'estremità libera una puntina o una vite come contatto.

Collegare. Unite un capo della bobina a un polo di un portapile con tre pile AA. Unite l'altro polo al contatto fisso del tasto, e la lamina del tasto all'altro capo della bobina. Fra le due tavolette usate comune filo da campanello, al massimo una decina di metri: un filo più lungo o più sottile aggiunge resistenza e la striscia potrebbe non abbassarsi più.

Trasmettere. Premete il tasto: la striscia scatta sul chiodo con un colpo secco e risale quando lasciate. Concordate un codice con un compagno e mandate parole brevi.

> **Sicurezza.** Usate solo una piccola pila di pochi volt e non collegate mai nulla alla rete elettrica. Non tenete il tasto premuto a lungo, perché la bobina e le pile si scaldano, e staccate la pila quando avete finito. Non collegate mai direttamente i due poli della pila. I bordi della latta tagliano: limateli e usate i guanti.

Storia ed evoluzione

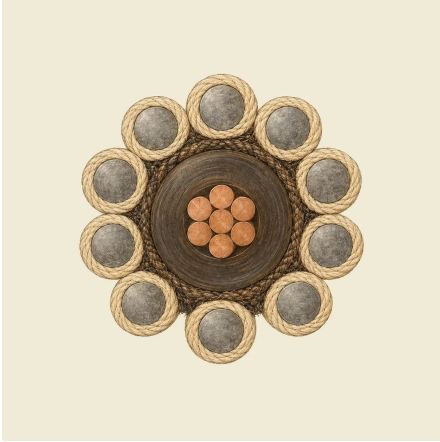
Prima dell'elettricità, il telegrafo ottico di Chappe passava i segnali da una torre all'altra; un messaggio poteva andare da Parigi a Lille in circa mezz'ora.

La parola telegrafo indicò dapprima il sistema ottico di Claude Chappe e dei suoi fratelli, presentato nel 1791. La prima linea, da Parigi a Lille, fu aperta nel 1794 e copriva circa 230 km. In ogni torre gli operatori disponevano bracci di legno in posizioni convenute e leggevano la torre successiva con il cannocchiale. Al suo apice la rete francese arrivò a quasi 5.000 km.

Il telegrafo elettrico divenne possibile quando le pile riuscirono a fornire una corrente costante e gli elettromagneti a rivelarla. In Gran Bretagna William Fothergill Cooke e Charles Wheatstone brevettarono nel giugno 1837 un telegrafo ad aghi, descritto con cinque aghi, e provarono lo stesso anno un apparecchio ad aghi fra le stazioni londinesi di Euston e Camden Town. Nel 1839 la Great Western Railway installò uno dei loro telegrafi su circa 21 km di linea a partire da Paddington. Gli apparecchi britannici successivi funzionavano con uno o due aghi.

Negli Stati Uniti Samuel Morse, pittore e professore a New York, lavorò con Alfred Vail, che costruiva gli strumenti. Presentarono il loro telegrafo il 6 gennaio 1838 nella ferriera della famiglia Vail, vicino a Morristown, su circa tre chilometri di filo. Nel 1843 il Congresso stanziò 30.000 dollari per una linea da Washington a Baltimora, e il 24 maggio 1844 Morse vi trasmise le parole «What hath God wrought» («Che cosa ha operato Dio»). Nel 1850 le linee raggiungevano tutte le città importanti a est del Mississippi, e una arrivò in California nel 1861.

Un cavo sottomarino unì Dover e Calais nel 1851. Il primo cavo atlantico, posato nell'agosto 1858, smise di funzionare dopo poche settimane; uno duraturo fu portato a terra nel luglio 1866. Gli ingegneri impararono a far passare più messaggi sullo stesso filo, prima uno per senso contemporaneamente con il duplex perfezionato da Joseph Stearns nel 1868, poi due per senso con il quadruplex di Thomas Edison. Il traffico telegrafico britannico toccò il massimo verso il 1900, con circa 90 milioni di messaggi l'anno. Poi il telefono si prese gran parte del lavoro, e verso il 1980 satelliti e nuovi cavi avevano reso superata la telegrafia sottomarina.



Sezione del cavo atlantico d'alto mare del 1865-66: sette fili di rame nella guttaperca, uno strato di iuta catramata e dieci fili di ferro rivestiti di canapa.

Dati chiave

Brevetto di Cooke e Wheatstone
Giugno 1837, cinque aghi e sei fili

Prima dimostrazione di Morse e Vail
6 gennaio 1838, Speedwell Iron Works (New Jersey), su circa 3 km di filo

Linea Washington-Baltimora
30.000 dollari stanziati dal Congresso nel 1843; primo messaggio il 24 maggio 1844

Cavo transatlantico duraturo
Luglio 1866, dopo un cavo del 1858 guastatosi in poche settimane

Rete ottica di Chappe al suo apice
Quasi 5.000 km di torri di segnalazione, sostituite da linee elettriche negli anni Cinquanta dell'Ottocento

Fonti

1. Telegraph · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telegraph
2. Milestones: Demonstration of Practical Telegraphy, 1838 · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Milestones:Demonstration_of_Practical_Telegraphy,_1838
3. Cooke and Wheatstone · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Cooke_and_Wheatstone
4. Submarine cable section (Atlantic cable, 1865) · Royal Museums Greenwich https://rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-6204
5. Sample of the 1865/66 Transatlantic Telegraph Cable · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co34219/sample-of-the-1865-66-transatlantic-telegraph-cab-cable
6. Modern Practice of the Electric Telegraph (appendix and notes) · Frank L. Pope, 1869 (insulators.info) https://www.insulators.info/books/mpet/chap10.htm
7. Insulator Tests, The Journal of the Telegraph, 16 December 1872 · Western Union (insulators.info) https://reference.insulators.info/publications/view/?id=11419
8. Resistivity and temperature coefficient at 20 C · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html
9. Copper Wire Tables (Handbook 100) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
10. Electromagnet · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet

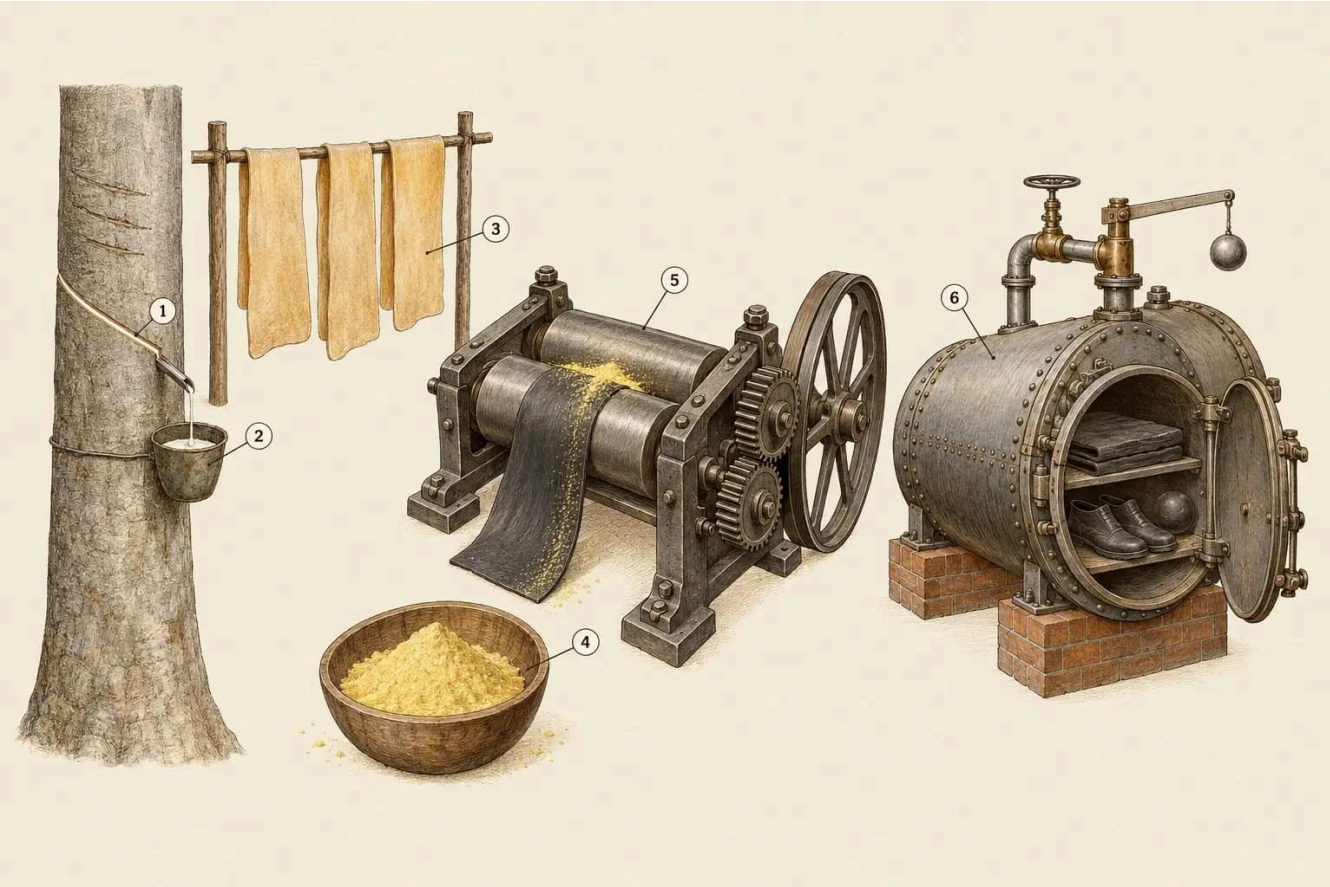
Fatti verificati il 2026-10-12

Gomma vulcanizzata

Linfa resa robusta dallo zolfo

1839 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Controllo del fuoco (p. 9)



1 Taglio di incisione 2 Coppetta del lattice 3 Fogli di gomma greggia 4 Zolfo 5 Mescolatore a due cilindri 6 Autoclave di vulcanizzazione

La gomma vulcanizzata è gomma le cui lunghe molecole sono state legate fra loro, dapprima scaldando la gomma naturale con lo zolfo: così resta elastica al caldo e al freddo invece di diventare appiccicosa o fragile. Charles Goodyear negli Stati Uniti e Thomas Hancock in Gran Bretagna misero a punto il procedimento all'inizio degli anni Quaranta dell'Ottocento, rendendo la gomma adatta a pneumatici, tubi, guarnizioni e calzature.

Che cos'è

La gomma naturale viene dal lattice, un liquido lattiginoso che sgorga dalle incisioni nella corteccia di certi alberi tropicali, oggi soprattutto l'albero della gomma, Hevea brasiliensis. Seccata e pressata è impermeabile ed elastica, ma la gomma greggia diventa molle e appiccicosa nelle giornate calde, rigida e screpolata col gelo, e sotto carico si deforma a poco a poco.

La vulcanizzazione corregge questi difetti. La gomma viene mescolata con un po' di zolfo e scaldata. Ne risulta il materiale di pneumatici, tubi, nastri trasportatori, guarnizioni, stivali ed elastici, che riprende la sua forma in un

ampio intervallo di temperature.

Come funziona

La gomma è fatta di molecole a catena lunghissime, ciascuna composta da migliaia di piccole unità. Nella gomma greggia le catene sono aggrovigliate come spaghetti cotti. Se si tira, si distendono; se si lascia, si raggomitolano di nuovo, ed ecco l'elasticità. Però nulla le lega fra loro: sotto una trazione prolungata o al caldo scivolano le une sulle altre, e il materiale cola e si appiccica.

In Mesoamerica la gomma si otteneva mescolando il lattice di Castilla elastica con il succo di un rampicante della famiglia dei convolvoli.

Alla temperatura di vulcanizzazione, atomi di zolfo si attaccano in certi punti delle catene e formano ponti fra catene vicine, di uno o più atomi di zolfo ciascuno. Pochi ponti per catena trasformano il groviglio in un'unica rete lasca. Può ancora allungarsi molto, perché i tratti di catena fra un ponte e l'altro possono srotolarsi, ma non cola più e torna alla sua forma quando la si lascia.

Il numero dei ponti stabilisce la durezza. Una gomma morbida richiede solo una piccola quantità di zolfo. Con molto di più, la rete diventa così fitta che il prodotto, l'ebanite o gomma dura, è rigido e fragile. Scaldata con il solo zolfo, la gomma vulcanizza lentamente; dall'inizio del Novecento gli acceleranti, attivati da ossido di zinco e acido stearico, rendono la reazione più rapida e uniforme.

Come si produce

Goodyear raccontò di aver scoperto l'effetto quando un impasto di gomma e zolfo toccò una stufa calda e si carbonizzò senza fondere.

Gli oggetti di gomma si fanno in fabbrica, con presse riscaldate, sale di mescola ventilate e aspirazione dei fumi. Lo zolfo caldo prende fuoco facilmente e bruciando libera anidride solforosa, tossica; le mescole in cottura emettono fumi irritanti e gli acceleranti moderni irritano pelle e polmoni: vulcanizzare non è un lavoro da fare in casa. Le fasi abituali sono queste.

Incidere. Ogni due giorni circa si asporta una sottile striscia di corteccia lungo un taglio inclinato, profondo quanto basta ad aprire i vasi del lattice senza raggiungere il cambio, il sottile strato di crescita sotto la corteccia. Il lattice scorre lungo il taglio fino a una coppetta.

Coagulare. Il lattice viene diluito e fatto rapprendere con un acido debole, come l'acido formico o acetico; la gomma si separa come una cagliata molle. Si pressa in fogli che si fanno seccare, spesso al fumo, che protegge anche dalla muffa.

Mescolare. La gomma greggia si lavora fra pesanti cilindri finché si ammorbidisce, e vi si incorporano lo zolfo, le cariche e gli acceleranti.

Formare e cuocere. La mescola viene stampata, estrusa o spalmata su tessuto, poi scaldata in una pressa o in un'autoclave a vapore finché si formano i ponti.

Un confronto semplice e qualitativo mostra il cambiamento. Tagliate un elastico per ricavarne una striscia e ritagliatene un'altra della stessa larghezza, spessore e lunghezza da para crêpe greggia, non vulcanizzata, venduta per lavori manuali (alcune suole in para sono vulcanizzate: controllate l'etichetta). Appendete per una notte lo

stesso piccolo peso a ciascuna, toglietelo e aspettate dieci minuti: di solito l'elastico torna quasi alla sua lunghezza, mentre la striscia greggia tende a restare più lunga. Poi lasciatele un'ora in freezer, scaldatele in acqua a circa 40 °C e confrontate quanto sono rigide e appiccicose. I prodotti contengono cariche diverse, quindi considerate il risultato una tendenza.

> **Sicurezza.** Non scaldate zolfo e non provate a vulcanizzare la gomma in casa: i fumi sono tossici, e lo zolfo fuso ustiona e può prendere fuoco. In fabbrica i cilindri mescolatori possono schiacciare e trascinare le mani, e presse e autoclavi sono calde e sotto pressione: servono macchine protette e operatori addestrati. La gomma naturale e il lattice provocano allergie in alcune persone: chi è allergico al lattice non deve toccare i campioni, gli altri indossino guanti di nitrile. Controllate la temperatura dell'acqua prima di immergervi le mani.

Storia ed evoluzione

In Mesoamerica la gomma si lavorava già verso il 1600 a.C. Si mescolava il lattice di Castilla elastica con il succo spremuto di un rampicante della famiglia dei convolvoli, che lo rendeva più elastico, e se ne facevano palle fino a 7 kg per un gioco rituale, oltre a suole di sandali e legature. Osservatori spagnoli descrissero la gomma nel Cinquecento. In Europa e in Nord America il suo uso si diffuse all'inizio dell'Ottocento, ma gli oggetti di gomma greggia si ammorbidivano d'estate e si screpolavano d'inverno.

Nel 1837 Thomas Hancock brevettò una macchina per impastare la gomma greggia, e negli anni Trenta diverse persone notarono che lo zolfo la rendeva meno appiccicosa. Charles Goodyear, un commerciante di ferramenta pieno di debiti, che con la crisi del 1837 perse di nuovo i suoi finanziatori, provò per anni ogni sorta di trattamento. Nel 1839, secondo il suo racconto, un pezzo di gomma mescolato con zolfo toccò una stufa calda e si carbonizzò sul bordo senza fondere. Gli servirono circa cinque anni per rendere affidabile il procedimento. In Gran Bretagna Hancock vide nel 1842 campioni della gomma solforata americana e mise a punto un proprio procedimento; il 21 novembre 1843 depositò un brevetto per la vulcanizzazione, e il brevetto statunitense n. 3633 di Goodyear seguì il 15 giugno 1844. Il nome, da Vulcano, dio romano del fuoco, fu suggerito da un amico di Hancock, William Brockedon. Goodyear passò anni nelle cause sui brevetti e morì nel 1860 senza averne tratto profitto.

La domanda di pneumatici, cinghie e isolanti scatenò una corsa alla gomma selvatica del bacino amazzonico. Nel 1876 Henry Wickham spedì circa 70.000 semi di hevea dal Brasile ai giardini di Kew, a Londra, e le piantine furono mandate nelle colonie britanniche in Asia. Nel 1900 le piantagioni asiatiche producevano circa 4 tonnellate, contro circa 27.000 raccolte in Amazzonia; nel 1916 fornivano già la maggior parte della gomma mondiale. Molte gomme sintetiche, ricavate più tardi dal petrolio, si vulcanizzano con lo zolfo in modo molto simile; altre, come il neoprene, si reticolano con ossidi metallici.

Frutto, semi e foglia dell'hevea: ogni capsula contiene tre semi, come quelli che Wickham spedì a Kew nel 1876.

Dati chiave

Gomma lavorata in Mesoamerica
Verso il 1600 a.C.; le palle per il gioco rituale pesavano fino a 7 kg

Contenuto di gomma del lattice fresco
Circa il 30-40%, il resto soprattutto acqua

Brevetto britannico di Hancock
Depositato il 21 novembre 1843

Brevetto statunitense di Goodyear
N. 3633, 15 giugno 1844

Semi di hevea spediti da Wickham
Circa 70.000, dal Brasile a Kew nel 1876

Fonti

1. Charles Goodyear (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/charles-goodyear/
2. Rubber processed in ancient Mesoamerica, MIT researchers find · MIT News https://news.mit.edu/1999/rubber-0714
3. Natural rubber · Transport Information Service (GDV) https://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm
4. The seeds of discord · Revista Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/the-seeds-of-discord/
5. Sulfur vulcanization · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_vulcanization
6. Thomas Hancock (inventor) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Hancock_(inventor)
7. Hevea brasiliensis (rubber tree) fact sheet · EAFRINET, National Museums of Kenya and Lucidcentral https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Hevea_brasiliensis_%28Rubbertree%29.htm

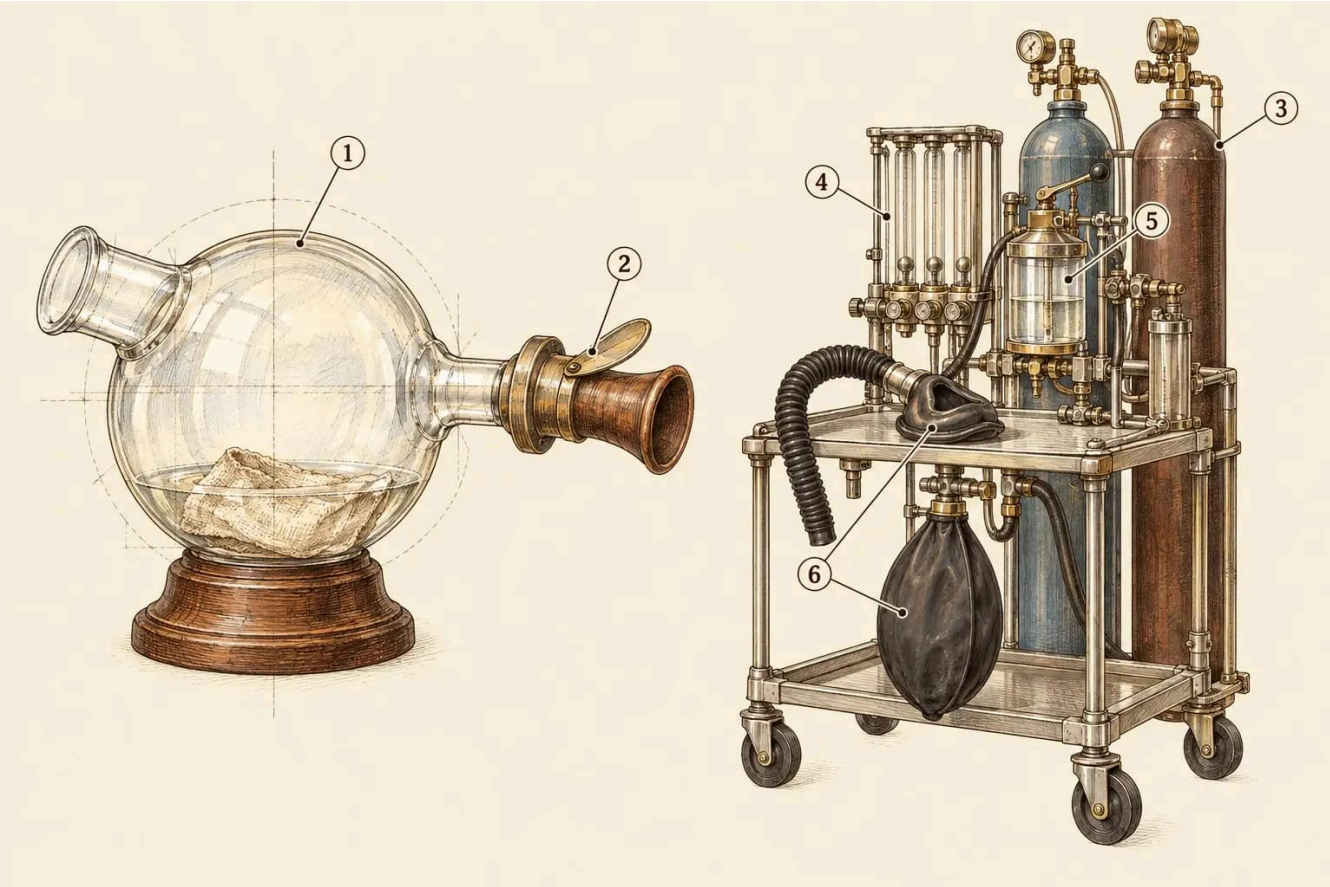
Fatti verificati il 2026-10-12

Anestesia

Operare senza dolore né coscienza

1846 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Igiene e antisepsi (p. 297), Vetro (p. 133)



1 Globo di vetro dell'inalatore a etere di Morton 2 Boccaglio e valvola 3 Bombole di gas 4 Flussimetri di vetro 5 Flacone vaporizzatore 6 Pallone reservoir e maschera

L'anestesia è la pratica medica che elimina il dolore, e spesso la coscienza, perché si possa operare. Da una dimostrazione pubblica con l'etere a Boston nel 1846, anestesisti formati, monitoraggio e ossigeno l'hanno resa di routine, e insieme all'antisepsi ha trasformato la chirurgia da ultima risorsa in cura ordinaria.

Che cos'è

L'anestesia toglie il dolore, e nella sua forma generale anche la coscienza, perché un chirurgo possa operare. L'anestesia generale è uno stato di incoscienza controllato e reversibile. L'anestesia locoregionale rende insensibile una parte ampia del corpo, come un braccio o tutto ciò che sta sotto la vita, mentre il paziente resta sveglio. L'anestesia locale addormenta una piccola zona, quanto basta per suturare una ferita o curare un dente.

La tavola mette a confronto due apparecchi. A sinistra, l'inalatore di vetro con cui William Morton somministrò l'etere a Boston nel 1846. A destra, un apparecchio per anestesia dei primi del Novecento: bombole di gas

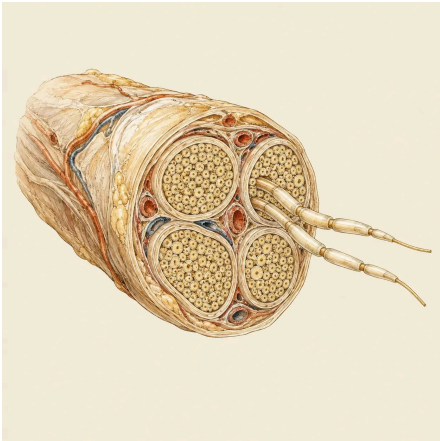
compresso, flussimetri di vetro, un flacone in cui il gas si carica del vapore di un agente volatile, e il pallone e la maschera attraverso cui respira il paziente.

Come funziona

Gli anestetici generali raggiungono il cervello con il sangue, inalati attraverso i polmoni o iniettati in vena. Molti rafforzano l'effetto del GABA, il principale segnale di freno del cervello, così che i neuroni si attivano meno. La coscienza si spegne e non si formano ricordi. I dettagli sono ancora discussi.

A seconda del farmaco e del paziente, la depressione raggiunge anche i centri che tengono in funzione l'organismo. Il respiro può diventare superficiale o fermarsi. I muscoli della gola si rilassano, e la lingua può cadere all'indietro e chiudere le vie aeree. I riflessi della tosse e della deglutizione si indeboliscono, e il contenuto dello stomaco può risalire fino ai polmoni. La pressione arteriosa spesso cala. Per questo l'anestesista tiene aperte le vie aeree, dà ossigeno, spesso respira al posto del paziente attraverso un tubo o una maschera e regola i farmaci minuto per minuto.

Gli anestetici locali agiscono sui nervi stessi. Un segnale nervoso è un'onda elettrica che corre lungo una fibra, sostenuta da ioni sodio che entrano attraverso minuscoli canali della membrana. Il farmaco blocca questi canali: l'onda si spegne dove si trova il farmaco e al cervello non arriva più nulla da ciò che sta oltre. Intorno a un nervo, rende insensibile tutto il suo territorio; nel liquido che circonda le radici nervose della parte bassa della schiena, la metà inferiore del corpo. Le cellule del cuore e del cervello usano lo stesso tipo di canale, e un eccesso di anestetico locale nel sangue può causare convulsioni o fermare il cuore.



Un nervo è un cavo di migliaia di fibre; l'anestetico locale zittisce ognuna di quelle che raggiunge.

Come la si rende sicura

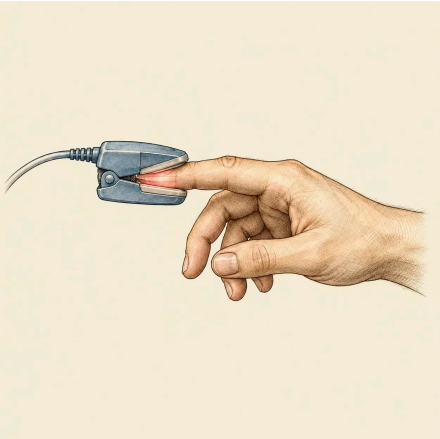
Questa sezione descrive come gli ospedali organizzano l'anestesia. Non è una procedura da seguire al di fuori di essi.

Un'équipe formata. A seconda del paese, l'anestesia è condotta da un medico che vi si è formato per anni o da infermieri specializzati. Restano accanto al paziente dal primo farmaco finché respiro e coscienza non sono tornati in sicurezza.

La visita preoperatoria. L'équipe chiede di malattie, farmaci, allergie e anestesie precedenti, esamina bocca, collo, cuore e polmoni, e sceglie con il paziente tra anestesia generale, locoregionale o locale.

Lo stomaco vuoto. Prima di un intervento programmato il paziente smette di mangiare alcune ore prima, spesso circa sei dopo un pasto leggero, il che riduce il rischio che il contenuto dello stomaco finisca nei polmoni. L'ospedale stabilisce gli orari esatti per ciascuno.

Attrezzatura controllata prima di ogni paziente. Ossigeno con una bombola di riserva, aspiratore, dispositivi per tenere aperte le vie aeree, un modo per ventilare a mano se l'apparecchio si guasta, e farmaci per la rianimazione. Un ospedale da campo lavora con attrezzature più semplici, ma non può fare a meno di nessuno di questi elementi.



La pinza fa passare luce rossa e infrarossa attraverso il dito e stima quale parte dell'emoglobina è carica di ossigeno.

Un monitoraggio continuo. Il pulsossimetro mostra la saturazione di ossigeno del sangue. Altri strumenti seguono il ritmo cardiaco, la pressione e l'anidride carbonica di ogni espirazione, che indica che l'aria arriva davvero ai polmoni. Nessuno sostituisce l'anestesista che osserva il paziente.

La checklist. Nel 2008 l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha introdotto una checklist per la sicurezza in sala operatoria. L'équipe si ferma prima dell'anestesia per confermare il paziente, l'intervento, le allergie, eventuali vie aeree difficili e un pulsossimetro funzionante, poi di nuovo prima dell'incisione e prima che il paziente lasci la sala. In uno studio su otto ospedali, i decessi dopo chirurgia maggiore sono scesi dall'1,5% allo 0,8%.

Il risveglio. Il paziente si sveglia in una sala di risveglio dove gli infermieri controllano respiro, ossigeno, dolore e nausea. Dopo un'anestesia generale qualcuno deve riaccompagnarlo a casa, e non deve guidare per almeno 24 ore.

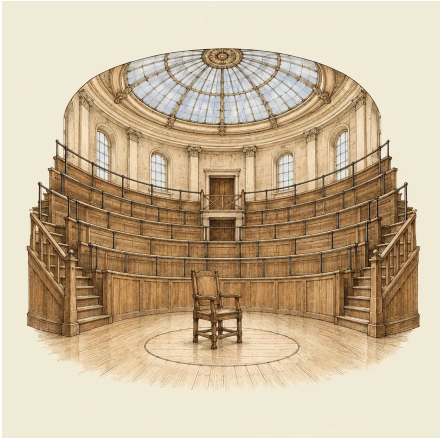
> **Sicurezza.** I gas e i farmaci anestetici non vanno mai usati al di fuori di un'assistenza medica qualificata. Con molti di questi farmaci, la dose che toglie la coscienza non è lontana da quella che ferma il respiro o i riflessi di protezione, e lo scarto cambia da persona a persona e da un minuto all'altro. Senza qualcuno addestrato a tenere aperte le vie aeree e a dare ossigeno, e senza monitoraggio né attrezzatura di rianimazione, una persona incosciente può morire in pochi minuti. Inalare gas o solventi per i loro effetti ha ucciso molte persone, e l'etere è altamente infiammabile. Chi soffre di un dolore forte o deve essere operato va portato in ospedale.

Storia ed evoluzione

Prima dell'anestesia i chirurghi contavano sull'alcol, sull'oppio e sulla rapidità. Il 13 ottobre 1804, in Giappone, Hanaoka Seishū asportò un tumore al seno a una donna che aveva inghiottito la sua miscela di erbe. Il Giappone era allora chiuso al mondo, e il suo lavoro rimase sconosciuto all'estero.

Nel 1800 Humphry Davy suggerì che il protossido d'azoto potesse servire in chirurgia. Nel dicembre 1844 il dentista Horace Wells si fece estrarre un dente sotto quel gas, ma la sua dimostrazione a Boston, nel gennaio 1845, fallì quando il paziente gridò. In Georgia Crawford Long aveva già operato con l'etere il 30 marzo 1842, ma pubblicò solo nel 1849.

La tavola prende come data il 16 ottobre 1846. Al Massachusetts General Hospital, Morton fece inalare etere a Gilbert Abbott mentre il chirurgo John Collins Warren gli asportava un tumore del collo. La notizia corse in fretta, e nel giro di pochi mesi l'etere si usava in Europa. A Edimburgo James Young Simpson provò il cloroformio il 4 novembre 1847: agiva più in fretta e non prendeva fuoco, ma il margine tra abbastanza e troppo era stretto. John Snow ne studiò le dosi e nel 1853 lo somministrò alla regina Vittoria per la nascita del principe Leopoldo. L'anestesia permise interventi più lunghi, ma le ferite continuavano a infettarsi finché, alla fine degli anni Sessanta dell'Ottocento, arrivò l'antisepsi.



La chirurgia si insegnava in anfiteatri a gradinate molto inclinate, come quello di Boston, oggi chiamato Ether Dome.

Nel 1884 Carl Koller dimostrò che la cocaina rendeva insensibile l'occhio, e nel 1898 August Bier eseguì a Kiel la prima anestesia spinale. La

cocaina era tossica e dava dipendenza, e seguirono farmaci di sintesi più sicuri: la procaina nel 1905, la lidocaina negli anni Quaranta. Il Novecento portò gli anestetici endovenosi e i miorilassanti, l'intubazione divenne di routine, e la pulsossimetria, descritta da Takuo Aoyagi nel 1974, si diffuse nelle sale operatorie negli anni Ottanta.

Dati chiave

Il giorno dell'etere
16 ottobre 1846, Massachusetts General Hospital, Boston

La cocaina sull'occhio
Comunicazione di Koller letta a Heidelberg il 15 settembre 1884

Checklist dell'OMS
19 voci; in otto ospedali pilota i decessi sono scesi dall'1,5% allo 0,8% (2009)

L'operazione di Hanaoka
13 ottobre 1804, Giappone, con un anestetico preso per bocca

Pulsossimetria
Principio descritto da Takuo Aoyagi nel 1974

Fonti

1. Ether & Ether Dome History · Massachusetts General Hospital, Treadwell Virtual Library https://libguides.massgeneral.org/mghhistory/ether
2. Crawford Long (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/crawford-long
3. The surprising and long story of the first use of ether in surgery · The Conversation https://theconversation.com/the-surprising-and-long-story-of-the-first-use-of-ether-in-surgery-113340
4. Horace Wells (1815–1848) and William TG Morton (1819–1868): pioneers in anaesthesiology · South African Dental Journal, vol. 75 no. 2 (2020) https://scielo.org.za/pdf/sadj/v75n2/11.pdf
5. Davy, Researches, chemical and philosophical, chiefly concerning nitrous oxide (1800) · Heirs of Hippocrates, University of Iowa Libraries https://heirs.lib.uiowa.edu/record.php?id=1338.5
6. History of the Japanese Society of Anesthesiologists · Japanese Society of Anesthesiologists https://anesth.or.jp/users/english/about_jsa/history
7. A great leap forward: James Young Simpson · Royal College of Surgeons of Edinburgh https://archiveandlibrary.rcsed.ac.uk/special-collections/the-battle-for-midwifery/a-great-leap-forward-james-young-simpson
8. John Snow: anesthesia · UCLA Fielding School of Public Health https://epi-snow.ph.ucla.edu/Stream4_Snowlife_d.html
9. Cocaine: what is the crack? A brief history of the use of cocaine as an anesthetic · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4335732/
10. Cocaine and self-experimentation · Association of Anaesthetists, Heritage Centre https://anaesthetists.org/Home/Heritage-centre/Learning/Heritage-Centre-blog-celebrating-75-years-of-Anaesthesia/Cocaine-and-Self-experimentation-a-blog-post-from-the-Heritage-Centre
11. Sodium channels and local anesthetics: old friends with new perspectives (Körner et al., 2022) · Frontiers in Pharmacology https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2022.837088/full
12. How general anesthetics work (Hibbs lab, Nature 2020) · UT Southwestern Medical Center https://www.utsouthwestern.edu/ctplus/stories/2020/general-anesthetics-benzos.html
13. General anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/general-anaesthesia/
14. Local anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/local-anaesthesia/
15. Pulse oximetry, Takuo Aoyagi memorial issue (Journal of Anesthesia, 2021) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8327306/
16. Safe surgery: tools and resources · World Health Organization https://www.who.int/teams/integrated-health-services/patient-safety/research/safe-surgery/tool-and-resources
17. RCSI endorses the World Health Organisation's second Global Patient Safety Challenge (June 2008) · RCSI University of Medicine and Health Sciences https://www.rcsi.com/dublin/news-and-events/news/news-article/2008/06/rcsi-endorses-the-world-health-organisations-second-global-patient-safety-challenge
18. Implementation manual: WHO surgical safety checklist 2009 · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/9789241598590
19. Simple surgical checklist cuts deaths 40 percent · Harvard Medical School https://hms.harvard.edu/news/simple-surgical-checklist-cuts-deaths-40-percent

Fatti verificati il 2026-10-14

Igiene e antisepsi

Sbarrare la strada ai germi

1847 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Sapone (p. 94), Microscopio (p. 214), Acqua potabile (p. 35), Distillazione (p. 174)

Porta a: Anestesia (p. 292), Penicillina (p. 354)

1 Catino e brocca 2 Caldaia dello spruzzatore all'acido fenico 3 Ugello e nebbia di acido fenico
4 Coperchio imbullonato, manometro e valvola di sicurezza 5 Cestello di strumenti nel vapore 6 Bruciatore sotto l'autoclave

L'igiene e l'antisepsi interrompono le vie che i germi seguono da una persona all'altra: mani, strumenti, medicazioni e acqua. Lavarsi con il sapone, tenere l'acqua lontana dagli scarichi, usare sostanze che uccidono i germi nelle ferite e sterilizzare gli strumenti con il calore hanno reso il parto e la chirurgia molto più sicuri nella seconda metà dell'Ottocento.

Che cos'è

I germi passano da una persona all'altra per vie che nessuno vede: una mano che ha toccato un malato e poi una ferita, un coltello pulito sul grembiule, l'acqua attinta a valle di una latrina. L'igiene e l'antisepsi sono le abitudini e gli strumenti che interrompono queste vie. Il sapone e l'acqua portano via i germi. Il calore e certe sostanze chimiche li uccidono. L'asepsi, nel senso dei chirurghi, li tiene lontani dalla ferita fin dall'inizio.

La tavola riunisce tre tappe di questa idea: il catino messo all'ingresso di una sala parto di Vienna nel 1847, lo spruzzatore di acido fenico che Joseph Lister usava negli anni Settanta dell'Ottocento e l'autoclave a vapore che,

dagli anni Ottanta, sterilizzò strumenti e medicazioni con il calore invece che con sostanze chimiche.

Come funziona

Un batterio è una singola cellula lunga pochi millesimi di millimetro; un virus è molto più piccolo e si moltiplica solo dentro cellule vive. Gli uni e gli altri viaggiano sulla pelle, nelle goccioline, nella polvere, nel cibo, nell'acqua o sugli attrezzi, e le feci ne contengono quantità enormi. Un'infezione ha bisogno di una fonte, di un veicolo e di una porta d'ingresso, come la bocca o una lesione della pelle. Lavarsi le mani tra un malato e l'altro toglie di mezzo il veicolo, e il germe si ferma lì.

Il sapone agisce soprattutto portando via i microbi. Ogni sua molecola si lega all'acqua da un lato e al grasso dall'altro, così stacca la pellicola grassa della pelle, con i microbi che vi restano impigliati, e la trascina nel risciacquo. Inoltre rompe i virus avvolti da un involucro grasso, come quello dell'influenza.

Strofinare con le dita intrecciate raggiunge la pelle fra le dita, uno dei punti più spesso dimenticati.

Il calore uccide distendendo per sempre le proteine del microbo, come quando rapprende l'albume. Un bollore pieno uccide i batteri comuni, i virus e i parassiti. Alcuni batteri, fra cui quelli del tetano e del botulismo, possono chiudersi in spore dal rivestimento duro che resistono alla bollitura. Il vapore sotto pressione di un'autoclave, mantenuto a 121 °C o più abbastanza a lungo e a contatto con ogni superficie del carico, uccide anche queste: è la sterilizzazione in senso stretto.

Gli antisettici si usano sui tessuti vivi, i disinfettanti sugli oggetti. L'alcol distende le proteine, ed è per questo che i gel per le mani ne contengono almeno il 60%. I composti del cloro, come il cloruro di calce usato a Vienna o la candeggina di oggi, ossidano tutto ciò che toccano nella cellula. L'acido fenico di Lister uccideva i germi ma danneggiava anche i tessuti dei pazienti e le mani dei chirurghi, e fu abbandonato. Sporco e sangue proteggono i germi da tutte queste sostanze: per questo si pulisce sempre prima.

Come fare

Si tratta di abitudini quotidiane raccomandate dalle autorità sanitarie, non di atti medici.

Lavarsi bene le mani. Bagnale con acqua pulita, corrente o versata, e fai schiuma con il sapone. Strofina palmo contro palmo, ogni palmo sul dorso dell'altra mano con le dita intrecciate, di nuovo palmo contro palmo con le dita intrecciate, il dorso delle dita, ogni pollice ruotato nel palmo opposto e i polpastrelli contro il palmo. La sequenza dell'OMS dura da 40 a 60 secondi; i CDC statunitensi chiedono almeno 20 secondi di strofinamento. Risciacqua e asciuga con un asciugamano pulito o all'aria.

Sapere quando. Dopo essere andati in bagno o aver cambiato un pannolino, prima di cucinare e di mangiare, prima e dopo aver assistito un malato o medicato una ferita, e dopo aver toccato animali o rifiuti.

Separare l'acqua dai rifiuti. Scava le latrine più in basso di ogni pozzo o sorgente e ad almeno 30 m, di più nella ghiaia o nella roccia fessurata, con il fondo della fossa almeno 1,5 m sopra il livello più alto della falda nella stagione delle piogge. Queste distanze sono solo un punto di partenza: fai controllare il terreno e la direzione della falda al servizio sanitario o idrico locale.

Bollire attrezzi e panni. Lava prima con il sapone forbici, pinzette e panni, perché il calore attraversa male il sangue secco e il grasso. Coprili d'acqua in una pentola con coperchio, porta a bollore pieno e conta 20 minuti da

Conta i venti minuti da quando l'acqua bolle forte e poi non aggiungere più niente.

quel momento senza aggiungere nulla. Lascia raffreddare, togli gli oggetti con una pinza bollita insieme a loro e mettili subito in una scatola con coperchio bollita anch'essa. Servono a togliere una scheggia o a tagliare una medicazione. La bollitura disinfetta ma non sterilizza: aghi e tutto ciò che entra nel corpo devono arrivare sterili e sigillati da una farmacia o da un ambulatorio.

Pulire un piccolo taglio. Lavati le mani, poi sciacqua il taglio con acqua pulita del rubinetto o con acqua bollita e raffreddata finché non resta sporco, e lava con il sapone la pelle intorno. Asciuga tamponando e copri con una garza sterile o un cerotto da farmacia.

> **Sicurezza.** Non preparare antisettici né disinfettanti in casa e non mescolare mai prodotti per la pulizia: la candeggina con acidi o ammoniaca libera un gas tossico. Niente di quanto descritto qui va ingerito o iniettato. Acqua bollente e vapore ustionano: tieni i bambini lontani dalla pentola. Chiama i soccorsi per un'emorragia che non si ferma o un taglio molto profondo. Rivolgiti presto a un medico per un taglio lungo o con i lembi che restano separati, un'ustione, qualsiasi morso di animale o di persona, una ferita sporca di terra, oppure se una ferita diventa rossa, gonfia o più dolorosa, secerne pus o si accompagna a febbre. Può servire la vaccinazione antitetanica.

Storia ed evoluzione

Nella clinica ostetrica di Vienna, il reparto dove si formavano gli studenti di medicina perdeva per febbre puerperale circa una madre su dieci, quello delle levatrici circa una su trenta. Nel marzo 1847 morì Jakob Kolletschka, collega del giovane medico Ignaz Semmelweis, per un taglio riportato durante un'autopsia, con gli stessi segni delle puerpere. Semmelweis concluse che gli studenti portavano «particelle cadaveriche» dalla sala autoptica alla sala parto. Da maggio 1847, la data scelta da questa tavola, impose loro di lavarsi le mani in una soluzione di cloruro di calce, e nel 1848 la mortalità del suo reparto scese all'1,27%. Molti colleghi respinsero la sua spiegazione.

Nel 1854 John Snow collegò un'epidemia di colera a Londra a una sola pompa stradale. All'ospedale militare di Scutari, dove prestava servizio Florence Nightingale, la mortalità dei soldati ricoverati arrivò al 42% nel febbraio 1855, poi crollò dopo che le fogne furono riparate e le corsie aerate.

All'inizio degli anni Sessanta dell'Ottocento Louis Pasteur dimostrò che un brodo bollito in un pallone dal collo lungo e ricurvo restava limpido, mentre quello esposto alla polvere andava a male: erano germi vivi a causare la putrefazione. A Glasgow Joseph Lister ne dedusse che i germi facevano suppurare anche le ferite. Nell'agosto 1865 medicò con acido fenico la frattura esposta della gamba di un ragazzo, che guarì senza infezione; pubblicò il metodo nel 1867. Fra i suoi amputati i morti scesero da 16 su 35 a 6 su 40, numeri che lui stesso riconosceva piccoli.

Il pallone a collo di cigno di Pasteur: la polvere resta intrappolata nella curva e il brodo rimane limpido.

Charles Chamberland, collaboratore di Pasteur, progettò nel 1879 uno sterilizzatore a vapore, e nel 1886 Ernst von Bergmann, a Berlino, passò alle medicazioni sterilizzate a vapore. I chirurghi tenevano ormai i germi fuori dalla ferita con strumenti e camici sterilizzati e, dagli anni Novanta,

con guanti di gomma. Le linee guida dell’OMS del 2009 sull’igiene delle mani fissano cinque momenti in cui chi assiste un paziente deve pulirsi le mani.

Dati chiave

Lavaggio delle mani a Vienna

Da maggio 1847; la mortalità nella clinica dei medici scese da circa il 10% (1840-1846) all'1,27% nel 1848

Amputazioni di Lister

16 morti su 35 casi prima dell'antisepsi, 6 su 40 dopo

Igiene delle mani (OMS)

40-60 s con acqua e sapone, 20-30 s con gel idroalcolico

Sterilizzazione a vapore (CDC)

Materiale imbustato: 121 °C per almeno 30 min in uno sterilizzatore a gravità, oppure 132 °C per 4 min in uno con prevuoto

Bollitura degli strumenti

20 min a bollore pieno disinfettano, ma non uccidono con certezza le spore batteriche

Fonti

1. Ignaz Phillip Semmelweis' studies of death in childbirth (I. Loudon, Journal of the Royal Society of Medicine, 2013) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3807776
2. Pioneering Hand Hygiene: Ignaz Semmelweis and the Fight Against Puerperal Fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
3. Joseph Lister (1827-1912): A Pioneer of Antiseptic Surgery (Cureus, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9854334/
4. Statistics and the British controversy about the effects of Joseph Lister's system of antisepsis for surgery, 1867-1890 (U. Tröhler) · James Lind Library https://www.jameslindlibrary.org/articles/statistics-and-the-british-controversy-about-the-effects-of-joseph-listers-system-of-antisepsis-for-surgery-1867-1890/
5. Charles Chamberland, l'inventeur d'outils de stérilisation · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/notre-histoire/charles-chamberland-inventeur-outils-sterilisation
6. Bergmann, Ernst von · Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/pnd118656104.html
7. Florence Nightingale: the Lady with the Lamp · National Army Museum https://www.nam.ac.uk/explore/florence-nightingale-lady-lamp
8. John Snow, cholera and the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
9. Hand Hygiene: Why, How & When? · World Health Organization https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/Hand_Hygiene_Why_How_and_When_Brochure.pdf
10. About handwashing · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/about/index.html
11. Handwashing facts · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/data-research/facts-stats
12. Steam sterilization · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/steam-sterilization.html
13. Clostridium botulinum · AGES, Austrian Agency for Health and Food Safety https://www.ages.at/en/human/disease/pathogens-from-a-to-z/clostridium-botulinum
14. A Community Guide to Environmental Health: Disinfecting with heat · Hesperian Health Guides https://en.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Disinfecting_with_Heat
15. Excreta, pit for stools and vomit · Médecins Sans Frontières https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
16. Cuts and grazes · NHS https://www.nhs.uk/conditions/cuts-and-grazes/

Fatti verificati il 2026-10-14

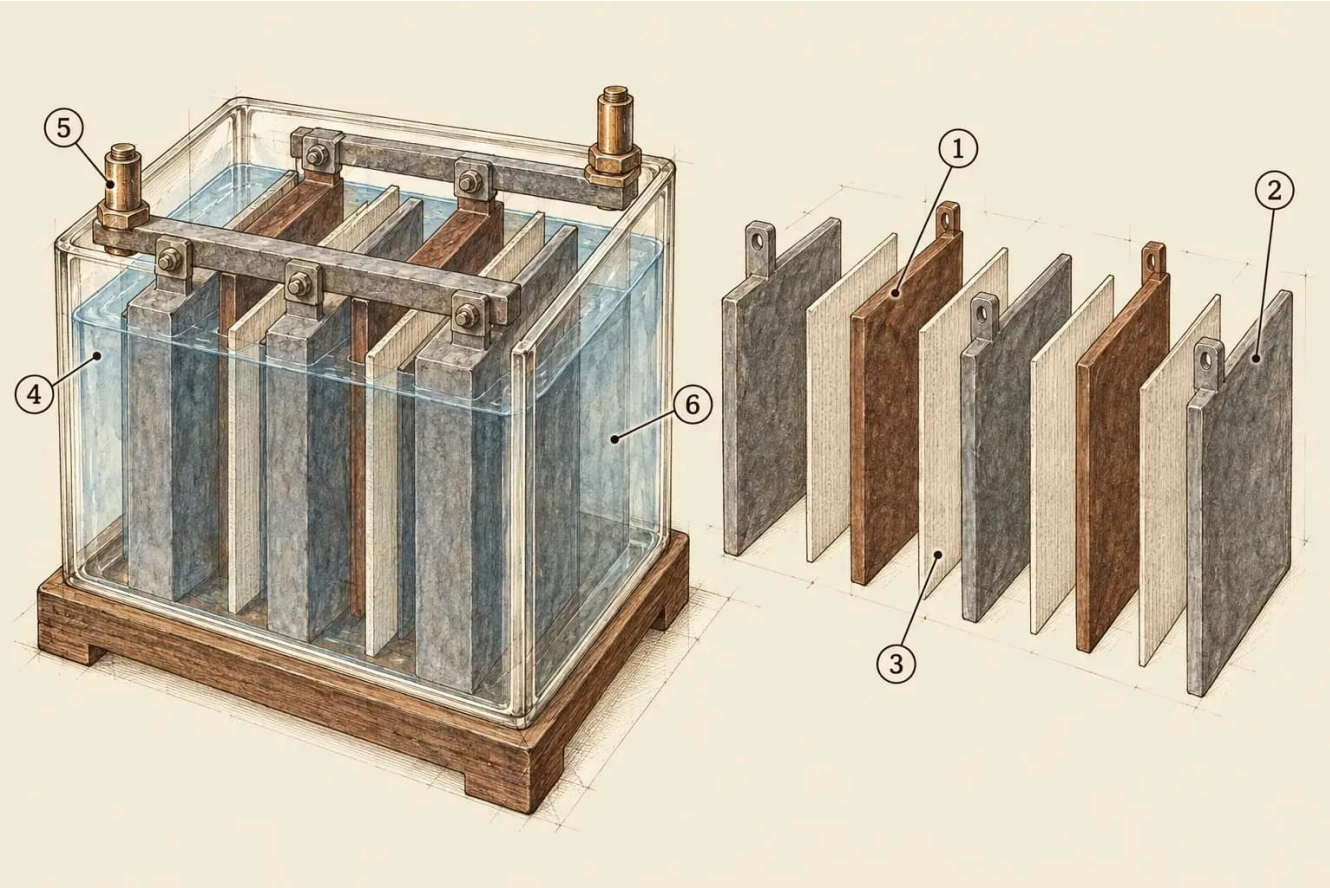
Accumulatore al piombo

Corrente messa da parte nel piombo

1859 · Età industriale · Scienza e industria

Richiede: Pila (p. 240), Generatore elettrico (p. 272)

Porta a: Turbina eolica (p. 337)



1 Piastra positiva (biossido di piombo) 2 Piastra negativa (piombo spugnoso) 3 Separatore 4 Elettrolita (acido solforico diluito) 5 Ponticello di piombo e morsetto 6 Vaso di vetro

Un accumulatore al piombo immagazzina elettricità in piastre di piombo e di biossido di piombo immerse in acido solforico diluito, la restituisce come corrente e si può ricaricare centinaia di volte. Gaston Planté costruì la prima cella nel 1859; con le piastre impastate di Camille Faure, nel 1881, divenne un prodotto industriale, e ancora oggi avvia la maggior parte delle automobili del mondo.

Che cos'è

Un accumulatore al piombo mette da parte l'elettricità in forma chimica e la restituisce come corrente, centinaia di volte di seguito. Ogni cella contiene piastre di piombo in acido solforico diluito e fornisce circa due volt. Una batteria per auto riunisce sei celle in serie in un unico contenitore: dodici volt.

Il fisico francese Gaston Planté costruì nel 1859 la prima cella ricaricabile: si ricaricava facendovi passare la corrente in senso inverso. Nel 1881 Camille Faure cambiò la preparazione delle piastre rivestendole di ossido di

piombo, così che le celle erano pronte prima e si potevano produrre in fabbrica. La reazione all'interno è quella di Planté.

Come funziona

Le piastre positive (1) portano biossido di piombo, una polvere marrone scuro. Le negative (2) portano piombo spugnoso, grigio e pieno di pori perché l'acido raggiunga quanto più metallo possibile. I separatori (3) le tengono distanti, e l'elettrolita (4), acido solforico diluito in acqua, riempie ogni interstizio.

Una piastra impastata: la pasta di ossido di piombo viene pressata in una griglia di piombo colato che la trattiene.

Durante la scarica il piombo e il biossido di piombo delle piastre reagiscono con l'acido e si trasformano in solfato di piombo, mentre le griglie di piombo conducono la corrente. Gli elettroni lasciano la piastra negativa e raggiungono la positiva attraverso il circuito esterno, dove alimentano la lampada o il motore. La reazione consuma acido e produce acqua, quindi l'elettrolita si diluisce man mano che la cella si scarica: in una batteria di avviamento la sua densità relativa (rispetto all'acqua) scende da circa 1,265 a circa 1,12.

La carica fa girare la reazione al contrario. La corrente di un generatore, di un pannello solare o di un caricabatterie collegato alla rete riporta il solfato a piombo e biossido di piombo, e l'acido torna nel liquido. Verso la fine resta poco solfato e una parte della corrente scompone l'acqua: l'idrogeno si libera sulle piastre negative, l'ossigeno sulle positive. Per questo le batterie aperte perdono acqua e i locali di carica vanno aerati.

La capacità si misura in amperora (Ah): una batteria da 60 Ah fornisce 3 A per circa 20 ore, il periodo di riferimento abituale, e meno se la si scarica più in fretta. Il solfato lasciato per settimane su una piastra scarica può crescere in cristalli duri che una carica normale potrebbe non sciogliere più, e le scariche profonde consumano la materia attiva. In un confronto di Battery University, una batteria di avviamento svuotata del tutto ogni volta è durata da 12 a 15 cicli, contro 130-150 quando se ne usava solo il 30%.

Come fare

Fabbricare le celle significa maneggiare piombo fuso e acido concentrato, perciò questa sezione spiega come scegliere, caricare e curare una batteria acquistata.

Dimensionarla sul consumo. Una baita accende ogni giorno tre lampade LED da 5 W per cinque ore e una radio da 10 W per tre: 75 + 30 = 105 wattora, circa 9 Ah a 12 V. Prevedete due giorni senza ricarica (18 Ah) e non usate più di metà della capacità: servono almeno 36 Ah. Scegliete una batteria a ciclo profondo da 40 a 50 Ah, perché anche il freddo riduce la capacità.

Caricare alla tensione giusta. Usate un caricabatterie adatto alla tensione e al tipo della batteria (aperta, AGM o al gel) e seguite il profilo di carica del costruttore. A circa 25 °C una batteria aperta da 12 V si carica di solito fino a 13,8–14,7 V a seconda del modello, poi si mantiene a circa 13,5 V; un buon caricabatterie adatta la tensione di carica alla temperatura della batteria. Con un pannello solare, inserite un regolatore di carica tra pannello e batteria. Qualunque sia la fonte di carica, montate un fusibile adatto al cavo vicino al polo positivo e proteggete ogni circuito che alimenta un apparecchio. Ricaricate poco dopo ogni uso e non caricate mai una batteria congelata.

Si preme la pompetta, si aspira l'acido da una cella e si guarda a che altezza sale il galleggiante: più l'acido è denso, più la cella è carica.

Controllare lo stato di carica. Lasciate riposare la batteria scollegata almeno quattro ore, meglio un giorno, poi misurate la tensione ai morsetti. Per esempio, una batteria di avviamento a 26 °C, dopo un giorno di riposo, segna circa 12,65 V carica e circa 11,9 V scarica; ogni modello è diverso, quindi usate la tabella del costruttore. Nelle batterie aperte un densimetro misura ogni cella: sulla stessa batteria, circa 1,265 carica e circa 1,12 scarica.

Rabboccare solo con acqua distillata. Aggiungete acqua distillata fino al segno dopo la carica, a batteria raffreddata; se le piastre sono scoperte già prima della carica, versatene solo quanto basta a coprirle. Non aggiungete mai acido. Le batterie sigillate AGM e al gel non richiedono acqua.

Pulire, conservare, riciclare. Spazzolate le incrostazioni dei morsetti con acqua e bicarbonato senza farne entrare nelle celle, poi asciugate e ingrassate i poli. Conservate la batteria carica, in un luogo fresco e asciutto; controllatene la tensione circa una volta al mese e ricaricatela prima che scenda sotto circa 12,3 V, o sotto la soglia indicata dal costruttore, e comunque almeno ogni sei mesi. Riportate la batteria esausta a un rivenditore o a un punto di raccolta.

> **Sicurezza.** L'acido delle batterie ustiona pelle e occhi: indossate occhiali protettivi e guanti resistenti agli acidi. In caso di schizzi, sciacquate con acqua corrente per almeno 30 minuti e rivolgetevi a un medico. La carica libera idrogeno, che una scintilla o una fiamma possono incendiare: caricate in un luogo aerato, non fumate nelle vicinanze e spegnete il caricabatterie prima di applicare o togliere le pinze. Sull'auto, staccate per primo il cavo collegato alla carrozzeria (quasi sempre il negativo) e ricollegatelo per ultimo. Un cortocircuito fa passare centinaia di ampere e può fondere una chiave: usate attrezzi isolati e togliete anelli e orologio. Una batteria per auto può pesare 15 kg o più: tenetela dritta e sollevatela piegando le gambe. Il piombo è tossico: lavatevi le mani dopo averla maneggiata, non bruciate mai una batteria né apritene il contenitore (in una batteria aperta si tolgono solo i tappi di riempimento) e tenetela lontana dai bambini.

Storia ed evoluzione

Planté presentò le sue celle all'Accademia delle scienze di Parigi nel 1860: lamine di piombo separate da strisce di gomma in acido diluito, «formate» invertendo più volte la corrente finché la loro superficie diventava porosa.

Finché caricarle voleva dire consumare pile, gli accumulatori rimasero nei laboratori; negli anni Settanta dell'Ottocento la dinamo cambiò le cose. La pasta di Faure sostituì mesi di formazione con un'unica carica di circa sessanta ore. Le centrali elettriche degli anni Ottanta e Novanta dell'Ottocento tenevano batterie in parallelo alla rete per assorbire il picco serale. Dal 1893 circa le centrali telefoniche alimentarono le linee degli abbonati da una batteria centrale.

File di celle in vetro tenevano in funzione centrali di illuminazione e centrali telefoniche durante i picchi e i guasti.

Intorno al 1900 le auto elettriche, per lo più con batterie al piombo, erano circa un terzo dei veicoli sulle strade americane. L'avviamento elettrico di Charles Kettering, montato sulla Cadillac del 1912, rese superflua la manovella; man mano che lo adottarono le altre marche, la batteria di avviamento diventò di serie. Negli Stati Uniti si ricicla circa il 99% delle batterie al piombo, e quelle nuove contengono oltre l'80% di materiale riciclato.

Dati chiave

Tensione di una cella

Circa 2,1 V a riposo, a piena carica; sei celle in serie formano una batteria da 12 V

Tensione di carica

2,30–2,45 V per cella, poi circa 2,25 V per cella per mantenerla carica

Densità relativa dell'acido

Circa 1,265 carica, circa 1,12 scarica (batteria di avviamento, dopo 24 ore di riposo)

Riciclo

Il 99% delle batterie al piombo viene riciclato negli Stati Uniti (studio di settore, dati fino al 2018)

Fonti

1. Accumulator (1911 Encyclopædia Britannica) · Encyclopædia Britannica, 11th edition, via Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Accumulator
2. One of the First Rechargeable Batteries, about 1860 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36401/one-of-the-first-rechargeable-batteries-about-1860-lead-acid-rechargeable-batteries
3. Planté Battery – 1859 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery-1859/
4. BU-201: How does the Lead Acid Battery Work? · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work
5. BU-403: Charging Lead Acid · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid
6. BU-903: How to Measure State-of-charge · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge
7. BU-804b: Sulfation and How to Prevent it · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-804b-sulfation-and-how-to-prevent-it
8. Battery Charging – Industrial Lead-Acid Batteries · Canadian Centre for Occupational Health and Safety https://ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/battery-charging.html
9. Charging safely · Safety+Health, National Safety Council (NIOSH advice) https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/charging-safely-2
10. Lead Battery Industry Issues New National Recycling Rate Study · Battery Council International https://batterycouncil.org/news/lead-battery-industry-issues-new-national-recycling-rate-study/
11. The History of the Electric Car · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/history-electric-car
12. Switches, PBXs and Central Offices, chapter 12: power plants · TelephoneTribute.com https://www.telephonetribute.com/switches_survey_chapter_12.html
13. Lead poisoning and health · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health
14. Lead–acid battery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery

Fatti verificati il 2026-10-14

V

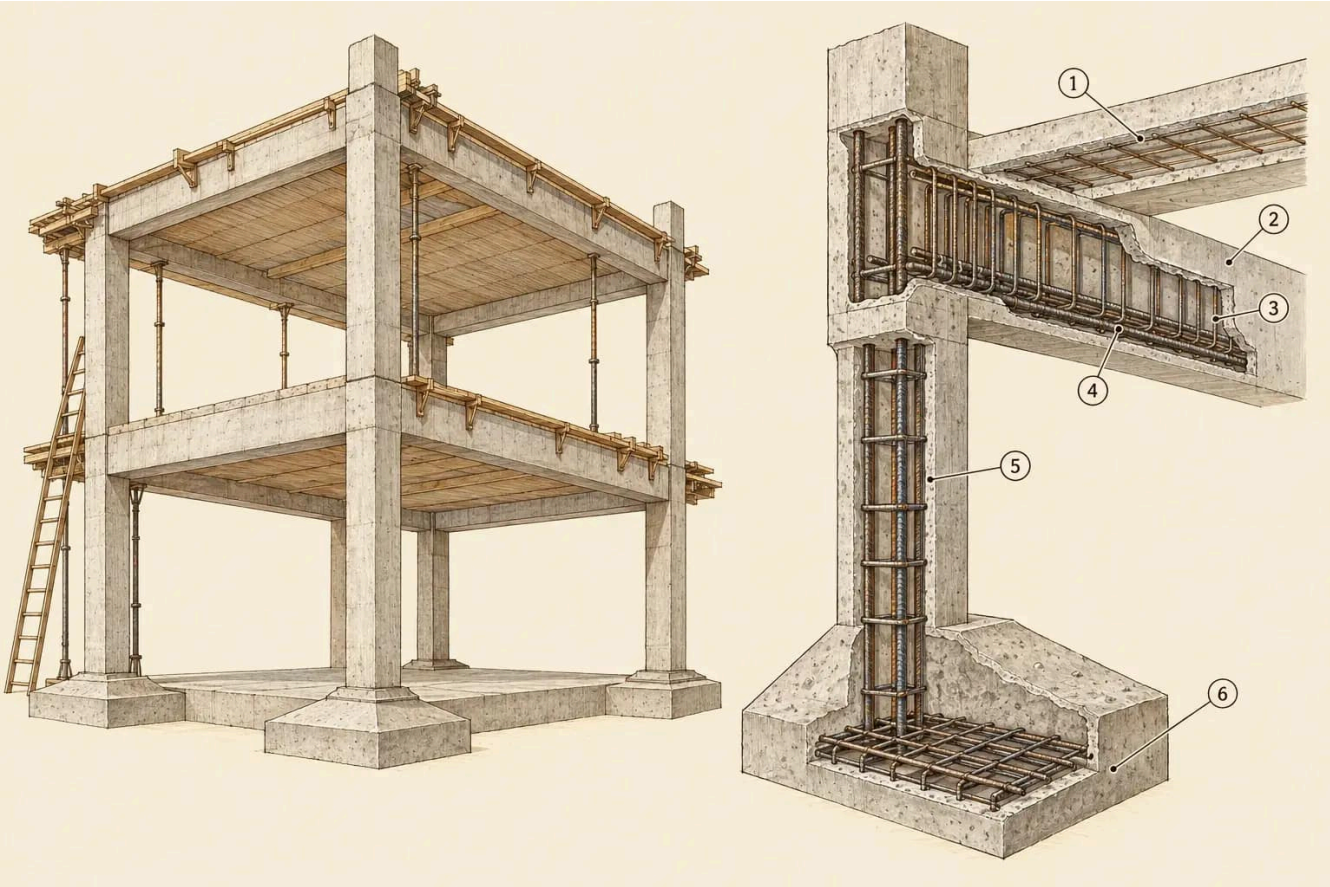
Era elettrica

Cemento armato

Acciaio a trazione, calcestruzzo a compressione

c. 1848 · Età industriale · Era elettrica

Richiede: Cemento Portland (p. 256), Acciaio (p. 141)



1 Soletta del solaio 2 Trave 3 Staffe 4 Armatura principale sul lato teso 5 Pilastro con staffe 6 Plinto di fondazione

Il cemento armato è calcestruzzo con barre d'acciaio annegate al suo interno, messe dove l'elemento verrà teso. Il calcestruzzo regge la compressione e l'acciaio la trazione, così una trave o una soletta piana può scavalcare un'apertura dove il calcestruzzo semplice o la pietra si spaccherebbero.

Che cos'è

Il calcestruzzo resiste benissimo allo schiacciamento e malissimo allo stiramento: la sua resistenza a trazione è circa un decimo di quella a compressione. Una trave di calcestruzzo non armato, come un architrave di pietra, si fessura sulla faccia inferiore tesa sotto un carico modesto. Per questo i costruttori romani coprivano gli spazi con archi, volte e cupole, forme che lavorano quasi solo a compressione.

Il cemento armato mette l'acciaio dove l'elemento si allunga. Le barre nella parte bassa di una trave assorbono la trazione, il calcestruzzo sopra di esse la compressione. Insieme si gettano in solette, travi, pilastri, plinti, muri, serbatoi e ponti.

Come funziona

Sotto carico una trave si inflette: sopra si accorcia, sotto si allunga e si apre in fessure sottili come capelli, e da quel momento sono le barre inferiori a reggere la trazione. Sopra gli appoggi intermedi di una trave continua, e in uno sbalzo, il lato teso è in alto, e lì l'armatura principale va in alto. Una soletta appoggiata sui quattro lati si inflette in due direzioni e riceve una rete; una che lavora in una sola direzione riceve comunque barre più leggere di traverso, contro le fessure da ritiro. Vicino agli appoggi la trave tende anche a fessurarsi in diagonale; anelli chiusi di barra più sottile, le staffe, attraversano quelle fessure e lì si infittiscono. I pilastri sono soprattutto compressi, e le staffe attorno alle barre verticali impediscono che queste si aprano verso l'esterno.

L'unione funziona per tre motivi. Acciaio e calcestruzzo si dilatano con il calore quasi della stessa misura, circa 10-12 milionesimi per grado Celsius. Le nervature laminate sulle barre moderne fanno presa nel calcestruzzo e trasmettono la forza dall'uno all'altro. E l'acqua nei pori del calcestruzzo è fortemente alcalina, intorno a pH 12,5-13, e riveste l'acciaio di una sottile pellicola di ossido che blocca la ruggine.

Questa protezione dura quanto il copriferro, il calcestruzzo all'esterno delle barre. L'anidride carbonica dell'aria lo neutralizza lentamente per carbonatazione, e il sale marino o quello antighiaccio vi portano cloruri. Quando ne arriva abbastanza all'acciaio, in presenza di umidità e ossigeno, la barra arrugginisce. La ruggine occupa un volume parecchie volte maggiore dell'acciaio che sostituisce: fessura il copriferro e lo fa saltare a scaglie. Questi distacchi cominciano dove il copriferro è sottile o poroso. La norma americana ACI 318 chiede circa 38 mm di copriferro sulle barre sottili all'aperto e 75 mm dove il calcestruzzo è gettato contro il terreno.

La ruggine si gonfia mentre si forma e stacca il calcestruzzo troppo sottile sopra la barra.

Il cemento armato precompresso va oltre: fili d'acciaio ad alta resistenza, tesi e ancorati al calcestruzzo, comprimono l'elemento in anticipo. Sotto carico la sua faccia inferiore subisce poca o nessuna trazione, e si possono fare travi più lunghe e sottili.

Come si costruisce

Si tratta di un piccolo architrave prefabbricato per un'apertura di 0,9 m al massimo in un muretto da giardino, sotto pochi corsi di blocchi, senza solai né tetto. Ogni elemento che porta persone o parte di un edificio, compreso l'architrave di una casa, o la cui caduta potrebbe ferire qualcuno, va progettato da un ingegnere secondo le norme locali, oppure acquistato come prodotto certificato.

Fare il cassero. Su un terreno piano, avvitare delle tavole in una cassa aperta lunga 1,2 m, con sezione interna di 150 × 150 mm, così che l'architrave appoggi 150 mm per parte. Oliare le facce interne e puntellare i lati con paletti, perché il getto non li spinga in fuori.

Posare l'acciaio. Tagliare due barre nervate da 10 mm a 1,1 m, lasciando 50 mm di calcestruzzo a ogni estremità. Appoggiarle su distanziatori di plastica da 40 mm, a 40 mm dai lati, e legarle con filo di ferro perché non si spostino durante il getto. Usare barre intere. Nelle opere più grandi le barre si giuntano sovrapponendole per una lunghezza fissata dal progetto, almeno 500 mm nelle platee delle case australiane.

Gettare, costipare e stagionare. Impastare il calcestruzzo come per il cemento Portland, con ghiaietto di 10 mm al massimo. Riempire in due strati, costipare ciascuno con l'asta attorno alle barre e battere sulle tavole per far uscire l'aria. Incidere una freccia sulla faccia superiore: montato al contrario, l'architrave avrebbe l'acciaio sul lato compresso. Tenerlo umido sotto un telo di plastica per almeno 7 giorni, di più se fa freddo.

Le barre poggiano sui distanziatori: il calcestruzzo passa sotto e le avvolge.

Metterlo in opera. L'architrave pesa circa 65 kg: spostarlo in due a livello del suolo, o con un ausilio di sollevamento sopra la vita, e posarlo su un letto di malta, con l'acciaio in basso. Costruirci sopra solo dopo circa 28 giorni, quando il calcestruzzo si avvicina alla resistenza prevista.

Vedere la trazione all'opera. Gettare tre barrette di malta di 50 × 50 × 500 mm, una senza armatura e due con un filo d'acciaio da 4 mm a 15 mm da una faccia. Dopo una settimana, appoggiarle una alla volta su due mattoni distanti 400 mm, a terra, mettere di traverso al centro una tavoletta e impilarci sopra mattoni uno alla volta. La barretta senza armatura si spezza di colpo; quella con il filo in basso si fessura sotto, si inflette e regge molto di più; provata con il filo in alto, la terza si rompe quasi come quella senza armatura.

> **Sicurezza.** Il cemento fresco è fortemente alcalino e ustiona la pelle contro cui resta intrappolato: indossate guanti impermeabili, maniche lunghe e occhiali protettivi, e lavate subito gli schizzi. Tagliate l'acciaio con la tronchese o con la smerigliatrice solo con occhiali e guanti, lontano da tutto ciò che può bruciare. Puntellate ogni cassero; una cassaforma che regge calcestruzzo in alto è lavoro da professionisti, perché può crollare sotto il peso del getto. Durante la prova di carico portate gli occhiali, state di lato e tenete i piedi lontano dal carico.

Storia ed evoluzione

Nel 1848 Joseph-Louis Lambot fece galleggiare una barca di cemento su rete di ferro nello stagno della sua tenuta di Miraval, nel Var. La brevettò nel 1855 e nello stesso anno ne espose una seconda a Parigi; la prima è conservata nel museo di Brignoles. Questa tavola adotta il 1848, data di quella barca, uno dei primi esempi conservati di ferro e cemento che lavorano insieme. Nel 1854, in Inghilterra, William Boutland Wilkinson di Newcastle brevettò solai armati con il ferro.

La barca di Lambot: un sottile guscio di cemento su una griglia di ferro.

Joseph Monier, giardiniere a Parigi, brevettò il 16 luglio 1867 vasi e serbatoi armati, poi ponti nel 1873 e travi nel 1878. In Germania Gustav Adolf Wayss acquistò i suoi brevetti e costruì oltre 300 ponti ad arco tra il 1887 e il 1891. Nel 1892 François Hennebique brevettò un'ossatura completa di pilastri, travi e solette, realizzata da imprese concessionarie. Negli Stati Uniti Ernest Ransome brevettò nel 1884 una barra ritorta, e l'Ingalls Building di Cincinnati raggiunse 16 piani nel 1903.

Il ponte di Salginatobel di Robert Maillart (1930) scavalca una gola svizzera con un arco cavo di 90 m, spesso solo 20 cm in chiave. Eugène Freyssinet brevettò la precompressione nel 1928 e nel 1934 la usò per salvare la stazione marittima di Le Havre, che sprofondava nell'argilla.

Un rapporto di Chatham House del 2018 stima la produzione mondiale di cemento in oltre 4 miliardi di tonnellate l'anno, in gran parte per il calcestruzzo, e la sua quota delle emissioni mondiali di CO_2 in circa l'8%.

Dati chiave

Il calcestruzzo a trazione
Circa il 10% della sua resistenza a compressione

Acqua dei pori attorno alle barre
pH 12,5-13, che protegge l'acciaio dalla ruggine

Prime tappe
La barca di Lambot, 1848; primo brevetto di Monier, 16 luglio 1867

Dilatazione termica
Circa 10 milionesimi per °C il calcestruzzo, 11-12 l'acciaio

Copriferro minimo (ACI 318)
Circa 38 mm sulle barre sottili all'aperto, 75 mm contro il terreno

Fonti

1. Joseph Monier et l'invention du béton armé (B. Lemoine, 2023) · Association française de génie civil (AFGC) https://www.afgc.asso.fr/app/uploads/2026/03/JosephMONIER_InventionBeton.pdf
2. The Construction Industry enters the 20th Century (R. Day, 1980) · Bristol Industrial Archaeological Society Journal 13 https://b-i-a-s.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/BIAS_Journal_13_FERRO_CONCRETE.pdf
3. The Invention of Reinforced Concrete (1848–1906) (Moussard, Garibaldi & Curbach, 2018) · TU Dresden, in High Tech Concrete (Springer) https://fis.tu-dresden.de/portal/en/publications/the-invention-of-reinforced-concrete-1848--1906(8f5281e9-99eb-4cdd-9eff-3687b595367f).html
4. Maison de Joseph Lambot à Montfort-sur-Argens · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/ot_campslasource/patrimoine-montfort-sur-argens-maison-de-joseph-lambot_1679.html
5. Musée des Comtes de Provence, Brignoles · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/activites/patrimoine-brignoles-musee-des-comtes-de-provence_435.html
6. Why is reinforced concrete used? · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=666
7. Concrete cover for members cast against earth (ACI 318-19) · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=903
8. Beam reinforcement detailing per ACI 318-19 (cover table) · ideCAD documentation https://help.idecad.com/ideCAD/beam-reinforcement-detailing
9. What stops the reinforcing steel in damp, porous concrete from corroding (usually)? (J. Broomfield) · Institute of Corrosion https://www.icorr.org/?p=22054
10. Thermal expansion and contraction of concrete · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/cracking/thermalexpansioncontraction/example.htm
11. Principles of reinforced concrete: objective of the steel-concrete combination (W. Pauchet, 2021) · Techniques de l'Ingénieur https://www.techniques-ingenieur.fr/en/resources/article/ti264/principles-of-reinforced-concrete-tba1024/objective-of-the-steel-concrete-combination-2
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Concrete slab reinforcement: lapping · RMIT University Learning Lab https://learninglab.rmit.edu.au/Toolbox/buildright/content/bcgbc4010a/10_floor_systems/03_concrete_slab_reinforcement/page_006.htm
14. Ingalls Building · American Society of Civil Engineers https://asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/ingalls-building
15. Alvord Lake Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/alvord-lake-bridge
16. Salginatobel Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/salginatobel-bridge
17. World Monument Salginatobel Bridge, technical profile · Schiers Tourism https://www.salginatobelbridge.com/s/English_Flyer.pdf
18. The Story of Eugène Freyssinet (K. Shushkewich, 2010) · ASPIRE, The Concrete Bridge Magazine https://www.aspirebridge.com/magazine/2010Fall/Perspective_Fall10.pdf
19. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
20. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm

Fatti verificati il 2026-10-14

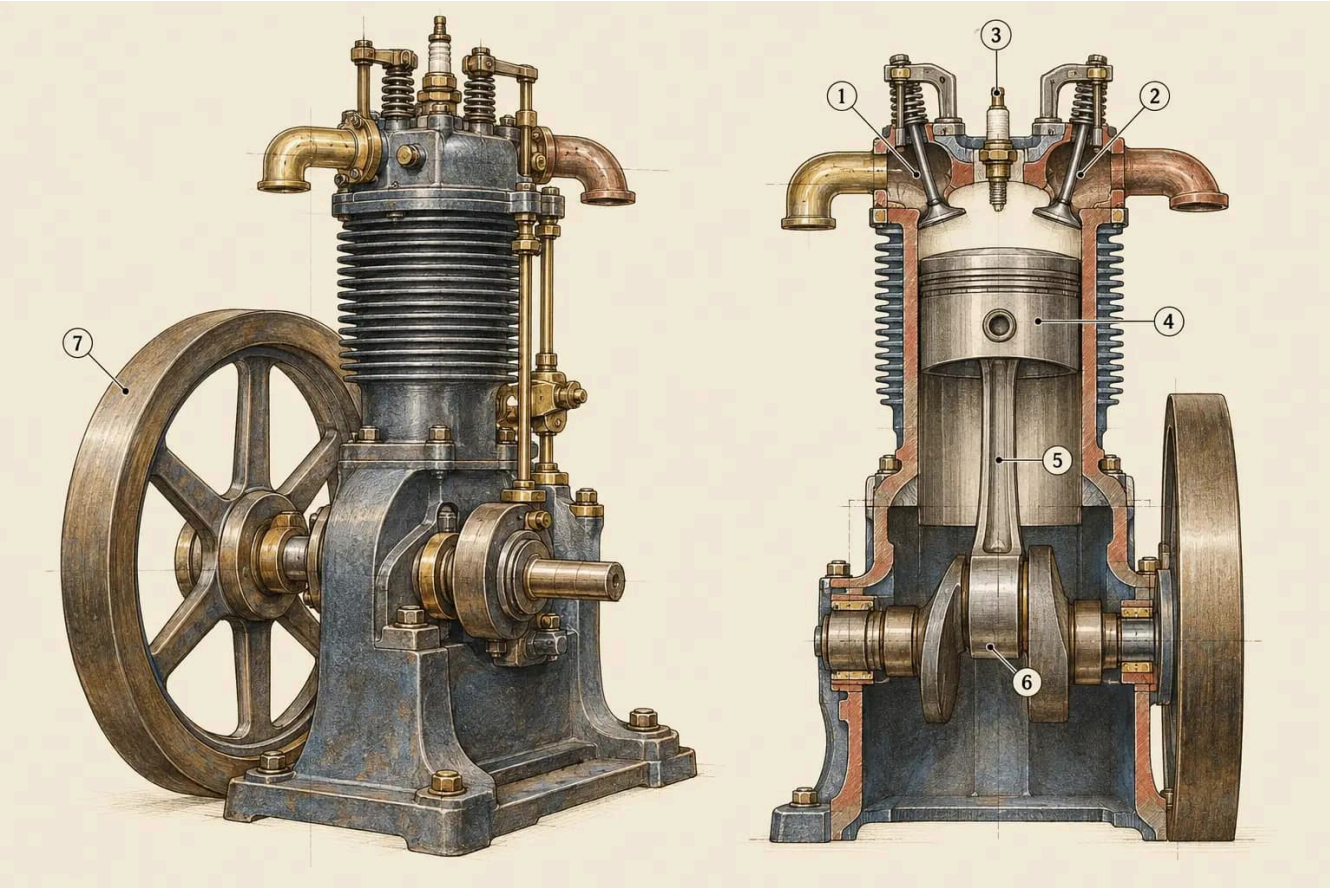
Motore a combustione interna

Piccole esplosioni, potenza costante

1876 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Macchina a vapore (p. 227), Siderurgia del ferro (p. 137), Acciaio (p. 141), Distillazione (p. 174)

Porta a: Aeroplano (p. 350)



1 Valvola di aspirazione 2 Valvola di scarico 3 Candela 4 Pistone 5 Biella 6 Albero a gomiti 7 Volano

Un motore a combustione interna brucia il carburante dentro un cilindro chiuso; il gas caldo spinge un pistone che fa girare un albero a gomiti. Il motore a gas a quattro tempi di Nicolaus Otto, del 1876, fissò lo schema che segue ancora oggi la maggior parte dei motori di automobili, barche e gruppi elettrogeni.

Che cos'è

Un motore a combustione interna produce il calore all'interno della macchina stessa. La macchina a vapore brucia il combustibile sotto una caldaia separata e manda il vapore al cilindro. Qui invece una piccola carica di aria e carburante brucia nel cilindro, e il gas prodotto spinge direttamente su un pistone.

Il motore della tavola è un monocilindrico verticale come quelli costruiti negli anni 1880 e 1890: un cilindro di ghisa con alette di raffreddamento, un pistone che vi scorre dentro, un albero a gomiti sotto e un pesante volano che porta avanti la rotazione tra uno scoppio e l'altro. I motori d'automobile di oggi hanno più cilindri e leghe più leggere, ma trasformano ancora la spinta su un pistone in rotazione tramite una biella e un albero a gomiti.

Come funziona

Il pistone è un tappo ben aderente che sale e scende nel cilindro. Una biella lo collega a un perno di manovella dell'albero a gomiti, così il moto alternato del pistone diventa rotazione, come le ginocchia di un ciclista fanno girare i pedali.

La maggior parte dei motori segue il ciclo a quattro tempi che Otto rese utilizzabile. In un motore ad accensione comandata come quello disegnato qui, funziona così. Nel primo tempo il pistone scende con la valvola di aspirazione aperta e aspira una miscela di aria e carburante. Nel secondo entrambe le valvole sono chiuse e il pistone risale, comprimendo la miscela in un piccolo spazio in cima al cilindro. Vicino al punto più alto una scintilla la accende (nei primi motori era una fiamma o un tubetto incandescente). Il gas si riscalda molto in fretta e spinge il pistone verso il basso: questo terzo tempo è l'unico che produce lavoro. Nel quarto si apre la valvola di scarico e il pistone, risalendo, espelle i gas combusti.

Anelli elastici alloggiati in scanalature attorno al pistone lo rendono stagno contro la parete del cilindro.

L'albero a gomiti compie due giri per ogni fase utile, e il volano accumula energia sufficiente a superare le altre tre. Un albero a camme che gira a metà velocità dell'albero a gomiti apre ogni valvola al momento giusto.

Fu la compressione a dare il vantaggio al motore di Otto. Una miscela compressa prima di bruciare libera il suo calore a una pressione più alta, e una parte maggiore di quel calore diventa lavoro. Negli anni Novanta dell'Ottocento Rudolf Diesel spinse l'idea più in là: comprimeva soltanto aria finché diventava abbastanza calda da accendere il carburante iniettato, senza alcuna scintilla.

Come costruirlo

Un motore funzionante è un lavoro di precisione. Servono una fonderia, un tornio e un'alesatrice, strumenti di misura al centesimo di millimetro e un carburante affidabile. Quanto segue descrive come si fabbricavano storicamente i pezzi; non è un progetto costruttivo.

Fondere il cilindro e il basamento. I primi costruttori fondevano cilindro e base in ghisa grigia, facile da lavorare e resistente all'usura. Poi il cilindro veniva alesato perfettamente tondo e diritto. La camicia d'acqua o le alette facevano parte dello stesso getto.

Fare il pistone e le fasce. Il pistone, di ghisa e più tardi di alluminio, era tornito un po' più piccolo dell'alesaggio. Anelli tagliati di ghisa elastica stanno in scanalature intorno a esso e premono verso l'esterno contro la parete, così il gas non passa.

Forgiare l'albero a gomiti e la biella. Sono i pezzi più sollecitati. Si forgiavano in acciaio, poi si tornivano e si montavano su cuscinetti di bronzo o metallo bianco.

Mettere in fase valvole e accensione. Le camme, e più tardi il magnete o la bobina che produce la scintilla, devono agire nel punto giusto del ciclo. Un errore fa funzionare male il motore o provoca un contraccolpo.

Alimentarlo e raffreddarlo. I motori di Otto andavano a gas illuminante. I motori a benzina richiesero un carburatore per dosare aria e carburante. Ogni motore va raffreddato ad acqua o ad aria e lubrificato con olio, perché le parti mobili non grippino.

> **Sicurezza.** Il carburante e i suoi vapori prendono fuoco facilmente e possono esplodere in un ambiente chiuso. I gas di scarico contengono monossido di carbonio, che uccide senza odore né preavviso: non fate mai girare un motore al chiuso o in uno spazio parzialmente chiuso, nemmeno con porte e finestre aperte. Il volano, le cinghie e la manovella di avviamento possono rompere le ossa, e un contraccolpo durante l'avviamento a mano può causare lesioni gravi. Le parti calde e l'acqua di raffreddamento in pressione causano ustioni.

Storia ed evoluzione

Motori a gas fissi come questo azionavano le macchine delle officine prima che i veicoli a motore si diffondessero.

Da due secoli si cercava di muovere un pistone con un'esplosione. Christiaan Huygens fece esperimenti con la polvere da sparo negli anni Settanta del Seicento, e nel 1807 lo svizzero François Isaac de Rivaz brevettò un motore a idrogeno, che in seguito montò su un piccolo carro. Il primo motore venduto in quantità significative fu il motore a gas di Étienne Lenoir del 1860. Somigliava a una macchina a vapore a doppio effetto, ma bruciava la miscela senza comprimerla e sprecava gran parte del combustibile.

Nicolaus Otto, commesso viaggiatore di Colonia, nel 1861 si fece costruire da un meccanico della città, Michael Zons, un motore sul modello di quello di Lenoir per studiarlo. Con l'ingegnere Eugen Langen costruì un motore «atmosferico» che vinse una medaglia d'oro all'Esposizione universale di Parigi del 1867; ne furono costruiti diverse migliaia di esemplari. Nel 1876 Otto realizzò il suo motore a quattro tempi con compressione. Il francese Alphonse Beau de Rochas aveva descritto lo stesso ciclo in un opuscolo del 1862, e per questo nel 1886 il brevetto tedesco di Otto fu annullato, lasciando altre aziende libere di costruire il motore.

Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, entrambi ex dipendenti della ditta di Otto, costruirono nel 1885 un motore piccolo e veloce che girava a diverse centinaia di giri al minuto. I motori diventarono così abbastanza leggeri per un veicolo. Lo stesso anno Carl Benz completò la sua vettura a tre ruote e ne depositò il brevetto nel gennaio 1886.

La vettura di Benz aveva un monocilindrico a quattro tempi di meno di un litro.

Nel 1897, ad Augusta, il motore di Diesel raggiunse in una prova un rendimento del 26,2%, più del doppio delle macchine a vapore dell'epoca. Nel Novecento i motori a combustione interna conquistarono il trasporto su strada, l'agricoltura, la navigazione e i primi aerei. I motori elettrici li stanno sostituendo in molte automobili, ma la maggior parte dei motori a combustione costruiti oggi segue ancora la sequenza a quattro tempi che Otto mise in pratica nel 1876.

Dati chiave

Primo quattro tempi di Otto
1876, circa 3 CV a 180 giri/min

Motore di prova di Diesel
Rendimento del 26,2%, 17 febbraio 1897

Fasi utili (motore a quattro tempi)
Una per cilindro ogni due giri dell'albero a gomiti

Fonti

1. Replica Otto four-stroke engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8405692/replica-otto-four-stroke-engine-internal-combustion-engine
2. Nikolaus August Otto · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/nikolaus-august-otto
3. Early history of the diesel engine · DieselNet https://www.dieselnet.com/tech/diesel_history.php
4. Otto engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_engine

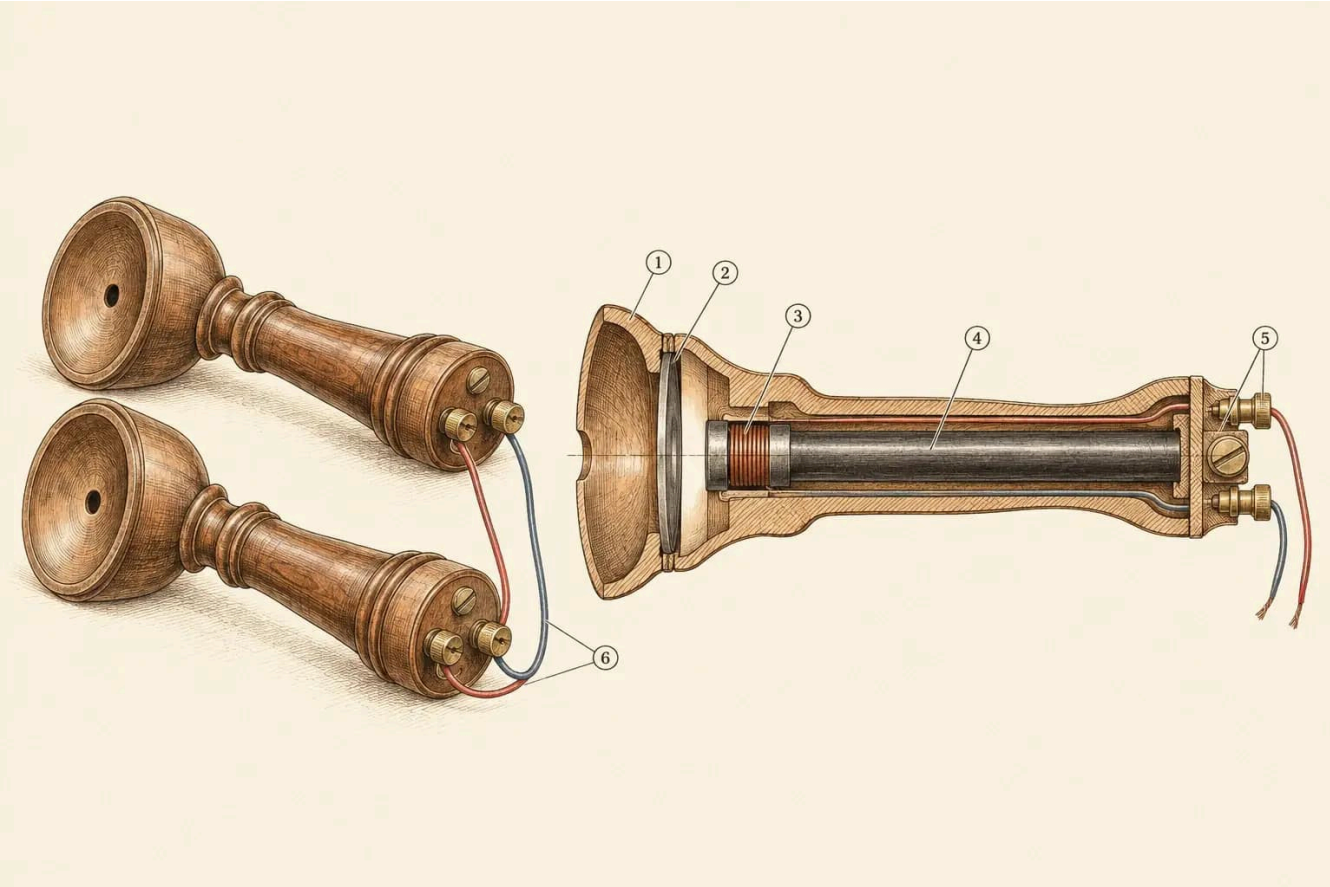
Fatti verificati il 2026-10-11

Telefono

Una voce portata da un filo

1876 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Telegrafo elettrico (p. 284)



1 Imboccatura e auricolare 2 Membrana di ferro 3 Bobina 4 Magnete a barra 5 Morsetti 6 Filo di linea

Il telefono trasforma le vibrazioni della voce in una corrente elettrica variabile, la manda lungo un filo e la ritrasforma in suono all'altro capo. Alexander Graham Bell lo brevettò nel marzo 1876; due anni dopo i suoi telefoni magnetici erano in uso commerciale, e il microfono a carbone e le centrali ne fecero presto un servizio pubblico.

Che cos'è

Un telefono trasporta la voce stessa lungo una coppia di fili. Un trasmettitore trasforma le onde di pressione della voce in una corrente elettrica la cui intensità segue le variazioni della pressione sonora; un ricevitore all'altro capo usa quella corrente per muovere una sottile piastra e ricreare il suono.

La tavola mostra uno dei telefoni a mano di Bell del 1877-1878, uno strumento di legno tornito soprannominato butterstamp perché ricordava uno stampo da burro. Lo stesso apparecchio serviva per parlare e per ascoltare, e funzionava senza pila: era la voce stessa a produrre la corrente.

Come funziona

Dentro la cassa di legno del butterstamp un magnete a barra d'acciaio percorre tutta l'impugnatura. Alla sua estremità anteriore c'è un corto pezzo polare di ferro dolce avvolto da una bobina di sottile filo di rame isolato. Proprio davanti al polo, separato da un intervallo di una frazione di millimetro, un sottile disco di ferro, la membrana, è stretto per il bordo dietro l'imboccatura. I due capi della bobina escono su morsetti posteriori, e da lì una coppia di fili va all'altro telefono.

Il telefono a spago trasmette il suono in modo meccanico: la voce fa vibrare il fondo di un barattolo e lo spago teso fa vibrare quello dell'altro.

Quando qualcuno parla nell'imboccatura, la pressione dell'aria sulla membrana sale e scende, e il disco si incurva in dentro e in fuori di pochissimo. Ogni volta che si avvicina al polo, una parte maggiore del campo del magnete attraversa il ferro; ogni volta che si allontana, una parte minore. Un campo magnetico variabile in una bobina vi genera una tensione, quindi la bobina invia sulla linea una debole corrente alternata che segue la forma dell'onda sonora.

Nel microfono a carbone la membrana comprime una capsula di granuli di carbone, così la corrente di una pila varia con la voce.

All'altro capo la stessa corrente percorre la bobina del secondo telefono. Rafforza o indebolisce l'attrazione del magnete permanente sulla membrana di quell'apparecchio, che si muove quindi al ritmo di quella di chi parla e fa vibrare l'aria davanti a sé. Tutta l'energia viene dalla voce, perciò il suono è debole e la portata breve. Dalla fine degli anni Settanta dell'Ottocento i telefoni ebbero un microfono a carbone: la membrana preme sul carbone, la cui resistenza elettrica cala quando viene compresso, e così la voce fa variare la corrente di una pila invece di produrla. Il segnale diventava molto più forte.

Come costruirlo

Due piccoli altoparlanti mostrano lo stesso principio, il passaggio reversibile fra suono, movimento e corrente. Sono però costruiti in modo diverso dall'apparecchio di Bell: nell'altoparlante la bobina è fissata alla membrana e si muove con essa nel campo di un magnete, mentre nel butterstamp bobina e magnete restano fermi e si muove solo la membrana di ferro. Collegati fra loro, due altoparlanti formano un telefono senza pila.

Procurarsi il materiale. Servono due piccoli altoparlanti uguali da 8 ohm e da 5 a 8 cm di diametro, comprati sciolti o recuperati da giocattoli a pile dopo averne tolto le pile (mai da radio o altri apparecchi alimentati dalla rete, nemmeno se staccati: alcune parti restano cariche), e qualche metro di piattina per campanelli o di cavo per altoparlanti.

Collegare. Spellate un centimetro a ogni capo del cavo. Collegate un conduttore al primo morsetto di ciascun altoparlante e l'altro conduttore al secondo morsetto di ciascuno, con morsetti a vite oppure attorcigliando e nastrando le giunzioni.

Parlare. Cominciate con un cavo corto, poi stendetelo fra due stanze con la porta chiusa, così che il compagno non vi senta direttamente. Parlate forte e molto vicino a una membrana mentre lui tiene l'altro altoparlante

all'orecchio; poi staccate un filo e riprovate, per verificare che il suono passi davvero dalla linea. Aspettatevi una voce debole; il risultato dipende dagli altoparlanti: se non arriva nulla, accorciate il cavo o provate altoparlanti di un'altra misura. Scambiatevi i ruoli: ogni altoparlante fa da trasmettitore e da ricevitore, come il butterstamp.

Confrontare. Costruite anche un telefono a spago con due barattoli o bicchieri di carta e qualche metro di spago annodato in un foro sul fondo di ciascuno. Tenete lo spago teso e lontano da ostacoli, e confrontate i due.

> **Sicurezza.** Questo circuito non ha bisogno di pile e non va mai collegato alla rete elettrica né a una linea telefonica, che portano tensioni pericolose. I barattoli aperti hanno bordi taglienti: limateli o copriteli con nastro adesivo. Non gridate direttamente nell'orecchio di qualcuno attraverso nessuno dei due telefoni.

Storia ed evoluzione

Prima di Bell diversi inventori cercarono di trasmettere la voce con l'elettricità. Nel 1861 Philipp Reis presentò a Francoforte un apparecchio che chiamò telefono, ma che rimase una curiosità. Antonio Meucci depositò nel 1871 una domanda preliminare di brevetto (caveat) per un «telegrafo sonoro» e la lasciò decadere nel 1874; la sua priorità è ancora discussa.

Bell, che allora lavorava a Boston, depositò la domanda di brevetto il 14 febbraio 1876, lo stesso giorno in cui Elisha Gray presentava un caveat che descriveva un'idea simile, e quale dei due documenti sia arrivato prima resta controverso. Il brevetto n. 174.465 fu rilasciato il 7 marzo. Tre giorni dopo, con un trasmettitore a liquido, Bell rivolse la sua prima frase chiaramente comprensibile al suo assistente Thomas Watson. Presto abbandonò il trasmettitore a liquido per il telefono magnetico, brevettato il 30 gennaio 1877. Il 12 febbraio 1877 un pubblico riunito a Salem sentì un oratore che parlava da Boston, a circa 26 km.

Il trasmettitore a liquido di Bell, marzo 1876: la voce fa vibrare la membrana, il filo affonda più o meno nell'acqua acidulata e la corrente varia.

Thomas Edison ideò un trasmettitore a carbone nel 1877, e Henry Hunnings, in Inghilterra, usò carbone in granuli. La prima centrale commerciale aprì a New Haven, nel Connecticut, il 28 gennaio 1878, con 21 abbonati collegati a mano su un centralino. Le centrali automatiche di Almon Strowger permisero poi agli abbonati di stabilire da soli le comunicazioni, cosa che dal 1896 il disco combinatore rese più semplice. Negli anni Cinquanta gli Stati Uniti avevano più della metà dei telefoni del mondo.

Dati chiave

Brevetto di Bell
N. 174.465, depositato il 14 febbraio 1876, rilasciato il 7 marzo 1876

Telefono magnetico senza pila
Brevetto statunitense n. 186.787, 30 gennaio 1877

Prima frase comprensibile di Bell
10 marzo 1876, Boston: «Mr. Watson, come here, I want to see you» (taccuino di Bell)

Prima centrale commerciale
New Haven, 28 gennaio 1878: 21 abbonati a 1,50 dollari al mese

Fonti

1. Telephone · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telephone
2. Early telephone by Alexander Graham Bell, 1877 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32960/early-telephone-by-alexander-graham-bell-1877
3. US186787A: Improvement in electric telegraphy (A. G. Bell, 1877) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US186787A/en
4. First Commercial Telephone Exchange – Today in History: January 28 · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/the-first-commercial-telephone-exchange-today-in-history
5. Telephone · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Telephone
6. Replica of Bell's liquid transmitter of March 1876 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co33314/replica-of-bells-liquid-transmitter-of-march-1876-1880-1958-telephone
7. The Telephone: a lecture entitled Researches in Electric Telephony (A. G. Bell, Society of Telegraph Engineers, 1877) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/55787
8. Some experiments with the telephone (Lord Rayleigh, Scientific Papers) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/abs/scientific-papers/some-experiments-with-the-telephone/3FE1242F3DA62548052EB38CDF24909D
9. Vibration of Plates (A. W. Leissa, NASA SP-160, 1969) · NASA https://ntrs.nasa.gov/citations/19700009156
10. Early receivers · Telephone Collecting https://telephonecollecting.org/Bobs%20phones/Pages/Essays/Early%20Receivers/Early%20Receivers.htm
11. Copper Wire Tables (NBS Handbook 100, 1966) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
12. US7760869B2: Method and apparatus for controlling the transmit volume level of a speakerphone (mouth reference point and TIA-810-B test level) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US7760869B2/en

Fatti verificati il 2026-10-12

Lampadina a incandescenza

Un filamento luminoso nel vuoto

1879 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Generatore elettrico (p. 272), Vetro (p. 133)

1 Bulbo di vetro 2 Filamento di carbonio 3 Fili di platino passanti 4 Stelo di vetro sigillato 5 Codolo di chiusura 6 Attacco a vite

Una lampadina a incandescenza produce luce facendo passare corrente in un filamento sottile finché diventa incandescente, dentro un bulbo di vetro svuotato d'aria perché il filamento non bruci. Joseph Swan e Thomas Edison la resero utilizzabile nel 1879, e per più di un secolo illuminò case e strade.

Che cos'è

La lampadina a incandescenza è un bulbo di vetro con dentro un filo sottilissimo, il filamento, che si illumina quando lo attraversa una corrente. Prima di lei le case si illuminavano con le fiamme: candele, lumi a olio e becchi a gas, che fumavano e spesso causavano incendi. Esistevano già le lampade elettriche ad arco, ma erano troppo intense per una stanza.

La lampada della tavola è del tipo prodotto dalla fabbrica di Edison nei primi anni Ottanta dell'Ottocento. Le sue discendenti sono state la normale lampada di casa per gran parte del Novecento, finché le lampade fluorescenti compatte e poi i LED ne hanno preso il posto.

Come funziona

Ogni materiale scaldato abbastanza emette luce. La resistenza elettrica trasforma in calore l'energia della corrente, e un filamento sottile passa dal rosso scuro all'arancione, fino al calor bianco. Più è caldo, più la luce è bianca e il rendimento alto, ma più in fretta il filamento evapora.

All'aria un filo di carbonio o di metallo al calor bianco brucia in pochi istanti, perciò il bulbo viene svuotato, o più tardi riempito di gas inerte. La pompa si collega in cima con un sottile tubo di vetro, che poi viene chiuso alla fiamma: è la piccola punta di evacuazione delle vecchie lampadine.

I fili che portano la corrente al filamento devono attraversare il vetro. Vetro e metallo si dilatano in misura diversa, e una saldatura mal assortita si crepa quando la lampada si scalda. Il platino si dilata quasi come il vetro usato nelle prime lampadine, che avevano perciò corti fili di platino attraverso uno stelo di vetro, uniti a rame più economico nell'attacco.

Edison progettò la lampadina insieme alla rete di alimentazione. Un filamento ad alta resistenza elettrica assorbe poca corrente a circa 100 volt, così le lampade si collegano in parallelo, ognuna con il suo interruttore, su conduttori di rame di sezione contenuta.

Solo il 5-10% circa dell'elettricità di una lampada a incandescenza esce come luce visibile; il resto diventa calore.

Nella pompa di Sprengel ogni goccia di mercurio che cade intrappola un po' d'aria e la trascina verso il basso del tubo.

Come costruirla

Una lampadina che duri richiede un soffiatore di vetro, una pompa che raggiunga una pressione molto bassa e un filamento dimensionato per la tensione di alimentazione. Solo il primo passaggio è una dimostrazione sicura da fare in casa; gli altri descrivono come si fabbricavano le prime lampade in laboratorio.

Vedere il principio. Fissare un pezzetto di mina sottile da matita tra due morsetti metallici su una piastrella di ceramica e coprirlo con un barattolo di vetro capovolto. Alimentarlo con un alimentatore da banco regolato a circa 12 volt, con il limite di corrente al minimo, poi alzare il limite lentamente. La mina diventa arancione, poi si spezza bruciando nell'ossigeno sotto il barattolo: ecco perché il bulbo va svuotato d'aria.

Carbonizzare il filamento. Nei laboratori si chiudevano anse di bambù o di filo di cotone nel carbone di legna in polvere, dentro un crogiolo con coperchio e sfiato, che si scaldava al calor rosso in forno per ore. Senza aria la fibra diventa carbonio invece di cenere; i gas che escono sono infiammabili e contengono monossido di carbonio.

Sigillare i fili. Due corti fili di platino, o di un altro metallo adatto al vetro, venivano fusi in uno stelo di vetro; il filamento si fissava alle loro punte con pasta di carbonio, e lo stelo si saldava nel collo di un bulbo soffiato, con un sottile tubo di evacuazione in cima. Un filamento a bassa tensione deve essere più corto e più spesso di uno da 100 volt.

Pompare e scaldare. Con il bulbo sulla pompa, una corrente moderata nel filamento espelleva i gas dal carbonio e dal vetro. Quando la pressione smetteva di scendere, il tubo veniva chiuso alla fiamma.

Montare l'attacco. Un attacco a vite di ottone veniva fissato al collo con il gesso, con un filo saldato al bossolo filettato e l'altro al contatto centrale.

Sicurezza. La tensione di rete può uccidere: fare le prove solo con un alimentatore da banco a corrente limitata sotto i 24 volt, mai da una presa a muro, e non collegare mai direttamente un filamento a una batteria d'auto o al litio. Filamenti, vetro e morsetti scottano abbastanza da ustionare la pelle e incendiare la carta: lavorare su una piastrella, lontano da materiali infiammabili. Un bulbo svuotato d'aria può implodere e proiettare vetro: indossare occhiali protettivi e lavorare dietro uno schermo trasparente. I vapori di mercurio sono tossici: non costruire né usare una pompa a mercurio in casa. Non scaldare mai un recipiente chiuso: la carbonizzazione libera gas infiammabili e monossido di carbonio e va fatta all'aperto in un forno con sfiato, non in casa.

Storia ed evoluzione

Le fibre di bambù carbonizzato duravano molto più a lungo della carta e del filo usati nelle prime lampadine.

Nel 1802 Humphry Davy rese incandescente una striscia di platino con una grande batteria, e nel 1840 Warren de la Rue mise una spirale di platino dentro un tubo a vuoto. Il platino costava troppo; il carbonio era economico, ma bruciava nell'aria lasciata dalle pompe dell'epoca.

In Inghilterra Joseph Swan studiava filamenti di carta carbonizzata dal 1850 circa. Una prova del 1860, in un bulbo svuotato male, fallì. Dal 1875 usò la nuova pompa a mercurio di Sprengel e, tra dicembre 1878 e febbraio 1879, presentò a Newcastle upon Tyne lampade a carbonio funzionanti. Nel dicembre 1880 installò lampade a Cragside, dimora dell'industriale William Armstrong.

A Menlo Park, nel New Jersey, il laboratorio di Thomas Edison scelse un filamento di carbonio ad alta resistenza. Il 22 ottobre 1879 una lampada con un filo di cotone carbonizzato rimase accesa 13,5 ore; il gruppo aumentò poi la corrente, e circa un'ora dopo il bulbo si surriscaldò e si incrinò. La sera del 31 dicembre 1879 Edison illuminò laboratorio e strada per i visitatori, usando filamenti di cartoncino carbonizzato a ferro di cavallo. Nel 1880 adottò il bambù, con durate riportate di circa 1.200 ore, e nel 1882 la centrale di Pearl Street iniziò ad alimentare lampade nel sud di Manhattan. Dopo una disputa sui brevetti in Gran Bretagna, nel 1883 le società di Swan e di Edison si fusero in «Ediswan».

Intorno al 1910 il filo di tungsteno trafilato sostituì il carbonio e diede una luce più bianca, con un rendimento migliore.

Intorno al 1910 William Coolidge, alla General Electric, riuscì a trafilare in filo sottile il fragile tungsteno. Al calor bianco questo metallo evapora molto più lentamente del carbonio, e le lampade poterono lavorare più calde. Irving Langmuir riempì poi i bulbi di un gas inerte, all'inizio azoto, che frena ancora l'evaporazione, e avvolse il filamento a spirale. Dal 2009 l'Unione europea, seguita da molti altri paesi, ha cominciato a ritirare le comuni lampadine a incandescenza; le lampade fluorescenti compatte e poi i LED le hanno sostituite.

Dati chiave

Prima prova lunga di Edison
13,5 ore, poi circa un'altra a potenza maggiore (22 ottobre 1879)

Filamento di bambù carbonizzato
Durate di circa 1.200 ore riportate (dal 1880)

Dimostrazioni di Swan a Newcastle
Da dicembre 1878 a febbraio 1879

Quota di energia trasformata in luce
Dal 5 al 10% circa; il resto è calore

Fonti

1. Edison's Incandescent Lamp · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Edison%27s_Incandescent_Lamp
2. Lighting: From Research to Development · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/from-research-to-development
3. Lighting: The Carbon-Filament Lamp · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/the-carbon-filament-lamp
4. Joseph Swan · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/joseph-swan/
5. Joseph Swan · Newcastle University, Northern Innovation https://research.ncl.ac.uk/northerninnovation/exhibits/josephswan/
6. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

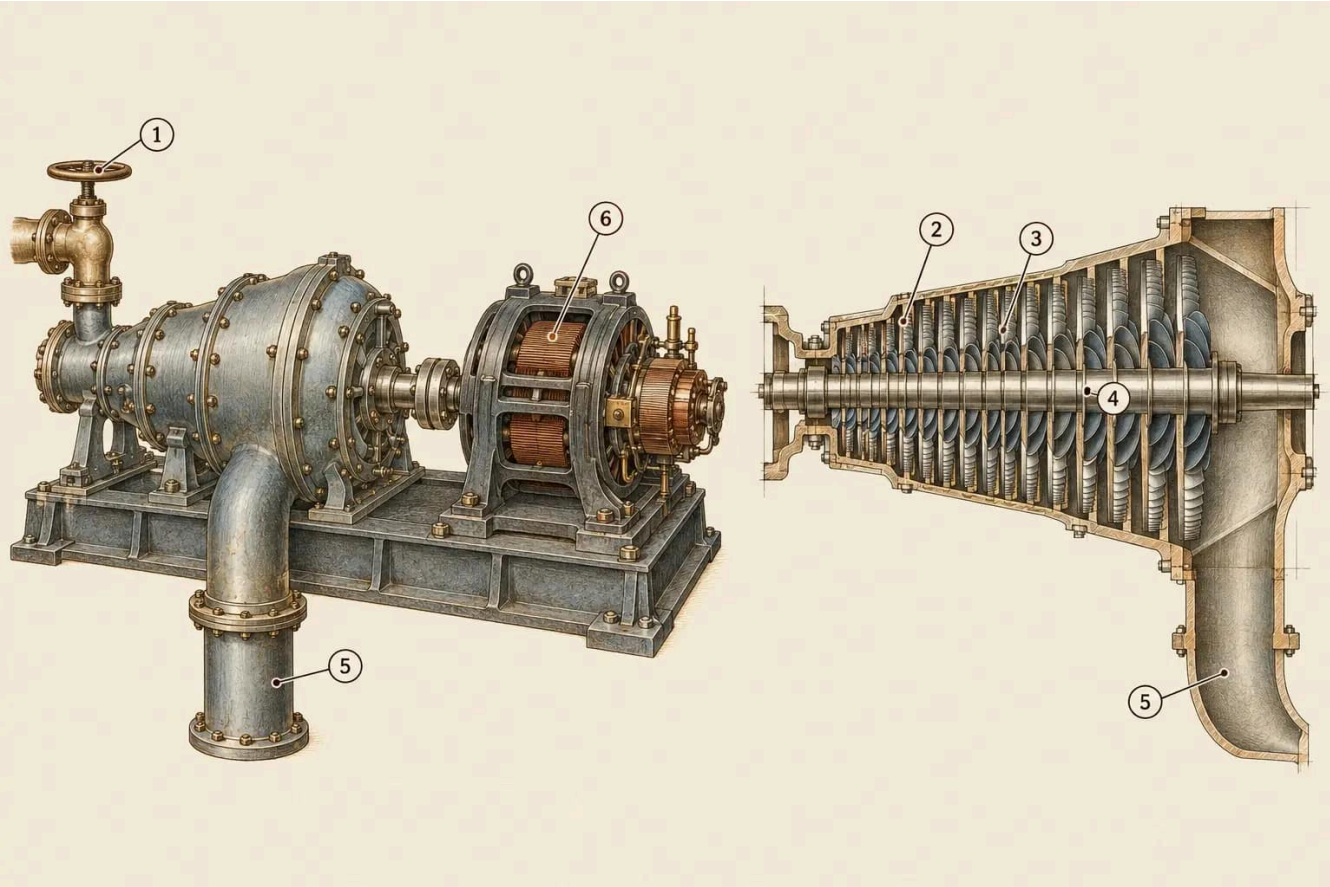
Fatti verificati il 2026-10-11

Turbina a vapore

Il vapore che fa girare i generatori

1884 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Macchina a vapore (p. 227), Acciaio (p. 141), Generatore elettrico (p. 272)



1 Ingresso del vapore e valvola di arresto 2 Palette fisse della cassa 3 Palette mobili del rotore 4 Albero del rotore 5 Scarico verso il condensatore 6 Dinamo

In una turbina a vapore il vapore si espande attraverso file di palette fisse e mobili: la sua pressione diventa velocità, e la velocità fa girare un albero. Charles Parsons ne collegò una a una dinamo nel 1884; le sue discendenti azionano oggi i generatori che producono la maggior parte dell'elettricità del mondo.

Che cos'è

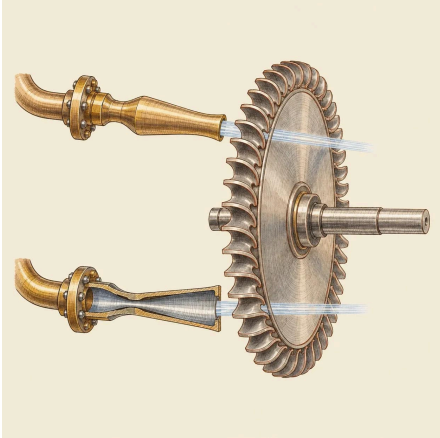
Una turbina a vapore è una ruota mossa dal vapore, senza pistone né manovella. Il vapore attraversa file di palette disposte attorno a un albero ed esce dalla macchina a una pressione molto più bassa; l'energia che cede lungo il percorso fa girare l'albero. Il moto è regolare e veloce, adatto a un generatore elettrico.

Le centrali a carbone e quelle nucleari fanno bollire acqua per azionarle. Le centrali a gas a ciclo combinato producono vapore con lo scarico caldo di una turbina a gas, e gli impianti solari termodinamici e la maggior parte di quelli geotermici fanno lo stesso con il calore del sole o del sottosuolo. Tutte insieme fanno della turbina a vapore la fonte della maggior parte dell'elettricità del mondo.

Come funziona

Il vapore cede la sua energia espandendosi. In un ugello, un condotto che si restringe, la pressione cala e il vapore accelera. Nel punto più stretto, la gola, può raggiungere la velocità del suono; per andare più veloce gli serve un condotto che si allarghi dopo la gola, la forma svasata degli ugelli di de Laval. In ogni stadio una corona di palette fisse sulla cassa fa da serie di ugelli e getta il vapore su una corona di palette mobili, curve, montate sul rotore: deviano il getto, e quel cambio di direzione le spinge.

In uno stadio ad azione quasi tutto il salto di pressione avviene negli ugelli fissi, e le palette mobili si limitano a ricevere il getto. In uno stadio a reazione, quello scelto da Parsons, si restringono anche i canali fra le palette mobili: il vapore continua a espandersi attraversandoli e le spinge all'indietro uscendo. In uno stadio Parsons l'espansione si divide più o meno a metà tra la fila fissa e quella mobile.



La ruota ad azione di de Laval: ugelli che si allargano mandano i getti attraverso un'unica corona di palette.

Se un grande salto di pressione si scarica attraverso un solo ugello, il getto esce a oltre 1.000 metri al secondo, e le palette rendono meglio a circa metà di quella velocità. Una ruota singola dovrebbe girare a velocità pericolose e avrebbe bisogno di un riduttore. Parsons divise il salto in molti piccoli gradini, così l'albero gira a un regime che una dinamo può sfruttare.

Man mano che la pressione scende il vapore occupa più spazio, perciò le palette si allungano verso lo scarico: nell'ultima fila delle turbine costruite per Hinkley Point C, in Inghilterra, misurano 1,9 metri.

Il vapore scaricato all'aria aperta smette di espandersi alla pressione atmosferica. Un condensatore, una camera piena di tubi raffreddati con acqua di fiume, di mare o di torre evaporativa, riporta allo stato liquido il vapore di scarico e mantiene un vuoto quasi completo all'uscita della turbina, così il vapore continua a espandersi e a lavorare dentro la turbina prima di condensare. Le prime turbine a condensazione di Parsons, a Cambridge nel 1892, eguagliarono le migliori macchine a pistoni della stessa potenza.

Questo circuito è il ciclo Rankine: una pompa spinge l'acqua nella caldaia, che la trasforma in vapore; il vapore si espande nella turbina e il condensatore lo riporta allo stato liquido per la pompa. Pompare un liquido costa poco rispetto a ciò che rende il vapore, quindi il ciclo dà lavoro utile. La pompa discende dalla pompa a stantuffo, caldaia e condensatore dalla macchina a vapore; un frigorifero percorre un circuito simile al contrario.

Su una rete a 50 hertz un generatore a due poli calettato sull'albero gira a 3.000 giri al minuto, a 3.600 su una rete a 60 hertz. Poi i trasformatori alzano la tensione per le linee.

Come costruirla

Una turbina da centrale è alimentata da una caldaia, cioè un recipiente a pressione: non costruitene. Questo modello funziona ad aria. Servono una teglia usa e getta di alluminio, due tappi di sughero, un ferro da maglia, cannucce, una scatola di cartone, colla e un asciugacapelli con aria fredda oppure una pompa da bicicletta.

Ritagliare una ruota a palette. Ritagliare un disco di 10 cm. Fare da 12 a 16 tagli dal bordo, fermandosi a 2 cm dal centro, e ruotare tutte le palette nello stesso verso di circa 30 gradi.

Montarla. Incollare la ruota a un tappo infilato sul ferro, che gira dentro due pezzi di cannuccia fissati da una parete all'altra della scatola.

Confrontare un tubo e un ugello. Con la stessa pompa, alla stessa distanza e con lo stesso angolo, soffiare sulle palette con un tubo largo, poi con una cannuccia accorciata tenuta di sbieco, e osservare quale fa girare la ruota più in fretta.

Aggiungere uno stadio. Incollare una seconda ruota, con le palette ruotate nello stesso verso, a un secondo tappo sullo stesso ferro, 3 cm dietro la prima. In mezzo, fissare alla scatola un anello di cartone con le palette ruotate nel verso opposto e un foro centrale abbastanza largo da non toccare né il ferro né le ruote. Soffiare lungo il ferro attraverso la ruota anteriore, poi togliere l'anello e confrontare: le palette fisse dovrebbero rimandare sulla seconda ruota l'aria che esce dalla prima.

Misurare la tensione. Collegare al ferro, con un pezzo di tubetto, un piccolo motore a corrente continua da modellismo e attaccare ai suoi morsetti un multimetro sulla scala dei volt in continua. Se la ruota riesce a far girare il motore, la lettura sale con la velocità.

Non provate il modello con il vapore. Bollendo, l'acqua diventa più di mille volte il suo volume di vapore, e un recipiente riscaldato chiuso od ostruito accumula pressione finché scoppia. Le caldaie vere seguono progetti certificati, hanno valvole di sicurezza e vengono verificate regolarmente da una persona competente; una caldaia fatta in casa non offre nessuna di queste garanzie.

> **Sicurezza.** Il vapore ustiona in una frazione di secondo, anche al beccuccio di un bollitore, dove è invisibile: tenere lontani mani e volti. Non chiudere, tappare né ostruire mai un recipiente riscaldato. Una ruota di alluminio in rotazione ha bordi taglienti e può scagliare una paletta: indossare occhiali e legare i capelli. Usare solo un piccolo motore da modellismo e un multimetro, mai la rete elettrica, e tenere l'asciugacapelli lontano dall'acqua.

Storia ed evoluzione

L'eolipila di Erone: due getti di vapore fanno girare la sfera sui suoi perni.

Nel I secolo d.C. Erone di Alessandria descrisse l'eolipila, una sfera cava fatta girare dal vapore che usciva da beccucci piegati: il primo dispositivo noto che trasforma il vapore in rotazione. Nel 1629 Giovanni Branca pubblicò il disegno di una macchina in cui un getto di vapore soffia su una ruota a pale; probabilmente non fu mai costruita. In Svezia Gustaf de Laval brevettò nel 1883 una piccola ruota a reazione per le sue scrematrici e, nel 1889, una turbina ad azione a un solo stadio con riduttore.

Nel 1884 Charles Parsons, socio della Clarke, Chapman di Gateshead, collegò direttamente a una dinamo una turbina a molti stadi a reazione. Dava 7,5 chilowatt a 18.000 giri al minuto, e nel 1888 circa 200 gruppi simili illuminavano navi. Nel 1890 la centrale di Forth Banks, a Newcastle, fu la prima a usare turbine.

Per mostrare che cosa valeva la turbina su una nave, Parsons costruì la Turbinia, un'imbarcazione di 31 metri che raggiunse 34,5 nodi. Il 26 giugno 1897 la fece sfilare senza invito davanti alle file di navi da guerra della rivista navale di Spithead. Nel 1905 un comitato dell'Ammiragliato raccomandò le turbine per tutte le classi di navi da guerra.

Negli Stati Uniti Charles Curtis vendette i suoi diritti alla General Electric nel 1896. Il suo gruppo da 5.000 chilowatt del 1903, allora il più potente del mondo, era alto 7,6 metri, contro i 18 di una macchina a pistoni di potenza simile.

I gruppi arrivarono a 660 megawatt a Drax negli anni Settanta, e ciascuna delle due turbine costruite per Hinkley Point C ha una potenza nominale di 1.770 megawatt.

Turbinia a tutta velocità: tre turbine su tre alberi muovevano nove eliche.

Dati chiave

Prima turbodinamo di Parsons

1884: 7,5 kW a 18.000 giri/min

Prime turbine a condensazione

Cambridge, 1892: tre gruppi da 100 kW a 4.800 giri/min

Turbinia

34,5 nodi; mostrata a Spithead il 26 giugno 1897

Velocità di una turbina di rete

3.000 giri/min sulle reti a 50 Hz, 3.600 a 60 Hz; la metà per i grandi gruppi nucleari

Quota dell'elettricità degli Stati Uniti, 2022

Circa il 53%: 42,5% da centrali a vapore, 10,7% dalla parte a vapore dei cicli combinati

Fonti

1. Parsons' steam turbine generator, 1884 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co51109
2. Charles Algernon Parsons 1854–1931 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/ap26725/parsons-charles-algernon
3. 100 K.W. Parsons' Radial Flow Steam Turbine alternator with Generator, partly sectioned · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8625819/100-k-w-parsons-radial-flow-steam-turbine-alternator-with-generator-partly-sectioned
4. Forward thinkers: Sir Charles Parsons, inventor of the steam turbine · Institution of Mechanical Engineers https://www.imeche.org/news/news-article/forward-thinkers-sir-charles-parsons-inventor-of-the-steam-turbine
5. Turbinia (1894) · Tyne Built Ships https://www.tynebuiltships.co.uk/T-Ships/turbinia1894.html
6. Curtis 5000-kW Vertical Turbine (ASME Landmark) · Engineering and Technology History Wiki, ASME https://ethw.org/ASME-Landmark:Curtis_5000-kW_Vertical_Turbine
7. Charles Gordon Curtis · ASME https://www.asme.org/topics-resources/content/charles-gordon-curtis
8. Carl Gustaf Patrik De Laval · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Carl_Gustaf_Patrik_De_Laval
9. C. A. Parsons and Co: Electricity Generation and Transmission · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/C._A._Parsons_and_Co:_Electricity_Generation_and_Transmission
10. Heron of Alexandria · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Heron/
11. Giovanni Branca · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/literature-and-writing/giovanni-branca
12. Fluid Machinery, Lecture 24: steam turbines · NPTEL, Indian Institutes of Technology https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_6/6_9.html
13. Nozzle Design · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/nozzle-design/
14. The Rankine cycle · MIT, Unified Engineering thermodynamics notes https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node65.html
15. How electricity is generated · U.S. Energy Information Administration https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php
16. Arabelle goes to new lengths · Nuclear Engineering International https://www.neimagazine.com/analysis/arabelle-goes-to-new-lengths/
17. Introduction to pressure equipment · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pressure-systems/about.htm
18. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97) · International Association for the Properties of Water and Steam https://www.iapws.org/relif/IF97-Rev.html
19. TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine: Stodola ellipse law and Baumann wetness correction (after D. H. Cooke, J. Eng. Gas Turbines Power 107, 1985) · OpenModelica, Oak Ridge National Laboratory TRANSFORM library https://build.openmodelica.org/Documentation/TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine.html

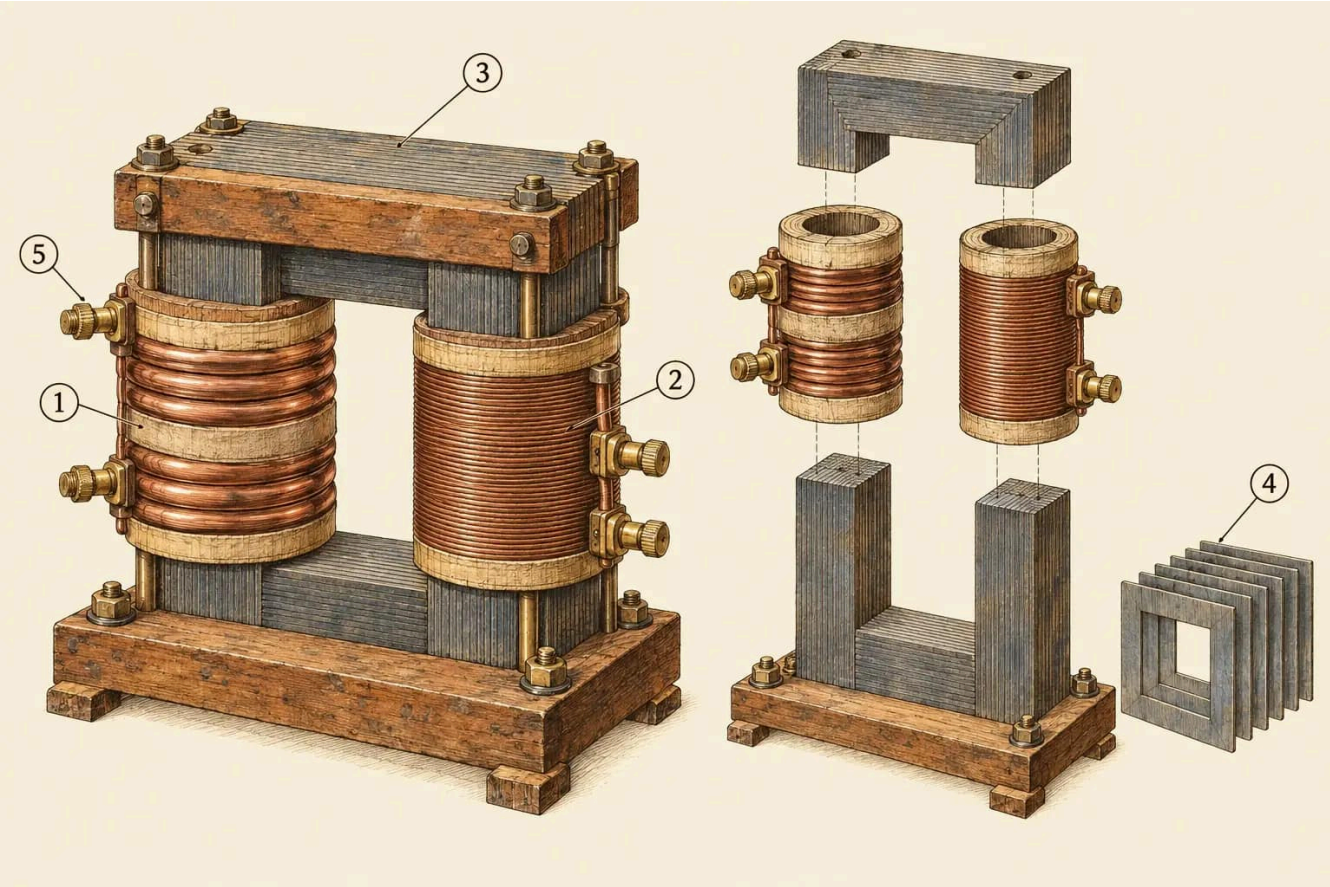
Fatti verificati il 2026-10-14

Trasformatore

Alzare e abbassare la tensione

1885 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Generatore elettrico (p. 272), Siderurgia del ferro (p. 137)



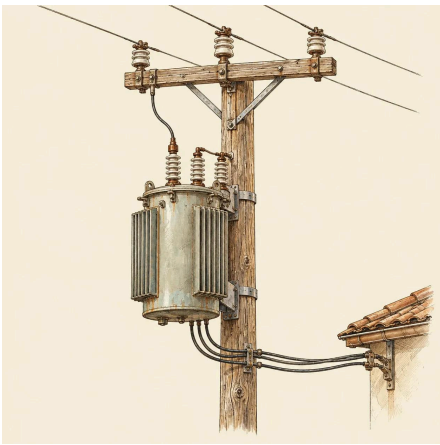
1 Primario: poche spire di filo grosso 2 Secondario: molte spire di filo sottile 3 Nucleo di ferro lamellare
4 Lamierini sottili del nucleo 5 Morsetto

Un trasformatore è fatto di due bobine di filo sullo stesso nucleo di ferro: una corrente alternata nella prima induce nella seconda una tensione più alta o più bassa, secondo il rapporto fra i numeri di spire. Permette di trasmettere l'elettricità ad alta tensione su lunghe linee e di consegnarla alla tensione che usano gli apparecchi, ed è il motivo principale per cui la corrente alternata si è imposta nelle reti del mondo.

Che cos'è

Un trasformatore cambia la tensione di una corrente alternata. Non ha parti in movimento: due bobine di filo di rame isolato, il primario e il secondario, avvolte su un nucleo di ferro chiuso. L'energia entra da una bobina ed esce dall'altra a una tensione più alta o più bassa, mentre la corrente cambia in senso opposto.

Le centrali alzano la tensione per le grandi linee. Le sottostazioni la abbassano per gradi, e un ultimo trasformatore, su un palo o in una piccola cabina, la riporta ai 230 o 120 volt di una presa. Caricabatterie e campanelli ne contengono di piccoli.



Un trasformatore su palo abbassa la tensione della linea stradale a quella usata in casa.

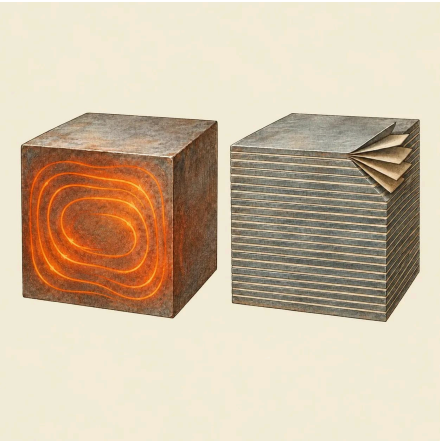
Come funziona

La corrente del primario magnetizza il nucleo di ferro. Poiché la corrente è alternata, la magnetizzazione cresce, si annulla e si inverte, al ritmo di cinquanta o sessanta cicli completi al secondo. Il flusso variabile attraversa il secondario e induce una tensione in ciascuna spira: è l'induzione scoperta da Faraday, che agisce solo finché il flusso cambia.

Ogni spira delle due bobine abbraccia lo stesso flusso, quindi le tensioni delle bobine stanno nello stesso rapporto dei loro numeri di spire. Con 1000 spire sul primario e 50 sul secondario, 4600 volt in ingresso diventano 230 in uscita. In un trasformatore ideale, senza perdite, il lato a bassa tensione porta una corrente venti volte maggiore e per questo si avvolge con filo più grosso.

In corrente continua niente di tutto questo funziona: un flusso costante non induce nulla, e il primario diventa un pezzo di filo collegato alla sorgente, che si scalda. I trasformatori richiedono corrente alternata, ed è per questo che l'alternata è diventata la regola delle reti; i collegamenti odierni in corrente continua ad alta tensione convertono l'alternata in continua alla partenza e la continua in alternata all'arrivo.

L'alta tensione conviene perché il calore perso in un filo cresce con il quadrato della corrente. Mandiamo 100 kilowatt in una linea i cui fili sommano 2 ohm. A 1000 volt la corrente è di 100 ampere e i fili dissipano 20 kilowatt, un quinto della potenza. A 10.000 volt la corrente scende a 10 ampere e la perdita a 200 watt, lo 0,2%.



Un nucleo pieno si scalda per le correnti che vi girano dentro; i lamierini sottili, isolati fra loro, le riducono di molto.

Il flusso fa circolare correnti ad anello anche dentro il ferro, le correnti parassite, e un nucleo pieno si scalderebbe come una piastra elettrica. Perciò il nucleo è una pila di lamierini spessi pochi decimi di millimetro, isolati l'uno dall'altro con vernice o con uno strato di ossido. Queste perdite calano con il quadrato dello spessore del lamierino. I primi costruttori usavano per lo stesso motivo fasci di fili di ferro; i nuclei moderni sono in acciaio al silicio.

Le reti usano la corrente trifase: tre correnti alternate sfasate di un terzo di ciclo, portate da tre fili e trasformate da tre gruppi di bobine sullo stesso nucleo.

Come costruirlo

Una dimostrazione da banco a pochi volt, mai un progetto collegato alla rete. Servono un bullone d'acciaio lungo circa 10 cm, un secondo bullone nudo e due piatti d'acciaio, da 20 a 30 m di filo di rame smaltato da 0,3 a 0,5 mm, nastro isolante, carta abrasiva fine, un multimetro che misuri la tensione alternata e, per l'ultima prova, un galvanometro a zero centrale.

Avvolgere le bobine. Su uno strato di nastro, avvolgere sul bullone un primario di 100 spire. Coprirlo con il nastro, avvolgere sopra un secondario di 100 spire, nastrare di nuovo e aggiungere sopra un secondario di 50. Togliere lo smalto da ogni estremità con la carta abrasiva.

Scegliere una sorgente sicura. Usare un alimentatore da presa acquistato in negozio la cui etichetta indichi un'uscita alternata («AC output») di 12 volt al massimo, oppure un generatore di funzioni che dia una sinusoide di pochi volt a circa 1 kHz, senza componente continua. Quasi tutti gli alimentatori danno corrente continua e non vanno bene. Una lampadina a incandescenza da auto da 12 volt e circa 5 watt in serie con il primario limita la corrente.

Misurare. Leggere la tensione alternata ai capi del primario e di ciascun secondario, poi scollegare: il bullone pieno si scalda. Con l'alimentatore si leggono pochi decimi di volt, perché quasi tutta la tensione cade sulla lampadina. La bobina da 50 spire dà circa metà della tensione di quella da 100, ed entrambe restano sotto la tensione del primario, perché il flusso di un bullone isolato si richiude nell'aria. Accostare il bullone nudo a quello avvolto e collegare le teste e le punte con i piatti d'acciaio, così che il ferro formi un telaio chiuso attorno alle bobine: le letture salgono.

Provare con una pila. Con una pila da 4,5 volt al posto dell'alimentatore, e la lampadina sempre in serie, collegare al secondario un galvanometro a zero centrale sulla portata meno sensibile o attraverso una resistenza di qualche kiloohm. La lancetta scatta da una parte quando si chiude il circuito, dall'altra quando lo si apre, e resta a zero nel frattempo.

Leggere una targa. Su un trasformatore da campanello, trovare le tensioni d'ingresso e d'uscita, per esempio 230 V / 12 V, e la potenza in voltampere (VA). Le macchine grandi aggiungono frequenza, raffreddamento e tensione di cortocircuito; quelle targhe si leggono da fuori della recinzione.

> **Sicurezza.** Non dare mai a un secondario più spire del primario, e ricordare che un alimentatore a vuoto può dare un quinto in più di quanto indica l'etichetta. Aprire un circuito che attraversa una bobina produce un breve picco di tensione: interrompere con un interruttore o con un filo tenuto per l'isolante, mai con le dita sui capi scoperti. Non avvolgere mai bobine per la rete e non aprire, modificare o ricablare apparecchi alimentati dalla rete, nemmeno staccati: i trasformatori dei forni a microonde e delle insegne al neon erogano correnti mortali. Un trasformatore abbassatore alimentato al contrario alza la tensione, e i condensatori di un apparecchio possono restare carichi dopo averlo staccato. Le bobine restano calde dopo l'uso. Non arrampicarsi mai sui pali, non entrare nelle cabine elettriche e non toccare linee cadute. Gli impianti di rete spettano a un elettricista abilitato.

Storia ed evoluzione

Michael Faraday dimostrò l'induzione nell'agosto 1831 con il suo anello di ferro a due bobine, Joseph Henry la scoprì per conto suo in America, e verso il 1850 Heinrich Ruhmkorff, a Parigi, fece della bobina d'induzione uno strumento comune nei laboratori.

Nel 1884 Lucien Gaulard e John Dixon Gibbs accesero lampade lungo una linea di 40 km fra Torino e Lanzo con i loro «generatori secondari», collegati in serie e con nuclei di ferro aperti: accendere una lampada disturbava

le altre.

Alle officine Ganz di Budapest, Károly Zipernowsky, Miksa Déri e Ottó Bláthy capirono che un nucleo di ferro chiuso e trasformatori collegati in parallelo avrebbero tenuto stabile la tensione. Depositarono i brevetti fra gennaio e marzo 1885, chiamarono l'apparecchio «trasformatore» e a maggio usarono il loro sistema per illuminare l'Esposizione nazionale di Budapest.

Uno dei primi trasformatori di Budapest: il filo di ferro avvolge l'anello di rame e chiude il circuito magnetico.

George Westinghouse comprò i diritti di Gaulard e Gibbs, e il suo ingegnere William Stanley costruì trasformatori a nucleo chiuso che nel marzo 1886 illuminarono la via principale di Great Barrington, nel Massachusetts. La corrente continua di Edison, a circa 110 volt, arrivava solo a poche strade attorno a ogni centrale, e le sue società fecero campagna sui pericoli dell'alternata. Westinghouse illuminò in alternata l'Esposizione di Chicago del 1893, e nel 1896 l'energia delle cascate del Niagara raggiunse Buffalo.

Entro il 1888 Galileo Ferraris e Nikola Tesla avevano ottenuto con correnti sfasate un campo rotante per i motori; nel 1891 una linea trifase portò 300 cavalli per 175 km, da Lauffen a Francoforte. Le grandi linee di oggi lavorano a centinaia di migliaia di volt.

Dati chiave

Principio scoperto
29 agosto 1831, anello di ferro di Faraday alla Royal Institution

Trasformatore a nucleo chiuso
Domande di brevetto depositate fra gennaio e marzo 1885 da Zipernowsky, Déri e Bláthy, delle officine Ganz di Budapest

Prima distribuzione in alternata con trasformatori negli Stati Uniti
Great Barrington (Massachusetts), marzo 1886 (William Stanley)

Linea Lauffen-Francoforte, 1891
175 km a 15.000 volt, trifase, oltre il 75% dell'energia consegnata

Perdite in linea
A parità di potenza e di linea: tensione dieci volte maggiore, perdite cento volte minori

Fonti

1. Michael Faraday's ring-coil apparatus · The Royal Institution https://rigb.org/node/143
2. History of the Transformer (F. Uppenborn, 1889) · Project Gutenberg https://gutenberg.org/files/56365/56365-h/56365-h.htm
3. Centenary of the transformer (P. Asztalos, 1986) · Periodica Polytechnica Electrical Engineering, Budapest University of Technology and Economics https://pp.bme.hu/ee/article/view/4637
4. Gaulard and Gibbs secondary generator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/GaulardGibbsSecondaryGenerator.html
5. Milestones: Alternating Current Electrification, 1886 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Alternating_Current_Electrification,_1886
6. Milestones: Long Distance Electric Power Transmission Using Three-Phase Alternating Current, 1891 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Long_Distance_Electric_Power_Transmission_Using_Three-Phase_Alternating_Current,_1891
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885-1888 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station,_1882
9. History of Transformers · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/Transformers.html
10. The War of the Currents: AC vs. DC Power · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/war-currents-ac-vs-dc-power
11. Eddy currents · schoolphysics https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetic%20induction/text/Eddy_currents/index.html
12. Transformer · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html
13. Introduction to Electric Power Systems (J. L. Kirtley), 3.4 Transformers · LibreTexts https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electro-Optics/Introduction_to_Electric_Power_Systems_(Kirtley)/03%3A_Polyphase_Networks/3.04%3A_Transformers
14. Commission Regulation (EU) No 548/2014, Annex I: ecodesign requirements for transformers · legislation.gov.uk https://www.legislation.gov.uk/eur/2014/548/annex/I/division/1/adopted

Fatti verificati il 2026-10-14

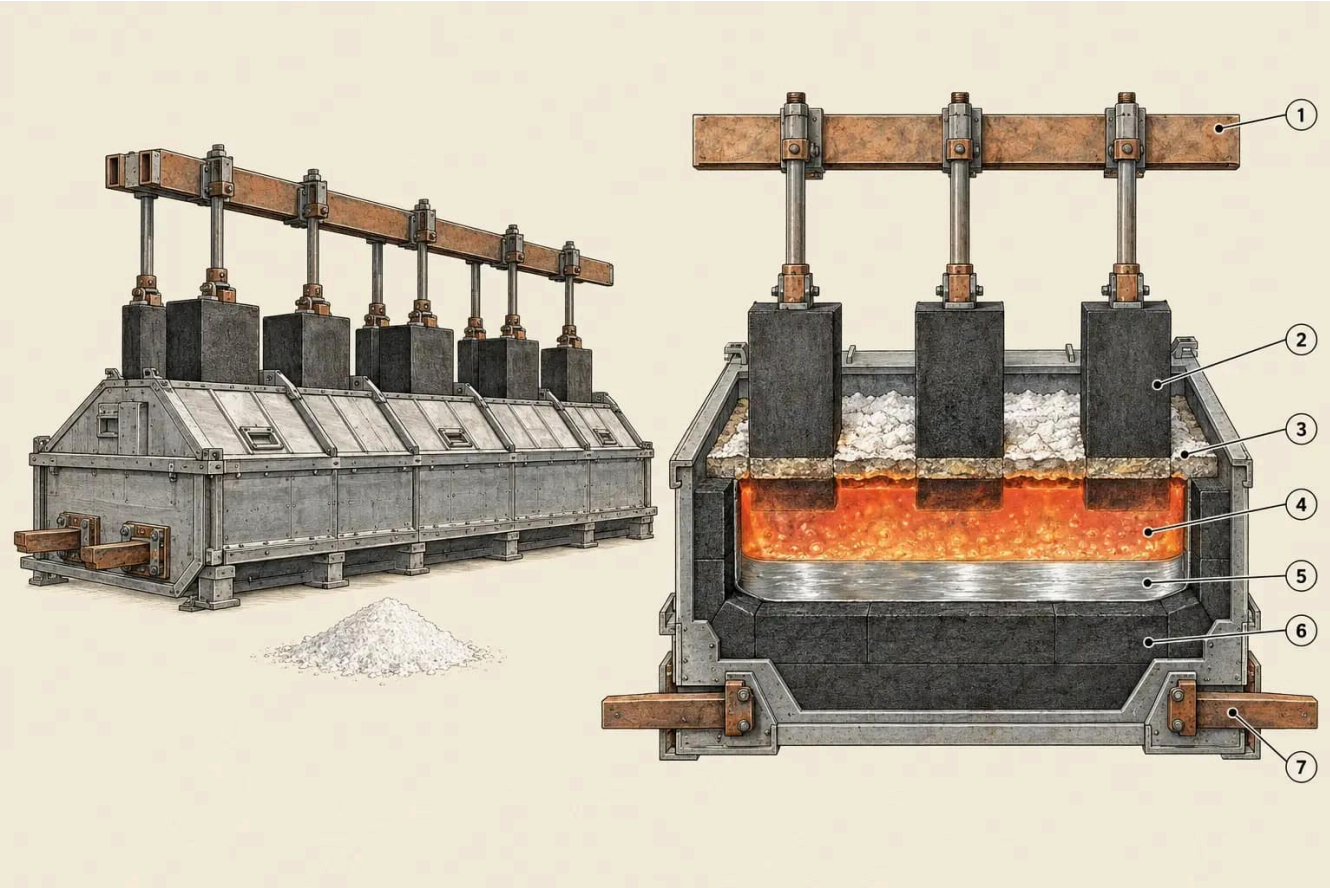
Alluminio

Allumina trasformata in metallo dalla corrente

1886 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Generatore elettrico (p. 272), Turbina idraulica (p. 264)

Porta a: Aeroplano (p. 350)



1 Barra di alimentazione e aste anodiche 2 Anodi di carbonio 3 Crosta di bagno solidificato e allumina 4 Bagno di criolite fusa con allumina disciolta 5 Alluminio liquido 6 Rivestimento catodico di carbonio 7 Cassone d'acciaio e barre collettrici

L'alluminio è il metallo più diffuso nella crosta terrestre, ma vi è racchiuso in ossidi che né il fuoco né il carbone di legna riescono a spezzare. Dal 1886 si ottiene raffinando la bauxite in allumina, sciogliendo l'allumina nella criolite fusa e scomponendola con una forte corrente continua.

Che cos'è

L'alluminio è un metallo leggero e argenteo, con circa un terzo della densità dell'acciaio. Costituisce all'incirca l'8% della massa della crosta terrestre, più di qualunque altro metallo, eppure in natura non si trova quasi mai allo stato nativo. È legato all'ossigeno nelle argille, nei feldspati e nella maggior parte delle rocce comuni, e quel legame resiste al fuoco di carbone di legna che libera il ferro o il rame.

Il suo minerale è la bauxite, una roccia rossastra nata dall'alterazione dei suoli tropicali. Una raffineria la trasforma in allumina, una polvere bianca di ossido, e un impianto di elettrolisi scompone l'allumina con la corrente nella

cella Hall-Héroult della tavola. È ancora l'unica via industriale per produrre alluminio nuovo.

Come funziona

Dalla bauxite all'allumina. Nel processo Bayer la bauxite macinata viene attaccata sotto pressione con soda caustica calda, tra 140 e 280 °C secondo il minerale. I minerali di alluminio si sciolgono; gli ossidi di ferro e la sabbia si depositano come un residuo rosso. Raffreddata e inseminata con cristalli di un ciclo precedente, la soluzione fa crescere idrossido di alluminio, che viene calcinato fino a circa 1100 °C e diventa allumina.

Dal minerale al metallo: da due a tre tonnellate di bauxite danno una tonnellata di allumina, e due tonnellate di allumina una di alluminio.

Dall'allumina al metallo. L'allumina fonde sopra i 2000 °C, ma un bagno di criolite fusa, un fluoruro di sodio e alluminio, con aggiunta di fluoruro di alluminio, la scioglie verso 950–980 °C. La cella è un cassone d'acciaio rivestito di blocchi di carbonio, che formano l'elettrodo negativo. Gli anodi di carbonio pescano nel bagno, appesi ad aste fissate a una pesante barra di alimentazione.

La corrente continua passa dagli anodi al rivestimento attraverso il bagno e scompone l'allumina disciolta. L'alluminio, più denso del bagno, si raccoglie liquido sul fondo. L'ossigeno va agli anodi e ne brucia il carbonio in anidride carbonica, da 0,4 a 0,5 kg di carbonio per chilogrammo di metallo, per cui gli anodi consumati vengono sostituiti a turno. Una crosta di bagno solidificato e allumina trattiene il calore. Attraverso di essa si aggiunge allumina, e il metallo viene aspirato a intervalli.

La corrente tiene anche fuso il bagno. Le celle sono collegate in serie e ognuna è attraversata da ben più di centomila ampere a soli quattro o cinque volt. Ogni atomo di alluminio richiede tre elettroni, così la cella consuma circa 13–15 kilowattora per chilogrammo, e meno della metà va nella reazione vera e propria. L'elettricità è la voce di costo più grande, perciò gli impianti sorgono dove costa poco, accanto alle dighe del Canada, della Norvegia o dell'Islanda o presso grandi centrali, con trasformatori e raddrizzatori per avere corrente continua.

All'aria sul metallo si forma subito una pellicola di ossido spessa pochi nanometri, che ferma la corrosione e si riforma se graffiata. Pochi punti percentuali di rame, magnesio, silicio o zinco lo rendono abbastanza resistente per l'aviazione. Il riciclo deve solo rifondere i rottami: 8,3 gigajoule per tonnellata contro 186 del metallo nuovo nel 2019, un risparmio di circa il 95%.

Come si costruisce

Non produrre né fondere alluminio in casa. Il bagno libera fumi fluorurati tossici e lavora vicino ai 1000 °C, e una goccia d'acqua intrappolata sotto il metallo liquido si trasforma di colpo in vapore e lo scaglia fuori; le lattine fuse aggiungono i fumi di vernici e rivestimenti. In officina si può smistare il metallo, lavorarlo a freddo e mostrare l'elettrolisi con pochi volt.

Smistare. Una calamita attira l'acciaio, non l'alluminio. Per distinguerlo da altri metalli non magnetici si pesa un pezzo e si misura l'acqua che sposta: l'alluminio dà circa 2,7 grammi per centimetro cubo, rame e ottone più di 8. Sciacquare i residui di cibo e tenere a parte i pezzi verniciati o plastificati.

Piegare e forare. Le leghe dolci si piegano a freddo in morsa tra due tacchi di legno duro; quelle dure si incrinano su una piega viva, quindi vanno curvate attorno a un blocco arrotondato. Per forare si segna il punto con un bulino,

La calamita si attacca alla scatoletta d'acciaio e ignora la lattina d'alluminio.

si fissa la lamiera su un piano di legno e si usa una punta affilata con una goccia d'olio: una lamiera tenuta a mano può agganciarsi e girare.

Unire a freddo. L'alluminio si salda male: il suo ossido fonde sopra i 2000 °C, il metallo a 660 °C, e non diventa incandescente prima di afflosciarsi. Si unisce con rivetti, bulloni o adesivo strutturale, se possibile con elementi di fissaggio in alluminio. In ambiente umido, e soprattutto vicino al mare, l'alluminio si corrode a contatto con rame, acciaio e perfino acciaio inox; li separano rondelle di plastica o una mano di vernice.

Mostrare il principio. Mettere due mine di matita in un bicchiere d'acqua con un cucchiaino di soda Solvay e collegarle a una pila da 9 volt. Alla mina negativa sale idrogeno, alla positiva ossigeno: la corrente scompone l'acqua come la cella scompone l'allumina.

> **Sicurezza.** Niente metallo fuso e niente elettrolisi di sali fusi fuori da un impianto industriale. La lamiera tagliata ferisce: guanti per maneggiarla e sbavatura di ogni taglio, ma i guanti vanno tolti prima di usare il trapano; occhiali durante la foratura. La soda Solvay irrita pelle e occhi, quindi servono occhiali protettivi. Non usare mai sale da cucina nella dimostrazione, perché libera cloro; tenere l'idrogeno lontano dalle fiamme e usare solo una piccola pila, mai la rete elettrica.

Storia ed evoluzione

Nel 1825 Hans Christian Ørsted ottenne dal cloruro di alluminio un campione minuscolo e impuro. Friedrich Wöhler preparò una polvere nel 1827 e piccole sfere nel 1845.

In Francia Henri Sainte-Claire Deville ridusse il cloruro con il sodio e presentò un lingotto all'Esposizione universale di Parigi del 1855. Napoleone III lo sostenne e, si racconta, riservava posate d'alluminio agli ospiti più importanti. Nel dicembre 1884 una piramide d'alluminio di 100 once fu posta in cima al Washington Monument, a 1,10 dollari l'oncia, più o meno il prezzo dell'argento.

Posate d'alluminio del Secondo Impero, quando il metallo valeva quanto l'argento.

Nel 1886 due ventiduenni trovarono la stessa soluzione. Il 23 febbraio, a Oberlin, in Ohio, Charles Martin Hall, con pile fatte in casa, ottenne globuli di alluminio da allumina sciolta nella criolite. Paul Héroult, che aveva speso l'eredità per una dinamo, depositò un brevetto francese il 23 aprile. La società di Hall a Pittsburgh, la futura Alcoa, avviò la produzione nel 1888; il procedimento di Héroult partì a Neuhausen, presso le cascate del Reno. Karl Josef Bayer brevettò nel 1887 la precipitazione dell'allumina con cristalli di innesco e nel 1892 l'attacco della bauxite sotto pressione; insieme resero economica l'allumina pura.

Una libbra costava circa 4,86 dollari nel 1888 e meno di un dollaro nei primi anni Novanta dell'Ottocento. Il motore dei fratelli Wright del 1903 aveva il basamento in alluminio; leghe da trattamento termico come il duralluminio, in vendita dal 1909 circa, passarono ai dirigibili e poi agli aerei. Nel 2025 gli impianti di elettrolisi hanno prodotto circa 74 milioni di tonnellate di metallo nuovo.

Dati chiave

Temperatura della cella
Circa 950–980 °C

Dal minerale al metallo
2–3 t di bauxite per tonnellata di allumina; circa 2 t di allumina per tonnellata di metallo

Produzione primaria
Circa 74 milioni di tonnellate nel 2025 (stima USGS), di cui 45 milioni in Cina

Elettricità
Circa 13–15 kWh per chilogrammo di alluminio

Riciclo
Circa il 5% dell'energia del metallo nuovo (8,3 contro 186 GJ per tonnellata, 2019)

Fonti

1. Aluminum: Common Metal, Uncommon Past · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/aluminum-common-metal-uncommon-past/
2. The Washington Monument's aluminum capstone · National Park Service https://www.nps.gov/articles/000/wamocap.htm
3. Production process: Refining · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=374
4. Production process: Reduction · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=1905
5. Aluminium recycling saves 95% of the energy needed for primary aluminium production · International Aluminium Institute https://international-aluminium.org/landing/aluminium-recycling-saves-95-of-the-energy-needed-for-primary-aluminium-production/
6. Alumina refining · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/?p=227
7. Aluminium smelting · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/how-aluminium-is-made/aluminium-smelting-chart/
8. Ionic liquids as electrolytes in aluminum electrolysis (Wu et al., 2022) · Frontiers in Chemistry https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2022.1014893/full
9. Aluminum (Mineral Commodity Summaries 2026) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-aluminum.pdf
10. Aluminum (Al) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/sir/2017/5118/elements/Aluminum/Al_txt.html
11. Aluminium : historique · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/aluminium/2-historique/
12. Hall, Charles · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/news-wires-white-papers-and-books/hall-charles
13. K. J. Bayer, Process of obtaining alumina, US 382,505 (filed 1887) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US382505A/en
14. K. J. Bayer, Process of making alumina, US 515,895 (filed 1892) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US515895A/en
15. Aluminium · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium

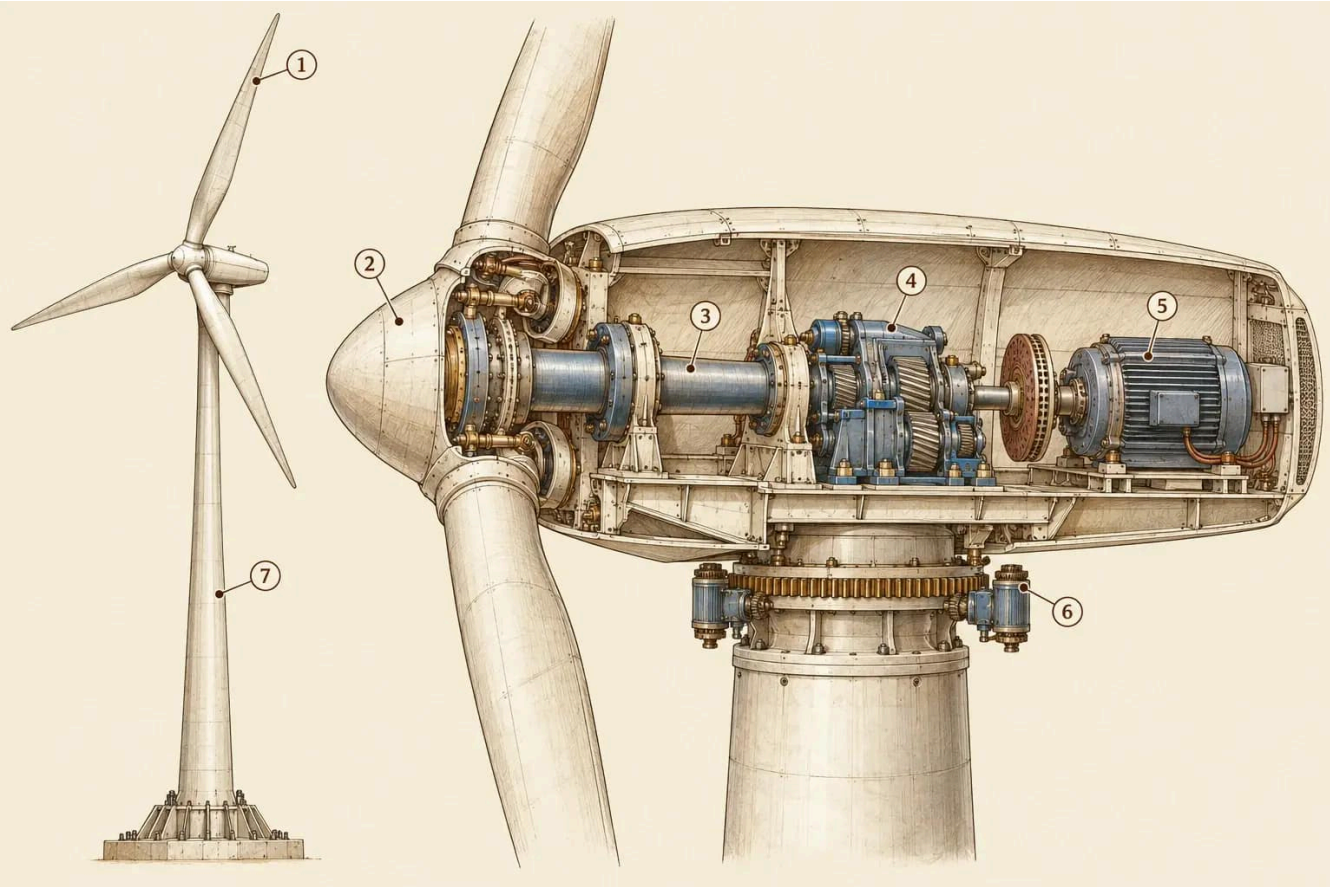
Fatti verificati il 2026-10-14

Turbina eolica

Il vento trasformato in elettricità

1887 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Mulino a vento (p. 186), Generatore elettrico (p. 272), Accumulatore al piombo (p. 301), Acciaio (p. 141)



1 Pala 2 Mozzo con cuscinetti di passo 3 Albero principale (lento) 4 Moltiplicatore 5 Generatore 6 Corona e motori di imbardata 7 Torre

Una turbina eolica è un rotore di pale lunghe, sagomate come ali, che il vento fa girare e che aziona un generatore elettrico in cima a una torre. Le piccole caricano batterie; le grandi, con rotori di oltre cento metri di diametro, immettono energia in rete attraverso un trasformatore.

Che cos'è

Una turbina eolica è un mulino a vento costruito per produrre elettricità: il rotore fa girare un albero, e l'albero aziona un generatore. La macchina disegnata qui ha la disposizione di quasi tutte le grandi turbine di oggi. Tre pale snelle (1) stanno controvento davanti a una torre d'acciaio (7), e la navicella in cima contiene la catena di trasmissione e ruota per seguire il vento.

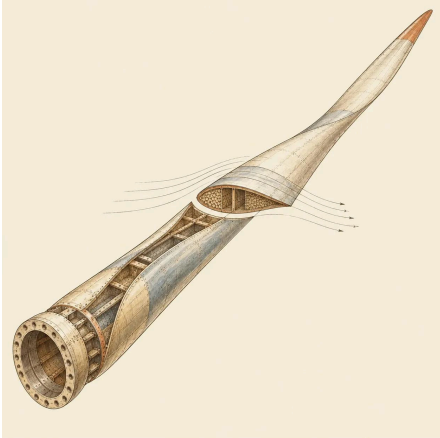
Come funziona

La potenza del vento è $P = ½·ρ·A·v^3$, dove ρ è la densità dell'aria, circa 1,2 kg/m^3, A l'area spazzata dal rotore e v la velocità del vento. Un rotore di 3 metri di diametro spazza circa 7,1 m^2. A 6 m/s il vento che lo attraversa porta ½ ×

$1{,}2 \times 7{,}1 \times 6^3 \approx 920$ watt; a 12 m/s otto volte tanto, circa 7,4 kW. Per questo le turbine stanno su torri alte, dove il vento soffia più forte.

Nessun rotore può prendersi tutta quella potenza. Ricava energia rallentando l'aria, ma l'aria rallentata deve pur defluire dietro di lui, altrimenti non ne arriverebbe di nuova. Intorno al 1920 il fisico tedesco Albert Betz dimostrò che la quota massima è 16/27, cioè il 59,3%. Le turbine reali ne catturano in genere il 35–45% nel loro campo di funzionamento; un grande rotore moderno sfiora il 48% nel punto di lavoro migliore, e moltiplicatore e generatore perdono ancora qualcosa.

Le pale moderne sono profili alari e lavorano per portanza, come l'ala di un aereo. Muovendosi veloce attraverso il vento, la pala incontra aria che arriva soprattutto di lato, e la portanza che nasce sul suo profilo la spinge nel senso di rotazione. Il rapporto di velocità periferica, cioè la velocità della punta divisa per quella del vento, vale circa 7 sulle turbine tripala collegate alla rete: con vento a 10 m/s le punte viaggiano a circa 70 m/s.



La sezione della pala è un'ala. È svergolata lungo la sua lunghezza perché la punta va molto più veloce della radice.

Nel mozzo (2) ogni pala è montata in un grande cuscinetto che permette di ruotarla sul proprio asse. Questa regolazione del passo permette al rotore di catturare il più possibile sotto la velocità nominale del vento e di limitare la potenza al di sopra. La turbina parte alla velocità di avviamento, circa 3–5 m/s, e raggiunge la piena potenza alla velocità nominale. Oltre la velocità di arresto, circa 25–29 m/s, mette le pale in bandiera, il rotore rallenta e un freno lo blocca. Una banderuola sulla navicella segnala la direzione del vento, e i motori di imbardata (6) fanno ruotare la navicella su una corona dentata, come faceva la ventola di orientamento su un mulino.

Sulle macchine grandi l'albero principale (3) gira a circa 8–20 giri al minuto. In una trasmissione classica, un moltiplicatore (4) accelera questo moto di circa cento volte per il generatore (5), che gira a più di mille giri al minuto. Altri modelli usano un generatore a media velocità con meno ingranaggi, oppure fanno a meno del moltiplicatore con un generatore grande e lento a molti poli magnetici. L'elettronica di potenza adatta la corrente alla frequenza della rete, e un trasformatore elevatore alza la tensione.

Come si costruisce

Una piccola turbina può caricare una batteria al piombo da 12 volt. Costruitela seguendo un progetto pubblicato e collaudato che specifichi pale, palo e protezione dalla fuga di giri; i passi qui sotto mostrano che cosa deve coprire un progetto del genere. Informatevi prima sulle norme edilizie locali e parlatene con i vicini.

Scegliere il sito. Vicino al suolo il vento è debole e turbolento. Una regola diffusa vuole la parte bassa del rotore almeno 9 metri sopra qualsiasi ostacolo entro 90 metri. Un anemometro all'altezza prevista dà una prima idea in qualche settimana; un anno intero mostra le stagioni.

Scegliere il generatore. Un motore in corrente continua a magneti permanenti, per esempio quello di un tapis roulant, funziona da generatore. Fatelo girare con un trapano a velocità note, con un carico da 12 volt collegato, e misurate tensione e corrente: deve fornire una corrente utile sopra circa 14 volt a qualche centinaio di giri al minuto, una velocità che il rotore può raggiungere.

Fare il rotore. I progetti di piccole macchine ricavano spesso le pale da un tubo di plastica o le intagliano in un legno leggero a fibra dritta. Rispettate il tipo di tubo, lo spessore di parete e la forma delle pale del progetto: le pale di tubo si affaticano e possono criccarsi alla radice. Serrate la radice di ogni pala tra due piastre metalliche sul

Pale ricavate da un tubo di plastica, un motore di tapis roulant e una coda di lamiera.

mozzo, equilibrate il rotore finché resta fermo in qualsiasi posizione e sostituite una pala alla prima crepa. Un rotore di 1,1 metri di diametro riceve circa 70 watt di vento a 5 m/s; 10–20 watt alla batteria sono una stima grossolana che solo una misura può confermare.

Palo e coda. Una coda piatta su un braccio tiene il rotore rivolto al vento. Montate il motore su un perno in cima a un tubo d'acciaio con piede incernierato e ancorate i tiranti a una distanza dal piede compresa tra metà e tre quarti dell'altezza del palo, così da poterlo abbattere fino a terra. Usate il palo del progetto, ancoraggi dimensionati per il carico e un verricello a mano per sollevarlo.

Proteggerla dalla fuga di giri. Con una raffica, o senza carico elettrico, un rotore può girare fino a rompersi. Una turbina all'aperto ha bisogno di una protezione automatica: molte piccole turbine hanno una coda incernierata che ruota il rotore fuori dal vento forte; altre si affidano allo stallo o a pale a passo variabile. Senza questa protezione una turbina non deve girare all'aperto; e anche con essa, fermate e abbassate una piccola turbina prima di una tempesta.

Il cablaggio. Collegate il generatore alla batteria attraverso un fusibile e un diodo di blocco, che impedisce alla batteria di far girare il motore. Un regolatore a deviazione, dimensionato per la corrente del generatore e collegato secondo il suo schema, sorveglia la tensione della batteria e manda la potenza a un carico di zavorra quando è piena: resistenze in grado di assorbire tutta la potenza alla tensione della batteria, perché una stufetta da rete a 12 volt non assorbe quasi nulla. Un interruttore che cortocircuita il generatore rallenta il rotore con vento debole ma non lo blocca; legate una pala al palo prima di toccare il rotore.

Per un modello da tavolo, mettete un motorino con pale di cartoncino davanti a un ventilatore e misurate la tensione a ogni velocità.

> **Sicurezza.** Le punte delle pale vanno molto più veloci di quanto sembri: non state mai nel piano del rotore. Non salite mai su un palo finché la turbina può girare; fermatela e abbattete il palo. Tenete tutti a una distanza maggiore dell'altezza del palo quando lo alzate o lo abbassate, e tenete il palo e la sua zona di caduta ben lontani dalle linee elettriche aeree. Le batterie al piombo contengono acido solforico e durante la carica liberano idrogeno esplosivo: tenetele in una cassetta ventilata, lontano da scintille e dalle stanze abitate. Un cortocircuito sui morsetti di una batteria può fondere i cavi e appiccare un incendio. Non collegate mai da soli una turbina all'impianto di un edificio o alla rete: servono un inverter omologato e un elettricista qualificato.

Storia ed evoluzione

Nel luglio 1887 James Blyth, professore a Glasgow, eresse un mulino con quattro vele di tela accanto alla sua casa per le vacanze a Marykirk, in Scozia. La sua dinamo caricava accumulatori che illuminavano la casa. Già nel 1883 a Vienna era stata esposta una dinamo mossa dal vento, ma quella di Blyth è la prima ben documentata in uso quotidiano.

Nell'inverno 1887-88 Charles F. Brush costruì a Cleveland, in Ohio, una dinamo eolica con 144 pale di cedro su una torre di 18 metri. Caricava 12 batterie. La sua dinamo è di solito indicata come da 12 kW, anche se un articolo di giornale successivo parla di 1,2 kW. Dal 1891 Poul la Cour sperimentò turbine eoliche ad Askov, in Danimarca; più tardi formò anche elettricisti rurali che le costruissero.

Le fattorie americane comprarono turbine da carica in gran numero; i soli fratelli Jacobs ne costruirono circa 20.000 prima di chiudere nel 1956, quando la rete raggiunse le campagne. Il 19 ottobre 1941 la turbina bipala

Smith-Putnam, nel Vermont, da 1,25 MW, fu collegata alla rete; nel 1945 perse una pala. Nel 1957 Johannes Juul costruì a Gedser, in Danimarca, una turbina da 200 kW con tre pale, regolazione per stallo e generatore asincrono. Questo «concetto danese» diede forma alle turbine costruite dalla fine degli anni Settanta.

Nel 2025 in Cina è stato montato per le prove un prototipo da 26 MW con un rotore di 310 metri. Quell'anno il vento ha prodotto l'8,5% dell'elettricità mondiale.

La macchina di Brush a Cleveland: 144 pale di cedro su un rotore di 17 metri.

Dati chiave

Prima elettricità eolica di uso regolare
James Blyth, Marykirk (Scozia), luglio 1887

Limite di Betz
Al massimo il 59,3% (16/27) della potenza del vento; i grandi rotori arrivano al massimo a circa il 48%

Quota dell'elettricità mondiale
8,5% nel 2025

Potenza del vento
$P = ½·ρ·A·v^3$: vento a velocità doppia, potenza otto volte maggiore

Campo di funzionamento
Parte a circa 3–5 m/s; si ferma oltre circa 25–29 m/s

Fonti

1. July 1887: James Blyth harnesses the wind · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2022/07/james-blyth-harnesses-wind
2. James Blyth (1839-1906) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org//biography/james-blyth-1839-1906
3. Charles Brush Used Wind Power 120 Years Ago · Teaching Cleveland https://teachingcleveland.org/charles-brush-used-wind-power-120-years-ago/
4. Charles Brush and Some Notes on Early Wind Turbine Development (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/charles-brush-and-some-notes-on-early-wind-turbine-development/
5. Charles F. Brush · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_F._Brush
6. Old Wind and Electricity (Engines of Our Ingenuity, episode 552, J. H. Lienhard) · University of Houston https://engines.egr.uh.edu/episode/552
7. Poul la Cour · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Poul_la_Cour
8. The inventor who turned a folk high school into a laboratory · Carlsberg Foundation https://carlsbergfondet.dk/en/anniversary-stories/the-inventor-who-turned-a-folk-high-school-into-a-laboratory/
9. Flashbacks: The First Wind Power Boom · NRECA, RE Magazine https://www.cooperative.com/remagazine/articles/Pages/Flashbacks-The-First-Wind-Power-Boom.aspx
10. Original Company · Jacobs Wind https://jacobswind.net/history/original-company/
11. 79th anniversary of first wind turbine interconnection with the grid in North America (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/79th-anniversary-of-first-wind-turbine-interconnection-with-the-grid-in-north-america/
12. Gedser wind turbine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gedser_wind_turbine
13. How a Wind Turbine Works (text version) · U.S. Department of Energy, Wind Energy Technologies Office https://www.energy.gov/eere/wind/how-wind-turbine-works-text-version
14. Betz limit · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz_limit
15. Simulation of Variable Speed Wind Turbines based on Open-Source Solutions (2021) · International Journal of Electrical Engineering & Education, via arXiv https://arxiv.org/pdf/2103.01759
16. Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development (NREL/TP-500-38060, 2009) · National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy09osti/38060.pdf
17. Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide (DOE/GO-102007-2465, August 2007) · U.S. Department of Energy / National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy07osti/42005.pdf
18. World electricity data · Ember https://ember-energy.org/countries-and-regions/world/
19. Dongfang installs world's largest single-capacity offshore wind turbine for testing · offshoreWIND.biz https://www.offshorewind.biz/2025/09/03/dongfang-installs-worlds-largest-single-capacity-offshore-wind-turbine-for-testing

Fatti verificati il 2026-10-14

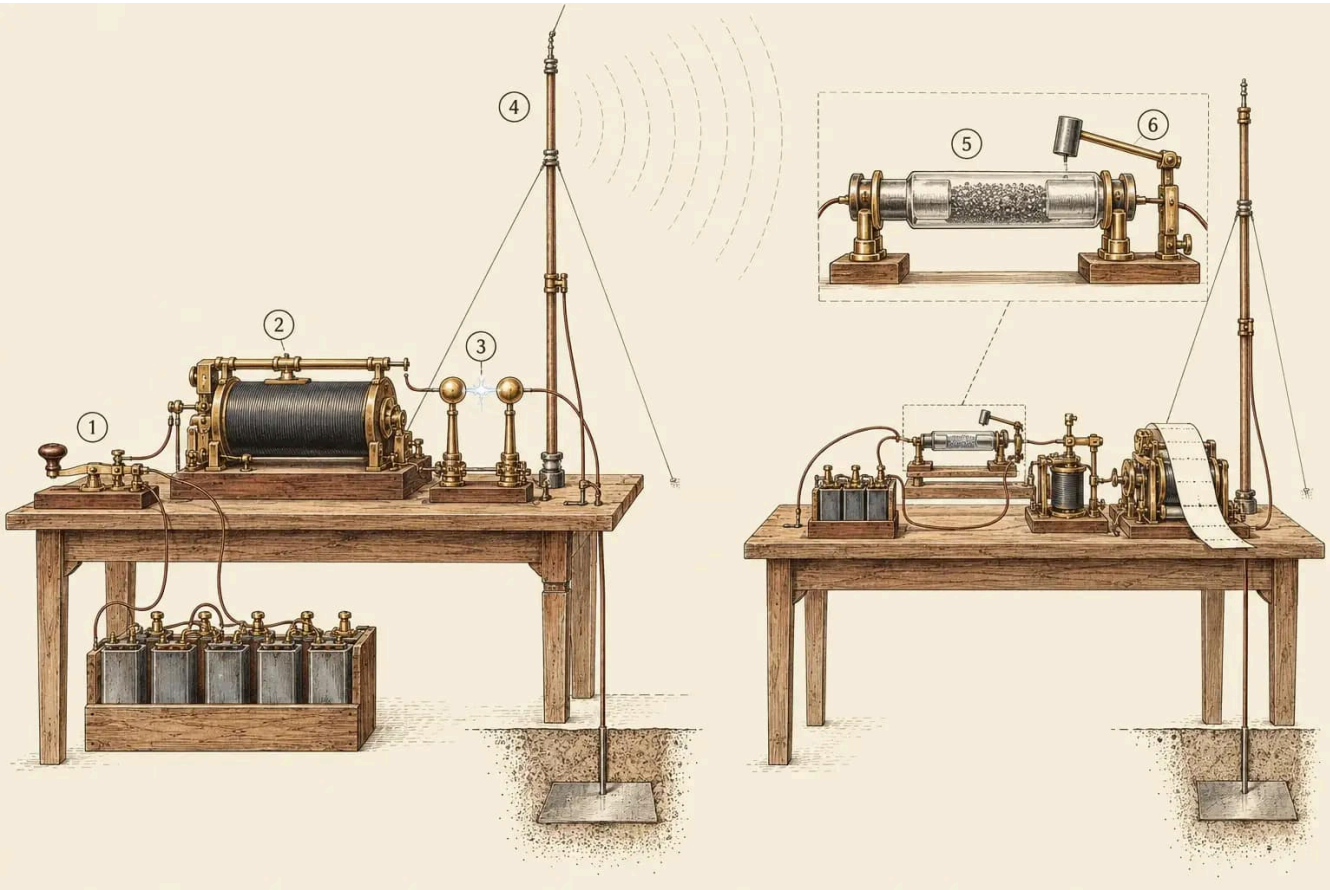
Radio

Messaggi senza fili

c. 1895 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Telegrafo elettrico (p. 284), Generatore elettrico (p. 272)

Porta a: Transistor (p. 359)



1 Tasto telegrafico Morse 2 Rocchetto di Ruhmkorff 3 Spinterometro 4 Antenna 5 Coherer 6 Martelletto

La radio trasmette segnali attraverso lo spazio sotto forma di onde elettromagnetiche, prodotte da una corrente che oscilla molto rapidamente in un filo e captate da un altro filo lontano. Guglielmo Marconi trasformò gli esperimenti di laboratorio in un telegrafo senza fili funzionante nel 1895, e all'inizio del Novecento seguì la radiodiffusione di voce e musica.

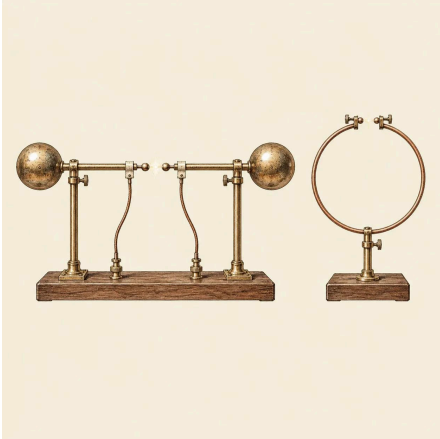
Che cos'è

Un trasmettitore radio fa oscillare molto rapidamente una corrente elettrica in un filo, l'antenna, che emette onde elettromagnetiche capaci di viaggiare alla velocità della luce. Quando incontrano un altro filo, le onde generano una copia minuscola della corrente originale, che un ricevitore trasforma in suono o in segni su una striscia di carta.

La tavola mostra il primo sistema utilizzabile, il telegrafo a scintilla di Marconi del 1896, che inviava solo i punti e le linee dell'alfabeto Morse. All'inizio degli anni Venti le stazioni trasmettevano già voce e musica agli apparecchi nelle case.

Come funziona

Nel trasmettitore una batteria alimenta attraverso il tasto telegrafico Morse un rocchetto di Ruhmkorff, cioè una bobina a induzione. La bobina eleva la tensione a migliaia di volt e carica due sfere di ottone separate da un piccolo intervallo, lo spinterometro. Quando la tensione è abbastanza alta, una scintilla attraversa l'intervallo e, finché dura, lascia che la carica corra avanti e indietro nell'antenna a frequenza altissima. Ogni scintilla emette un breve treno di onde. Una pressione breve sul tasto dà un punto al ricevitore, una più lunga una linea.



Quando una scintilla scoccava nell'oscillatore di Hertz, una scintilla minuscola saltava nell'anello dall'altra parte della stanza.

Marconi sollevò un lungo filo verticale su un palo e collegò l'altro lato dello spinterometro a una lastra di metallo sepolta. Con questa antenna collegata a terra la portata passò da poche centinaia di metri a diversi chilometri.

Nel rivelatore a baffo di gatto, un filo sottile appoggiato su un cristallo di galena lascia passare la corrente in un solo verso.

Anche il ricevitore aveva antenna e terra, con in mezzo un coherer: un tubetto di vetro con limatura metallica sciolta tra due tappi d'argento. Di solito la limatura conduce male. Le onde in arrivo fanno aderire i granelli e li rendono conduttori: una pila locale può farvi passare corrente e azionare un relè, che comanda un campanello o una scrivente Morse. Un martelletto batte poi sul tubo e stacca la limatura prima del segnale successivo.

I trasmettitori a scintilla spargevano l'energia su un'ampia banda di frequenze e si disturbavano a vicenda. I circuiti accordati, fatti di bobina e condensatore, permisero a ogni stazione di restare sulla propria frequenza. I trasmettitori successivi emettevano un'onda continua con un'intensità che seguiva la voce: è la modulazione di ampiezza, o AM. Nel ricevitore un rivelatore, prima un cristallo e poi una valvola termoionica, elimina l'onda radio e lascia il suono.

Come costruirla

La radio funzionante più semplice è la radio a galena. Non ha bisogno di pile: tutta la sua energia arriva dalle onde della stazione. La bobina e il condensatore descritti qui sintonizzano gran parte della banda AM delle onde medie, a seconda dell'antenna, e l'apparecchio funziona meglio nel raggio di un trasmettitore potente.

Montare l'antenna. Tendere da 15 a 30 metri di filo di rame, il più alto e dritto possibile, tra due alberi o pali, con isolatori alle estremità, e portare un filo di discesa fino all'apparecchio.

Fare la presa di terra. Piantare per un metro un picchetto di rame o di acciaio zincato in un terreno umido e collegarlo con un filo corto e spesso. Non usare mai un tubo del gas.

Avvolgere la bobina. Su un tubo di cartone o di plastica di circa 8 cm di diametro, avvolgere da 60 a 90 spire affiancate di filo di rame smaltato da 0,3 a 0,5 mm. Fare una presa ogni dieci spire e raschiare lo smalto nei punti da collegare.

Aggiungere un condensatore di sintonia. Un condensatore variabile con un massimo di circa 350-500 picofarad, acquistato o recuperato da una vecchia radio a pile e collegato ai capi della bobina, sintonizza le stazioni. Non

aprire vecchi apparecchi alimentati dalla rete: i loro condensatori possono conservare una carica pericolosa anche molto tempo dopo averli staccati dalla presa. Senza condensatore variabile si può comunque sintonizzare in modo approssimativo spostando l'antenna da una presa all'altra.

Montare un rivelatore. Il più semplice è un diodo al germanio. Funziona anche, con pazienza, un pezzetto di galena sfiorato da un filo sottile.

Collegare e ascoltare. Collegare la terra all'estremità inferiore della bobina e l'antenna a una delle prese: meno spire sintonizzano frequenze più alte, più spire frequenze più basse, e un'antenna lunga spesso funziona meglio su una presa intermedia. Mettere in serie rivelatore e auricolare, e collegare anche questa coppia ai capi della bobina. Usare un auricolare piezoelettrico ad alta impedenza con una resistenza da 50 a 100 kiloohm ai suoi capi, oppure una vecchia cuffia ad alta impedenza; gli auricolari moderni a bassa impedenza caricano troppo il circuito. Ruotare lentamente il condensatore.

> **Sicurezza.** Un'antenna esterna attira i fulmini: scollegarla e collegarla a terra prima che arrivi un temporale, e non toccarla mai durante. Il picchetto di terra dell'apparecchio non protegge dai fulmini; un'antenna esterna permanente richiede uno scaricatore e una messa a terra adeguati, installati secondo le norme locali. Tenere ogni filo ben lontano dalle linee elettriche, perché il contatto può uccidere, e non salire sui tetti senza una scala sicura e una seconda persona. Non costruire un trasmettitore: quasi tutti richiedono una licenza, e i trasmettitori a scintilla sono vietati ovunque perché disturbano gli altri servizi. I rocchetti di Ruhmkorff producono migliaia di volt e danno scosse dolorose e pericolose.

Storia ed evoluzione

Nel 1865 James Clerk Maxwell previde che campi elettrici e magnetici potessero propagarsi insieme come onde. Tra il 1886 e il 1888, a Karlsruhe, Heinrich Hertz produsse queste onde con le scintille, le rilevò dall'altra parte del laboratorio con un anello di filo e mostrò che si comportavano come la luce. Édouard Branly (1890) e Oliver Lodge (1894) svilupparono il coherer, un tubo di limatura metallica che diventa conduttore all'arrivo delle onde. Il 7 maggio 1895 Aleksandr Popov presentò a San Pietroburgo un ricevitore con un coherer a scuotimento automatico, costruito per registrare i fulmini lontani.

Guglielmo Marconi, che lavorava a Villa Griffone, la casa di famiglia vicino a Bologna, puntò fin dall'inizio alla telegrafia. Nell'estate del 1895, con un'antenna verticale collegata a terra, inviò segnali a circa due chilometri, oltre il colle dei Celestini, e un aiutante dall'altra parte confermò la ricezione con un colpo di fucile. Nel 1896 si trasferì in Inghilterra e depositò il brevetto. Il 12 dicembre 1901, a Signal Hill, a Terranova, lui e George Kemp udirono i tre punti della lettera S trasmessi da Poldhu, in Cornovaglia, grazie a un filo sostenuto da un aquilone. Per alcuni storici sentirono solo disturbi, ma il servizio transatlantico regolare cominciò nel 1907.

La valvola triodo amplificava i segnali deboli, migliorò la ricezione e favorì la diffusione delle trasmissioni radio.

Il 21 dicembre 1906 Reginald Fessenden trasmise via radio voce e musica da Brant Rock, nel Massachusetts, davanti a testimoni invitati. In seguito scrisse di aver diffuso la vigilia di Natale un programma per le navi in mare; quel racconto risale al 1932, e non è stato trovato alcun documento del 1906 che lo attesti. Il 2 novembre 1920 la stazione KDKA della Westinghouse, a Pittsburgh, diffuse i risultati delle elezioni presidenziali, e negli anni Cinquanta i transistor resero le radio tascabili.

Dati chiave

Onde radio dimostrate
Heinrich Hertz, 1886-1888

Ricezione transatlantica annunciata da Marconi
12 dicembre 1901, la lettera S in alfabeto Morse

I segnali di Marconi superano una collina
Circa 2 km, estate 1895

Voce e musica via radio
21 dicembre 1906, dimostrazione di Fessenden a Brant Rock

Fonti

1. Milestones: Marconi's Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Marconi%27s_Early_Experiments_in_Wireless_Telegraphy,_1895
2. Milestones: Reception of Transatlantic Radio Signals, 1901 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Reception_of_Transatlantic_Radio_Signals,_1901
3. Milestones: Popov's Contribution to the Development of Wireless Communication, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Popov%27s_Contribution_to_the_Development_of_Wireless_Communication,_1895
4. Experiments and Results in Wireless Telephony (John Grant, 1907) · The American Telephone Journal, via earlyradiohistory.us https://earlyradiohistory.us/1907fes.htm
5. Results by Radio: Election Day 1920 · The Henry Ford https://www.thehenryford.org/collections/explore/articles/detail/articles/2020/10/15/results-by-radio-election-day-1920
6. Fessenden: World's First Broadcaster? · Radio World (James O'Neal) https://www.radioworld.com/news-and-business/fessenden-worlds-first-broadcaster
7. Circular 120: Construction and Operation of a Simple Homemade Radio Receiving Outfit (1922) · US Bureau of Standards, via NIST https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/circ/nbscircular120.pdf
8. Simple Inductance Formulas for Radio Coils (H. A. Wheeler, 1928) · Proceedings of the IRE https://doi.org/10.1109/JRPROC.1928.221309
9. Amateur Radio After World War One (1919-1925): 360 and 485 metres set aside for broadcasting, 1921 · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/sec015.htm
10. Government Agricultural Broadcasting: 485 metres for crop reports and weather forecasts · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/agric.htm

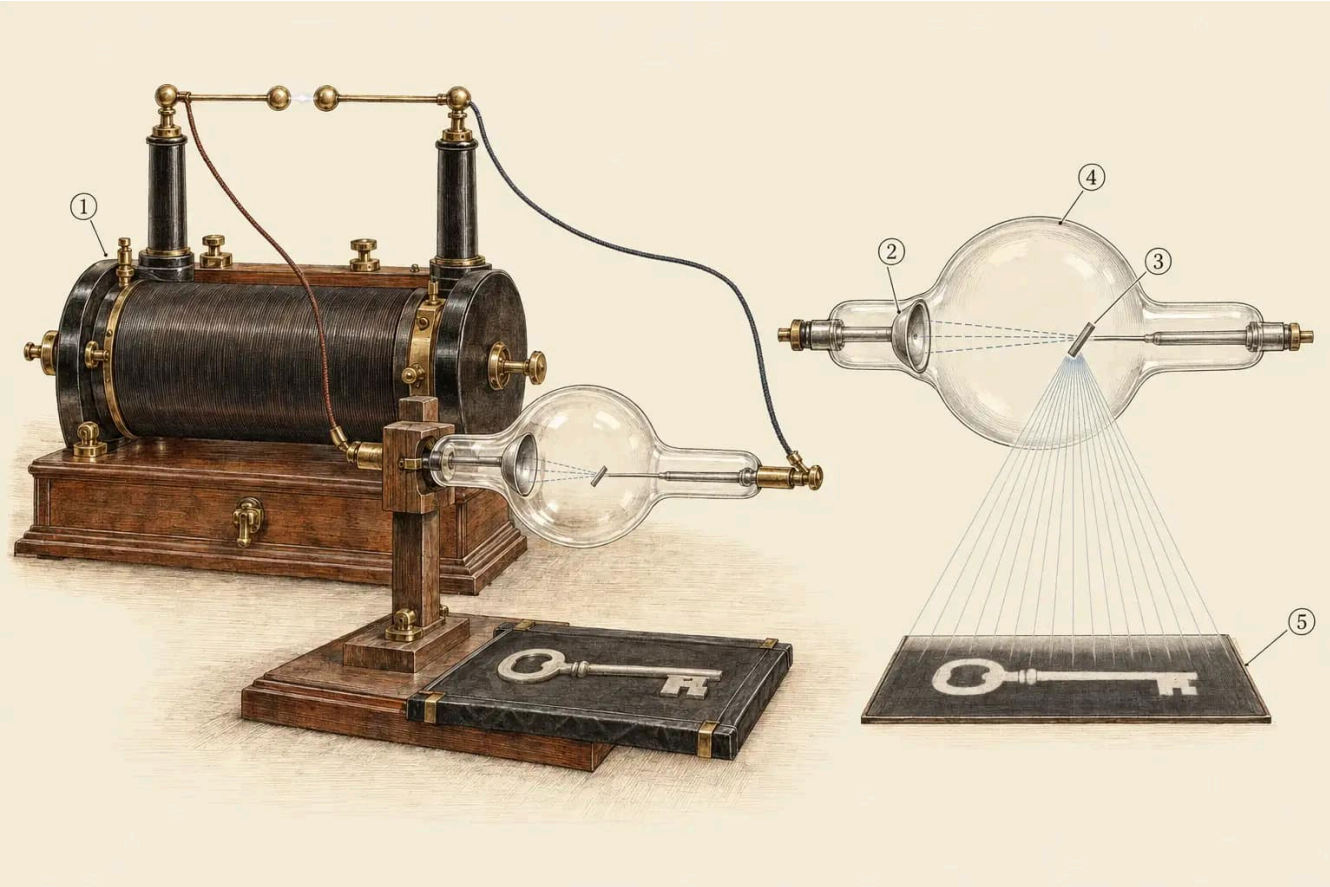
Fatti verificati il 2026-10-11

Radiografia

Vedere attraverso il corpo

1895 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Generatore elettrico (p. 272), Fotografia (p. 260)



1 Rocchetto a induzione 2 Catodo concavo 3 Anticatodo di platino inclinato 4 Ampolla di vetro 5 Lastra fotografica

La radiografia fa attraversare il corpo da raggi invisibili e penetranti che arrivano su una lastra o un rivelatore, così che ossa e tessuti densi vi proiettano la loro ombra. Wilhelm Röntgen scoprì questi raggi a Würzburg l'8 novembre 1895, e all'inizio del 1896, poche settimane dopo l'annuncio, medici in Europa e in America li usavano per individuare fratture e proiettili.

Che cos'è

I raggi X sono onde elettromagnetiche come la luce, ma con una lunghezza d'onda molto più corta, da circa 0,01 a 10 nanometri contro 400-700 della luce visibile, che permette loro di attraversare materiali che fermano la luce. La materia densa ne assorbe più di quella leggera, e così un oggetto posto fra una sorgente di raggi X e una lastra sensibile vi lascia un'immagine in ombra del suo interno: l'osso, che contiene calcio, risalta nettamente sulla carne intorno.

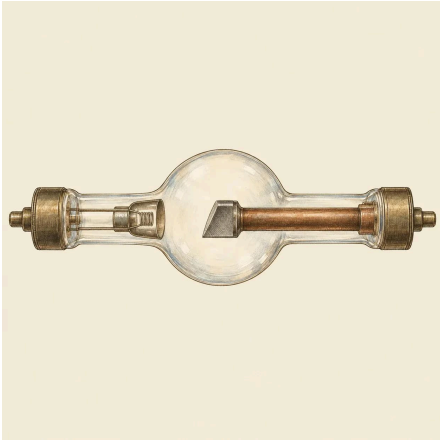
L'apparecchio della tavola è del tipo usato nel 1896 e negli anni seguenti. Un rocchetto a induzione trasforma la bassa tensione di una pila in decine di migliaia di volt. Due fili portano questa tensione a un tubo «focus», un'ampolla di vetro quasi svuotata d'aria, con a un'estremità un catodo concavo di alluminio e al centro una

piccola lamina di platino, l'anticatodo, inclinata di 45 gradi. Sotto il tubo è posata una lastra fotografica avvolta in carta nera, con sopra l'oggetto da radiografare.

Come funziona

Nel tubo resta una traccia di gas. L'alta tensione lo ionizza, e gli ioni positivi, urtando il catodo, ne staccano elettroni che la tensione scaglia poi attraverso il tubo. Questi raggi catodici, come si chiamavano allora, sono correnti invisibili di elettroni, e la quantità di gas rimasta nel tubo ne determina il comportamento. Il catodo concavo li concentra su una piccola macchia dell'anticatodo di platino. Quando gli elettroni veloci vengono fermati nel metallo, una piccola parte della loro energia esce sotto forma di raggi X; quasi tutto il resto diventa calore. I raggi X lasciano il bersaglio in molte direzioni; poiché è inclinato, un fascio utile esce di lato, attraverso il vetro, verso la lastra fotografica, mentre il resto si sparge nella stanza se non è schermato.

I raggi partono in linea retta da quella piccola macchia, ed è per questo che conta: più è piccola, più le ombre sono nitide. Dove i raggi passano facilmente, nell'aria o nella carne, anneriscono l'emulsione fotografica; dove l'osso o il metallo li assorbono, la lastra resta più chiara. Stampata o guardata direttamente, la lastra mostra lo scheletro di una mano, una moneta in un borsellino o un proiettile in un arto.



Il tubo di Coolidge del 1913: un filamento di tungsteno riscaldato fornisce gli elettroni, così l'emissione si può regolare con precisione.

I primi tubi a gas erano capricciosi: il loro comportamento cambiava man mano che il gas residuo si esauriva. Nel 1913 William Coolidge, alla General Electric, costruì un tubo ad alto vuoto con un filamento di tungsteno riscaldato come catodo. La corrente, e con essa la quantità di raggi X, si regolava ora con la temperatura del filamento e il potere penetrante con la tensione, e le dosi diventarono ripetibili. I tubi moderni seguono ancora questo principio.

Come costruirlo

Un apparecchio a raggi X non si può costruire in sicurezza a casa, e nella maggior parte dei paesi per usarlo serve un'autorizzazione. I raggi X danneggiano le cellule vive senza che lo si avverta; i primi operatori lo impararono con ustioni, amputazioni e tumori mortali. Questa sezione descrive come si costruivano le prime macchine nei laboratori e propone poi due esperimenti semplici che mostrano gli stessi principi.

Come si faceva nel 1896. I costruttori di strumenti avvolgevano chilometri di filo sottile ricoperto di seta su un nucleo di ferro, alimentavano i rocchetti con pile attraverso un interruttore a vibrazione e li collegavano a tubi fatti dai soffiatori di vetro. I tubi venivano svuotati per ore con pompe a mercurio, sigillati e rodati finché non davano raggi stabili. Sotto il tubo si poneva un telaio avvolto in carta nera; per una mano servivano all'inizio diversi minuti di posa, a volte molti di più, e meno via via che i tubi miglioravano.

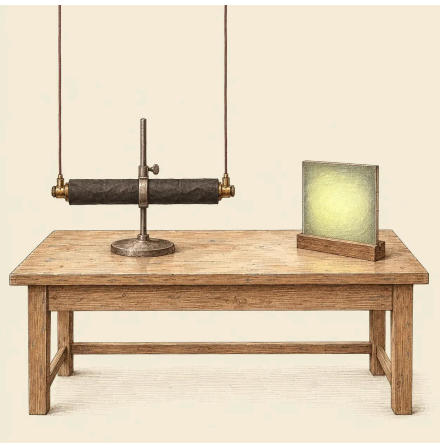
Vedere le ombre con la luce. In una stanza buia fissate una torcia luminosa a circa 2 m da una parete e tenete una matita a metà strada. Coprite la torcia con un cartoncino forato da un buco di 5 mm, poi toglietelo perché illumini tutta la lente: la sorgente piccola dà un'ombra nitida, quella grande bordi sfumati, proprio come una piccola macchia focale in un tubo a raggi X. Poi premete la torcia contro il polpastrello di un dito: il polpastrello si accende di rosso, perché la luce rossa attraversa un centimetro di carne.

Vedere la fluorescenza. Röntgen notò i raggi perché uno schermo ricoperto di platinocianuro di bario si illuminava. Con un adulto responsabile e seguendo le istruzioni di sicurezza della lampada, illuminate al buio

un bicchiere di acqua tonica con una torcia ultravioletta di bassa potenza, di tipo «UV-A» a 365 nm: il chinino che contiene assorbe quella luce invisibile e brilla di blu. L'inchiostro degli evidenziatori e alcuni detersivi fanno lo stesso.

> **Sicurezza.** Non collegate mai vecchie valvole termoioniche o tubi a raggi catodici all'alta tensione: quando gli elettroni urtano il vetro o il metallo all'interno, possono emettere raggi X. I rocchetti a induzione e gli altri alimentatori ad alta tensione possono dare scosse pericolose o mortali. L'ultravioletto danneggia occhi e pelle: non guardate mai dentro la torcia, tenete il fascio lontano da occhi e pelle, indossate occhiali anti-UV e sceglietene una di bassa potenza venduta solo per l'UV-A. Le radiografie mediche le esegue personale formato, con la dose più bassa che l'esame consenta.

Storia ed evoluzione



La scoperta di Röntgen: un tubo avvolto in cartone nero e, accanto, uno schermo fluorescente che si illumina lo stesso.

La sera dell'8 novembre 1895 Wilhelm Conrad Röntgen, professore di fisica a Würzburg, studiava una scarica elettrica in un tubo avvolto in cartone nero. Uno schermo di carta ricoperto di platinocianuro di bario, posato a una certa distanza, si illuminava ogni volta che il tubo veniva acceso, benché nessuna luce potesse uscire dal cartone. Nelle settimane seguenti, lavorando da solo, mostrò che i raggi sconosciuti attraversavano carta, legno e carne, ma venivano assorbiti molto più fortemente dalle ossa e da metalli come il piombo. Il 22 dicembre fotografò la mano della moglie, Anna Bertha, in cui si vedono le ossa e l'anello. Il suo articolo «Su un nuovo tipo di raggi» uscì alla fine del mese.

Dall'inizio del 1896 la lastra mostrava al chirurgo dove si trovavano un ago o un proiettile prima di incidere.

La notizia si diffuse con una rapidità straordinaria, e in un anno uscirono circa mille pubblicazioni sui raggi X. All'inizio del 1896 Herbert Jackson a Londra e altri costruirono tubi «focus» con catodo concavo e bersaglio metallico inclinato, che davano immagini molto più nitide. I chirurghi li usarono per localizzare proiettili e aghi; gli ospedali allestirono sale radiologiche. Röntgen ricevette nel 1901 il primo premio Nobel per la fisica.

Il pericolo non fu capito subito. Ustioni e caduta dei capelli furono segnalate già nel 1896, e molti dei primi operatori subirono lesioni deturpanti; Clarence Dally, assistente di Thomas Edison, morì nel 1904 dopo anni di esposizione. Seguirono schermi di piombo, limiti di dose e formazione. Nel 1912 il gruppo di Max von Laue dimostrò che i raggi X sono onde facendoli diffrangere nei cristalli, il che aprì lo studio delle strutture cristalline. La tomografia computerizzata, che ricostruisce sezioni da molte misure ai raggi X, valse nel 1979 il premio Nobel a Godfrey Hounsfield e Allan Cormack.

Dati chiave

Scoperta
8 novembre 1895, Università di Würzburg

Pubblicazione
«Über eine neue Art von Strahlen», fine dicembre 1895; circa 1000 pubblicazioni sui raggi X in un anno

Primo premio Nobel per la fisica
Röntgen, 1901

Prima radiografia di una mano
Quella di Anna Bertha Röntgen, 22 dicembre 1895

Tubo a catodo caldo
William Coolidge, 1913

Fonti

1. Wilhelm Conrad Röntgen: biographical · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/biographical/
2. Röntgen discovers X-rays · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=550
3. Jackson X-ray tube (ca. 1896) · ORAU Health Physics Historical Instrumentation Museum https://www.orau.org/health-physics-museum/collection/x-ray-discharge/after-roentgen-tubes/jackson-x-ray-tube.html
4. Original Coolidge x-ray tube · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32668/original-coolidge-x-ray-tube
5. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979 · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/summary/
6. History of radiation protection · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_radiation_protection
7. John Francis Hall-Edwards: a radiology pioneer · Hektoen International https://hekint.org/2020/06/23/john-francis-hall-edwards-a-radiology-pioneer/
8. Blue plaque: Major Dr John Francis Hall-Edwards · Birmingham Civic Society https://birminghamcivicsociety.org.uk/blue-plaque-major-dr-john-francis-hall-edwards/
9. X-Ray Mass Attenuation Coefficients (NIST Standard Reference Database 126) · National Institute of Standards and Technology https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/
10. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students, chapter 5 · International Atomic Energy Agency https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564webNew-74666420.pdf
11. Characteristics of a first-generation x-ray system · Radiology (Radiological Society of North America) https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.11101899
12. X-ray (the Duane–Hunt law) · Encyclopaedia Britannica https://www.britannica.com/science/X-ray

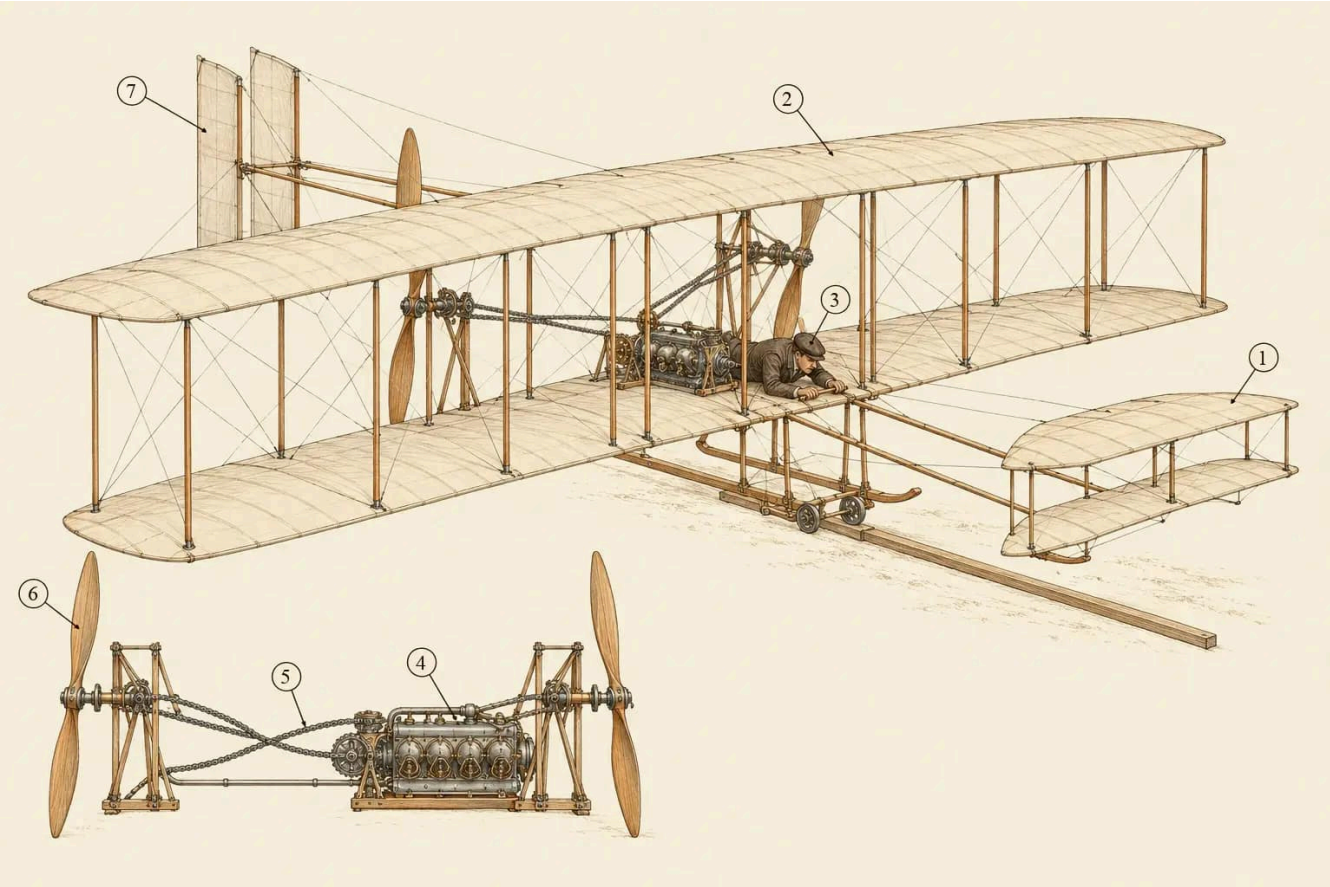
Fatti verificati il 2026-10-12

Aeroplano

Portanza, spinta e controllo

1903 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Motore a combustione interna (p. 311), Alluminio (p. 333)



1 Equilibratore anteriore 2 Ala superiore 3 Culla del pilota 4 Motore 5 Catena di trasmissione 6 Elica 7 Timoni di direzione gemelli

Un aeroplano è una macchina a motore più pesante dell'aria che vola grazie ad ali fisse, con un motore che la spinge in avanti e superfici mobili per guidarla. Wilbur e Orville Wright compirono i primi voli a motore controllati e prolungati a Kitty Hawk il 17 dicembre 1903.

Che cos'è

Un aeroplano vola perché l'aria che scorre attorno alle ali lo sostiene. A differenza di un pallone è più pesante dell'aria che attraversa, quindi deve continuare a muoversi per restare in volo. Gli servono tre cose insieme: ali che producano portanza, un motore con elica (o un reattore) che spinga la macchina in avanti contro la resistenza dell'aria, e comandi che permettano al pilota di tenerla in equilibrio e di guidarla dove vuole.

La macchina della tavola è il Flyer dei fratelli Wright, del 1903: un biplano di abete rosso e frassino rivestito di mussola grezza. Il pilota stava sdraiato a pancia in giù sull'ala inferiore. Accanto a lui un piccolo motore a benzina azionava, con catene simili a quelle di una bicicletta, due eliche di legno poste dietro le ali. L'equilibratore era

davanti, una coppia di timoni di direzione dietro. Non aveva ruote e decollava da una rotaia di legno posata sulla sabbia.

Come funziona

Un'ala è curva sopra e inclinata di poco rispetto all'aria che arriva. Devia l'aria verso il basso, e l'aria spinge l'ala verso l'alto. Sopra l'ala la pressione cala, sotto aumenta; questa differenza, distribuita su tutta la superficie, è la portanza. A parità di ala e di angolo, la portanza cresce con il quadrato della velocità, perciò un aereo ha bisogno di una velocità minima per volare. Inclinare di più l'ala aumenta la portanza solo fino a un certo punto: oltre, il flusso si stacca dal dorso e l'ala va in stallo.

Il motore deve vincere la resistenza dell'aria. I Wright consideravano le loro eliche come ali rotanti e le progettarono con i dati della propria galleria del vento. Le due eliche giravano in senso opposto, così che i loro effetti di coppia si annullassero.

L'aria che avvolge un'ala curva viene deviata verso il basso, e in cambio l'ala viene spinta verso l'alto.

Il controllo fu il grande contributo dei Wright. Un aereo può ruotare attorno a tre assi. Il beccheggio (muso su o giù) si regolava con l'equilibratore anteriore, mosso da una leva nella mano sinistra del pilota. Il rollio (inclinare le ali) veniva dallo svergolamento alare: spostando i fianchi nella culla, il pilota tirava cavi che torcevano le estremità delle ali in senso opposto, così un'ala portava più dell'altra. La stessa culla muoveva i timoni di direzione, per evitare che in virata il muso andasse dalla parte sbagliata. Gli alettoni, superfici incernierate sulle ali, sostituirono poi lo svergolamento, ma il principio dei tre assi è rimasto.

Come costruirlo

I primi aeroplani nacquero in piccole officine che conoscevano la lavorazione del legno e la costruzione di biciclette. Quanto segue spiega le scelte da fare e il metodo dei pionieri. Non è un progetto, e nessuno dovrebbe far volare un velivolo autocostruito senza addestramento, ispezione e le autorizzazioni richieste nel proprio paese.

Provare prima di costruire. I Wright fecero volare alianti nel 1900, 1901 e 1902 e nel 1901 costruirono una piccola galleria del vento per misurare portanza e resistenza di modelli d'ala. Le loro tabelle sostituirono dati pubblicati in precedenza che avevano scoperto essere sbagliati.

Una struttura di legno leggero a fibra dritta. Longheroni e montanti erano di abete rosso, le centine curve di frassino. L'insieme era una gabbia controventata: i montanti tenevano distanziate le due ali e tra di essi si incrociavano fili d'acciaio. Le campate centrali erano controventate in modo rigido, mentre le parti esterne delle ali potevano torcersi un poco per lo svergolamento.

Rivestire le ali. La mussola era tagliata e tesa in sbieco sulle centine, con i fili in diagonale, il che rinforzava il rivestimento.

Trovare un motore leggero. I Wright non trovarono nessun fabbricante disposto a fornire un motore abbastanza leggero e potente, perciò il loro meccanico Charlie Taylor costruì in circa sei settimane un quattro cilindri raffreddato ad acqua, con il basamento fuso in alluminio per risparmiare peso.

Bilanciarlo. In senso longitudinale il baricentro deve trovarsi nel punto giusto rispetto alla portanza, altrimenti la macchina si impenna o si mette in picchiata. Anche lateralmente i pesi devono compensarsi: il motore stava di

fianco al pilota, perciò i Wright allungarono un poco l'ala destra.

> **Sicurezza.** Un'elica in rotazione è invisibile e può uccidere: non mettetevi mai nel suo raggio d'azione e non avviate mai un motore a mano senza addestramento. La benzina e i suoi vapori prendono fuoco facilmente. Le strutture di legno e tela cedono senza preavviso se un giunto o un cavo sono danneggiati. Volare richiede addestramento, un velivolo integro e ispezionato e condizioni meteorologiche adatte.

Storia ed evoluzione

Lilienthal guidava i suoi alianti spostando il peso del corpo sotto le ali.

L'approccio moderno al volo cominciò con l'inglese George Cayley, che verso il 1799 separò i tre problemi della portanza, della propulsione e del controllo e più tardi fece volare alianti. In Germania, negli anni Novanta dell'Ottocento, Otto Lilienthal compì circa duemila voli planati da colline e pubblicò le sue misure. Morì nel 1896 dopo una caduta.

Wilbur e Orville Wright avevano un negozio di biciclette a Dayton, nell'Ohio. Studiarono le ricerche aeronautiche precedenti, comprese quelle di Lilienthal, poi misero alla prova le loro idee con aquiloni e alianti a Kitty Hawk, nella Carolina del Nord, scelta per i venti regolari e la sabbia morbida.

Il 17 dicembre 1903 Orville volò con il Flyer per 12 secondi, coprendo circa 37 metri (120 piedi). Quel giorno i fratelli fecero altri tre voli; l'ultimo, con Wilbur ai comandi, durò 59 secondi e coprì circa 260 metri. Poi una raffica rovesciò la macchina, che non volò mai più. Dal 1948 si trova alla Smithsonian, a Washington.

Nella loro galleria del vento del 1901 i Wright misurarono portanza e resistenza di molti piccoli modelli d'ala.

Altri seguirono presto. Alberto Santos-Dumont volò a Parigi nel 1906 e Louis Blériot attraversò la Manica nel 1909. La Prima guerra mondiale fece dell'aviazione un'industria. Negli anni Trenta i monoplani metallici sostituirono i biplani di legno, e alla fine del decennio comparvero i motori a reazione. Oggi gli aerei di linea portano diverse centinaia di persone attraverso gli oceani, e i loro comandi agiscono ancora attorno agli stessi tre assi sui quali i Wright ottennero per primi un controllo efficace.

Dati chiave

Primo volo
17 dicembre 1903, 12 secondi, circa 37 m

Volo più lungo della giornata
59 secondi, circa 260 m (Wilbur Wright)

Apertura alare del Flyer del 1903
12,3 m

Motore
4 cilindri, circa 12 CV, basamento in alluminio

Peso
274 kg a vuoto, 341 kg con il pilota

Fonti

1. 1903 Wright Flyer · Smithsonian National Air and Space Museum https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000
2. The Wright Flyer · US National Park Service https://www.nps.gov/articles/wrightflyer.htm
3. 1903 Engine · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Engine.htm
4. Otto Lilienthal · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal
5. 1903 Wright Flyer Specifications · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Help_with_Homework/Wright_Plans/Wright_Plans_images/1903_Wright_Flyer_Specifications_Isometric_11x17.pdf
6. 1903 Wright Propellers · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Props.htm
7. Wright 1903 Aircraft Engine Parts · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/engparts.html

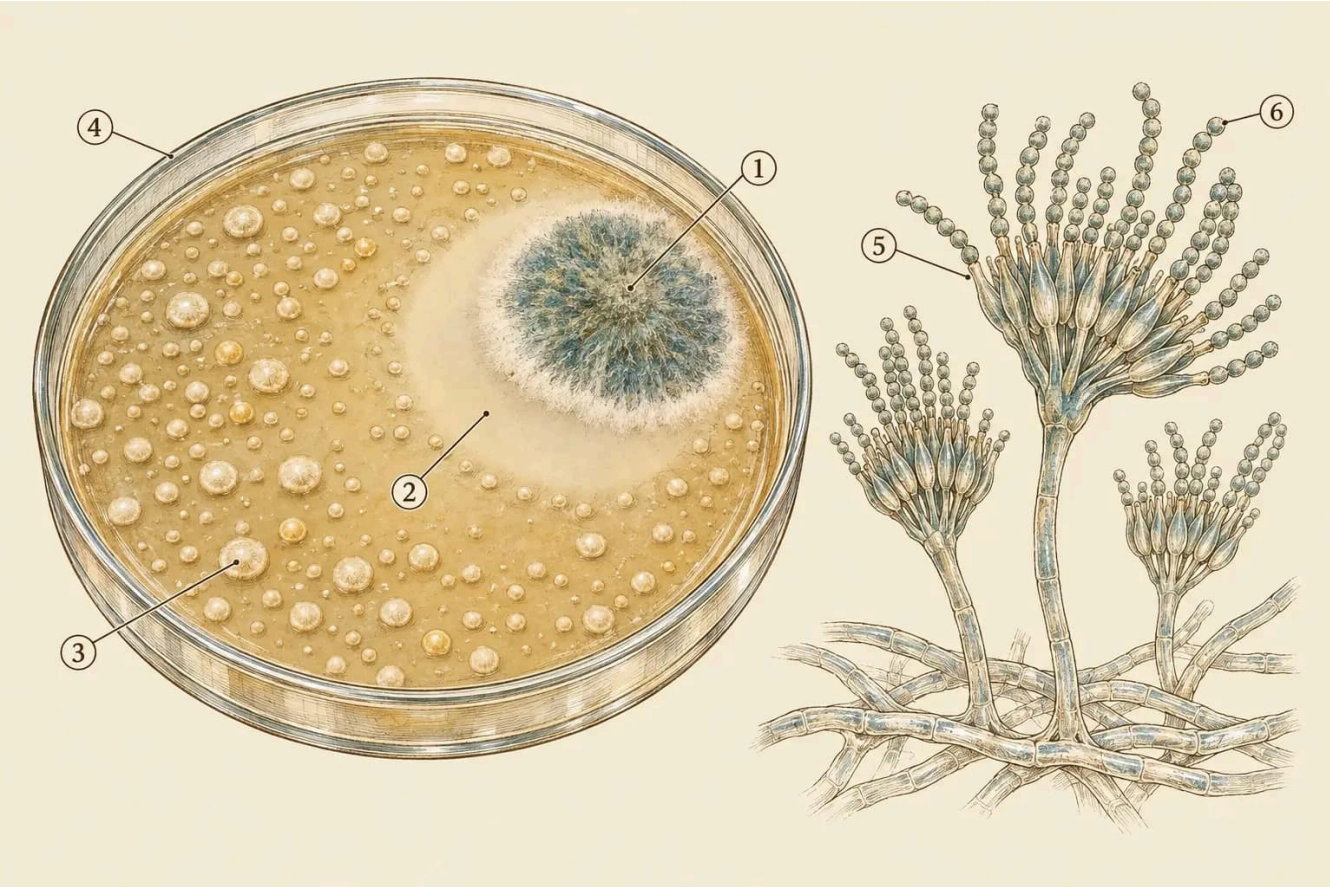
Fatti verificati il 2026-10-11

Penicillina

Un antibiotico prodotto da una muffa

1928 · Era elettrica · Era elettrica

Richiede: Vetro (p. 133), Vaccinazione (p. 235), Igiene e antisepsi (p. 297)



1 Colonia di Penicillium 2 Alone chiaro attorno alla muffa 3 Colonie batteriche 4 Piastra di Petri in vetro
5 Testa sporifera a pennello 6 Catena di spore

La penicillina è una sostanza prodotta da muffe del genere Penicillium che uccide molti tipi di batteri impedendo loro di costruire la parete cellulare. Alexander Fleming la notò nel 1928, e un gruppo di Oxford ne fece, durante la Seconda guerra mondiale, il primo antibiotico derivato da una muffa a essere impiegato su larga scala in medicina.

Che cos'è

La penicillina è un antibiotico, cioè un farmaco che uccide i batteri o ne blocca la crescita. A differenza dei sulfamidici di sintesi degli anni Trenta, nati dalla ricerca sui coloranti, è prodotta da un essere vivente. La producono alcuni ceppi di *Penicillium*, un genere che comprende le muffe verde-azzurre del pane raffermo e della frutta. Una volta purificata, la penicillina divenne il primo antibiotico derivato da una muffa che i medici poterono usare su larga scala, e cambiò la prognosi di infezioni spesso mortali come la setticemia, la polmonite o le ferite infette. La muffa sugli alimenti, invece, non è un medicinale e può essere essa stessa dannosa.

A sinistra la tavola mostra la celebre osservazione di Fleming: una piastra di vetro con colonie batteriche, sulla quale una spora di muffa si è posata per caso ed è cresciuta fino a formare una colonia, circondata da un anello chiaro dove i batteri sono morti. A destra, la muffa stessa al microscopio. Le sue spore crescono in catene su piccole teste a forma di pennello, da cui il nome del genere, dal latino *penicillus*, piccolo pennello.

Come funziona

La maggior parte dei batteri sono cellule singole avvolte da una parete robusta che ne mantiene la forma contro la pressione dell'acqua al loro interno. Questa parete è una rete di catene di zuccheri unite da brevi ponti peptidici. Mentre la cellula cresce e si divide, taglia e ricostruisce di continuo questa rete.

La penicillina blocca gli enzimi batterici che formano questi ponti. La cellula continua a crescere, ma la sua nuova parete è debole; l'acqua entra e la cellula scoppia. Le cellule umane e animali non hanno una parete di questo tipo, ed è per questo che la penicillina può uccidere i batteri risparmiando in gran parte le cellule del paziente. Al centro della molecola si trova un anello teso di quattro atomi, l'anello beta-lattamico, che reagisce con quegli enzimi e li mette fuori uso.

La penicillina agisce soprattutto sui batteri con parete spessa ed esposta, come gli streptococchi e gli pneumococchi. Il batterio della sifilide ha una parete sottile racchiusa tra due membrane, eppure anch'esso è molto sensibile alla penicillina. La penicillina non ha alcun effetto sui virus, che non hanno affatto una parete cellulare.

I batteri possono diventare resistenti. Alcuni producono un enzima, la penicillinasi, che taglia l'anello beta-lattamico prima che possa agire. Ogni uso di un antibiotico favorisce i batteri che gli sopravvivono, e la resistenza si diffonde dove gli antibiotici sono usati con leggerezza. Fleming aveva già messo in guardia contro questo rischio nella sua conferenza Nobel del 1945. Alcune persone sono inoltre allergiche alla penicillina, a volte in modo grave. Gli antibiotici sono farmaci da usare solo su prescrizione medica.

Come si produce

Tra il 1940 e il 1945 cambiarono più volte i metodi per coltivare la muffa, per estrarre il farmaco dal brodo e per misurarlo.

Coltura in superficie a Oxford. Il gruppo di Florey coltivava il ceppo di Fleming, *Penicillium notatum*, come un feltro che galleggiava su un sottile strato di brodo nutritivo. All'inizio Norman Heatley usò qualunque recipiente avesse un fondo largo e piatto, comprese padelle ospedaliere, scatole di biscotti e teglie da forno, poi progettò un recipiente rettangolare di ceramica che si poteva impilare su un fianco durante l'incubazione. Una fabbrica di ceramiche dello Staffordshire, la James Macintyre & Co., ne produsse diverse centinaia, e i primi furono inoculati a Natale del 1940. Un piccolo gruppo di ragazze, soprannominate "penicillin girls", seminava le spore, prelevava il brodo quando la muffa in crescita vi aveva rilasciato la penicillina e teneva in funzione i recipienti giorno e notte.

Norman Heatley progettò recipienti in ceramica come questi per coltivare la muffa in quantità a Oxford.

Estrazione. Il brodo conteneva appena una traccia di penicillina, e il farmaco si degradava nel giro di qualche ora al caldo o in ambiente acido. Heatley sfruttò il fatto che la penicillina è un acido. Acidificata e tenuta al freddo, passa dal brodo in un solvente che non si mescola con l'acqua, prima

l'etere e poi l'acetato di amile, meno infiammabile. Agitata con acqua resa leggermente alcalina, torna nell'acqua sotto forma di sale, in un volume molto più piccolo e libera da buona parte delle impurità. Heatley costruì con tubi di vetro, bottiglie e pompe un apparecchio che eseguiva queste operazioni in continuo. La soluzione concentrata veniva poi liofilizzata e diventava una polvere bruna che si conservava per mesi, anche se i primi lotti erano fatti soprattutto di impurità.

Il saggio a cilindri di Heatley: più il campione in un cilindro è potente, più è largo l'alone chiaro che lo circonda.

Misura. Finché non se ne conobbe la struttura, la penicillina si poteva misurare solo dal suo effetto sui batteri. Nel saggio a cilindri di Heatley si posano piccoli cilindri aperti su una piastra di agar seminata con stafilococchi e si riempie ciascuno con un campione. La penicillina si diffonde nell'agar, e dopo l'incubazione la larghezza dell'alone chiaro attorno a ogni cilindro, confrontata con quella di uno standard, ne indica la potenza. Il gruppo di Oxford definì così una propria unità e mandò campioni ad altri laboratori. Nel 1944 e nel 1945 scienziati britannici e americani concordarono un'unità internazionale, pari a 0,6 microgrammi di benzilpenicillina sodica pura e vicina all'unità di Oxford, e prepararono campioni di riferimento.

Grandi vasche negli Stati Uniti. Al Northern Regional Research Laboratory di Peoria, Andrew Moyer, che lavorava con Heatley, entro la fine del 1941 aumentò le rese di circa dieci volte aggiungendo al brodo il liquido di macerazione del mais, un sottoprodotto della fabbricazione dell'amido. Il laboratorio esaminò muffe arrivate da tutto il mondo, e la migliore si rivelò un ceppo di *Penicillium chrysogenum* (oggi classificato come *P. rubens*) preso da un melone cantalupo ammuffito comprato a Peoria. I ceppi selezionati a partire da quello, tra cui mutanti ottenuti con i raggi X e la luce ultravioletta, resero ancora di più. Il passo più importante fu coltivare la muffa in tutto il liquido anziché in superficie, dentro vasche chiuse d'acciaio rimescolate e alimentate con aria sterile. Pfizer usava già questo metodo per produrre acido gluconico, e il 1° marzo 1944 (secondo una fonte nel 1943) aprì a Brooklyn, in un'ex fabbrica di ghiaccio, il primo grande impianto per la penicillina, con quattordici vasche da 7.500 galloni americani (circa 28.000 litri) ciascuna. Un solo microbo estraneo poteva rovinare un'intera vasca, quindi il brodo e le vasche venivano sterilizzati prima di introdurre la muffa, e l'aria e le tubazioni tenevano lontani altri organismi durante la crescita.

La fermentazione in grandi vasche trasformò la penicillina in un prodotto industriale negli Stati Uniti.

Penicilline semisintetiche. La fermentazione fornisce soprattutto benzilpenicillina, o penicillina G, in particolare se al brodo si aggiunge acido fenilacetico, che la muffa incorpora nella molecola. Nel 1957 i chimici dei Beecham Research Laboratories, nel Surrey, isolarono il nucleo nudo della molecola, l'acido 6-amminopenicillanico, e pubblicarono il lavoro nel 1959. Legando a questo nucleo nuove catene laterali, i chimici ottennero penicilline che sopportano l'acido dello stomaco, resistono alla penicillinasi batterica o agiscono su più tipi di batteri, come la cloxacillina e l'amoxicillina. Oggi il nucleo si ricava di solito dalla penicillina di fermentazione con un enzima, e prima di mettere in commercio un lotto le fabbriche ne controllano identità, purezza e potenza, e per le forme iniettabili anche la sterilità.

> **Sicurezza.** Questa sezione descrive come laboratori e fabbriche producevano il farmaco. La penicillina non si può preparare in casa senza pericolo: la muffa del pane o della frutta ne contiene poca o niente e può appartenere a specie che producono tossine, e un preparato impuro può causare infezioni gravi o shock. La penicillina può anche provocare gravi reazioni allergiche e si usa solo su prescrizione medica.

Storia ed evoluzione

Da secoli si era notato che alcune muffe sembravano aiutare la guarigione delle ferite, e negli anni Novanta dell'Ottocento diversi ricercatori riferirono che le muffe potevano frenare i batteri. Nessuna di queste scoperte portò a una cura.

Alexander Fleming, batteriologo al St Mary's Hospital di Londra, andò in vacanza nell'estate del 1928. Al ritorno, all'inizio di settembre, trovò una piastra di stafilococchi contaminata da una muffa e notò che le colonie vicine erano sbiadite. Coltivò la muffa, dimostrò che il suo brodo uccideva molti tipi di batteri, chiamò penicillina la sostanza attiva e pubblicò i risultati nel 1929. Ma la penicillina era instabile e difficile da estrarre, e Fleming non riuscì a ottenerne abbastanza in forma pura per curare i malati.

Dieci anni dopo, a Oxford, Howard Florey ed Ernst Chain ripresero il problema. Norman Heatley mise a punto l'estrazione e la concentrazione della penicillina, e il gruppo coltivò la muffa in centinaia di recipienti. Il 25 maggio 1940 infettarono otto topi con streptococchi e ne trattarono quattro. La mattina dopo i quattro topi non trattati erano morti e quelli trattati erano ancora vivi. Nel febbraio 1941 un agente di polizia, Albert Alexander, fu uno dei primi pazienti. All'inizio migliorò, ma la scorta finì e morì.

La Gran Bretagna in guerra non poteva produrre penicillina su larga scala, così nel 1941 Florey e Heatley andarono negli Stati Uniti, dove un laboratorio pubblico di Peoria, nell'Illinois, e diverse aziende farmaceutiche ripresero il lavoro. Nel marzo 1942 la scorta americana bastava a curare un solo paziente. Nel 1944 le fabbriche ne producevano abbastanza per gli eserciti alleati, e dal 15 marzo 1945 la penicillina arrivò nelle farmacie americane attraverso i normali canali commerciali.

Fleming, Florey e Chain condivisero il premio Nobel per la fisiologia o la medicina nel 1945. Nello stesso anno Dorothy Hodgkin determinò la struttura della penicillina con la cristallografia a raggi X. Nel frattempo la ricerca di altri antibiotici aveva portato alla streptomicina, scoperta nel 1943; seguirono le tetracicline e molti altri, e in seguito i chimici crearono nuove penicilline modificando la molecola.

Dati chiave

Osservazione di Fleming
Settembre 1928, St Mary's Hospital, Londra

Esperimento sui topi a Oxford
25 maggio 1940

Primo grande impianto a vasche profonde
Pfizer, Brooklyn, 1° marzo 1944, quattordici vasche da 7.500 galloni statunitensi (circa 28.000 litri)

Prima pubblicazione
Giugno 1929, British Journal of Experimental Pathology

Premio Nobel per la fisiologia o la medicina
1945, Fleming, Florey e Chain

Fonti

1. Alexander Fleming · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/alexander-fleming/
2. Howard Walter Florey · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp38732/howard-walter-florey
3. The real story behind the world's first antibiotic · PBS NewsHour https://www.pbs.org/newshour/health/the-real-story-behind-the-worlds-first-antibiotic
4. History of penicillin · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_penicillin
5. “It looks like a miracle”: penicillin production in Oxford · History of Science Museum, University of Oxford https://www.mhs.ox.ac.uk/backfromthedead/exhibition/production/
6. Pfizer's penicillin pioneers: Jasper Kane and John McKeen · The Chemical Engineer (IChemE) https://www.thechemicalengineer.com/features/cewctw-pfizers-penicillin-pioneers-jasper-kane-and-john-mckeen/
7. How a moldy cantaloupe took Fleming's penicillin from discovery to mass production · The Scientist https://the-scientist.com/how-a-moldy-cantaloupe-took-fleming-s-penicillin-from-discovery-to-mass-production-72304
8. Standardizing the 'magic bullet' · Inventing Europe https://www.inventingeurope.eu/story/standardizing-the-magic-bullet
9. The Discovery of Penicillin · Sir William Dunn School of Pathology, University of Oxford https://www.path.ox.ac.uk/centenary/the-discovery-of-penicillin/
10. Biochromatograms showing the first ever acylation of 6-APA · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8997116/biochromatograms-showing-the-first-ever-acylation-of-6-apa
11. Penicillin culture vessel, 1940–41 (National Museum of American History, M-06669) · Cooper Hewitt, Smithsonian Design Museum https://collection.cooperhewitt.org/objects/35457197/
12. Further observations on penicillin (The Lancet, 16 August 1941) · University of Oxford, NDORMS https://www.ndorms.ox.ac.uk/files/news/19410816_florey_furtherobservationsonpenicillin_lancet.pdf
13. Alexander Fleming, On the antibacterial action of cultures of a penicillium (1929), reprinted 2001 · Bulletin of the World Health Organization https://scielosp.org/article/bwho/2001.v79n8/780-790
14. Making penicillin in milk bottles: a tale of wartime antibiotic manufacture · The Pharmaceutical Journal https://pharmaceutical-journal.com/article/opinion/making-penicillin-in-milk-bottles-a-tale-of-wartime-antibiotic-manufacture

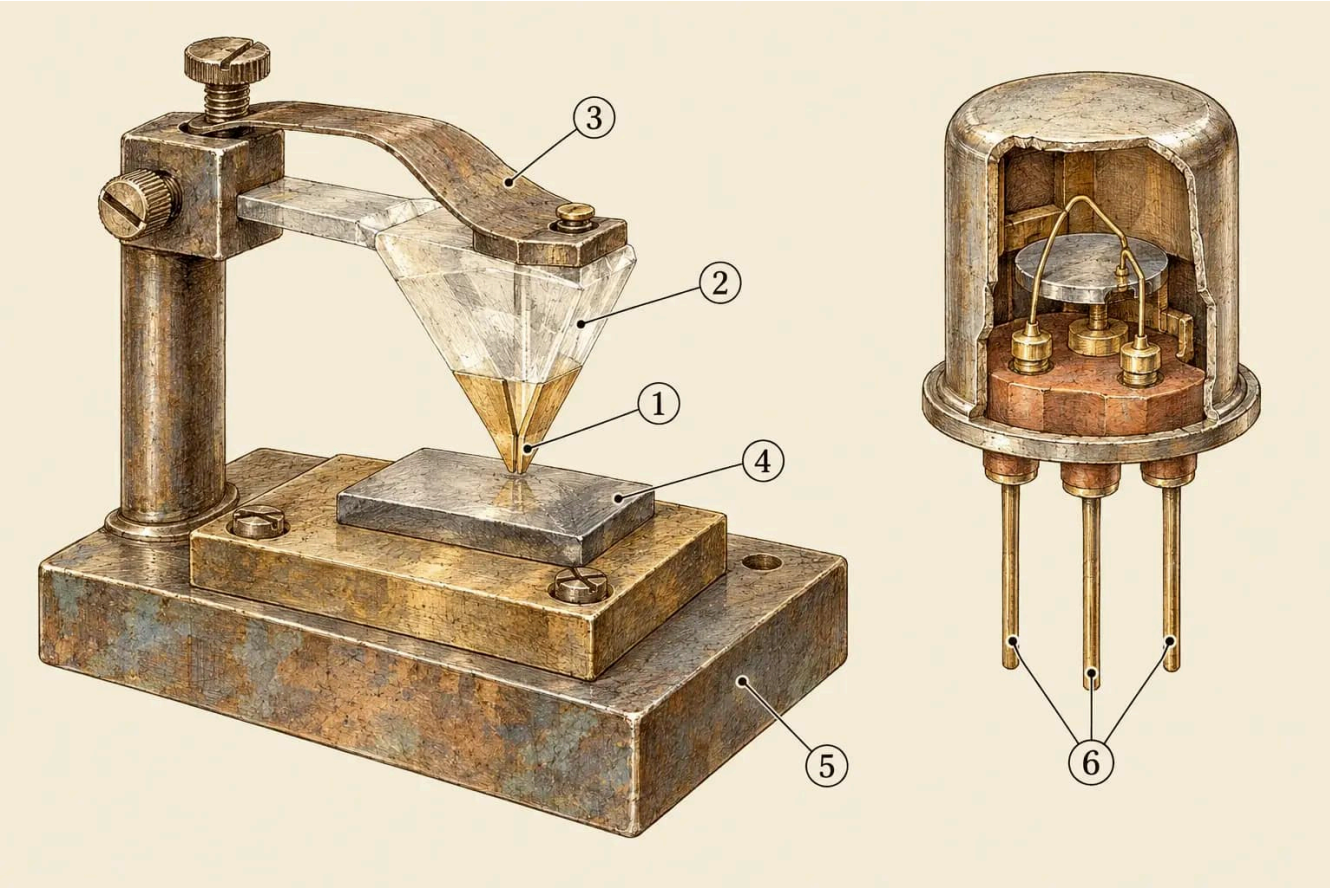
Fatti verificati il 2026-10-12

Transistor

Un interruttore senza parti mobili

1947 · Età moderna · Era elettrica

Richiede: Radio (p. 342)
Porta a: Computer (p. 363), Cella solare (p. 367)



1 Contatti in lamina d'oro 2 Cuneo di plastica 3 Molla 4 Piastrina di germanio 5 Base metallica
6 Terminali di un transistor a giunzione

Un transistor è un piccolo pezzo di semiconduttore in cui una corrente o una tensione debole comanda una corrente molto più forte, così da amplificare un segnale o fare da interruttore. John Bardeen e Walter Brattain costruirono il primo ai Bell Labs nel dicembre 1947, e oggi un chip ne contiene miliardi.

Che cos'è

Un transistor è una valvola per la corrente elettrica senza parti mobili. Una piccola corrente o tensione applicata a un terminale comanda una corrente molto più grande tra gli altri due. Polarizzato con una corrente o una tensione continua adatta, riproduce un segnale debole con un'ampiezza maggiore: è l'amplificazione, il compito che svolge in una radio o in un apparecchio acustico. Commutato tra piena conduzione e interdizione, funziona da interruttore, e un computer è fatto di miliardi di questi interruttori.

A sinistra la tavola mostra il primo transistor, il dispositivo a punte costruito da Bardeen e Brattain nel 1947: una piastrina di germanio su una base metallica, contro cui una molla preme un cuneo di plastica. Una striscia di

lamina d'oro passa sulla punta del cuneo ed è tagliata con un rasoio, così che due contatti d'oro tocchino il germanio a una frazione di millimetro l'uno dall'altro. A destra, un transistor a giunzione degli anni Cinquanta nel suo piccolo involucro metallico, con tre terminali a filo.

Come funziona

I transistor sono fatti di semiconduttori come il germanio o il silicio. Un cristallo puro di questi elementi conduce poco. Una traccia minima di un altro elemento, aggiunta con il drogaggio, ne aumenta molto la conducibilità. Fosforo o arsenico forniscono al cristallo elettroni in più: si ottiene materiale di tipo n. Boro o gallio lasciano lacune che si comportano come cariche positive: è il tipo p.

Dove un materiale p incontra un materiale n si forma una giunzione che lascia passare facilmente la corrente in un solo verso. Un transistor a giunzione sovrappone tre strati, n-p-n o p-n-p, chiamati emettitore, base e collettore. La base è sottilissima. In un transistor n-p-n una piccola corrente che entra nella base lascia passare dal collettore all'emettitore una corrente molto più grande, spesso cento volte o più. In un transistor p-n-p tutti i versi sono invertiti.

Prima del 1950 la valvola termoionica svolgeva lo stesso compito, ma richiedeva un filamento caldo, un bulbo di vetro e molta più energia.

La maggior parte dei transistor prodotti oggi sono transistor a effetto di campo (MOSFET). Qui una tensione su un gate, isolato dal silicio da un sottile strato di ossido, apre o chiude uno stretto canale conduttore subito sotto. Finché il gate mantiene il suo stato, non vi entra quasi corrente. Nei circuiti CMOS dei chip un transistor consuma soprattutto quando commuta, ed è uno dei motivi per cui miliardi di transistor possono stare su un solo chip.

Come costruirlo

I transistor moderni escono da fabbriche che richiedono silicio ultrapuro, camere bianche e macchine da miliardi. Quanto segue è un quadro storico di come furono fatti i primi, nell'ordine che seguirebbe un'officina di ricostruzione: prima un rivelatore a punta, poi un transistor a punte e solo dopo le giunzioni. Non è una ricetta; chi vuole vedere un transistor all'opera dovrebbe usarne uno di produzione industriale in un circuito a bassa tensione.

Procurarsi un cristallo adatto. I dispositivi a punte richiedono un pezzo di germanio di tipo n abbastanza puro. Negli anni Quaranta proveniva dalle ricerche di guerra sui rivelatori radar. La galena (solfuro di piombo), il cristallo a «baffo di gatto» delle prime radio, dà solo un rozzo diodo rivelatore.

Preparare la superficie. La si spiana e poi la si attacca chimicamente per pulirla, perché il comportamento dei contatti dipende da essa. Questo passaggio usa acidi forti e va eseguito in un laboratorio ben attrezzato.

Realizzare i contatti. Due punte metalliche sottili, o una lamina d'oro tagliata su un cuneo di plastica come nel 1947, devono toccare il cristallo molto vicine tra loro. Una molla le tiene sotto una pressione leggera e costante. La faccia inferiore del cristallo è saldata a un blocco metallico che fa da terzo terminale.

Formare e collaudare. I primi costruttori «formavano» il contatto di collettore facendovi passare brevi impulsi di corrente, il che migliorava il guadagno, poi misuravano ogni transistor. Molti non funzionavano, e si tenevano solo quelli che superavano le prove.

Passare alle giunzioni. I transistor a giunzione cresciuta richiedono cristalli tirati da un bagno fuso con drogaggio controllato, quindi un forno con regolazione fine della temperatura e atmosfera inerte. I transistor a giunzione per lega, prodotti dai primi anni Cinquanta, si facevano diversamente: si fondevano piccole sfere di indio sulle due facce di una sottile piastrina di germanio. In entrambi i casi si tratta di processi industriali.

> **Sicurezza.** Gli acidi di attacco bruciano pelle e occhi; l'acido fluoridrico, usato per attaccare il silicio, può avvelenare l'organismo attraverso la pelle, con sintomi ritardati, anche dopo un piccolo schizzo, e va lasciato agli specialisti. Non respirate la polvere di germanio o di silicio. Il saldatore provoca ustioni, e le vecchie leghe per saldatura contengono piombo. Provate i circuiti a bassa tensione; la tensione di rete può uccidere.

Storia ed evoluzione

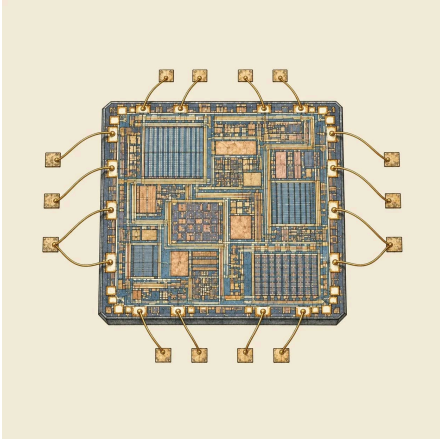
La Regency TR-1 del 1954 aveva bisogno di soli quattro transistor.

Dagli anni Venti gli ingegneri cercavano un sostituto solido della valvola termoionica. Julius Lilienfeld depositò nel 1925 un brevetto per un dispositivo a effetto di campo, ma non è documentato alcun prototipo funzionante. Dopo la Seconda guerra mondiale i Bell Labs crearono un gruppo di fisica dello stato solido guidato da William Shockley, con il compito di trovare un amplificatore per la rete telefonica. Il progetto a effetto di campo di Shockley non funzionò. John Bardeen attribuì il fallimento a elettroni intrappolati sulla superficie del cristallo, e lui e Walter Brattain provarono allora a far passare la corrente attraverso contatti a punta.

Il 16 dicembre 1947 il loro dispositivo amplificò un segnale. Una settimana dopo lo mostrarono ai dirigenti dei Bell Labs. L'azienda annunciò l'invenzione a New York il 30 giugno 1948, e l'ingegnere John Pierce coniò il nome «transistor». Lo stesso anno, a Parigi, Herbert Mataré e Heinrich Welker costruirono in modo indipendente un dispositivo simile, che chiamarono «transistron».

I transistor a punte erano fragili. Nel gennaio 1948 Shockley ideò il transistor a giunzione, che i Bell Labs riuscirono a produrre dal 1951. La radio tascabile Regency TR-1, del 1954, usava quattro transistor al germanio di Texas Instruments e vendette più di 100.000 esemplari. In seguito il silicio, che sopporta meglio il calore, prese il posto del germanio.

Nel 1958 Jack Kilby, alla Texas Instruments, realizzò il primo circuito integrato su una piccola barretta di germanio. Mohamed Atalla e Dawon Kahng presentarono il transistor MOS ai Bell Labs nel 1960. Bardeen, Brattain e Shockley condivisero il premio Nobel per la fisica del 1956. Da allora i transistor hanno continuato a rimpicciolirsi, e il transistor MOS è oggi l'oggetto fabbricato nel maggior numero di esemplari.



Un circuito integrato riunisce molti transistor e i loro collegamenti su un unico pezzo di silicio.

Dati chiave

Primo dispositivo funzionante
16 dicembre 1947, Bell Labs, New Jersey

Deposito del brevetto di Bardeen e Brattain
17 giugno 1948 (US 2,524,035)

Annuncio pubblico
30 giugno 1948, New York

Premio Nobel per la fisica
1956, Bardeen, Brattain e Shockley

Transistor prodotti finora
Circa 13×10^{21}, per il 99,9% MOS (stima dell'analista Jim Handy)

Fonti

1. 1947: Invention of the point-contact transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/invention-of-the-point-contact-transistor/
2. 1948: Conception of the junction transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/conception-of-the-junction-transistor/
3. Milestones: First semiconductor integrated circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
4. 13 sextillion and counting: the long and winding road to the most frequently manufactured human artifact in history · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/13-sextillion-counting-the-long-winding-road-to-the-most-frequently-manufactured-human-artifact-in-history/
5. Regency TR-1 · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Regency_TR-1
6. Transistor · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor
7. The Transistor, A Semi-Conductor Triode (Bardeen and Brattain, Physical Review 74, 230) · American Physical Society https://doi.org/10.1103/PhysRev.74.230
8. Some Circuit Aspects of the Transistor (Ryder and Kircher, Bell System Technical Journal 28, 367) · Bell Telephone Laboratories https://archive.org/details/bstj28-3-367
9. The Surface State Job · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/the-surface-state-job/

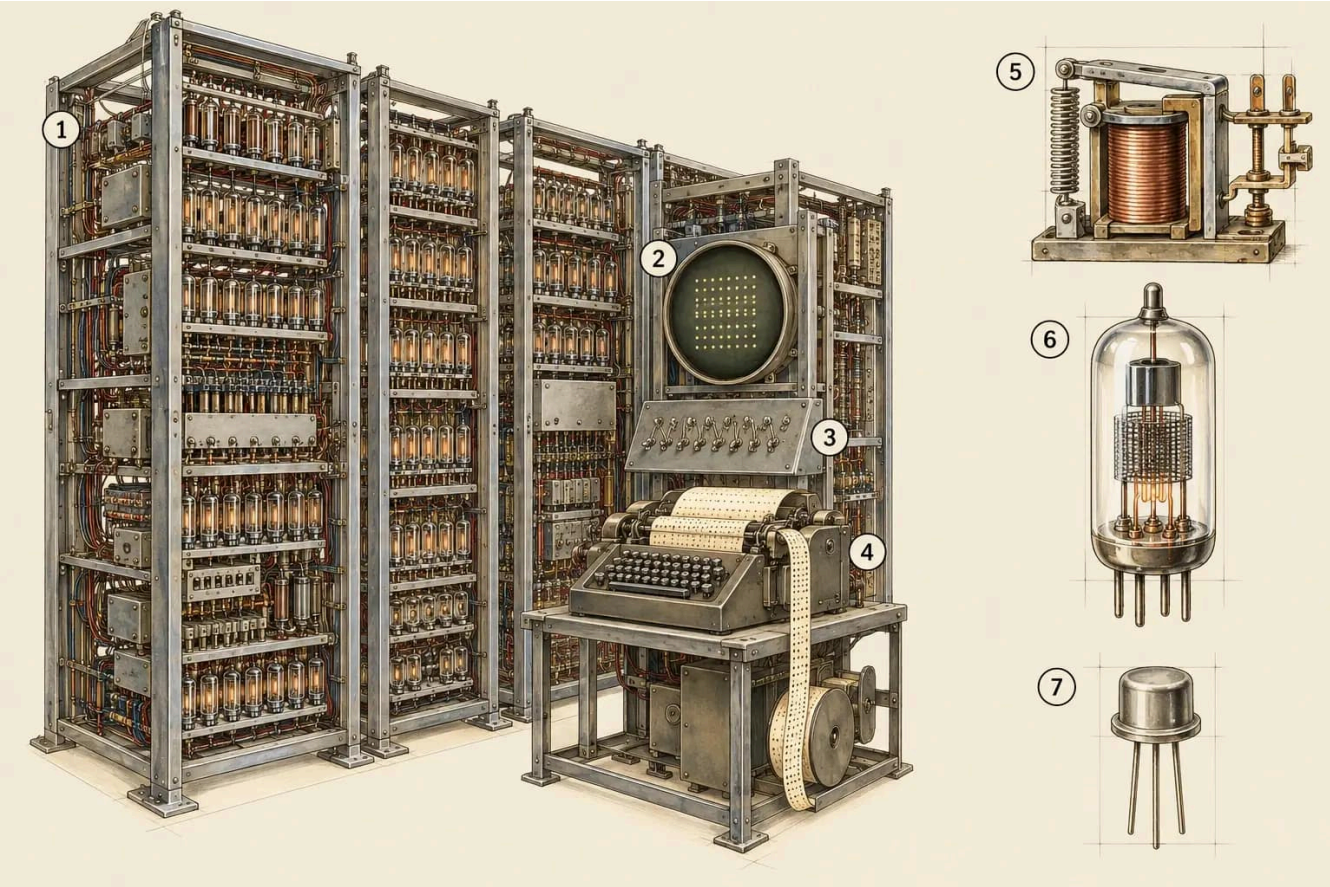
Fatti verificati il 2026-10-11

Computer

Una macchina con il programma in memoria

1948 · Età moderna · Era elettrica

Richiede: Transistor (p. 359), Numerazione posizionale (p. 98)



1 Telai di valvole termoioniche 2 Tubo di memoria a raggi catodici: un punto per bit 3 Pannello di interruttori per inserire i dati
4 Telescrivente e nastro perforato 5 Relè: un interruttore mosso da un elettromagnete
6 Valvola termoionica: la griglia comanda la corrente 7 Transistor: l'interruttore a semiconduttore

Un computer è una macchina da calcolo programmabile; quella di oggi conserva il programma nella propria memoria e calcola in binario, con interruttori che possono essere solo accesi o spenti. Il primo a eseguire un programma da una memoria elettronica fu il «Baby» di Manchester, il 21 giugno 1948, e telefoni e portatili seguono ancora il suo schema.

Che cos'è

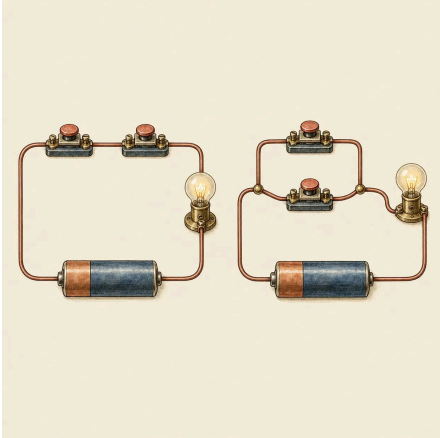
Un computer esegue un programma, cioè un elenco di istruzioni, su dei dati. Nello schema a programma memorizzato descritto qui, il programma sta nella stessa memoria dei numeri su cui lavora, quindi la macchina può caricarne uno nuovo, modificarlo o scriverne un altro senza essere ricostruita. Questa idea distingue il computer a programma memorizzato dalle macchine programmabili precedenti, che prendevano le istruzioni da nastri, schede, spine o interruttori.

I computer di oggi lavorano in binario, con le sole cifre 0 e 1, perché due stati sono facili da rendere affidabili: un interruttore è aperto o chiuso. L'ENIAC e alcune altre macchine dei primi anni contavano ancora in decimale. Per una società che ricostruisce i propri strumenti, fa calcoli, governa macchine come pompe e reti elettriche e trasmette messaggi.

Come funziona

I numeri binari. Il binario è un sistema posizionale come le nostre cifre decimali, ma ogni posizione vale il doppio di quella alla sua destra: 1, 2, 4, 8, 16. Tredici è 8 + 4 + 1 e si scrive 1101. Otto cifre binarie, o bit, coprono tutti gli interi da 0 a 255.

Le porte logiche. Due interruttori in serie accendono una lampada solo se sono chiusi tutti e due: è una porta AND. In parallelo ne basta uno qualsiasi: una porta OR. Un relè il cui contatto si apre quando la bobina riceve corrente forma una porta NOT, che trasforma 1 in 0. Il relè è mosso da un elettromagnete, la valvola termoionica dalla tensione sulla griglia, il transistor dal segnale sulla base o sul gate. Con AND, OR e NOT si può esprimere qualunque regola che leghi bit d'ingresso a bit d'uscita.



In serie la lampadina si accende solo se si premono entrambi i pulsanti; in parallelo ne basta uno.

Sommare con le porte. In binario 1 + 1 fa 10: somma 0, riporto 1. Il bit di somma vale 1 quando esattamente uno degli ingressi vale 1, una regola detta OR esclusivo (XOR); il riporto vale 1 solo se valgono 1 entrambi, cioè un AND. Insieme formano un semisommatore. Un sommatore completo riceve anche il riporto dalla colonna di destra, e otto in catena sommano due numeri da 8 bit, colonna per colonna, come uno scolaro sul quaderno.

La memoria. Due porte NOR (un OR seguito da un NOT), in cui ogni uscita alimenta un ingresso dell'altra, formano un latch: un impulso su uno degli ingressi liberi lo porta a 1, un impulso sull'altro lo riporta a 0, e conserva quel bit finché c'è corrente. Manchester teneva i bit come punti carichi su un tubo a raggi catodici, l'EDSAC come impulsi sonori in tubi di mercurio. Ogni parola, un gruppo di bit, ha un numero, il suo indirizzo.

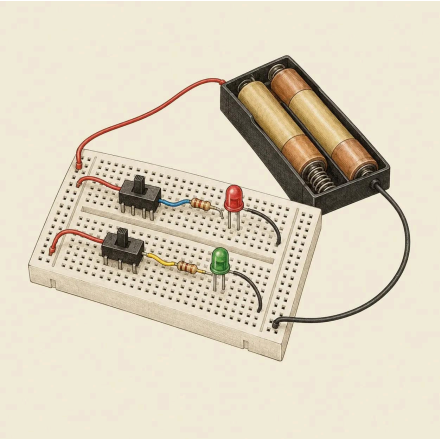
Il ciclo. Un registro, il contatore di programma, contiene l'indirizzo della prossima istruzione. Il processore la preleva, la decodifica, la esegue e ricomincia. Un'istruzione può sommare un numero della memoria all'accumulatore, salvare un risultato o saltare altrove se un valore è negativo; questo salto condizionato permette al programma di ripetere e di scegliere. Tastiere e sensori fanno entrare i dati; schermi, stampanti e motori fanno uscire i risultati.

Come costruirlo

Un processore moderno richiede una fabbrica di chip, ma la sua logica si impara su un tavolo.

Procurarsi il materiale. Una breadboard senza saldature, due o tre pile AA in un portabatterie (da 3 a 4,5 V) o un alimentatore USB da 5 V, due deviatori bipolari, due LED, due resistori da 330 a 470 ohm e del filo. Ogni LED va montato con il piedino lungo (anodo) verso il deviatore e quello corto (catodo) a 0 V. Scrivete prima la tabella di verità: per gli ingressi A B = 00, 01, 10, 11 la somma è 0, 1, 1, 0 e il riporto 0, 0, 0, 1.

Cablare il riporto. Portate l'alimentazione al comune del primo polo di A, il suo contatto «acceso» al comune del primo polo di B e quel contatto «acceso» a un LED attraverso un resistore; l'altro piedino del LED torna a 0 V. Si accende solo per 11: è l'AND.



Provate prima ogni interruttore con il suo LED; un LED ha sempre bisogno di un resistore in serie.

Cablare la somma. Sui secondi poli collegate il contatto «acceso» di A al contatto «spento» di B, e lo «spento» di A all'«acceso» di B. Alimentate il comune di A e portate il comune di B al secondo LED attraverso un resistore, con il catodo a 0 V. Si accende quando i deviatori sono in posizioni diverse: è lo XOR. Verificate i quattro casi sulla tabella.

Concatenare un sommatore più grande. Un sommatore completo è fatto di due semisommatori e di una porta OR che ne unisce i riporti. Da qui in poi conviene usare circuiti logici integrati: un sommatore a 4 bit richiede due 74HC86 (XOR), due 74HC08 (AND) e un 74HC32 (OR). Alimentateli come indica il datasheet (piedino 14 al positivo, piedino 7 a 0 V, un condensatore da 100 nF tra i due). Ogni riporto in uscita entra nella colonna successiva e il primo riporto in ingresso va a 0 V; ogni ingresso dei deviatori riceve un resistore da 10 kiloohm verso 0 V e ogni LED d'uscita uno da 1 kiloohm.

Far girare un computer su carta. Disegnate otto caselle di memoria numerate, un accumulatore e un contatore di programma a 0. Scrivete CARICA 5 nella casella 0, SOMMA 6 nella 1, SALVA 7 nella 2, STOP nella 3, poi 3 nella casella 5 e 4 nella 6. Fate voi il processore: leggete la casella indicata dal contatore, eseguitela, aggiungete uno al contatore. Alla fine la casella 7 contiene 7. Codificate poi ogni istruzione con due cifre, prima l'operazione e poi l'indirizzo, con CARICA 1, SOMMA 2, SALVA 3 e STOP 0: il programma diventa 15, 26, 37, 00, numeri tra i dati.

> **Sicurezza.** Solo pile o un alimentatore USB da 5 V, mai la corrente di rete. Ogni LED ha bisogno del suo resistore. Una pila o un power bank in cortocircuito può scaldare i fili fino a ustionare. Staccate l'alimentazione prima di modificare i collegamenti. L'uscita di un chip non può alimentare la bobina di un relè: comandatela con un transistor adatto alla sua corrente e mettete un diodo in parallelo alla bobina, con l'estremità segnata da una fascia (il catodo) verso il positivo, per assorbire il picco di tensione allo spegnimento.

Storia ed evoluzione

La macchina analitica di Charles Babbage, ideata nel 1834, aveva un magazzino, un mulino per il calcolo e un programma su schede perforate; non fu mai costruita. Ada Lovelace pubblicò nel 1843 una sequenza di operazioni per essa. Le tabulatrici elettriche a schede di Herman Hollerith elaborarono il censimento statunitense del 1890.

Schizzo semplificato della parte della sua prima macchina differenziale, un settimo, che Babbage fece montare nel 1832; funziona ancora.

Nel 1936 Alan Turing descrisse una macchina universale che legge le istruzioni dallo stesso nastro dei dati. Konrad Zuse presentò a Berlino il suo Z3 a relè il 12 maggio 1941. Da febbraio 1944 il Colossus elettronico di Tommy Flowers aiutò a forzare la cifratura tedesca Lorenz a Bletchley Park; rimase segreto fino agli anni Settanta. L'ENIAC di J. Presper Eckert e John Mauchly, a Filadelfia, presentato nel 1946, era di uso generale ma si programmava spostando cavi. Ognuno può dirsi il primo, a seconda che si chieda l'elettronica, l'uso generale o il programma memorizzato.

Il rapporto di John von Neumann sull'EDVAC, del 1945, nato dal lavoro con Eckert, Mauchly e altri, descriveva una macchina che tiene programma e dati in un'unica memoria. La prima a funzionare fu il «Baby» di Manchester, di

Frederic Williams, Tom Kilburn e Geoff Tootill, il 21 giugno 1948. L'EDSAC di Maurice Wilkes, a Cambridge, seguì il 6 maggio 1949 e presto servì i suoi utenti.

Manchester fece funzionare un computer a transistor nel novembre 1953. I circuiti integrati, realizzati per la prima volta nel 1958, entrarono nei computer negli anni Sessanta e nel 1971 il 4004 di Intel mise un intero processore su un solo chip.

Dati chiave

Zuse Z3, a relè, programma su pellicola perforata
Presentato a Berlino il 12 maggio 1941

Colossus, elettronico, impostato con spine e interruttori
In servizio a Bletchley Park da febbraio 1944; circa 1600 valvole, da 2400 a 2500 nei modelli successivi

ENIAC
Presentato nel febbraio 1946; circa 18.000 valvole termoioniche, 30 tonnellate corte statunitensi (circa 27 t), 150 kW

Primo programma memorizzato eseguito
21 giugno 1948, Manchester: 17 istruzioni, memoria di 32 parole da 32 bit

Intel 4004, primo microprocessore commerciale
1971, circa 2300 transistor su un solo chip

Fonti

1. Timeline of Computer History: Computers · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/timeline/computers/
2. The Modern History of Computing (B. Jack Copeland) · Stanford Encyclopedia of Philosophy https://plato.stanford.edu/entries/computing-history/
3. Mark 1 Story: The Baby · University of Manchester, Department of Computer Science https://www.curation.cs.manchester.ac.uk/computer50/www.computer50.org/mark1/new.baby.html
4. Milestones: Manchester University "Baby" Computer and its Derivatives, 1948–1951 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Manchester_University_%22Baby%22_Computer_and_its_Derivatives,_1948-1951
5. Colossus · The National Museum of Computing https://www.tnmoc.org/colossus
6. ENIAC · Penn Engineering, University of Pennsylvania https://www.engineering.upenn.edu/about/history-heritage/eniac/
7. A brief informal history of the Computer Laboratory · University of Cambridge Computer Laboratory https://www.cl.cam.ac.uk/events/EDSAC99/history.html
8. The Engines · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/engines/
9. Ada Lovelace · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/adalovelace/
10. Tabulation and Processing · U.S. Census Bureau https://www.census.gov/about/history/bureau-history/census-innovations/technology/tabulation-and-processing.html
11. Milestones: First Semiconductor Integrated Circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
12. 1971: Microprocessor integrates CPU function onto a single chip · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/microprocessor-integrates-cpu-function-onto-a-single-chip/
13. 74HC86; 74HCT86 Quad 2-input EXCLUSIVE-OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT86.pdf
14. 74HC08; 74HCT08 Quad 2-input AND gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT08.pdf
15. 74HC32; 74HCT32 Quad 2-input OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT32.pdf
16. SN74HC86 Quadruple 2-Input Exclusive-OR Gates (data sheet) · Texas Instruments https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc86.pdf
17. Full Adder · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Electronic/fulladd.html
18. Binary Adder and Binary Addition · Electronics Tutorials https://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb_7.html

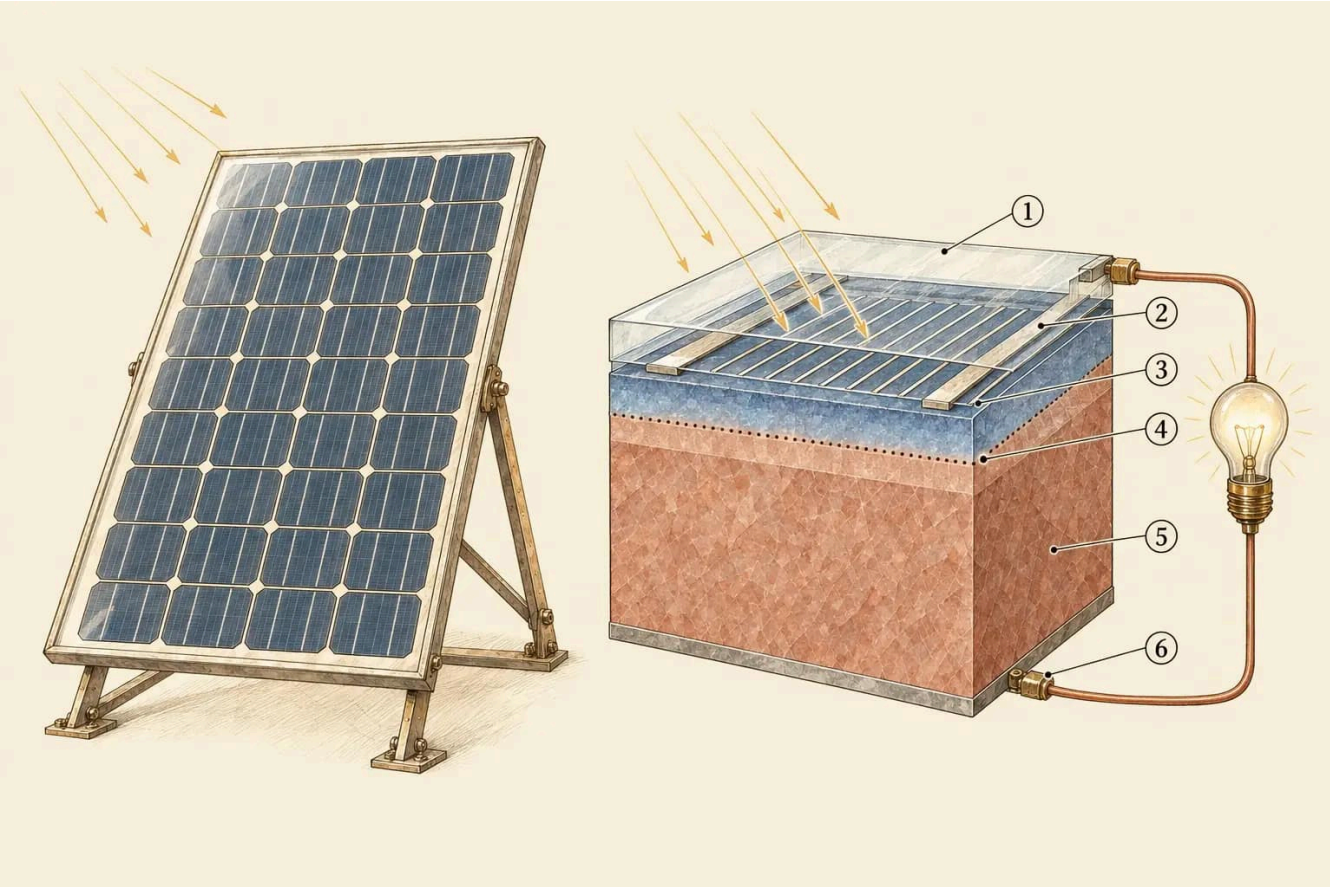
Fatti verificati il 2026-10-14

Cella solare

La luce del sole diventa corrente

1954 · Età moderna · Era elettrica

Richiede: Transistor (p. 359), Pila (p. 240), Vetro (p. 133)



1 Copertura di vetro 2 Griglia di contatto anteriore 3 Strato sottile di tipo n (fosforo) 4 Giunzione p-n 5 Base di tipo p (boro) 6 Contatto posteriore

Una cella solare è una sottile fetta di semiconduttore in cui la luce libera elettroni che un campo elettrico interno spinge verso i contatti sotto forma di corrente, senza parti mobili né combustibile. I Bell Labs presentarono la prima cella al silicio utilizzabile nel 1954, e l'energia solare ha fornito l'8,7% dell'elettricità mondiale nel 2025.

Che cos'è

Una cella solare trasforma la luce direttamente in corrente elettrica, senza parti mobili né combustibile. Quasi tutte sono fette quadrate di silicio poco più larghe di una mano. Ognuna dà circa mezzo volt al sole, perciò se ne collegano decine sotto un vetro per formare un pannello, come quello da 36 celle della tavola.

La data scelta è l'aprile 1954, quando i Bell Labs presentarono una cella al silicio che convertiva circa il 6% della luce solare in elettricità, abbastanza per alimentare apparecchi veri. Becquerel aveva visto la luce produrre corrente già nel 1839, ma le celle al selenio costruite dal 1883 restavano sotto l'1%.

Come funziona

Il silicio puro conduce poco. Il drogaggio con una traccia di fosforo gli dà elettroni in più (tipo n); una traccia di boro lascia delle lacune che si comportano come cariche positive (tipo p). Una cella classica è una fetta drogata con boro la cui faccia anteriore viene impregnata di fosforo per meno di un millesimo di millimetro. Dove le due zone si incontrano, elettroni e lacune si annullano in una fascia stretta. Restano cariche fisse che mantengono un campo elettrico permanente attraverso questa giunzione p-n.

Le celle si tagliano da un monocristallo di silicio fatto crescere dal fuso; oggi una fetta è spessa circa 0,14 mm.

Un fotone con abbastanza energia strappa un elettrone dal suo legame nel cristallo e lascia una lacuna al suo posto. Vicino alla giunzione, il campo spinge l'elettrone verso il lato n e la lacuna verso il lato p. Gli elettroni si raccolgono nelle dita anteriori, percorrono il circuito esterno, dove accendono una lampada o caricano una batteria, e tornano dal contatto posteriore.

A vuoto una cella segna circa 0,6–0,7 V, e circa 0,5 V quando eroga potenza. La tensione cambia poco con la luce, mentre la corrente la segue: metà luce, più o meno metà corrente. In serie le tensioni si sommano; 36 celle lavorano così a circa 17 V, quanto basta per caricare una batteria da 12 V. In parallelo si sommano le correnti. Una sola cella in ombra frena tutta la sua stringa, ed è per questo che i pannelli contengono diodi di bypass.

Il silicio lascia passare senza usarla la luce infrarossa oltre circa 1,1 micrometri, e i fotoni con energia in eccesso disperdono il surplus in calore. Nel 1961 William Shockley e Hans-Joachim Queisser dimostrarono che queste perdite limitano una cella a giunzione singola a circa un terzo della luce solare. Il silicio ha in più perdite proprie del cristallo, che abbassano il suo limite a circa il 29%; la migliore cella di laboratorio raggiungeva il 28,1% nel 2026. Anche il calore riduce la resa: una cella al silicio convenzionale perde circa lo 0,4–0,5% della potenza per ogni grado Celsius, soprattutto per il calo di tensione.

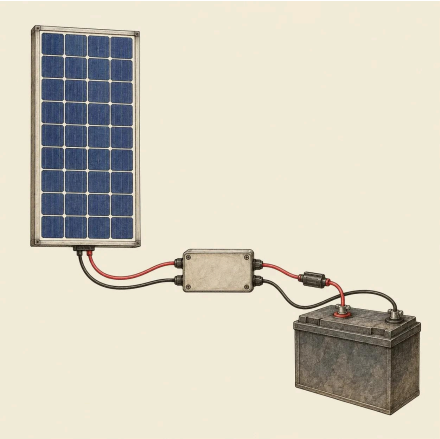
Come farlo

Fabbricare celle è un lavoro da fabbrica. Un piccolo impianto a 12 V con pannelli acquistati, componenti compatibili e le istruzioni di ciascun produttore è invece alla portata di un dilettante attento.

Dimensionare il pannello. Quattro lampade LED da 5 W accese 4 ore e una radio da 10 W per 2 ore consumano 100 wattora (Wh) al giorno. Un pannello rende circa la sua potenza nominale × le ore di sole equivalenti (l'energia solare del giorno contata in ore di pieno sole, nel mese più buio) × 0,7 per calore, polvere e cavi. Un pannello da 100 W con 3 ore di sole equivalenti dà circa 210 Wh: un buon margine.

Scegliere la batteria. Prevedete da uno a tre giorni nuvolosi. Una batteria al piombo dura di più se raramente scende sotto la metà. Una al litio-ferro-fosfato si può usare quasi per intero, ma solo con la sua elettronica di gestione e un regolatore impostato per il litio; quasi tutte non vanno caricate sotto 0 °C. Due giorni da 100 Wh presi da una batteria al piombo da 12 V usata a metà richiedono almeno 33 Ah: scegliete 40 Ah.

Montare un regolatore di carica. Non collegate mai un pannello direttamente a una batteria. Il regolatore dosa la carica perché la batteria non sia mai sovraccaricata, poi la mantiene piena, e gli apparecchi collegati alla sua uscita carichi vengono staccati prima che si scarichi. Un semplice regolatore PWM deve reggere almeno 1,25 volte la corrente di cortocircuito del pannello. Per un modello MPPT, confrontate i suoi limiti di tensione, corrente e potenza con la scheda tecnica del pannello, ricordando che la tensione a vuoto sale con il freddo.



Pannello, regolatore e batteria, con il fusibile sul cavo positivo accanto alla batteria.

Fusibile e cavi. Mettete sul cavo positivo, attaccato alla batteria, un fusibile adatto alla corrente continua. La sua taratura deve essere inferiore alla portata del cavo e superiore alla corrente normale più alta, e deve saper interrompere la corrente altissima che una batteria eroga in cortocircuito. A 10 A, un pannello a 5 m (10 m di rame) perde circa 0,3 V in un cavo da esterni da 6 mm^2; un filo più sottile perde di più.

Installare e pulire. Orientate il pannello verso l'equatore, senza ombre nelle ore centrali, inclinato all'incirca quanto la latitudine per un uso tutto l'anno. Sciacquate la polvere con acqua e una spazzola morbida. Un inverter può trasformare i 12 V in tensione di rete, pericolosa quanto la rete stessa.

Misurare una cella. Al sole, leggete la tensione di una piccola cella sulla posizione volt in continua di un multimetro. Passate poi agli ampere in continua, spostate il cavo rosso nella boccola da 10 A e toccate i morsetti della cella: leggete così la sua corrente di cortocircuito. Controllate prima che la corrente indicata sulla cella sia molto inferiore al limite di 10 A del multimetro, e tenete i puntali solo pochi secondi. All'ombra la tensione si muove appena e la corrente cala. Rimettete poi il cavo rosso nella boccola dei volt e non misurate mai così la corrente di una batteria.

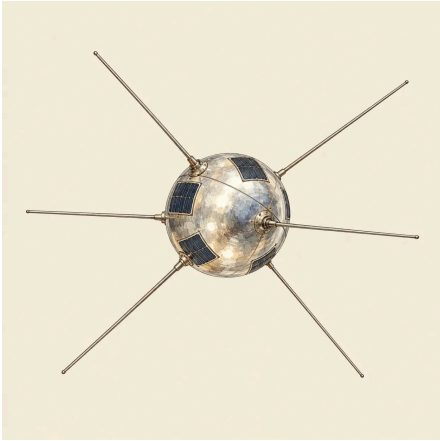
> **Sicurezza.** Un pannello dà tensione appena la luce lo raggiunge: copritelo durante il cablaggio. La corrente continua può mantenere un arco se si stacca un connettore sotto carico; per intervenire sull'impianto, coprite il pannello, scollegate prima il pannello e per ultima la batteria, e ricollegate in ordine inverso. Un cortocircuito sui morsetti di una batteria fonde gli attrezzi e provoca incendi, e il fusibile non ferma una chiave appoggiata su entrambi i morsetti: attrezzi isolati e coprimorsetti. In carica le batterie al piombo liberano idrogeno: aerate, niente scintille, occhiali protettivi. Sul tetto, imbracatura e punto di ancoraggio, oppure rivolgetevi a professionisti. Tutto ciò che è collegato alla rete, inverter compresi, spetta a un elettricista qualificato.

Storia ed evoluzione

Nel 1839 Edmond Becquerel, a 19 anni, illuminò elettrodi rivestiti di cloruro d'argento immersi in un acido e misurò una debole corrente. Nel 1873 l'ingegnere inglese Willoughby Smith, mentre provava cavi telegrafici sottomarini, notò che il selenio conduce meglio alla luce; nel 1883 l'americano Charles Fritts costruì celle di selenio sotto una foglia d'oro così sottile da lasciar passare la luce. Nel 1905 Albert Einstein spiegò che la luce arriva in pacchetti la cui energia dipende dal suo colore.

Nel 1940 Russell Ohl, ai Bell Labs, osservò che un campione di silicio con fosforo da un lato e boro dall'altro dava corrente alla luce: la prima giunzione p-n, con un'efficienza di circa l'1%. Nel 1953 il suo collega Daryl Chapin cercava di alimentare apparecchiature telefoniche isolate e con il selenio otteneva solo lo 0,5%. Il silicio drogato di Calvin Fuller e Gerald Pearson andava molto meglio, e la cella presentata il 25 aprile 1954 fece girare una ruota panoramica giocattolo.

Le prime celle al silicio costavano troppo per l'uso comune, e il loro primo cliente fisso fu lo spazio. Il Vanguard 1, lanciato nel marzo 1958, portava sei piccoli pannelli da 18 celle ciascuno: il trasmettitore a batteria tacque nel giugno 1958, quello solare trasmise fino al maggio 1964. Con la crescita delle fabbriche, il prezzo dei moduli scese da circa 132 dollari al watt nel 1975 a 0,27 dollari nel 2024 (in dollari del 2025). Oggi la maggior parte delle celle parte da fette drogate con fosforo, con il boro sulla faccia anteriore. Nel 2025 i pannelli solari hanno prodotto l'8,7% dell'elettricità mondiale, secondo Ember (aprile 2026).



Vanguard 1, 1958: sei piccoli pannelli di celle solari su una sfera di circa 16 cm di diametro.

Dati chiave

Prima cella utilizzabile

Presentata dai Bell Labs il 25 aprile 1954, efficienza di circa il 6%

Efficienza oggi

28,1% per la migliore cella al silicio di laboratorio; poco meno del 25% per i migliori moduli in commercio (Fraunhofer ISE, luglio 2026)

Quota dell'elettricità mondiale

8,7% nel 2025, contro l'1,1% del 2015 (Ember, aprile 2026)

Tensione di una cella al silicio

Circa 0,6–0,7 V a vuoto, circa 0,5 V sotto carico

Effetto del calore

Circa 0,4–0,5% di potenza in meno per °C in una cella al silicio convenzionale; la scheda tecnica di ogni pannello indica il suo valore

Fonti

1. April 25, 1954: Bell Labs demonstrates the first practical silicon solar cell · American Physical Society, APS News https://aps.org/apsnews/2009/04/bell-labs-silicon-solar-cell
2. Milestones: First practical photovoltaic solar cell · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Practical_Photovoltaic_Solar_Cell
3. 1940: Discovery of the p-n junction · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/discovery-of-the-p-n-junction/
4. First photovoltaic devices · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://pveducation.org/es/fotovoltaica/first-photovoltaic-devices
5. Open-circuit voltage · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage
6. Effect of light intensity · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-light-intensity
7. Effect of temperature · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature
8. Limiting efficiency of crystalline silicon solar cells due to Coulomb-enhanced Auger recombination (Kerr, Cuevas, Campbell, 2003) · Australian National University https://researchportalplus.anu.edu.au/en/publications/limiting-efficiency-of-crystalline-silicon-solar-cells-due-to-cou/
9. Einstein and the photoelectric effect · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2005/01/einstein-photoelectric-effect
10. Vanguard 1 · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/vanguard-1/
11. Vanguard 1 celebrates 50 years in Earth's orbit (Spaceport News, 21 March 2008, p. 7) · NASA Kennedy Space Center https://www3.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/218158main_mar21color.pdf
12. Solar cell array design handbook, vol. 1 (JPL SP 43-38, 1976) · NASA / Jet Propulsion Laboratory https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19770007250/downloads/19770007250.pdf
13. Photovoltaics Report (14 July 2026) · Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE https://ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html
14. Solar PV module prices, 1975–2024 · Our World in Data https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices
15. Global Electricity Review 2026: electricity demand and supply trends · Ember https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2026/electricity-demand-and-supply-trends/
16. Solar electric system design, operation and installation (C. Roos, 2009) · Washington State University Extension Energy Program https://digitalarchives.wa.gov/do/046161B1997D0FFD8FA86C78CAFFAB5C.pdf
17. SmartSolar MPPT 100/30 and 100/50 manual: operation · Victron Energy https://www.victronenergy.com/media/pg/Manual_SmartSolar_MPPT_100-30__100-50/en/operation.html
18. Series resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/series-resistance
19. Shunt resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/shunt-resistance
20. Single diode equivalent circuit models · Sandia National Laboratories, PV Performance Modeling Collaborative https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/single-diode-equivalent-circuit-models/
21. Production of upgraded metallurgical grade (UMG) silicon for a low-cost high-efficiency and reliable PV technology (Míguez Novoa et al., Frontiers in Photonics, 2024) · arXiv https://arxiv.org/abs/2604.04095

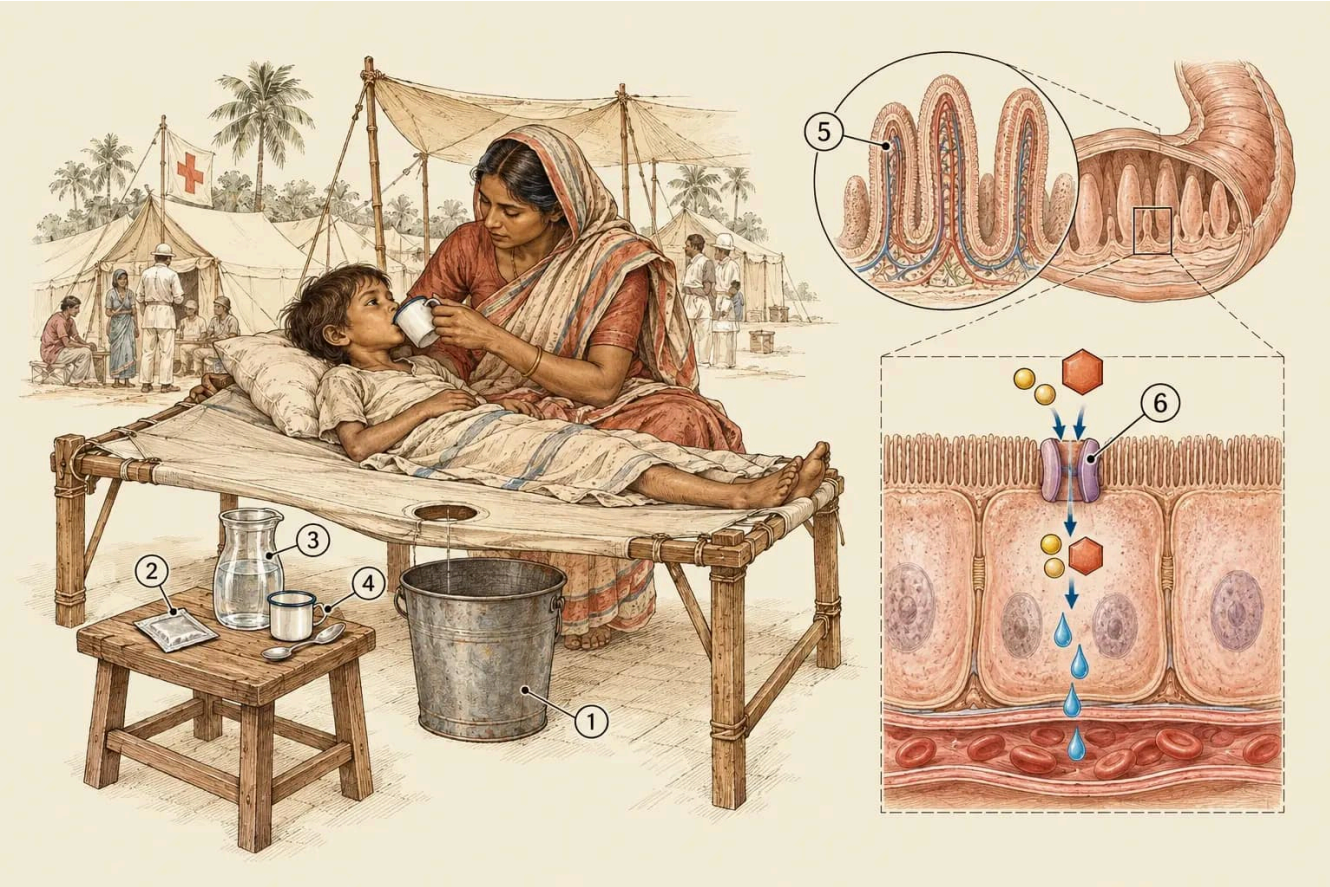
Fatti verificati il 2026-10-14

Reidratazione orale

Sale, zucchero e acqua contro il colera

1968 · Età moderna · Era elettrica

Richiede: Acqua potabile (p. 35), Misure e campioni (p. 128)



1 Branda per il colera con il secchio 2 Bustina di sali per la reidratazione orale 3 Brocca di acqua potabile 4 Tazza e cucchiaio 5 Villi dell'intestino tenue 6 Trasportatore sodio-glucosio in una cellula della parete

La reidratazione orale reintegra l'acqua e i sali persi con la diarrea grazie a una bevanda di acqua pulita, sali e glucosio in proporzioni fisse, che l'intestino continua ad assorbire anche durante il colera. Provata in sperimentazioni a Dacca e a Calcutta nel 1968 e confezionata in bustine standard dagli anni Settanta, le si attribuisce la salvezza di decine di milioni di bambini.

Che cos'è

La diarrea uccide prosciugando il corpo. Nel colera una tossina spinge la parete dell'intestino tenue a riversare acqua e sali nel lume, e un adulto può perdere litri di feci acquose in poche ore. Il volume del sangue cala, i reni cedono e, senza cure, la morte può arrivare in giornata. Nei bambini la maggior parte delle diarree è più lieve, dovuta a virus o ad altri batteri, ma ne uccide ancora centinaia di migliaia ogni anno.

La reidratazione orale reintegra queste perdite per bocca. Il malato beve una soluzione di acqua pulita, sale da cucina, glucosio, potassio e citrato, preparata da una bustina di sali per la reidratazione orale (SRO). Non ferma la diarrea; tiene in vita il malato mentre il corpo supera l'infezione.

La tavola mostra un campo di cura del colera nel Bengala all'inizio degli anni Settanta. Un bambino è disteso su una branda per il colera, il cui foro con il secchio permette alle infermiere di misurare ogni perdita, mentre la madre lo fa bere da una tazza. A destra, una sezione della parete intestinale mostra perché la cura funziona.

Come funziona

L'intestino tenue è rivestito di villi, minuscole pieghe a forma di dito coperte da un solo strato di cellule. Ognuna porta nella membrana esterna una proteina che fa entrare insieme sodio e glucosio: due ioni sodio per ogni molecola di glucosio. Robert Crane propose questo accoppiamento a Praga nel 1960, e nel 1964 esperimenti sull'intestino di coniglio confermarono che lo zucchero trascina l'assorbimento del sodio. Il cloruro segue il sodio, e l'acqua segue i sali e lo zucchero disciolti.

La tossina del colera stimola la secrezione ma lascia funzionare questo trasportatore. Una bevanda con sodio e glucosio viene quindi assorbita anche mentre l'intestino perde liquidi, e in quantità sufficiente tiene il passo con le perdite.

L'acqua da sola non porta sale, quindi non basta a reintegrare le perdite, e in grandi quantità diluisce il sodio rimasto nel sangue. Le bevande dolci, come bibite gassate o succhi di frutta, hanno troppo zucchero e troppo poco sale. Lo zucchero in eccesso resta nell'intestino e vi richiama acqua, peggiorando la diarrea. La formula a osmolarità ridotta, raccomandata dall'OMS all'inizio degli anni Duemila, contiene meno sodio e glucosio della prima. Nei bambini con diarree diverse dal colera ha ridotto il volume delle feci da un quinto a un quarto, a seconda degli studi, e le flebo non programmate di circa un terzo.

Come la si produce e la si usa

Questa sezione descrive come i sistemi sanitari forniscono i SRO e ne insegnano l'uso. Non è una ricetta da preparare in casa.

Bustine industriali. Gli stabilimenti farmaceutici mescolano glucosio purificato, cloruro di sodio, cloruro di potassio e citrato trisodico secondo la formula dell'OMS e sigillano la polvere secca in un foglio impermeabile all'umidità; ogni bustina è dosata per un volume d'acqua indicato. Nel 2024 l'UNICEF da sola ha consegnato 29,2 milioni di bustine a 56 paesi, spesso confezionate con compresse di zinco, per molto meno di un dollaro a trattamento.

Istruire le famiglie. In ambulatorio o durante una visita a domicilio, un operatore sanitario mostra ai genitori come sciogliere una bustina nel volume esatto di acqua potabile stampato sopra, bollita e raffreddata se la fonte è incerta. La soluzione si dà a piccoli sorsi frequenti, con tazza o cucchiaio, più lentamente se il bambino vomita, e quel che avanza dopo un giorno si butta. L'allattamento e i pasti abituali continuano. L'OMS raccomanda inoltre, per i bambini con diarrea, zinco per 10-14 giorni, che accorcia l'episodio e riduce il rischio di una ricaduta ravvicinata.

Un'operatrice sanitaria mostra a una madre come versare l'intera bustina nel volume di acqua potabile stampato sopra.

Riconoscere la disidratazione. Gli operatori cercano irrequietezza, occhi infossati e sete avida, segni di una disidratazione moderata. Un bambino con almeno due dei segni seguenti è gravemente disidratato: letargia o perdita di coscienza, occhi infossati, incapacità di bere o difficoltà a bere, pelle pizzicata che torna giù molto lentamente. Questi

Una plica cutanea che impiega due secondi o più ad appianarsi è uno dei segni di disidratazione grave.

malati, come chiunque sia in shock, ricevono prima liquidi endovena in una struttura sanitaria e poi proseguono con i SRO.

Quando chiedere subito aiuto. Ai genitori si insegna a tornare immediatamente se il bambino diventa sonnolento, non riesce più a bere, vomita di continuo, ha sangue nelle feci, non urina da molte ore o non migliora. I neonati molto piccoli e i bambini malnutriti vanno affidati fin dall'inizio a un operatore sanitario.

> **Sicurezza.** Usare bustine di SRO già pronte, sciolte esattamente nel volume di acqua potabile indicato sulla confezione. Troppa polvere rende la soluzione pericolosa, troppa acqua la rende meno efficace. Se non si ha una bustina, continuare a dare acqua potabile, brodo o latte materno, evitare le bevande molto zuccherate e rivolgersi a un medico. I SRO non sostituiscono le cure: la disidratazione può uccidere un bambino piccolo in poche ore, e chi presenta segni di pericolo va portato senza indugio in una struttura sanitaria.

Storia ed evoluzione

Nel 1832, a Leith vicino a Edimburgo, Thomas Latta seguì un'idea di William O'Shaughnessy e iniettò acqua salata nelle vene di malati in fin di vita. Alcuni si ripresero, ma Latta morì l'anno dopo e il metodo cadde nell'oblio per mezzo secolo.

Negli anni Sessanta la flebo salina, perfezionata dal medico della Marina statunitense Robert Phillips, portò la mortalità del colera sotto l'1%, ma richiedeva liquidi sterili, aghi e personale addestrato. A Dacca, allora nel Pakistan orientale, e in un centro della Johns Hopkins a Calcutta, alcuni ricercatori provarono glucosio e sale per bocca. Nel 1968 Norbert Hirschhorn dimostrò che il glucosio riduceva la perdita netta di feci, e David Nalin e Richard Cash riferirono che i malati trattati con la bevanda avevano bisogno dell'80% di liquidi endovena in meno. La tavola assume il 1968 come data.

Le iniezioni di Latta richiedevano una siringa, una vena e un medico al capezzale.

Durante la guerra del 1971 il colera scoppiò tra i profughi del Pakistan orientale vicino a Bongaon, in India. Con le flebo scarse, l'équipe di Dilip Mahalanabis le riservò ai casi più gravi e curò gli altri per bocca. Dei 3.703 malati ricoverati nel suo centro morì il 3,6%, mentre all'inizio dell'epidemia il colera aveva ucciso quasi il 30% dei colpiti. Il rapporto fu pubblicato solo nel 1973.

L'OMS e l'UNICEF concordarono una formula unica nel 1975, e nel 1978 The Lancet definì la scoperta il progresso medico potenzialmente più importante del secolo. Dal 1980 al 1990 l'organizzazione bengalese BRAC mandò operatrici porta a porta a insegnare a più di 12 milioni di madri una bevanda casalinga di sale e zucchero grezzo. All'inizio degli anni Duemila l'OMS raccomandò una formula a osmolarità ridotta, e nel 2004 una dichiarazione congiunta con l'UNICEF la promosse insieme allo zinco.

Le stime dei bambini salvati vanno da più di 50 milioni tra il 1982 e il 2007 a oltre 70 milioni entro il 2019, anche se acqua potabile, servizi igienici e vaccini hanno contribuito anch'essi.

Dati chiave

Sperimentazione di Nalin e Cash
The Lancet, agosto 1968: l'80% di liquidi endovena in meno

Formula a osmolarità ridotta dell'OMS
245 mOsm/l, contro 311 della soluzione originale

Bambini salvati, 1982–2007
Più di 50 milioni (stima di Fontaine, Garner e Bhan)

Centro di cura di Bongaon, 1971
Morì il 3,6% di 3.703 malati di colera, contro quasi il 30% all'inizio dell'epidemia

Morti per diarrea sotto i cinque anni
Circa 444.000 l'anno (OMS, 2024)

Fonti

1. Diarrhoeal disease (fact sheet, 7 March 2024) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease
2. Cholera (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera
3. Clinical management of acute diarrhoea: WHO/UNICEF joint statement (2004) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO_FCH_CAH_04.7
4. Oral rehydration salts (ORS) and zinc · UNICEF Supply Division https://www.unicef.org/supply/oral-rehydration-salts-ors-and-zinc
5. Zinc and ORS (S. Singh, 2007) · Pediatric Oncall Journal, vol. 4 no. 1 https://www.pediatriconcall.com/pediatric-journal/view/fulltext-articles/165/J/0/0/251/0
6. Robert K. Crane: Na+-glucose cotransporter to cure? (K. L. Hamilton, 2013) · Frontiers in Physiology https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2013.00053/full
7. Oral rehydration therapy: a low-tech solution that has saved millions of lives · Our World in Data https://ourworldindata.org/oral-rehydration-therapy
8. Magic bullet: the history of oral rehydration therapy (J. N. Ruxin, 1994) · Medical History, vol. 38 no. 4 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1036912/
9. Leith in the time of cholera: the story of Thomas Latta (G. A. Venters) · Hektoen International https://hekint.org/2017/02/01/leith-in-the-time-of-cholera-the-story-of-thomas-latta/
10. Treatment of cholera: Robert Allan Phillips (1967 Clinical Medical Research Award) · Lasker Foundation https://laskerfoundation.org/winners/treatment-of-cholera/
11. A simple solution: the history of ORS in Bangladesh · The World (PRX) https://theworld.org/stories/2013/06/25/simple-solution-history-ors-bangladesh
12. Oral fluid therapy of cholera among Bangladesh refugees (Mahalanabis et al., 1973) · Johns Hopkins Medical Journal, vol. 132 no. 4 https://pure.johnshopkins.edu/en/publications/oral-fluid-therapy-of-cholera-among-bangladesh-refugees-5/
13. Treating cholera · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/cholera/treatment/

Fatti verificati il 2026-10-14

Indice analitico

Acciaio 141
Accumulatore al piombo 301
Acqua potabile 35
Acquedotto 146
Aeroplano 350
Alluminio 333
Anestesia 292
Aratro 61
Arco e frecce 18
Arco e volta 73
Bicicletta 252
Birra 78
Bronzo 124
Bussola 194
Calce e malta di calce 31
Calcestruzzo romano 166
Cannocchiale 218
Carbone di legna 65
Carta 170
Cella solare 367
Cemento armato 306
Cemento Portland 256
Ceramica 23
Collare da tiro 178
Computer 363
Concia delle pelli 102
Conserve e pastorizzazione 248
Controllo del fuoco 9
Corda e cordame 13
Distillazione 174
Filatoio 190
Formaggio 57
Fotografia 260
Generatore elettrico 272
Gomma vulcanizzata 288
Gru e carrucola 150
Igiene e antisepsi 297
Ingranaggi 154
Irrigazione 52
Lampadina a incandescenza 319
Locomotiva a vapore 244
Macchina a vapore 227
Macchina da cucire 268
Mattoni 40
Meridiana 106
Microscopio 214
Misure e campioni 128
Mongolfiera 231
Motore a combustione interna 311
Motore elettrico 276
Mulino a vento 186
Navigazione astronomica 210
Numerazione posizionale 98
Occhiali 197
Orologio meccanico 201
Pane 27
Penicillina 354
Pila 240
Polvere nera 182
Pompa a pistone 162
Radio 342
Radiografia 346
Refrigerazione 280
Reidratazione orale 372
Rotazione delle colture 110
Ruota e asse 82
Ruota idraulica 158
Salagione 48
Sapone 94
Scrittura 86
Serratura e chiave 115
Siderurgia del ferro 137
Telefono 315
Telegrafo elettrico 284
Termometro e barometro 222
Tessitura 44
Tintura 69
Torchio da stampa 205
Tornio da vasaio 120
Transistor 359
Trasformatore 328
Turbina a vapore 323
Turbina eolica 337
Turbina idraulica 264
Utensili di pietra 5
Vaccinazione 235
Vela 90
Vetro 133

Come nasce il codice

Ogni tavola è scritta a partire da fonti: musei, enciclopedie, studi accademici e testi tecnici. Date e cifre sono verificate su almeno due fonti indipendenti, citate in fondo a ogni tavola, e ogni tavola viene rivista prima della pubblicazione. Quando le fonti non concordano, il testo lo dice.

Le illustrazioni delle tavole sono prodotte con uno strumento di generazione di immagini e poi controllate a mano: ogni meccanismo, ogni numero di pezzi e ogni collegamento è confrontato con le fonti. Le figure interattive sono disegnate in codice a partire da un modello della macchina.

Le parole tecniche sono spiegate nel glossario.

Proprietà intellettuale

I testi, le tavole e le figure di The Last Codex sono opere originali di Etienne Debost, pubblicate con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it). Potete copiarli e condividerli, anche l'intero sito per leggerlo offline, a patto di citare The Last Codex e il suo indirizzo, di non modificarli e di non farne uso commerciale. Ogni altro uso richiede un'autorizzazione scritta. La grafica e il codice del sito restano esclusi da questa licenza: tutti i diritti riservati.

Icone: game-icons.net (CC BY 3.0) e Phosphor (MIT). Caratteri: EB Garamond, Source Sans 3 e IBM Plex Mono (SIL Open Font License).