Proprietà dei materiali

Realizzare un oggetto tecnico comporta un complesso percorso progettuale e operativo che trasforma la **materia prima** in **prodotto finito**. Quando il manufatto è un *prodotto industriale* il progetto deve definire tutte le caratteristiche del prodotto (forma, dimensioni, materiali) e le modalità di lavorazione (ciclo di lavorazione, tecniche). Sul progetto, quindi, intervengono diversi elementi, quali:

- **elementi funzionali** (funzioni che l'oggetto deve svolgere);
- **elementi tecnologici** (caratteristiche dei materiali e delle lavorazioni);
- **elementi economici** (costi e valutazioni del mercato);
- **elementi normativi** (leggi e norme sulla sicurezza e sulla qualità).

Tutti questi elementi del progetto sono profondamente condizionati, soprattutto dalla scelta del materiale utilizzato per il prodotto; in ambito economico ha forse un peso apparentemente minore (la manodopera ha un'incidenza sempre maggiore), ma il materiale ha un ruolo determinante sugli aspetti funzionali e tecnologici.

I materiali hanno caratteristiche proprie basate sulla loro **composizione**, che determina la loro distinzione secondo diversi tipi.

TIPI DI MATERIALI

Ogni materiale si può descrivere come formato da una sola sostanza (**sostanze pure**) o da un **miscuglio** di due o più sostanze.

Ogni sostanza possiede un complesso di proprietà specifiche.

I miscugli, invece, conservano in generale le proprietà delle sostanze componenti; ma, mentre alcuni (**miscugli omogenei**) presentano una integrazione intima dei componenti, altri (**miscugli eterogenei**) mostrano, anche a colpo d'occhio, le diverse sostanze.

Dai miscugli omogenei si possono ricavare le sostanze componenti con procedimenti di separazione molecolare, quali i passaggi di stato (dallo stato solido a quello liquido o aeriforme); sono miscugli omogenei le soluzioni acquose o idroalcoliche (vino), l'aria e le leghe metalliche.

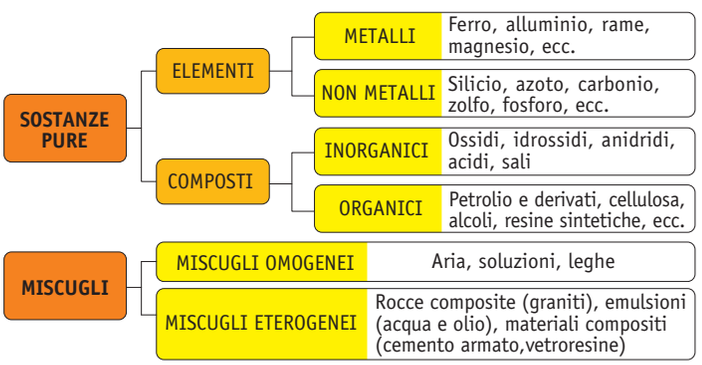
I miscugli eterogenei, invece, possono essere separati con mezzi fisici anche semplici (filtri, utensili, ecc.); sono tali, per esempio, le emulsioni (acqua e olio), le rocce composite (graniti), materiali compositi (cemento armato, vetroresine).

Le sostanze pure sono divisibili in **elementi** e **composti**.

Gli elementi sono sostanze non decomponibili; si trovano libere in natura (azoto, ossigeno, ecc.) o possono essere ricavate dalla decomposizione di altre sostanze naturali. Dalla loro combinazione nascono i composti. In base alla capacità di combinarsi tra loro, gli elementi sono distinti in **metalli** e **non metalli**; a questa distinzione sfuggono alcuni gas, detti *gas nobili*, che non si combinano con altri elementi.

I composti sono distinti in **composti inorganici** (perché prevalenti nel mondo minerale) e **composti organici** (perché originariamente rilevati negli organismi viventi).

Sono composti inorganici gli ossidi, gli idrossidi, le anidridi, gli acidi, i sali.



Composti organici sono particolari composti naturali e artificiali del carbonio, come per esempio il petrolio e i suoi derivati, la cellulosa, le resine artificiali.

Come detto sopra, le sostanze hanno proprietà specifiche, che ne hanno fatto la fortuna in determinate epoche. Nella storia dell'umanità alcuni materiali hanno avuto un ruolo determinante, tra questi i metalli. Non a caso le ere primitive sono designate con i nomi di *età del rame*, *del bronzo* e *del ferro*; ma ancora maggiore è stato il loro ruolo nella società industriale e tecnologica.

Pertanto la nostra attenzione si appunterà prevalentemente sui materiali metallici che, grazie alle loro proprietà, hanno applicazioni industriali assolutamente primarie.

Altri materiali verranno descritti sommariamente anche se hanno un ruolo, significativo nella tradizione (legno, vetro) o nell'innovazione (materiali sintetici).

I materiali metallici sono distinti in **metalli** e **leghe**.

I metalli (ferro, alluminio, rame, magnesio, ecc.) sono riconducibili alle proprietà riportate nella tabella a fianco.

Le leghe sono miscugli di sostanze in cui prevale la presenza di un metallo. Presentano caratteristiche migliori rispetto a quelle dei componenti. Le principali sono riportate nella tabella a fianco.

PROPRIETÀ DEI METALLI
Solidi a temperatura ambiente (tranne il mercurio)
Buoni conduttori di calore ed elettricità
Lucentezza caratteristica («metallica»)
Resistenza meccanica in genere buona
Buona lavorabilità
Struttura cristallina
Comportamento chimico di tipo *basico*
Molecola monoatomica (costituita da un solo atomo)

LEGHE METALLICHE	
LEGHE DEL FERRO	**Ghise** e **acciai** con carbonio ed eventuali altri elementi
LEGHE DEL RAME	**Bronzo** (con stagno), **ottone** (con zinco)
LEGHE DELL'ALLUMINIO	**Leghe leggere** con magnesio, manganese, ecc.
LEGHE DEL MAGNESIO	**Leghe ultraleggere** con alluminio, zinco, ecc.

TIPI DI PROPRIETÀ

Le singole proprietà dei materiali possono essere ricondotte ai seguenti tipi:

- **proprietà fisiche**: sono caratteristiche legate all'interazione del materiale con grandezze fisiche quali il calore o l'elettricità;
- **proprietà chimico-strutturali**: definiscono l'attitudine del materiale a trasformare la propria composizione in presenza di altri agenti e ad acquisire una struttura per le sue molecole;
- **proprietà meccaniche**: caratterizzano la resistenza del materiale alle sollecitazioni create da forze esterne;
- **proprietà tecnologiche**: descrivono l'attitudine del materiale a essere lavorato secondo le diverse tecniche.

Le principali proprietà sono riassunte nella seguente tabella.

FISICHE	MECCANICHE	TECNOLOGICHE
Massa volumica	Resistenza a compressione	Fusibilità
Conduttività termica	Resistenza a trazione	Saldabilità
Conduttività elettrica	Resistenza a taglio	Malleabilità
Dilatazione termica	Resistenza a flessione	Piegabilità
Capacità termica massica	Resistenza a torsione	Duttilità
Temperatura di fusione	Resistenza ad attrito	Estrudibilità
CHIMICHE STRUTTURALI	Durezza	Imbutibilità
Resistenza a corrosione	Resilienza	Truciolabilità
Struttura molecolare		Temprabilità

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

PROPRIETÀ FISICHE

MASSA VOLUMICA. È il rapporto tra massa e volume di un materiale; è espressa in kg/dm³. Con la temperatura varia il volume dei corpi e con esso, quindi, la massa volumica; pertanto la massa volumica è sempre rilevata a una temperatura di riferimento (20 °C). Il valore della massa volumica è determinante per una valutazione progettuale della massa (e quindi anche del peso) del manufatto.

In generale i metalli hanno una massa volumica notevole, mentre altri materiali (per esempio il legno e il polistirolo) molto ridotta. Anche tra i metalli esistono notevoli differenze: il piombo ha massa volumica 11,36 kg/dm³, mentre il magnesio 1,74 kg/dm³.

CAPACITÀ TERMICA MASSICA. Si misura mediante la quantità di calore, espressa in joule (J), che è necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg. Anche questa grandezza fisica è influenzata dalla temperatura e perciò ne viene rilevato il valore medio nell'intervallo tra 0 °C e 100 °C.

CONDUTTIVITÀ TERMICA ED ELETTRICA. È l'attitudine del materiale a trasmettere il calore o l'elettricità. In genere questi tipi di conduttività sono associati; un buon conduttore di calore è anche un buon conduttore di elettricità. I metalli sono in genere buoni conduttori; sostanze come il vetro o la ceramica non lo sono affatto (vengono pertanto detti **isolanti**). L'inverso della conduttività è la **resistività**.

DILATAZIONE TERMICA. La dimensione di un corpo è una variabile dipendente dalla sua temperatura. Ogni materiale presenta una specifica dilatazione proporzionale alla lunghezza iniziale e alla variazione di temperatura; questo valore specifico, chiamato **coefficiente di dilatazione lineare**, si misura attraverso l'allungamento di una barretta lunga 1 m per una variazione di 1 °C.

Per esempio, un filo di rame lungo 1 m subisce un allungamento di 17 μm per un incremento di temperatura di 1 °C. I valori di questo coefficiente sono dipendenti dai livelli di temperatura e perciò se ne rileva il valore medio in un intervallo tra 20 °C e 100 °C.

Questo parametro è molto importante per le valutazioni progettuali di organi in movimento, che possono subire notevoli variazioni termiche e quindi anche dimensionali.

TEMPERATURA DI FUSIONE. È la temperatura alla quale un materiale passa dallo stato solido a quello liquido. Alcuni materiali presentano un basso punto di fusione, come lo stagno (232 °C), altri ne hanno uno alto, come il platino (1769 °C). I materiali che hanno un punto di fusione molto elevato (superiore a 2000 °C) vengono chiamati **refrattari**; tra questi rientrano le sabbie e le argille, utilizzate nei rivestimenti di forni o nelle forme di fonderia.

PROPRIETÀ FISICHE DEI PRINCIPALI METALLI

METALLO	MASSA VOLUMICA (kg/dm³)	CAPACITÀ TERMICA MASSICA a 20 °C (J/kg · °C)	COEFFICIENTE MEDIO DI DILATAZIONE LINEARE 20-100 °C (μm/m · °C)	TEMPERATURA DI FUSIONE (°C)
Alluminio	2,70	896	23,8	659
Argento	10,49	234	19,7	960
Cromo	7,19	461	80,0	1875
Ferro	7,86	452	12,1	1535
Magnesio	1,74	1042	26,0	651
Manganese	7,43	481	23,1	1224
Molibdeno	10,22	260	4,9	2625
Nichel	8,90	450	10,8	1453
Oro	19,30	130	14,3	1063
Piombo	11,36	129	29,0	327
Platino	21,40	134	9,4	1769
Rame	8,94	385	16,8	1083
Stagno	7,30	226	22,9	232
Tungsteno	19,30	142	4,5	3380
Zinco	7,14	385	29,5	419

PROPRIETÀ CHIMICHE E STRUTTURALI

RESISTENZA ALLA CORROSIONE. È l'attitudine del materiale a resistere all'aggressione degli agenti chimici.

Sotto questa aggressione molte sostanze si trasformano, combinandosi con gli agenti e originando nuove sostanze; queste creano un graduale processo di degrado del materiale chiamato **corrosione**.

Nei metalli il fenomeno della corrosione si manifesta in modo talvolta intenso, soprattutto quando gli agenti operano in ambiente umido. Noto a tutti è il fenomeno dell'ossidazione del ferro (la *ruggine*), che porta a una desquamazione profonda e quindi al deperimento del materiale. Sono chiamati **metalli reattivi** quelli più esposti al fenomeno, **metalli nobili** quelli praticamente inattaccabili dagli agenti.

Naturalmente la resistenza alla corrosione ha un peso notevole nella scelta del materiale e induce nel progetto misure di protezione del materiale stesso con rivestimenti quali vernici, pellicole passive di metalli nobili (cromo, nichel, ecc.).

STRUTTURA DEL MATERIALE. Gli atomi della sostanza possono presentare una posizione reciproca di diverso tipo:

- struttura amorfa;
- struttura cristallina.

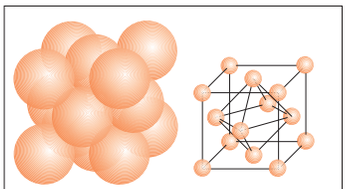
Le sostanze che presentano atomi disposti in modo irregolare e casuale hanno **struttura amorfa**. Il vetro o le plastiche sono materiali amorfi.

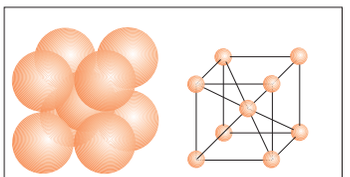
Si ha invece una **struttura cristallina** quando gli atomi si dispongono secondo un reticolo geometrico. La parte più piccola di questa struttura prende il nome di **cella elementare**.

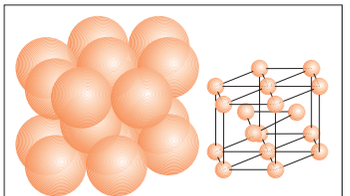
La forma della cella e del reticolo cristallino condiziona le proprietà meccaniche e tecnologiche del materiale. Presentano struttura cristallina tutti i metalli.

Le forme della cella cristallina sono numerose nel mondo minerale, ma tra i metalli queste sono soltanto:

- cubica a facce centrate;
- cubica a corpo centrato;
- esagonale compatta.


Struttura cubica a facce centrate


Struttura cubica a corpo centrato


Struttura esagonale compatta

La **cella cubica a facce centrate** (c.f.c.) presenta 14 atomi con i centri disposti sui vertici di un cubo e sui centri delle facce. Il reticolo cristallino è molto compatto e conseguentemente il materiale presenta buona lavorabilità e conduttività termica ed elettrica. Hanno questa struttura cristallina materiali come l'alluminio, il rame, il platino e l'oro.

Nella **cella cubica a corpo centrato** (c.c.c.) 8 atomi sono disposti ai vertici del cubo e 1 atomo al centro del cubo. I materiali con questa struttura presentano elevata durezza e media lavorabilità. Tra i metalli con questa struttura si possono citare il tungsteno e il molibdeno.

glossario

Amorfo: privo di forma.

Massa è la quantità di materia contenuta in un corpo. È una grandezza costante, indifferente alla gravità.

Peso è invece la forza di attrazione che un campo gravitazionale esercita su un corpo. Esso è quindi variabile: sulla Luna o sulla Terra, a livello del mare o in alta montagna lo stesso corpo presenta pesi diversi.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

La **cella esagonale compatta** (e.c.) vede 17 atomi così disposti: 12 ai vertici del prisma esagonale, 2 ai centri delle basi, 3 in posizione intermedia tra le basi. La fragilità caratterizza i materiali con questo tipo di cristallizzazione; tra essi si possono citare lo zinco e il magnesio.

Non tutti i metalli possiedono una sola forma di cristallizzazione. Il **polimorfismo** è il fenomeno che porta alcuni metalli a cristallizzare sotto forme diverse a seconda della temperatura. Questi cambiamenti di struttura cristallina prendono il nome di **trasformazioni allotropiche**. Il ferro, per esempio, presenta sia la struttura cubica a corpo centrato sia quella a facce centrate; a diverse fasce di temperatura corrispondono diverse strutture cristalline e quindi diverse proprietà del materiale.

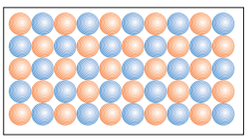
POLIMORFISMO DI ALCUNI METALLI

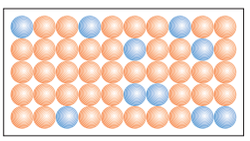
METALLO	CELLA	CAMPO TERMICO DI STABILITÀ
Ferro	c.c.c.	0 ÷ 911 °C
	c.f.c.	911 ÷ 1392 °C
	c.c.c.	1392 ÷ 1535 °C
Manganese	c.c.c.	0 ÷ 1095 °C
	c.f.c.	1095 ÷ 1133 °C
	c.c.c.	1133 ÷ 1224 °C
Titanio	e.c.	0 ÷ 882 °C
	c.c.c.	882 ÷ 1668 °C

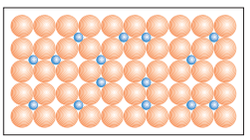
Nella realtà il reticolo cristallino è imperfetto. A causa delle condizioni in cui il materiale si è solidificato oppure per la presenza di impurità, le celle si aggregano in modo irregolare intorno a nuclei, creando dei **grani**. Separati da facce più o meno regolari, i grani sono visibili talvolta a occhio nudo e meglio al microscopio. L'allineamento delle facce dei grani crea delle superfici di scarsa resistenza alle sollecitazioni e quindi di potenziale frattura.

Nelle *leghe* il reticolo cristallino acquista forme diverse a seconda delle sostanze che vi compaiono. Le leghe sono sostanzialmente delle soluzioni solide e pertanto le sostanze possono distribuirsi nei seguenti modi:

- **soluzione ordinata**, in cui gli atomi di una sostanza occupano il posto degli altri in modo regolare;
- **soluzione di sostituzione**, quando gli atomi di una sostanza sostituiscono gli altri in modo casuale;
- **soluzione interstiziale**, se gli atomi di una sostanza si inseriscono negli spazi lasciati vuoti dal reticolo dell'altra sostanza.


Soluzione ordinata

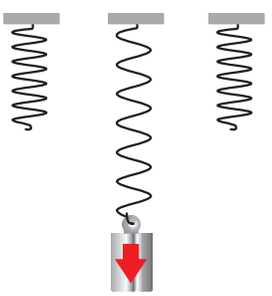

Soluzione di sostituzione


Soluzione interstiziale

PROPRIETÀ MECCANICHE

Queste proprietà sono tra le più importanti per la progettazione, perché rendono il materiale adatto a resistere senza danni strutturali al lavoro cui è destinato. Quando una forza (**sollecitazione**) agisce su un corpo, tende a deformarlo e crea una tensione interna alla sua struttura (**sforzo**). Se al cessare della sollecitazione il corpo acquista nuovamente la forma iniziale, si è avuta una **deformazione elastica**; se invece il corpo cambia forma, si è avuta una **deformazione plastica**.

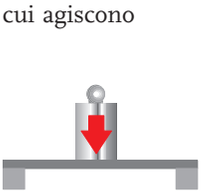
Al cessare della sollecitazione il corpo resta deformato: **deformazione plastica.**

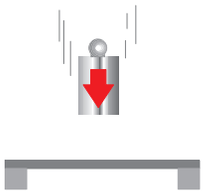

Al cessare della sollecitazione il corpo torna alla forma iniziale: **deformazione elastica.**

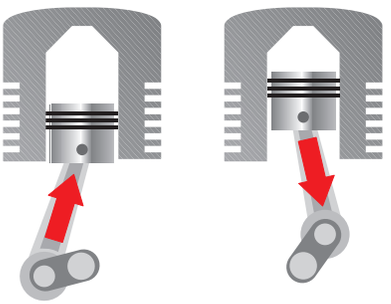
Crescendo la sollecitazione il corpo si deforma fino alla rottura. I valori delle sollecitazioni che creano deformazioni plastiche o la rottura del pezzo (**carico di rottura**) sono caratteristici del materiale. Lo stesso materiale può avere però comportamenti diversi al variare delle sollecitazioni nel tempo o nello spazio.

A seconda del tempo in cui agiscono distingueremo:

- **sollecitazioni statiche**, se agiscono costantemente o con piccole variazioni nel tempo;
- **sollecitazioni dinamiche** (*urti*), se crescono bruscamente in un tempo inferiore a 1/10 s. La resistenza agli urti prende il nome di **resilienza**;
- **sollecitazioni periodiche**, quando la variazione oscilla regolarmente entro un periodo. La resistenza a questo tipo di sollecitazione viene chiamata **resistenza a fatica**.


Corpo poggiato su un altro: **sollecitazione statica.**


Corpo in caduta libera su un altro: **sollecitazione dinamica.**


Corpo sollecitato in modo alternato: **sollecitazione periodica.**

Inoltre le sollecitazioni statiche si dicono **sollecitazioni semplici**, quando le forze sono ugualmente orientate nello spazio; in caso diverso si hanno **sollecitazioni composte**.

Un tipo di sollecitazione composta presenta una caratteristica particolare: è il caso dell'*attrito radente o volvente* di corpi che strisciano o rotolano su altre superfici.

Per **resistenza all'usura** si intende la capacità del materiale di opporsi al deterioramento per attrito. In questo caso la sollecitazione è composta da compressione, trazione e taglio.

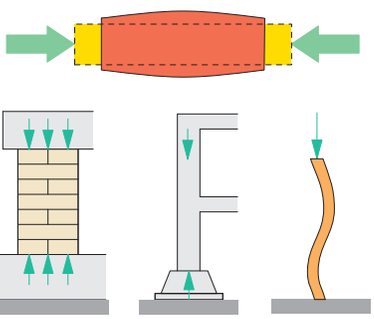
Attrito radente o volvente: **resistenza a usura.**

Per la complessità della materia verranno brevemente illustrate solo le sollecitazioni semplici.

SOLLECITAZIONE DI COMPRESSIONE. Il corpo è sollecitato da forze opposte e convergenti, che tendono ad accorciarlo e a dilatarne la zona centrale.

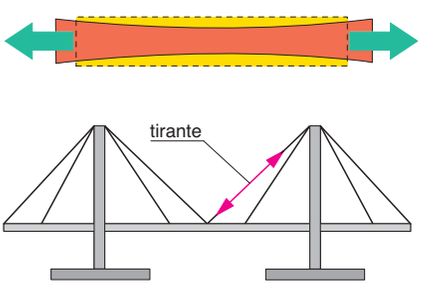
Murature, pilastri, zampe di tavoli sono esempi di strutture sollecitate a compressione.

Quando il corpo ha una forma troppo snella, sotto una sollecitazione di compressione può subire uno **svergolamento**; in questi casi si dice che esso è soggetto a un *carico di punta*.


Muratura — Pilastro — Svergolamento per carico di punta

SOLLECITAZIONE DI TRAZIONE. Il corpo è sollecitato da forze opposte e divergenti, che tendono ad allungarlo e ad assottigliarne la parte centrale.

Tiranti di ponti in ferro, cavi di sollevamento sono esempi di corpi soggetti a trazione.

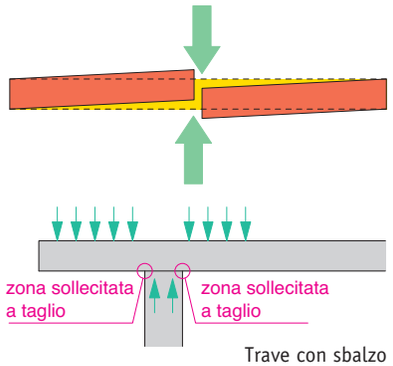


Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

SOLLECITAZIONE DI TAGLIO. Il corpo è sottoposto all'azione di forze opposte, convergenti e disposte trasversalmente all'asse del solido.

La loro azione tende a far scorrere le sezioni del solido nel piano della sollecitazione.

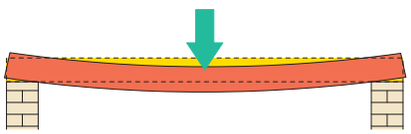
A sollecitazione di taglio sono sottoposti, per esempio, pezzi lavorati per punzonatura oppure travi nei punti d'appoggio.

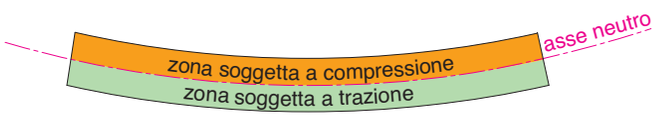


Trave con sbalzo

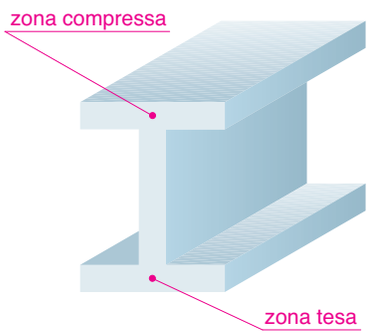
Punzonatura

SOLLECITAZIONE DI FLESSIONE. Le forze agiscono trasversalmente all'asse del corpo e tendono a incurvarlo. Osservando un corpo inflesso, per esempio una trave, si nota che la lunghezza dell'asse, prima e dopo la sollecitazione, non subisce modifiche. In pratica è come se non avesse subìto alcuna sollecitazione: per questo viene chiamato **asse neutro**.





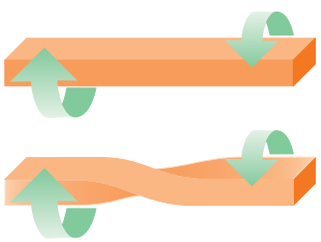
Al contrario la zona sopra l'asse neutro si è accorciata, mentre quella sottostante si è allungata. Infatti esse sono state sottoposte rispettivamente a compressione e a trazione. In buona sostanza la sollecitazione di flessione è la somma di una compressione e di una trazione.

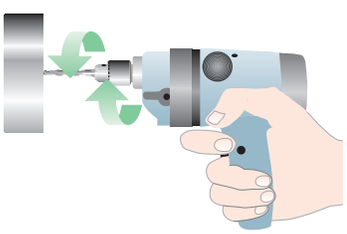


Quanto detto è ben esemplificato da una trave a «doppio T», nella quale sono larghe le zone sottoposte a sollecitazioni intense, mentre quella centrale ha uno spessore molto ridotto, perché poco sollecitata.

SOLLECITAZIONE DI TORSIONE. Il corpo è soggetto all'azione di una coppia di forze che ruotano in verso opposto e su piani diversi.

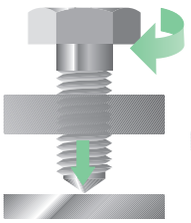
Esempi di corpi soggetti a torsione sono la punta di un giravite, la punta o il mandrino di un trapano.

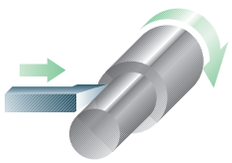




SOLLECITAZIONI CONCENTRATE. Sono sollecitazioni di forze che agiscono su zone ristrette; queste forze sono dette *carichi concentrati*.

La resistenza che un corpo oppone ai carichi concentrati si chiama **durezza**. È una proprietà molto importante sia per la funzione che il materiale deve assolvere, sia per le lavorazioni cui deve essere sottoposto.


Resistenza a carico concentrato: **durezza**.


La durezza del materiale si oppone all'utensile del tornio.

Talvolta uno stesso metallo a struttura cristallina polimorfa (come per esempio il ferro) presenta durezze diverse a seconda della struttura cristallina. Per questo appositi **trattamenti termici** (come per esempio la tempra) possono modificare la durezza del materiale.

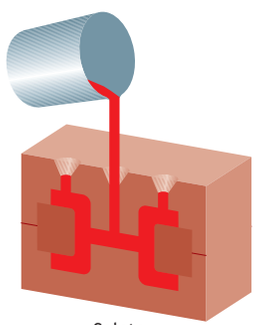
PROPRIETÀ TECNOLOGICHE

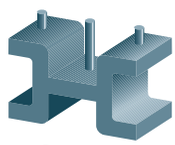
Queste proprietà sono relative all'attitudine del materiale a subire lavorazioni di vario tipo:

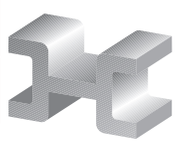
- *lavorazioni a caldo* (fusione, fucinatura, saldatura termica);
- *lavorazioni a freddo senza asportazione di truciolo* (laminazione, stampaggio, imbutitura, trafilatura, ecc.);
- *lavorazioni a freddo con asportazione di truciolo* (tornitura, fresatura, limatura, foratura, ecc.).

FUSIBILITÀ. È l'attitudine del materiale a essere lavorato con la tecnica della fusione.

Il materiale, portato allo stato liquido, viene colato entro stampi (*forme*), aderendo alle superfici delle cavità; dopo raffreddamento il prodotto (*getto*) viene liberato delle parti eccedenti (bavature, ecc.), pulito e sottoposto a finitura superficiale.


Colata


Getto grezzo


Getto finito

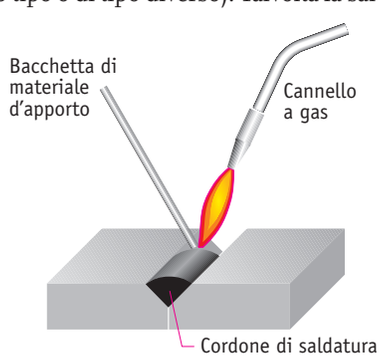
Alcuni materiali hanno buona fluidità e aderiscono bene alle superfici dello stampo, non creano difetti durante il raffreddamento (porosità, fratture) e quindi hanno ottima fusibilità; tra questi figurano il bronzo, la ghisa, l'ottone e le leghe leggere. Mediocre è invece la fusibilità dell'acciaio.

Per fusione si realizzano pezzi di notevoli complessità e dimensioni, come monoblocchi e testate di motori, cerchioni di ruote, ecc.

SALDABILITÀ. È l'attitudine del materiale a essere stabilmente congiunto a un altro mediante saldatura. Questa tecnica consiste nel riscaldamento di zone del pezzo, creando uno strato di materiale fuso che si unisce a un altro (dello stesso tipo o di tipo diverso). Talvolta la saldatura si realizza con l'aggiunta di sostanze (*materiale di apporto*) che crea *dei cordoni di saldatura*.

Le diverse tecniche di saldatura usano energia chimica (acetilene, idrogeno) o elettrica (arco voltaico).

La saldabilità è buona per l'acciaio, ma scarsa per le ghise e le leghe leggere.



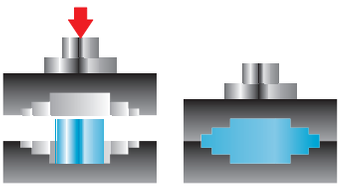
Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

MALLEABILITÀ. È l'attitudine del materiale a deformarsi sotto l'azione di pressioni o urti senza creare fessure o rotture. La malleabilità, essendo sostanzialmente la **plasticità** del materiale, è legata alla sua temperatura.

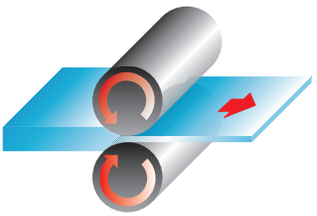
I materiali possono essere lavorati a caldo o a freddo, con utensili a mano (martelli, mazze) o con macchine (magli, presse, laminatoi).

Gran parte delle lavorazioni meccaniche sfruttano la malleabilità: la fucinatura, la laminazione, lo stampaggio. Altre proprietà tecnologiche (come la piegabilità, la duttilità o l'estrudibilità, descritte di seguito) non sono altro che particolari casi di malleabilità.

Ottima malleabilità presentano l'oro e il rame, buona è quella degli acciai; non sono invece malleabili le ghise.



Stampaggio: il pezzo viene inserito tra i due semistampi e deformato per pressione.

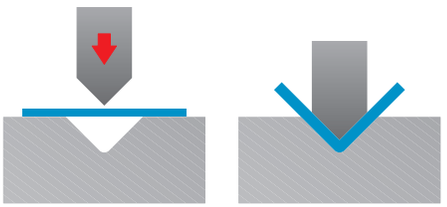


Laminazione: il pezzo passa attraverso due cilindri rotanti che ne assottigliano lo spessore.

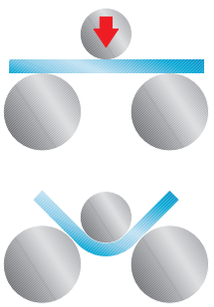
PIEGABILITÀ. Riguarda semilavorati che possono essere deformati a freddo. I semilavorati più spesso piegati a freddo sono i tondini d'acciaio per le costruzioni, i tubi, le lamiere, i profilati.

Per la piegatura vengono utilizzate prese o *piegatrici*, con o senza motorizzazione.

Buona piegabilità presentano gli acciai dolci, il rame e l'alluminio.



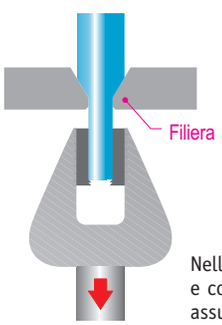
Piegatura con stampo (in alto) e matrice (in basso).



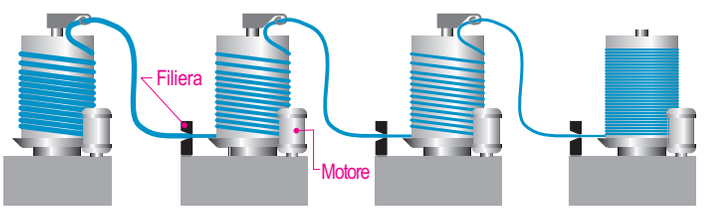
Piegatura con rulli.

DUTTILITÀ. È l'attitudine del materiale a ridursi in fili. La lavorazione di **trafilatura**, che sfrutta la duttilità, consiste nel tirare una barretta di materiale attraverso un foro tronco-conico (chiamato **filiera**) di diametro un po' inferiore. Il materiale si deforma allungandosi e assottigliandosi.

Trattandosi di un riduzione limitata della sezione della barretta iniziale, la trafilatura prevede spesso una sequenza di passaggi, fino ad arrivare alla dimensione desiderata per il prodotto.



Nella trafilatura il materiale è tirato esternamente e costretto a passare attraverso la filiera, di cui assume forma e dimensioni.



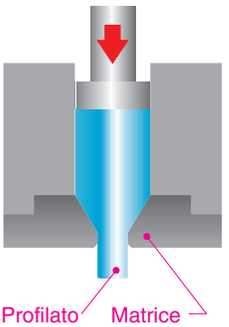
Trafilatura con tre passaggi consecutivi.

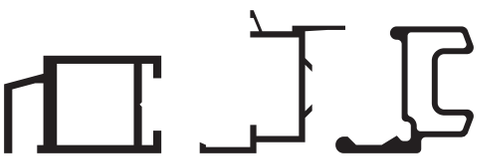
Per trafilatura si ottengono prodotti semilavorati come fili, barre, tubi. Buona duttilità hanno il rame, l'alluminio, gli acciai dolci, ottima è invece nell'argento e nell'oro.

ESTRUDIBILITÀ. È l'attitudine del materiale ad assumere la forma di un foro sagomato (*matrice*) in cui viene spinto. L'estrusione consiste in una operazione analoga alla trafilatura, con la differenza che il materiale non è tirato dall'esterno, ma compresso dall'interno.

Per estrusione a caldo o a freddo si ottengono **profilati** anche di notevole complessità, come quelli per infissi.

Buona estrudibilità hanno le leghe dell'alluminio e gli acciai dolci.



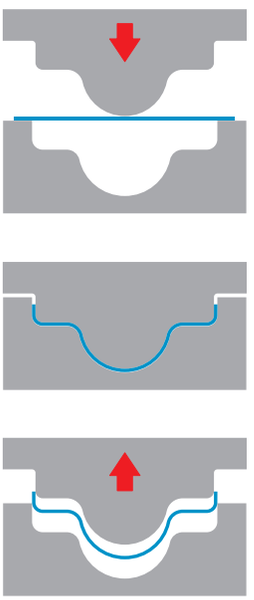


Profilati in alluminio per infissi.

IMBUTIBILITÀ. È l'attitudine delle lamiere a deformarsi sotto l'azione di un punzone che le spinge entro una matrice. L'**imbutitura** è una lavorazione a freddo che consente di trasformare una lamiera in prodotti con superfici a molteplice curvatura.

I materiali imbutibili, a causa delle notevoli deformazioni cui sono sottoposti, devono avere composizione molto pura, per evitare screpolature e rotture.

Per imbutitura si ottengono parti di carrozzeria d'auto, serbatoi, pentole, scatolati, ecc. Sono imbutibili il rame, l'alluminio, gli acciai dolcissimi, l'ottone.

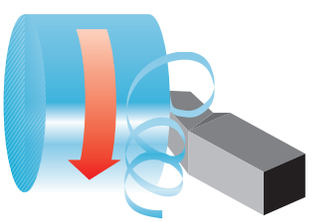


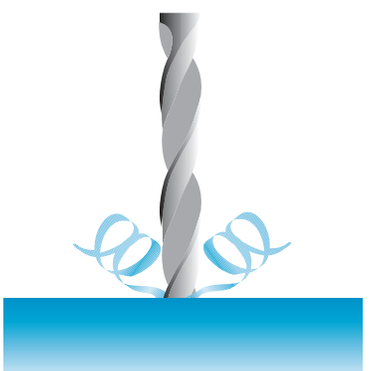
Fasi di imbutitura con punzone e matrice.

TRUCIOLABILITÀ. È l'attitudine del materiale a rilasciare *trucioli* sotto l'azione di un utensile più duro.

Molte lavorazioni alle macchine utensili avvengono per asportazione di truciolo: la foratura, la tornitura, la fresatura, la brocciatura, ecc.

Buona truciolabilità possiedono in genere i materiali non eccessivamente duri come gli acciai, le leghe dell'alluminio e del rame, le ghise grige; poco truciolabili sono invece i materiali molto duri come le ghise bianche.





Lavorazioni con asportazione di truciolo: tornitura (sopra) e foratura (a destra).

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Prove di laboratorio

RELAZIONE SOLLECITAZIONE-DEFORMAZIONE

Per dimensionare correttamente un oggetto in fase progettuale è necessario valutare se sarà in grado di resistere alle sollecitazioni esterne senza danni o rotture. Per questo scopo il progettista si avvale di dati ricavati da esperienze di laboratorio su campioni di materiale. Le prove di laboratorio riguardano i diversi tipi di resistenza meccanica e sono normalizzate dalla UNI (o altri enti di normazione) per le procedure, i macchinari e le caratteristiche del campione (**provetta**).

Le prove di laboratorio sui materiali si distinguono in:

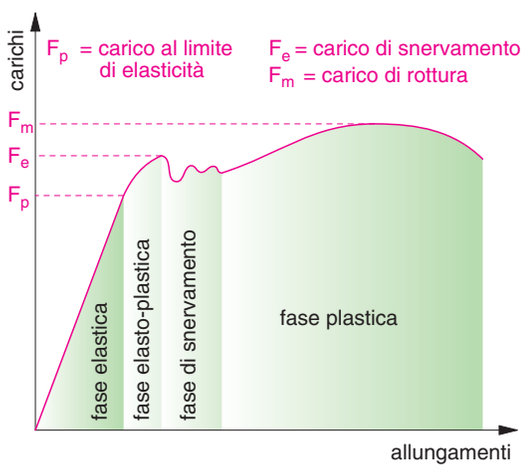
- **prove distruttive**, quando provocano il deterioramento o la rottura del pezzo;
- **prove non distruttive**, se il pezzo resta integro; in questo caso le prove possono essere eseguite non solo sul campione di materiale, ma anche sul manufatto vero e proprio.

I corpi sottoposti a sollecitazioni statiche (**carichi**) si deformano. Se al cessare della sollecitazione riacquista la forma iniziale, si dice che esso ha subìto una **deformazione elastica**; se invece resta deformato si ha una **deformazione plastica** o permanente. Dalle prove di laboratorio si può osservare che solo nella fase elastica esiste un *rapporto di proporzionalità* tra carichi e deformazioni. Crescendo ulteriormente il carico le deformazioni non sono più proporzionali e comincia la fase plastica. Al termine di questa fase subentra la rottura.

I valori che segnano le fasi del diverso comportamento del materiale sotto l'azione dei carichi sono:

- **carico al limite di elasticità**, dopo il quale il materiale ha un comportamento parzialmente plastico (*fase elasto-plastica*);
- **carico di snervamento**, oltre il quale si hanno deformazioni molto irregolari a fronte di un carico sostanzialmente costante;
- **carico di rottura**, che segna la frattura della provetta.

I risultati sperimentali vengono elaborati rapportandoli alla sezione della provetta e ottenendo così i *carichi unitari* (in N/mm²). Per esempio se F_m è il carico di rottura di una provetta di sezione S_0, il **carico unitario di rottura** sarà $R_m = F_m/S_0$.



Le macchine per le prove di resistenza sono molteplici, ma quelle fondamentali prendono il nome di **macchine universali**, perché consentono di effettuare prove di trazione, compressione, flessione e taglio.

Esse sostanzialmente sono dotate di due ganasce, una mobile e l'altra fissa, alle quali viene fissata la provetta. Le ganasce sono solidali a una incastellatura collegata agli organi che forniscono la potenza per creare gli sforzi e alle apparecchiature per registrare ed elaborare i risultati delle prove.

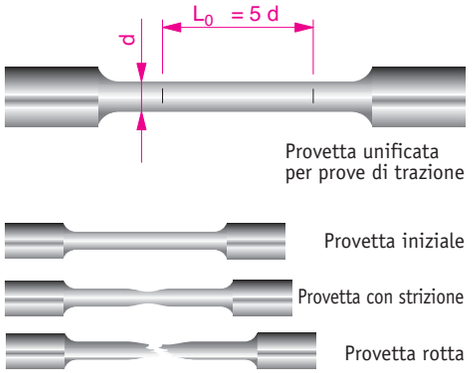
nota bene

La legge di proporzionalità tra carichi e deformazioni prende il nome di **legge di Hooke**, dallo scienziato inglese R. Hooke (1635-1703) che la definì.

PROVA DI RESISTENZA A TRAZIONE

Le prove di resistenza a trazione sono essenziali per valutare le caratteristiche fondamentali e il comportamento del materiale sia sotto il profilo meccanico che della lavorabilità. Con questa prova infatti si possono determinare la resistenza, l'elasticità e la deformabilità tipiche di un materiale.

La prova consiste nel sottoporre una provetta di forma e dimensioni unificate a un sforzo continuo e crescente fino alla sua rottura.



La provetta ha forma cilindrica con estremità di diametro maggiore per il fissaggio alle ganasce; nella zona centrale la provetta deve avere un rapporto tra la lunghezza delimitata dai segni di riferimento (L_0) e il diametro (d) tale che $L_0 = 5\,d$.

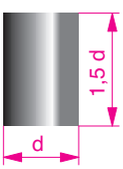
Durante l'allungamento nella zona centrale appare un restringimento della sezione (**strizione**), che insieme alla forma della frattura fornisce indicazioni sulle proprietà tecnologiche del materiale.

La *macchina universale* registra gli allungamenti della provetta in relazione ai carichi e ne elabora un grafico dal quale si desumono dati fondamentali quali gli *allungamenti percentuali*, il *carico al limite della proporzionalità* e il *carico unitario di rottura*.

PROVA DI RESISTENZA A COMPRESSIONE

È analoga a quella di trazione, ma in questo caso le forze hanno senso opposto alla trazione e tendono a schiacciare la provetta. La provetta unificata ha forma cilindrica con rapporto tra lunghezza e diametro pari a $L_0 = 1{,}5\,d$.

Molti materiali metallici hanno resistenza a trazione e a compressione con valori circa uguali; ma altri, come le ghise, resistono molto meno a trazione che a compressione. All'opposto si comportano i legnami, che resistono meglio a trazione che a compressione.



Provetta unificata per prove di compressione.

memo

Secondo il SI la resistenza dei materiali si misura in **N/mm²**. È da ricordare il rapporto tra il newton e il kg_f (unità ancora usata, ma scomparsa dal SI):
1 N = 0,1019 kg_f e il rapporto reciproco **1 kg_f = 9,8066 N**

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

PROVA DI RESISTENZA A FLESSIONE

È una prova che ha lo scopo di misurare il carico di rottura oppure le deformazioni di una provetta sollecitata a flessione.

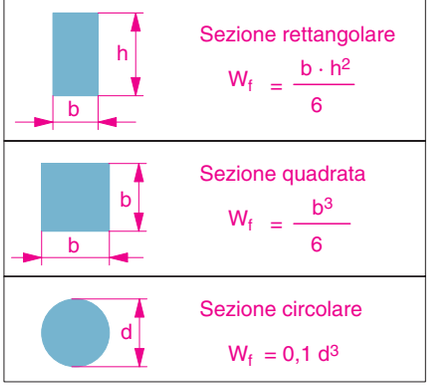
La prova si esegue su appositi macchinari o anche sulla macchina universale. La provetta viene poggiata su due rulli paralleli a distanza L. Il carico viene esercitato con progressione graduale nel punto di mezzeria. Le deformazioni della provetta vengono registrate e messe in relazione ai carichi esercitati, fino a pervenire alla rottura.

Il **carico unitario di rottura a flessione** viene espresso dal rapporto

$$R_{fm} = \frac{M_{fm}}{W_f} \ (N/mm^2)$$

In questa relazione M_{fm} esprime il momento flettente che ha prodotto la rottura, mentre W_f, chiamato **modulo di resistenza a flessione** della sezione, è una quantità dipendente dalla forma e dalle dimensioni della sezione della provetta.

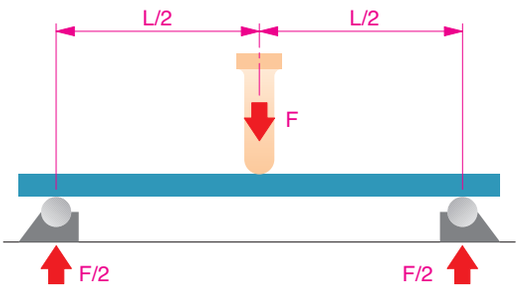
MODULO DI RESISTENZA A FLESSIONE



Nel riquadro vengono riportati i valori del modulo di resistenza a flessione per le sezioni di forma circolare, rettangolare e quadrata.

Per calcolare invece il momento flettente (M_{fm}) della provetta, si osservi che a un carico F corrispondono sugli appoggi delle reazioni di valore F/2. Pertanto in corrispondenza della mezzeria, in cui lo sforzo è massimo e si verifica la rottura, il momento flettente è

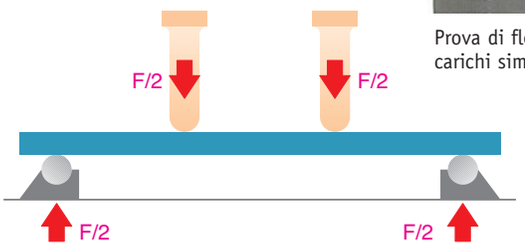
$$M_f = \frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{FL}{4} \ (N \cdot mm)$$



Nella prova di flessione la provetta è caricata al centro.

Nel caso di *materiali poco deformabili* la prova prevede che la provetta sia poggiata su due rulli e sia sollecitata da due carichi uguali e simmetrici rispetto agli appoggi.

Prova di flessione con due carichi simmetrici.

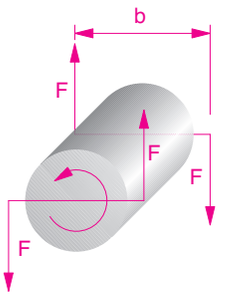


Per materiali poco deformabili vi sono due carichi simmetrici.

PROVA DI RESISTENZA A TORSIONE

Con questa prova si misura la resistenza che un materiale oppone a una sollecitazione di torsione; questa consiste in due coppie di forze opposte che agiscono su piani diversi, perpendicolari all'asse del pezzo. Analogamente alla flessione, anche in questo caso le forze creano un momento torcente al quale si oppone la resistenza del materiale. Il **carico unitario di rottura a torsione** è dato dalla relazione

$$R_{tm} = \frac{M_{tm}}{W_p} \ (N/mm^2)$$



Il momento torcente è il prodotto della forza per il braccio: $M_t = F \cdot b$.

nella quale M_{tm} è il momento torcente di rottura e W_p il modulo di resistenza polare, dipendente da forma e dimensioni della sezione. Per sezione circolari, frequenti in caso di torsione, si ha $W_p = 0{,}2\ d^3$.

Normalmente la prova si effettua su fili o barre cilindriche mediante macchine specifiche per questa sollecitazione.

PROVA DI RESISTENZA A TAGLIO

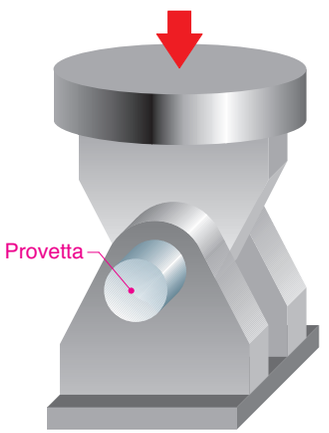
È una prova che ha lo scopo di misurare la resistenza che un materiale oppone a una sollecitazione di taglio; questa consiste in due forze opposte che agiscono su un piano perpendicolare all'asse del pezzo.

La **resistenza al taglio** è espressa dalla relazione

$$\tau = \frac{F}{S} \ (N/mm^2)$$

nella quale F è il valore del carico e S l'area della sezione della provetta. Poiché nella sollecitazione di taglio spesso è presente anche una sollecitazione di flessione, che diminuisce la resistenza al taglio, si aumenta il valore di resistenza al taglio con un coefficiente 4/3. Pertanto si ha:

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{F}{S} \ (N/mm^2)$$



Prova di taglio su barra cilindrica.

La prova su barra cilindrica si esegue con la macchina universale, che utilizza apposite staffe in cui viene alloggiata la provetta (figura). In questo caso il carico opera su due sezioni e pertanto l'area della sezione resistente al taglio sarà doppia.

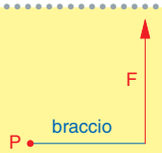
RESISTENZA AL TAGLIO IN RAPPORTO ALLA RESISTENZA A TRAZIONE

MATERIALE	RAPPORTO TRA τ E R_m
Acciaio	$\tau = 0{,}8\ R_m$
Ghisa	$\tau = 1{,}1\ R_m$
Leghe leggere da fonderia	$\tau = 0{,}9\ R_m$
Leghe leggere da lavorazioni plastiche	$\tau = 0{,}6\ R_m$

Nella pratica di progetto la resistenza al taglio (τ) si può ricavare dalla resistenza a trazione (R_m) mediante appositi coefficienti.

memo

Momento di una forza rispetto a un punto è il prodotto della forza per il *braccio*, cioè la distanza del punto dalla sua retta d'azione. L'importanza di questo valore è evidente nei casi di leve o corpi rotanti.



Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

PROVA DI RESILIENZA CHARPY

La resilienza è la resistenza del materiale alle sollecitazioni dinamiche (urti).

I materiali che presentano un'alta resilienza vengono detti **tenaci**, mentre quelli che presentano una bassa resilienza sono detti **fragili**.

In generale esiste un rapporto inverso tra la resilienza e le altre proprietà meccaniche; per esempio, materiali come gli acciai duri sono fragili, mentre sono tenaci quelli con scarsa resistenza alle sollecitazioni statiche, quali gli acciai dolci o le leghe leggere.

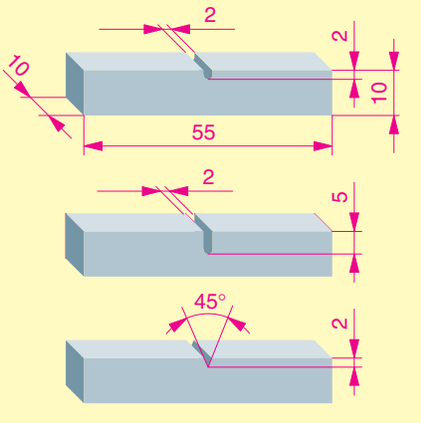
Per i materiali metallici si usa in generale la prova che utilizza il pendolo di Charpy.

Prova con il pendolo di Charpy

È una prova di rottura per urto a flessione su una provetta di forma e dimensioni unificate.

La provetta è un barretta a sezione quadrata con un intaglio centrale a forma di U oppure a forma di V.

L'intaglio a forma di U può avere profondità 5 mm nel caso di metalli ferrosi, mentre è profondo 2 mm nel caso di metalli non ferrosi (leghe dell'alluminio e del rame). In questo caso la resilienza è caratterizzata dal simbolo **KCU**.

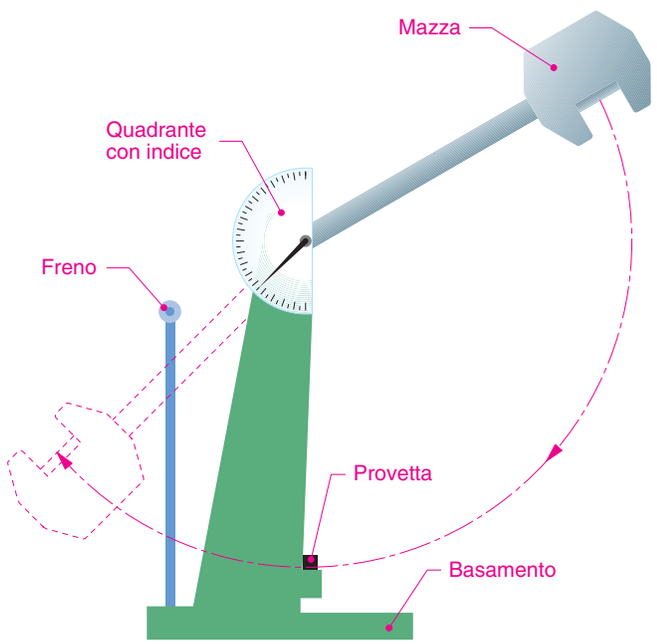


Forma e dimensioni delle diverse provette.

Su provette in metalli ferrosi si usa anche l'intaglio a V, profondo 2 mm; in questo caso la resilienza è designata dal simbolo **KV**.

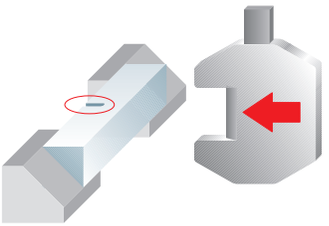
La macchina per le prove di resilienza consiste in una incastellatura che sostiene una mazza oscillante; per questo la macchina è anche chiamata **pendolo di Charpy**.

La mazza può essere bloccata a una data altezza; dopo avere posizionato la provetta in un apposito alloggiamento e con intaglio rivolto dal lato opposto alla mazza, si può liberare la mazza che in caduta libera urta contro la provetta.



Dopo la rottura la mazza continua il moto pendolare fino a una certa altezza, che la macchina è in grado di registrare mediante un indice angolare; esso viene azzerato prima della prova e indica sul quadrante l'angolo di risalita del pendolo.

La macchina è provvista di freno per le oscillazioni del pendolo e di dispositivi di protezione.

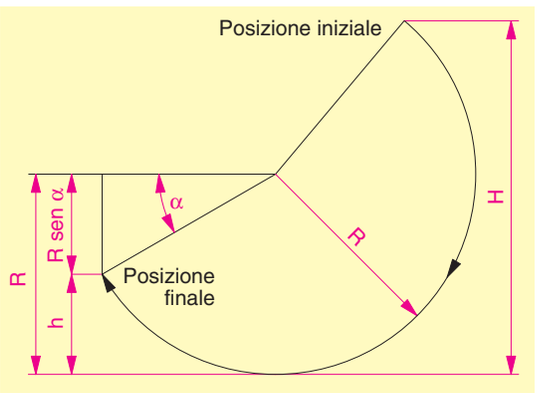

Disposizione della provetta nel suo alloggiamento: l'intaglio è dal lato opposto a quello della mazza.

Calcolo della resilienza

La resilienza viene misurata mediante la relazione

$$K = \frac{L}{S} \quad (J/cm^2)$$

in cui L è il lavoro speso per spezzare la provetta e S l'area della sua sezione. Il valore di S è noto: 0,8 cm² oppure 0,5 cm² a seconda dell'intaglio nella provetta. Dalla prova bisogna invece rilevare i dati che consentono di calcolare il lavoro L in base al seguente procedimento.



Schema per il calcolo della resilienza.

Il lavoro speso per rompere la provetta si calcola per differenza tra il lavoro (L_1) che la mazza compie in caduta prima dell'urto e il lavoro residuo (L_2) che le consente di risalire dopo l'urto.

L_1 è dato dalla forza, e cioè il peso della mazza (P), per lo spostamento (H) dalla posizione iniziale fino all'urto, quindi

$$L_1 = P \cdot H$$

Analogamente L_2 è dato dal prodotto tra peso della mazza per l'altezza di risalita (h), e cioè

$$L_2 = P \cdot h$$

Il valore di h è fornito dalla macchina mediante l'angolo di risalita (α) segnalato dall'indice sul quadrante e attraverso il valore di R (raggio di oscillazione del pendolo). Dalle relazioni trigonometriche possiamo ricavare

$$h = R - R \text{ sen } \alpha$$

Essendo noto il valore di h, è noto anche L_2 e quindi la differenza tra L_1 e L_2, cioè il valore di L. Con questo possiamo ricavare il valore della resilienza K = L/S.

VALORI DELLA RESILIENZA

DI ALCUNI MATERIALI (J/cm²)	
Acciai dolci	220
Acciai inox	198
Acciai duri	80 ÷ 100
Bronzo 30% Sn	30
Ottone 50% Cu	20 ÷ 40
Anticorodal	10 ÷ 30

memo

Nel SI il lavoro è misurato in **joule** (J = N · m).
Per eventuali conversioni dalla precedente unità di misura del lavoro (il $kg_f \cdot m$), ora abbandonata, si ricordano le relazioni

N = 0,102 kg_f **J = 0,102 $kg_f \cdot m$**
1 $kg_f \cdot m/cm^2$ = 9,81 J/cm^2 **1 J/cm^2 = 0,102 $kg_f \cdot m/cm^2$**

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

PROVE DI DUREZZA

La durezza è, come già detto, la resistenza che il materiale oppone ai carichi concentrati. La misurazione della durezza fornisce dati estremamente importanti sulla lavorabilità del materiale, sugli effetti di trattamenti termici, sulla resistenza a trazione. Inoltre per misurare la durezza si usano **prove non distruttive**, che quindi possono essere applicate non solo su provette ma anche su pezzi finiti. Le macchine utilizzate a questo scopo prendono il nome di **durometri**.

In generale le prove di durezza si eseguono mediante un penetratore di notevole durezza che, sotto l'azione di un certo carico, lascia un'impronta sulla superficie del materiale. *Il rapporto tra carico e dimensione dell'impronta definisce il valore della durezza.*

A seconda della forma e delle dimensioni del penetratore si hanno diversi metodi di misurazione della durezza. I più frequenti vengono descritti di seguito.

Metodo Brinell

È un metodo utilizzato per metalli non particolarmente duri; per quelli più duri si preferisce fare riferimento ad altri metodi.

Usa un penetratore in acciaio temprato di forma sferica di diametro 10 mm. In taluni casi il penetratore ha diametro 5 mm oppure 2,5 mm.

La durezza Brinell, indicata con il simbolo **HB**, è data dal rapporto tra carico e superficie dell'impronta lasciata dal penetratore sul pezzo:

$$HB = \frac{F}{S}$$

Il carico (F) viene espresso in N (newton), che da alcuni anni ha soppiantato l'uso del kg_f; per evitare che il cambiamento di unità comportasse una variazione generale dei valori delle durezze note in precedenza, l'UNI ha deliberato di introdurre nella formula il coefficiente 0,102 per far sì che i nuovi valori (espressi in N) coincidessero con quelli precedentemente espressi in kg_f. Pertanto la relazione utilizzata per la durezza Brinell è:

$$\mathbf{HB = 0{,}102\ \frac{F}{S}}$$

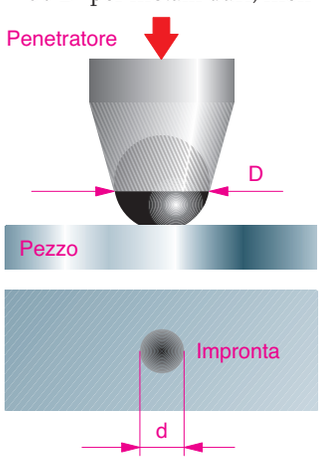
In questa relazione il valore di S esprime la superficie dell'impronta, una calotta sferica di diametro uguale a quello del penetratore; in base a relazioni geometriche il valore di S si può ricavare dal diametro dell'impronta:

$$S = \pi\ D \cdot \frac{1}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

Calcolato il valore di S e noto il carico F, si può ricavare la durezza HB. I carichi applicati sono rapportati al diametro del penetratore a seconda del materiale: per esempio $F = 30\ D^2$ per metalli duri, mentre $F = 0{,}5\ D^2$ nel caso del piombo. Il carico è variabile per far sì che l'impronta sia contenuta entro certi limiti (0,24 ÷ 0,6 D).

In condizioni normali si usa un penetratore di 10 mm con carico di 29 400 N (3000 kg_f) applicato per 15 secondi. In condizioni diverse la durezza Brinell si designa con il simbolo HB seguito nell'ordine dal diametro della sfera, dal carico (in kg_f) e tempo di applicazione del carico. Per esempio:

- **300 HB** indica un valore 300 della durezza Brinell, con sfera di ∅ 10 mm e con carico di 3000 kg_f applicato per 15 secondi;
- **180 $HB_{5/250/20}$** indica una durezza Brinell di valore 180, misurato con sfera di ∅ 5 mm, carico di 250 kg_f applicato per 20 secondi.



Penetratore e impronta nella prova di durezza Brinell.

Dai valori di HB si può ricavare con buona approssimazione anche la resistenza a trazione del materiale, mediante tabelle unificate di conversione.

Metodo Vickers

In questo metodo si usa un penetratore di diamante a forma di piramide a base quadrata con angolo di 136° tra facce opposte.

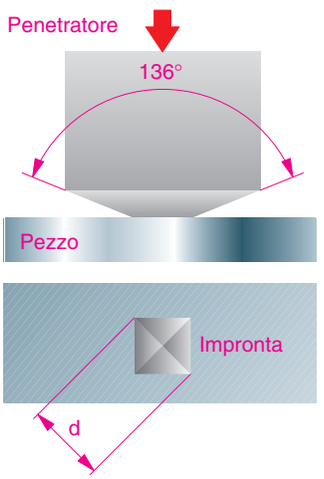
La durezza Vickers, indicata con il simbolo **HV**, è data dal rapporto tra carico e superficie dell'impronta lasciata dal penetratore sul pezzo:

$$\mathbf{HV = 0{,}189\ \frac{F}{d^2}}$$

In questa relazione F esprime il carico (in N), mentre d rappresenta la diagonale dell'impronta piramidale lasciata dal penetratore. La presenza del coefficiente 0,189 è dovuta sia al calcolo della superficie dell'impronta mediante la diagonale sia al cambiamento di unità del carico; infatti, come nel caso della durezza Brinell, il passaggio dal kg_f al N avrebbe creato un mutamento generale dei valori della durezza Vickers, evitabile con l'introduzione di un coefficiente di conversione.

Le condizioni normali della prova prevedono un carico di 294 N (30 kg_f) applicato per un tempo di 10÷15 secondi. In condizioni diverse la designazione della durezza Vickers prevede che, dopo la sigla HV, vengono indicati nell'ordine il carico (in kg_f) e il tempo di applicazione. Per esempio:

- **300 HV** indica una durezza Vickers di valore 300, con carico di 294 N applicato per 10÷15 secondi;
- **640 $HV_{30/20}$** indica una durezza Vickers di valore 640, ottenuto con un carico di 30 kg_f applicato per 20 secondi.



Penetratore e impronta nella prova di durezza Vickers.

Durometro Vickers.

memo

Le relazioni che legano il newton (N) al kilogrammo-forza (kg_f) sono
1 N = 0,102 kg_f **1 kg_f = 9,81 N**

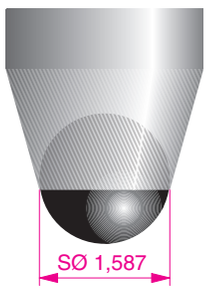
Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Metodo Rockwell

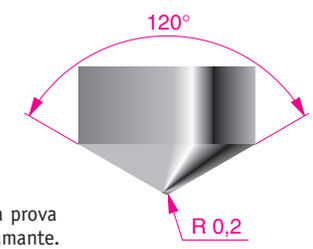
Questo metodo è più usato dei precedenti perché consente una lettura immediata della durezza dall'apparecchio. Si usano due tipi di penetratori diversi:

- sfera d'acciaio (∅ 1,587 mm = 1/16") per materiali non molto duri; in questo caso il valore della durezza Rockwell è designato dalla sigla **HRB**;
- cono di diamante (angolo 120° e raccordo al vertice di R 0,2 mm) per materiali duri; in questo secondo caso il valore della durezza viene designato dalla sigla **HRC**.

La prova consiste nell'applicare un carico iniziale F_0 di 98 N (10 kg_f) che provoca una prima impronta (di profondità *a*); dopo aver azzerato l'indice dello strumento si applica un secondo carico F_1 fino a giungere a un carico totale F di 981 N (100 kg_f) per la prova HRB oppure di 1470 N (150 kg_f) per la prova HRC.



Penetratore della prova HRB: sfera in acciaio.

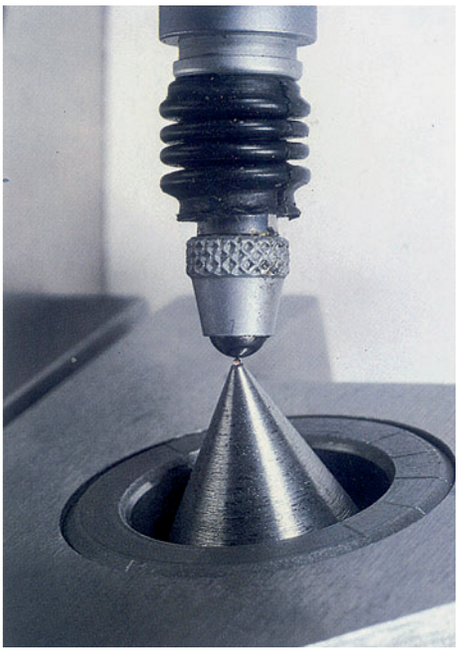


Penetratore della prova HRC: cono di diamante.

Quindi si toglie il secondo carico, mantenendo il primo; il rientro elastico del materiale fa risalire il penetratore e, dopo un assestamento, l'indice segnala il valore della durezza oppure la profondità residua (*e*). Le due diverse prove forniscono dei valori numerici pari a:

- **130 – e** (per la prova HRB); quindi sono valori compresi tra 0 (minimo) e 130 (massimo);
- **100 – e** (per la prova HRC); quindi sono valori compresi tra 0 (minimo) e 100 (massimo).

Durometro in grado di eseguire prove di durezza Brinell, Vickers e Rockwell. In quest'ultimo caso il valore della durezza è leggibile direttamente sul display.

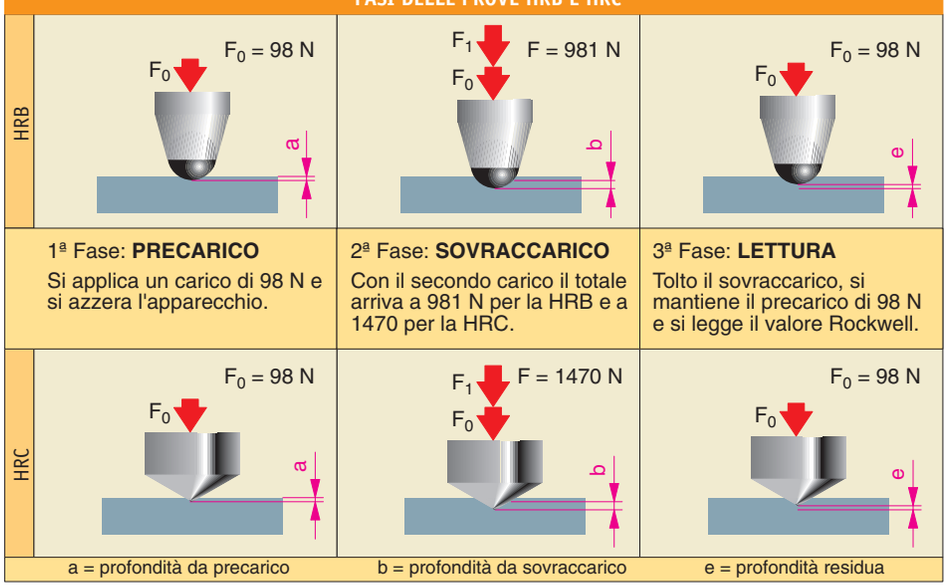


Controllo dimensionale di un penetratore Rockwell. Le irregolarità del profilo sferico sono causa di incertezza nella misurazione della durezza.

CONVERSIONE TRA TIPI DI DUREZZE

HB 10/3000/30"	HV	HRC F = 1470 N	HRB F = 980 N
780	1150	70	—
712	960	66	—
627	765	60	—
555	633	55	120
495	540	50	117
444	472	46	115
401	420	42	113
363	375	38	110
331	339	35	109
302	305	32	107
277	279	29	104
255	256	25	102
235	235	22	99
217	217	18	96
202	202	15	94
187	187	10	91
174	174	7	88
163	163	3	85
153	153	—	82
143	143	—	79
134	134	—	76
126	126	—	72
118	118	—	69
112	112	—	66
105	105	—	62
99	99	—	59
95	95	—	56

FASI DELLE PROVE HRB E HRC



memo

Secondo le norme UNI per le prove Brinell, Vickers e Rockwell **i valori delle durezze sono privi di unità di misura**, cioè sono dei numeri puri; ciò nonostante siano stati ricavati da misure in N, in mm o in mm^2.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Ferro e sue leghe

FERRO

Metallo molto diffuso in natura, ha un ruolo centrale nei prodotti industriali. Allo stato puro è quasi introvabile e di nessuna applicazione industriale; è invece abbondante sotto forma di composti quali ossidi (*ruggine*), idrossidi, carbonati e solfuri. Questi composti sono presenti in molti minerali, che sono utilizzabili per la produzione industriale solo quando sono ricchi di ferro; tra questi rientrano la magnetite, la siderite, la limonite e l'ematite.

Il ferro (simbolo **Fe**) a seconda della temperatura presenta tre *forme allotropiche*:

- **ferro** α (stabile sotto 910 °C), che cristallizza con cella cubica a corpo centrato e non presenta alcuna legabilità con il carbonio;
- **ferro** γ (stabile tra 910 e 1390 °C), con cella cubica a facce centrate, che lega bene con il carbonio;
- **ferro** δ (stabile tra 1390 e 1535 °C), con cella cubica a corpo centrato, che lega con il carbonio meno del ferro γ.

La **siderurgia**, cioè la produzione industriale di materiali a base di ferro, realizza *leghe ferro-carbonio*, che per la percentuale di carbonio (simbolo **C**) sono riconducibili a:

- **ghise** (con 2,06 ÷ 6,67% di C);
- **acciai** (con 0,07 ÷ 2,06% di C);
- **ferro** (con C < 0,07%).

È da notare che comunemente viene chiamato «ferro» un acciaio dolce, cioè a basso tenore di C, utilizzato per prodotti (cancellate, ecc.) con scarse prestazioni meccaniche, ma facilmente lavorabile. Al crescere della percentuale di carbonio gli acciai diventano sempre più resistenti e duri, perdendo gradualmente la lavorabilità.

Le ghise sono molto dure e fragili, con mediocre resistenza a trazione, ma sono molto adatte alla realizzazione di getti di fusione.

MINERALI DI FERRO

Il processo siderurgico utilizza come materia prima i **minerali di ferro**. Per essere tali i minerali devono avere le seguenti caratteristiche:

- notevole contenuto di ferro;
- conveniente separabilità del ferro con procedimenti industriali;
- percentuale ridotta di impurità e sostanze nocive.

Sono pertanto utilizzati i **minerali ricchi** (con Fe oltre il 40%) e con notevole **grado di purezza**, cioè privi di elementi di difficili da separare e nocivi, come lo zolfo, l'arsenico, il rame.

EMATITE. È un sesquiossido ferrico (Fe_2O_3) con percentuale di ferro tra il 45% e il 60%. Ha aspetto lucente, colore grigio-nero o rossastro (ematite rossa) e struttura fibrosa o romboedrica.

MAGNETITE. Ossido ferroso ferrico (Fe_3O_4) contiene tra il 50% e il 70% in ferro; ha aspetto lucente, di color nero, con struttura granulosa. È spesso un magnete naturale (donde il nome).

LIMONITE. Ossido di ferro idrato ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), ha un contenuto del 50% in ferro; è poco lucente, con struttura compatta o fibrosa, di colore bruno (giallo se ridotta in polvere).

Ematite, minerale ferroso.

SIDERITE. Carbonato di ferro ($FeCO_3$) con ferro al 40%, lucentezza madreperlacea, colore dal giallo al bruno, struttura granulare.

Prima di essere avviati all'altoforno per iniziare il processo siderurgico, i minerali vengono debitamente *preparati* (frantumazione, vagliatura, omogeneizzazione) e *miscelati* con **carbon coke** e **fondente**.

PROCESSO SIDERURGICO

Preparazione delle materie prime

La materia prima del processo è costituita, come già accennato, da minerale di ferro miscelata a coke e fondente.

Il **carbon coke** (detto anche *coke metallurgico*) ha un ruolo fondamentale sia come combustibile sia perché il carbonio da esso liberato entra attivamente nei processi chimici di riduzione e nella carburazione del ferro (lega ferro-carbonio).

Il **fondente** serve a reagire con le impurità (*ganga*) presenti nel minerale e ottenere composti che fondano facilmente, ottenendo scorie (chiamate *loppe*) separabili dal ferro. A seconda delle impurità del minerale si usano fondenti calcarei o dolomitici se la ganga è silicea, fondenti argillosi in caso di ganga calcarea.

La miscelazione delle materie prime avviene secondo rapporti precisi determinati dalla qualità del minerale di ferro. Talvolta la miscelazione si realizza per *agglomerazione* di polvere di minerale con fondente e coke portati a temperatura elevata (circa 1000 °C) o per pelletizzazione. Questo è un particolare processo di agglomerazione che porta alla formazione di pallottole (in inglese *pellet*) di notevole porosità e quindi meglio utilizzabili nei processi dell'altoforno.

Trasformazione in ghisa

La miscela di minerale, coke e fondente viene avviata all'altoforno dal quale escono **ghisa greggia**, **scorie** e fumi. La ghisa greggia (o *ghisa di prima fusione*) viene:

- avviata allo stato fuso all'acciaieria mediante enormi carri-siluro per essere trasformata in acciaio;
- oppure colata in pani e raffreddata, per essere quindi nuovamente fusa con rottami di ferro, ottenendo ghisa (*ghisa di seconda fusione*) utilizzata in processi di fonderia.

Affinazione della ghisa in acciaio

Nell'acciaieria la ghisa greggia viene trasformata in acciaio con processi di riduzione della percentuale di carbonio (convertitori, forni, ecc.).

Prodotti semilavorati

L'acciaio allo stato liquido può essere:

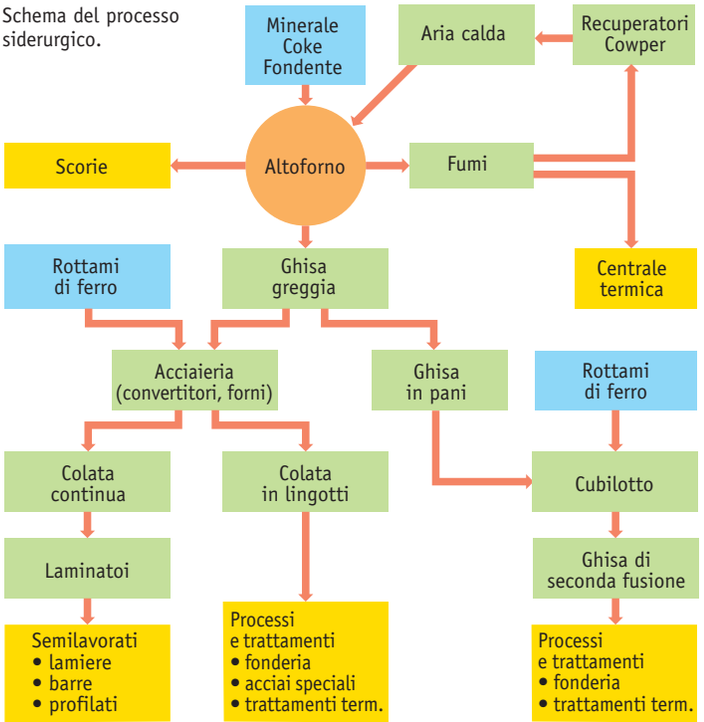
- colato mediante *siviera* (grande contenitore a forma di secchio) in **lingotti** e raffreddato per essere avviato ad altri stabilimenti in cui subisce ulteriori processi e trattamenti;
- versato mediante siviere in *lingottiera senza fondo* che alimenta un processo di **colata continua**, che crea un nastro d'acciaio trasportato su rulli, progressivamente raffreddato e modellato da laminatoi sotto forma di *semilavorati* (lamiere, barre e profilati).

Rispetto alla trasformazione dei lingotti (da riscaldare nuovamente per lavorazioni a caldo) si è di fatto imposto il processo di colata continua per l'evidente economicità.

Quando il processo siderurgico da materie prime a prodotti semilavorati avviene in uno stesso complesso di impianti si parla di **ciclo siderurgico integrale**.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Schema del processo siderurgico.



ALTOFORNO

Struttura

È un forno di notevole altezza (30÷40 m senza le sovrastrutture) a forma di anfora allungata, realizzata in una corazza d'acciaio rivestita internamente con 60÷100 cm di materiale refrattario, affinché resista alle altissime temperature.

L'altoforno funziona a ciclo continuo (24 ore su 24) per anni; le sue notevoli dimensioni consentono produzioni di ghisa per più di 1 000 000 di tonnellate l'anno.

Il forno viene caricato dall'alto mediante nastro elevatore che scarica le materie prime nella **bocca di carico**. Di qui le materie prime scendono, mediante dispositivi di apertura e chiusura (*campana piccola* e *campana grande*), nel **tino**, di forma tronco-conica con base maggiore in basso.

Nel tino la carica si deposita scendendo gradualmente verso la parte inferiore, sempre più riscaldata, di forma cilindrica e chiamata **ventre**.

Qui inizia la fusione che si completa nella **sacca**, di forma tronco-conica con base maggiore in alto e rivestita di un ulteriore strato di refrattario particolarmente resistente; qui si raggiunge una temperatura di 1800 °C grazie a potenti getti d'aria calda, portata da un *collettore* e immessa mediante numerose *maniche* e *tubiere*.

Vista esterna di un altoforno.

La ghisa fusa e le scorie si depositano nella zona inferiore, chiamata **crogiolo**, raffreddata da circolazione esterna d'acqua.

Di qui si possono scaricare le scorie e la ghisa mediante separati fori di colata: più in alto quello delle scorie, più leggere della ghisa, più in basso quello della ghisa.

Trasformazioni chimiche

All'interno dell'altoforno le materie prime nella discesa verso il crogiolo incontrano una massa di gas a temperatura crescente e subiscono una serie di trasformazioni fisico-chimiche.

Nel tino il minerale è investito da una corrente di ossido di carbonio (CO) prodotto dalla combustione del coke; si innesca una reazione di **riduzione indiretta** (sottrazione di ossigeno a opera di un composto del C):

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightleftarrows 2Fe + 3CO_2$$

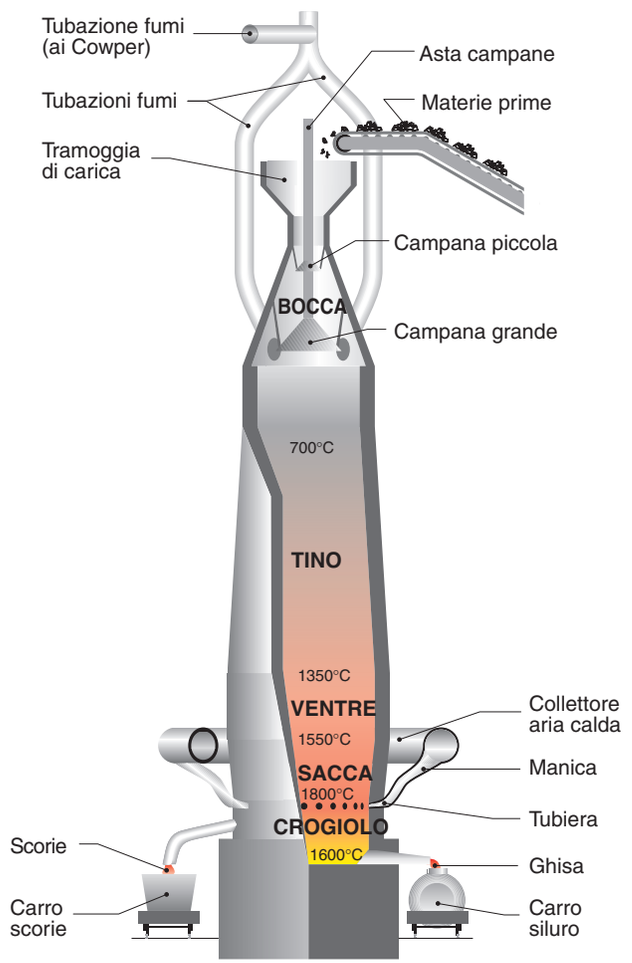
Il ferro acquista una struttura spugnosa, in grado di subire un contatto intimo con il carbonio. Questo contatto si verifica nella parte inferiore del tino (circa 1350 °C), dove il minerale subisce una **riduzione diretta** (sottrazione di ossigeno operata direttamente dal C):

$$Fe_2O_3 + 3C \rightleftarrows 2Fe + 3CO$$

Nel ventre (1500 °C) la ganga (impurità del minerale) subisce riduzioni e reagisce con il fondente; inizia la fusione del ferro che comincia ad assorbire carbonio (**carburazione**) e forma *cementite* (carburo di ferro):

$$3Fe + 2CO \rightleftarrows Fe_3C + CO_2$$

Nella sacca i getti d'aria elevano ulteriormente la temperatura (1800 °C); si completano le reazioni che portano alla formazione



Struttura schematica di un altoforno.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

delle scorie, tutto il materiale fonde colando verso il crogiolo.

Nel crogiolo si depositano la ghisa (in basso perché più pesante) e le scorie; questi prodotti dell'altoforno vengono separati spillandoli attraverso fori disposti ad altezze diverse.

PRODOTTI D'ALTOFORNO

L'altoforno produce:

- ghisa greggia;
- scorie;
- fumi.

Ogni 4-5 ore dal crogiolo si scarica una colata di 200÷400 tonnellate di **ghisa greggia**; questa, a seconda della destinazione, viene distinta in *ghisa da affinazione* e *ghisa da fonderia*. La prima viene trasportata verso gli impianti di affinazione (acciaieria), che la trasformano in acciaio. La seconda, invece, viene colata in pani e raffreddata per essere avviata in fonderia, dove viene rifusa insieme a rottami di ferro in forni (detti *cubilotti*) e trasformata in ghisa per getti di fusione (*ghisa di seconda fusione*).

L'altoforno produce **scorie** (o *loppe*) per 100÷200 tonnellate ogni colata. Le scorie sono utilizzate per realizzare mattonelle, blocchi per pavimentazioni stradali, pietrisco, lana isolante (lana di loppa), cemento.

I **fumi d'altoforno** sono prodotti dalla combustione interna e sono costituiti da azoto, ossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO_2), idrogeno e polveri di varie impurità. Dalle aperture presenti nella bocca dell'altoforno, i fumi vengono avviati mediante tubazioni a impianti di recupero del calore; i fumi, infatti, possiedono un potere calorico (3600 kJ/m^3) che viene sfruttato

- per riscaldare l'aria da soffiare nell'altoforno;
- per alimentare la centrale termoelettrica.

I fumi vengono depurati delle polveri, mediante procedimenti a secco, umidi o elettrici, e avviati in parte (circa 2/3) alla centrale elettrica, per il resto verso recuperatori chiamati **torri di Cowper**.

Queste sono grandi cilindri coperti da una cupola (altezza 20÷40 m, diametro 3÷6 m) che funzionano da *scambiatori di calore* tra il gas uscito dall'altoforno e l'aria da immettere in esso. In questo processo l'aria viene scaldata a circa 1200 °C e avviata sotto pressione verso il collettore che circonda l'altoforno.

Mediante numerose tubiere (24÷30) l'aria calda viene soffiata nella sacca dell'altoforno con una velocità di circa 200 m/s e una pressione di 100 kPa; essa partecipa attivamente alla combustione (come comburente del carbonio) e alle reazioni chimiche di ossidazione, pertanto contribuisce in modo primario alla funzionalità dell'altoforno.

GHISA

Oltre che come materia prima per la produzione dell'acciaio, la ghisa greggia viene utilizzata per ottenere ghisa di seconda fusione (ghisa vera e propria). Questa trasformazione avviene, come già accennato, con una rifusione in cubilotti.

Caratteristiche

La ghisa è una lega del ferro con percentuale di carbonio tra il 2% e il 6%, ma che in generale si aggira sul 3,5%.

La presenza del carbonio, sia combinato con il ferro sotto forma di carburo (F_3C), sia libero sotto forma di grafite, è determinante per le sue proprietà.

Le proprietà meccaniche della ghisa sono:

- scarsa resistenza a trazione (120÷180 N/mm^2);
- buona resistenza a compressione (600÷700 N/mm^2);
- mediocre resistenza a flessione (200÷300 N/mm^2);
- notevole durezza a seconda dei tipi (160÷400 HB).

Le proprietà tecnologiche sono:

- mediocre truciolabilità;
- nessuna malleabilità sia a caldo sia a freddo;
- ottima fusibilità.

Quest'ultima proprietà tecnologica rende la ghisa particolarmente adatta a getti di fusione di notevole complessità e ottima compattezza; basamenti di macchine utensili, monoblocchi di motori, oggetti di arredo urbano sono spesso getti in ghisa.

Oggetto d'arredo urbano in ghisa.

Rapporto grafite-cementite

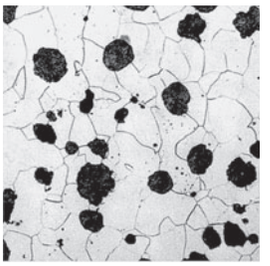
La distribuzione del carbonio sotto forma elementare (grafite) oppure combinato con il ferro (cementite, F_3C) determina le diverse caratteristiche delle ghise.

Il lento raffreddamento della ghisa durante la solidificazione determina una presenza notevole di grafite che, oltre a darle un aspetto grigio, può cristallizzare in forma lamellare; la **grafite lamellare** crea una discontinuità strutturale che diminuisce la resistenza a trazione. Migliore resistenza meccanica possiede la ghisa se la grafite ha struttura sferoidale (**grafite sferoidale**).

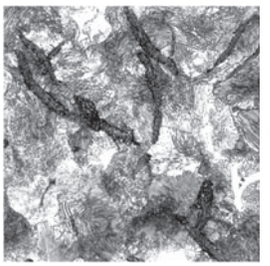
Al contrario il brusco raffreddamento della ghisa causa una presenza del carbonio prevalentemente sotto forma di **cementite**, durissima e fragile.

La distribuzione complessiva e locale della grafite e della cementite può essere modificata con trattamenti termici che alterano proprietà meccaniche e tecnologiche della ghisa.

In base alla distribuzione del carbonio si distinguono diversi tipi di ghise.



Ghisa a grafite lamellare.



Ghisa a grafite sferoidale.

Ghise bianche

L'alta presenza di cementite fornisce una aspetto bianco argenteo, altissima durezza (400 HB) e fragilità. Vengono utilizzate per manufatti particolarmente resistenti a usura come ruote di carrelli e cilindri di laminazione. Sono lavorabili solo per fusione e molatura.

I getti di ghisa bianca non legata con altri elementi sono designati con la sigla EN-GJN a cui segue l'indicazione di una caratteristica meccanica, quale il valore della durezza, per esempio *EN-GJN-HV350*; se la ghisa bianca è legata con altri elementi, alla designazione precedente seguono tra parentesi i simboli degli elementi significativi di lega, preceduti dal simbolo X, per esempio *EN-GJN-HV600(XCr14)*, ghisa bianca ad alto tenore di cromo.

Ghise grige

A seconda della cristallizzazione della grafite sono distinte a loro volta in:

- **ghise grige per getti**, molto utilizzate in fonderia, presentano grafite che ne riduce la resistenza a trazione (100÷350 N/mm^2) e la durezza (155÷255 HB); sono invece abbastanza resistenti a compressione e lavorabili alla macchina utensile. Vengono designate dalla sigla EN-GJL seguita da una indicazione di proprietà meccaniche, quali durezza o resistenza a trazione, per esempio *EN-GJL-150*;
- **ghise sferoidali**, caratterizzate dalla presenza di grafite a struttura sferoidale che

glossario

Grafite: è carbonio impuro, in forma cristallizzata, molto tenero e untuoso, ottimo conduttore di elettricità. Per queste caratteristiche è usato per elettrodi, mine di matite, lubrificazioni a secco.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

ne migliora le prestazioni meccaniche ($R_m = 350 \div 900$ N/mm²) e la lavorabilità, mantenendo ottima fusibilità. Sono impiegate ampiamente per organi meccanici, strutture di macchine utensili, grosse tubazioni. Vengono designate dalla sigla EN-GJS seguita dai valori della resistenza a trazione e dell'allungamento percentuale: per esempio *EN-GJS-350-17* indica che la ghisa possiede $R_m = 350$ N/mm² e un allungamento del 17%.

Ghise malleabili

Sono ottenute da ghise bianche con trattamento termico di ricottura, allo scopo di rendere la ghisa più resiliente e lavorabile per deformazione. Sono utilizzate per ottenere parti di autovetture, mezzi ferroviari, macchinari elettrici. A seconda delle modalità con cui si realizza il trattamento termico le ghise malleabili si distinguono in:

- **ghisa malleabile a cuore bianco** (sigla MW);
- **ghisa malleabile a cuore nero** (sigla MB).

Esse vengono designate con le sigle EN-GJMW e EN-GJMB seguite dai valori della resistenza a trazione e dell'allungamento percentuale, per esempio *EN-GJMW-350-4*.

Ghise speciali

Sono ottenute con particolari metodi e con aggiunta di elementi quali il nichel, il cromo e il molibdeno. Si ottengono ghise con elevata resistenza meccanica oppure con alta resistenza al calore o anche all'abrasione. Sono utilizzate per scopi specifici quali macchine di frantumazione e macinazione, forni, motori.

ACCIAIO

L'acciaio è una lega del ferro con percentuale massima di carbonio del 2%; nella pratica industriale, però, non si supera l'1% di carbonio. È il materiale più importante nelle applicazioni industriali per le sue proprietà:

- tecnologiche (malleabile e duttile, truciolabile e saldabile, lavorabile a caldo e a freddo, temprabile, ma di modesta fusibilità);
- meccaniche (ottima resistenza a tutte le sollecitazioni statiche e dinamiche, elevabile con trattamenti termici).

Punto debole degli acciai comuni è l'ossidabilità (formazione di ruggine), che viene ridotta o eliminata negli acciai inossidabili.

Gli acciai con sola presenza di ferro e carbonio sono chiamati **acciai non legati**, mentre quelli con percentuali anche significative di altri elementi sono detti **acciai legati**.

L'acciaio si ottiene dalla ghisa greggia mediante **affinazione**, che ha i seguenti scopi:

- *decarburazione* (riduzione del tenore di carbonio) dal 3-5% fino allo 0,07-2%;
- *riduzione delle sostanze indesiderate* (manganese, silicio, fosforo);
- *eliminazione di gas* (CO, H, N);
- *disossidazione* degli ossidi di ferro.

Il processo di affinazione può essere integrato da aggiunta di altre sostanze per ottenere acciai legati.

PRODUZIONE DELL'ACCIAIO

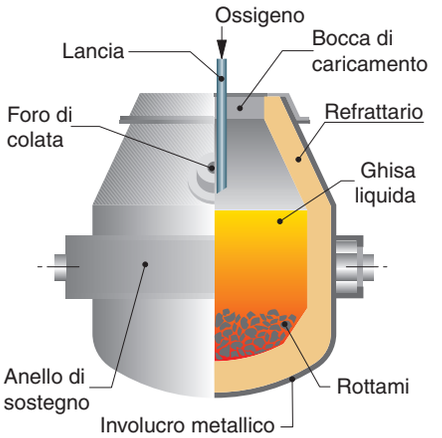
Gli storici metodi di conversione della ghisa in acciaio (**convertitore Bessemer**, **convertitore Thomas** e **forno Martin Siemens**) hanno ceduto il passo agli attuali procedimenti riconducibili a:

- convertitori a ossigeno (metodo LD e metodi derivati);
- forni elettrici.

Convertitore a ossigeno LD

Il procedimento LD (Linz Donawitz), messo a punto alla metà del Novecento nelle acciaierie austriache di Linz e di Donawitz, utilizza un convertitore di forma cilindrica, rastremato verso la bocca di carica superiore; rivestito internamente di refrattario e provvisto di foro di colata, il convertitore può ruotare intorno all'asse orizzontale mediante un sistema motorizzato.

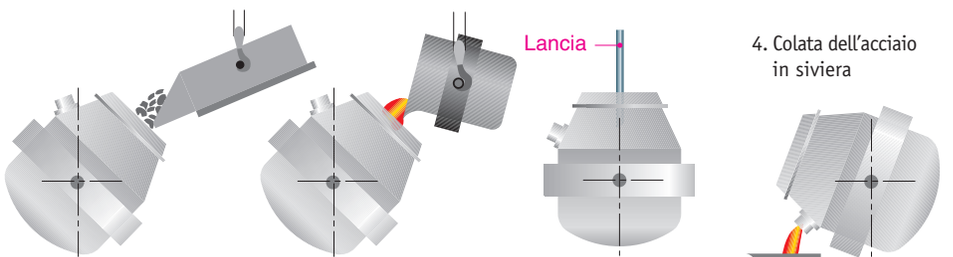
Il procedimento LD prevede la carica di rottami e di fondenti sui quali si versa mediante siviera la ghisa liquida. La presenza dei fondenti ha lo scopo di favorire la depurazione della ghisa mediante formazione di scorie, mentre i rottami hanno lo scopo essenziale di contenere il potente innalzamento di temperatura durante la combustione.



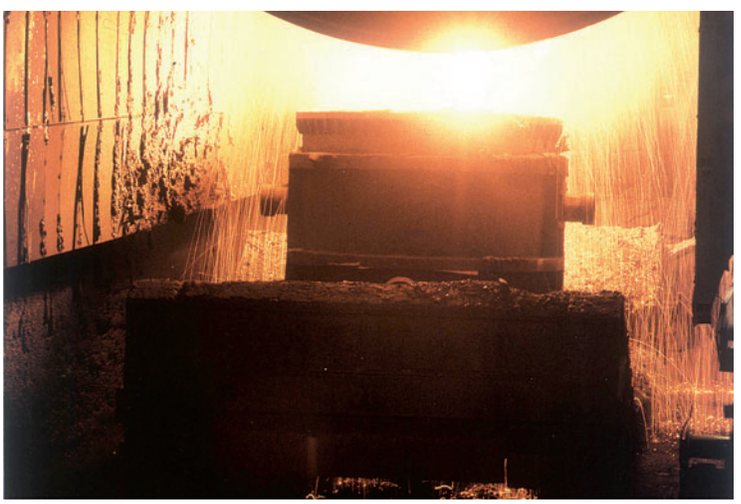
Struttura schematica di un convertitore LD.

In posizione verticale nella bocca del convertitore viene inserita una lancia (lungo tubo) che immette ossigeno puro per 15-20 minuti. L'ossigeno crea *reazioni esotermiche* che portano la temperatura a 2000 °C. Il controllo della composizione, mediante prelievo e analisi di un campione, precede la colata mediante rotazione del convertitore.

Il procedimento LD è molto diffuso perché consente di ottenere grandi quantità di acciaio (circa 300 t per ogni colata, con intervalli di 1 ora), ma soprattutto acciaio di qualità costante nella composizione desiderata.



1. Caricamento di rottami
2. Caricamento della ghisa fusa
3. Soffiaggio di ossigeno attraverso la lancia

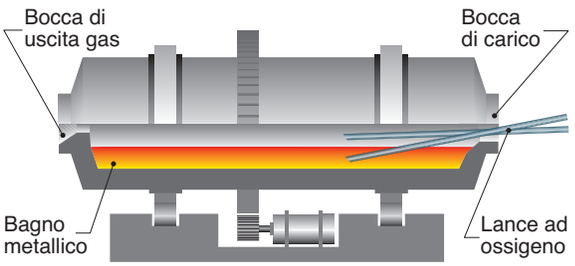


Convertitore LD durante la colata.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Procedimenti derivati dal convertitore LD sono:

- il **procedimento Kaldo**, che usa un convertitore simile al convertitore a ossigeno LD, ma in grado di ruotare anche sul proprio asse a una buona velocità (30 giri/minuto). La rotazione, realizzata con un angolo di circa 20° sull'orizzontale, durante il soffiaggio dell'ossigeno favorisce l'ossidazione del carbonio e la sua liberazione;
- il **procedimento Rotor**, che utilizza un convertitore cilindrico con asse orizzontale e rotante intorno al proprio asse. Da un'apertura sulla base si può caricare il materiale e immettere due lance per l'ossigeno, una immersa nel bagno di ghisa, l'altra sopra la superficie del bagno stesso; dall'altra apertura escono i gas. Con questo metodo si ottiene l'ossidazione del carbonio in CO e quindi in CO_2, con innalzamento termico che consente l'utilizzo di un maggior quantitativo di rottami (fino al 60%).



Struttura schematica del convertitore Rotor.

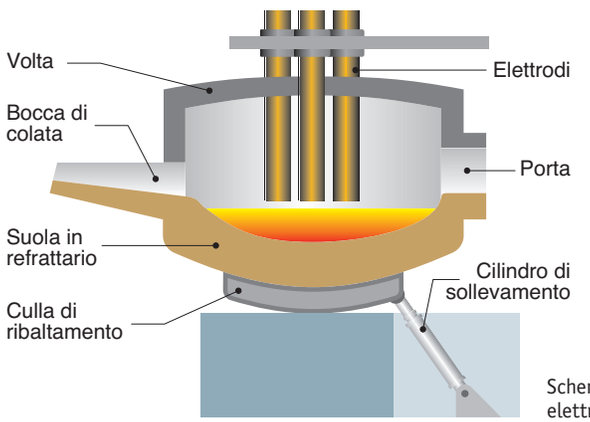
Forno elettrico ad arco

È un **metodo a carica solida**, cioè sfrutta rottami di acciaio, di origine industriale o di recupero (carcasse di auto, elettrodomestici, ecc.).

La fusione della carica è causata dal calore creato dall'**arco voltaico** che scocca tra la carica e gli elettrodi inseriti nel forno. La fusione avviene in assenza di combustione e quindi in ambiente scarsamente ossidante, con grande vantaggio per la qualità dell'acciaio prodotto.

I forni ad arco, ormai molto diffusi, hanno un alto rendimento e una grande flessibilità, che consente di produrre acciai di qualità molto definita e dei tipi più diversi. Possono avere dimensioni contenute (5-20 t) oppure notevoli (fino a 100 t per ogni colata), con 8-10 colate al giorno.

Il forno è costituito da un cilindro metallico rivestito internamente di refrattario, con una *suola* (parte inferiore del rivestimento) non conduttrice; la *volta* di copertura, in refrattario siliceo, è rimovibile per consentire l'immissione dei rottami. Nella volta sono inseriti tre *elettrodi* di grafite (∅ 100÷600 mm) di altezza regolabile in modo da trovarsi a distanza costante dalla carica.



Schema di forno elettrico ad arco.

glossario

Arco voltaico: è una potente scarica elettrica tra elettrodi con notevole differenza di potenziale. Nella tecnologia meccanica questo fenomeno viene sfruttato anche nella saldatura ad arco.

Forno elettrico ad arco.

Il forno è provvisto anteriormente di una *bocca di colata* e posteriormente di una *porta* per la carica di fondenti o additivi e per la rimozione delle scorie. Tutto il complesso è poggiato su una *culla di ribaltamento*, azionata da *cilindri di sollevamento*, per realizzare la colata.

COLATA DELL'ACCIAIO

Al termine della fabbricazione con i diversi metodi precedentemente descritti, l'acciaio deve essere avviato verso gli impianti che lo trasformano in semilavorati.

Ciò si attua mediante colata dal forno o convertitore in **siviera**, grande contenitore metallico rivestito internamente di refrattario. Le siviere utilizzate per la colata hanno sul fondo un dispositivo di apertura per spillare il metallo liquido.

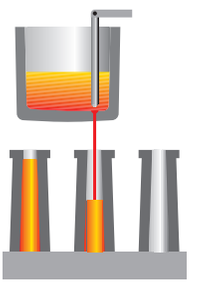
L'acciaio liquido, mediante carro-ponte, viene quindi trasportato verso **lingottiere**, forme metalliche in cui il metallo viene raffreddato e assume la forma di lingotti. I sistemi per realizzare la colata sono:

- colata in lingottiera;
- colata continua.

Colata in lingottiera

Le lingottiere in questo caso sono molteplici e disposte in batteria in una zona chiamata **fossa di colata**. Su ognuna di esse si ferma la siviera, versa la giusta quantità di acciaio fuso e passa alla successiva lingottiera. Questo **metodo per colata diretta** consiste in operazioni delicate da eseguire con destrezza e attenzione.

Per ovviare alle difficoltà di questo metodo, si preferisce spesso colare l'acciaio liquido in una sola lingottiera particolare (detta *colonna*) che, tramite il fondo aperto e canali di refrattario, comunica con diverse lingottiere (in numero di 4-8). Questo **metodo per colata in sorgente** consente di ridurre le colate alle sole colonne.

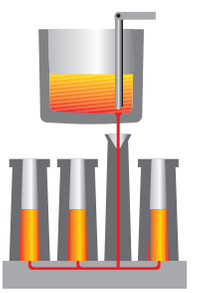


Colata diretta

I lingotti d'acciaio solidificato devono quindi essere estratti dalle lingottiere; per facilitare questa estrazione le lingottiere hanno forma conica, ma è comunque necessario l'intervento di appositi estrattori che eseguano l'operazione di **strippaggio** (dall'inglese *strip* = togliere via).

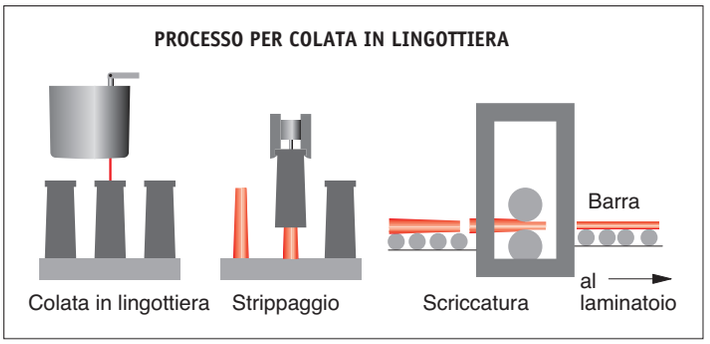
Successivamente i lingotti vengono liberati della crosta superficiale, in genere carica di sostanze ossidate e di cricche (fratture), con l'operazione di **scriccatura**, realizzata con macchinari appositi che si servono di mole o di raggi laser.

In seguito i lingotti vengono avviati alla **laminazione** per ricavarne i semilavorati; se questa operazione avviene a caldo, i lingotti devono prima passare attraverso i **forni di riscaldo**.



Colata in sorgente

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone



Colata continua

Questo sistema si è molto diffuso perché decisamente vantaggioso rispetto alla colata in lingottiera.

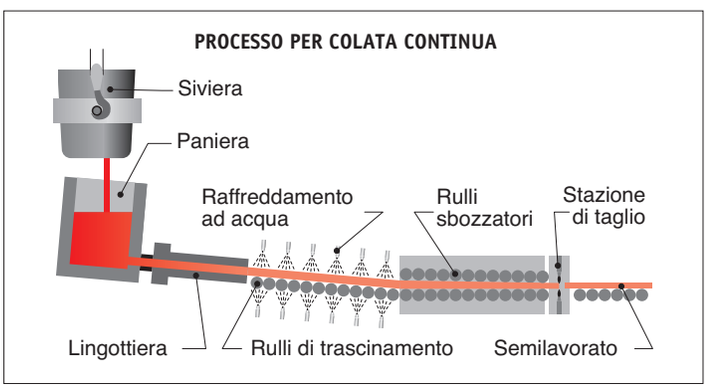
La siviera (anche di grandi dimensioni) scarica il metallo fuso in una paniera, grosso contenitore che regola il flusso di distribuzione dell'acciaio verso una o più lingottiere senza fondo.

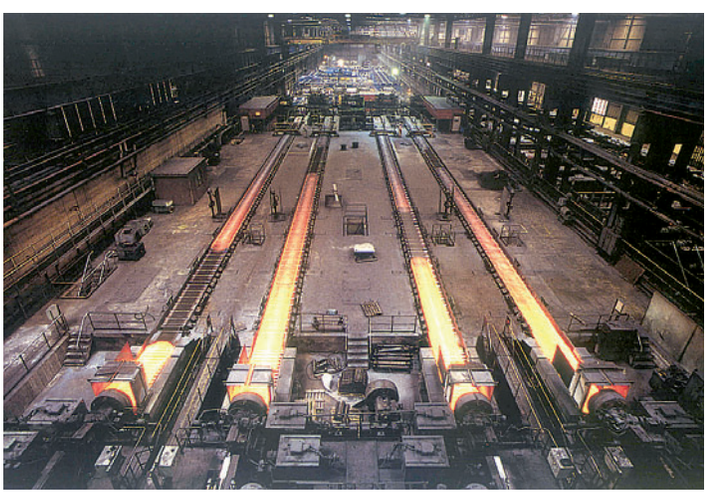
Queste sono sostanzialmente dei tubi di rame, intensamente raffreddati ad acqua, che avviano la barra continua (a sezione quadrata) verso rulli trasportatori. Per favorire il distacco la lingottiera è poggiata su un piano oscillante.

Durante il trasporto la barra (detta *billetta*) viene intensamente raffreddata da getti d'acqua e modellata progressivamente fino a raggiungere la forma e le dimensioni desiderate.

Al termine del percorso la billetta viene tagliata (con segatrici o cannelli) e avviata al raffreddamento.

I vantaggi della colata continua sono evidenti: sono eliminate operazioni complesse di colata in lingottiera, di strippaggio con conseguenti perdite di materiale, di riscaldo dei lingotti; al termine del processo di colata continua si hanno prodotti semilavorati a sezione costante (billette, blumi, ecc.).





Visione panoramica di linee produttive per colata continua.

SEMILAVORATI IN ACCIAIO

Il processo siderurgico produce semilavorati in acciaio classificati secondo le forme e le dimensioni.

Sono distinti in:

- semilavorati a sezione quadrata o rettangolare;
- laminati lunghi;
- laminati piatti;
- trafilati.

Semilavorati a sezione quadrata o rettangolare

- **Blumi**, a sezione quadrata di lato > 120 mm, oppure rettangolare di area > 14 400 mm² e con rapporto tra i lati = 1÷2.
- **Billette**, a sezione quadrata di lato 50÷120 mm, oppure rettangolare di area 2500÷14 400 mm² e con rapporto tra i lati = 1÷2.
- **Bramme**, a sezione rettangolare con spessore ≥ 50 mm e con rapporto tra i lati ≥ 2.
- **Bidoni**, a sezione rettangolare di larghezza ≥ 150 mm e spessore 6÷50 mm.

Laminati lunghi

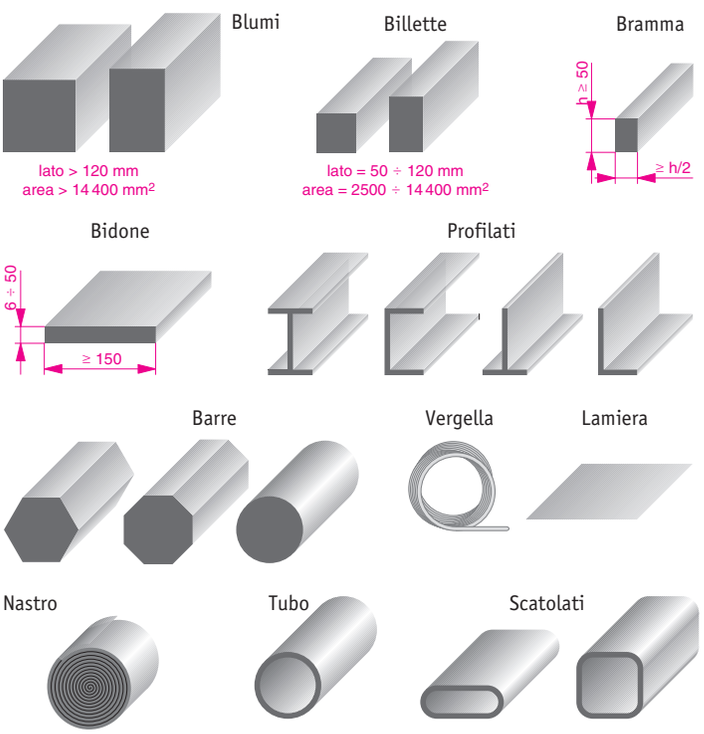
- **Profilati**, di altezza ≥ 80 mm, con sezione di varie forme (a T, doppio T, L, U, ecc.).
- **Barre**, a sezione tonda, quadrata, esagona, ottagona oppure piatte.
- **Vergelle**, con sezione circolare, quadra, di dimensione ≥ 5 mm; sono avvolte in matasse. Sono utilizzate per staffe del cemento armato, nelle reti elettrosaldate, ecc.

Laminati piatti

- **Lamiere**, distinte in lamiere sottili (spessore < 3 mm) o lamiere grosse (spessore ≥ 3 mm).
- **Nastri**, distinti in nastri larghi (larghezza ≥ 600 mm) o nastri stretti (larghezza < 600 mm).

Trafilati

- **Tubi**, di diametro 6÷620 mm e spessore 0,5÷40 mm.
- **Scatolati**, con sezione di varie forme e dimensioni.
- **Fili**, con sezioni diverse e di dimensione < 5 mm; sono avvolti in bobine.



Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

In base alla composizione gli acciai vengono distinti in classi definite dalla tabella UNI EN 10020. Se nell'acciaio sono presenti elementi in quantità superiore o minore a limiti specificati, si distinguono tre grandi classi:

- acciai non legati;
- acciai inossidabili;
- acciai legati.

Acciai non legati

In base alla qualità sono distinti nelle seguenti classi:

- **acciai di base non legati**, per i quali non è richiesta alcuna prescrizione (trattamenti termici, attitudini alla lavorabilità). Sono qualificati da caratteristiche meccaniche (resistenza a trazione, allungamento minimo) e chimiche (tenore massimo di carbonio, fosforo e zolfo);
- **acciai di qualità non legati**, per i quali sono richieste una definita composizione e precise attitudini alle lavorazioni;
- **acciai speciali non legati**, che hanno definizioni e purezza superiori rispetto agli acciai di qualità. Sono in genere destinati a trattamenti termici (tempra, ecc.).

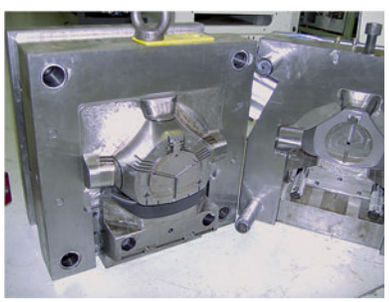
Acciai inossidabili

Questa classe di acciai è caratterizzata da una composizione chimica con almeno il 10,5% di cromo e con un massimo di 1,2% di carbonio.

Acciai legati

Le classi qualitative degli acciai legati sono:

- **acciai di qualità legati**, per i quali viene specificata la composizione. In generale sono destinati a trattamenti termici;



Stampo in acciaio inossidabile.

memo

La normazione ai vari livelli è distinta dalle sigle:

- **UNI** (Ente Nazionale Italiano di Unificazione);
- **EN** (norma emanata dal CEN, Comitato Europeo Normazione);
- **ISO** (International Standardization Organization).

Pertanto le norme **UNI EN** o quelle **UNI ISO** sono norme emanate dalla UNI in adozione di quelle EN oppure ISO.

- **acciai speciali legati**, con precisa definizione della composizione e delle caratteristiche di impiego. Tra questi acciai rientrano gli *acciai rapidi* (per utensili).

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI

Per la designazione simbolica degli acciai le norme UNI EN 10027-1 prevedono la distinzione in due gruppi.

- **Gruppo 1** - *Acciai designati in base al loro impiego e alle loro caratteristiche meccaniche o fisiche*;
- **Gruppo 2** - *Acciai designati in base alla loro composizione chimica*.

Gruppo 1

La designazione prevede una lettera seguita da un numero:

- la lettera indica l'**impiego**;
- il numero indica il valore del **carico unitario di snervamento** minimo garantito in N/mm^2.

La designazione *deve essere preceduta dalla lettera **G** quando l'acciaio è fornito sotto forma di **getto***. Alcune lettere indicanti gli impieghi sono riportate in tabella.

SIMBOLO	IMPIEGO
S	Impiego strutturale
P	Impiego sotto pressione
L	Tubi di condutture
E	Costruzioni meccaniche
B	Cemento armato
Y	Cemento armato precompresso

Esempi di designazione: S 320 = acciaio per impieghi strutturali, con carico di snervamento minimo di 320 N/mm^2; G E 360 = acciaio sotto forma di getto, impiegato per costruzioni meccaniche, con carico di snervamento minimo di 360 N/mm^2.

Gruppo 2

La designazione in base alla composizione chimica prevede quattro sottogruppi.

Gruppo 2.1 - **Acciai non legati con tenore medio di manganese < 1%**. Sono indicati (nell'ordine riportato) con:

- la lettera **C**;
- un numero pari al *tenore medio di carbonio **moltiplicato per 100***.

Cuscinetto a rulli cilindrici in acciaio speciale legato.

Esempi: *C14* = acciaio con 0,14% di carbonio; *C40* = acciaio con 0,40% di carbonio.

Gruppo 2.2 - **Acciai non legati con tenore medio di manganese ≥ 1% e acciai legati con elementi di lega singolarmente presenti con tenori < 5%**. Sono indicati (nell'ordine riportato) con:

- il *tenore di carbonio **moltiplicato per 100***;
- i ***simboli chimici** dei singoli elementi di lega*;
- il ***tenore** dei singoli elementi di lega* (moltiplicato per i fattori riportati in tabella).

FATTORI DEI TENORI DEGLI ELEMENTI DI LEGA

ELEMENTO	FATTORE
Cromo (Cr), cobalto (Co), manganese (Mn), nichel (Ni), silicio (Si), tungsteno (W)	4
Alluminio (Al), berillio (Be), rame (Cu), molibdeno (Mo), niobio (Nb), piombo (Pb), tantalio (Ta), titanio (Ti), vanadio (V), zirconio (Zr)	10
Azoto (N), cerio (Ce), fosforo (P), zolfo (S)	100
Boro (B)	1000

Esempi: *18 Ni Cr 16* = acciaio con 0,18% di carbonio, nichel 4% (16 : 4 = 4), cromo in quantità non specificata; *G 90 Cr 4* = acciaio sotto forma di getto con 0,90% di carbonio e cromo 1% (4 : 4 = 1).

Gruppo 2.3 - **Acciai legati con almeno un elemento in quantità > 5%**. La designazione comprende (nell'ordine riportato):

- la lettera **X**;
- il *tenore di carbonio **moltiplicato per 100***;
- i ***simboli chimici** dei singoli elementi di lega* (in ordine decrescente dei rispettivi tenori);
- il ***tenore** dei singoli elementi di lega* (separati da trattini).

Esempi: *X 200 Cr 13* = acciaio con 2% di carbonio e 13% di cromo; *X 10 Cr Ni 10-8* = acciaio con 0,10% di carbonio, 10% di cromo e 8% di nichel.

Gruppo 2.4 - **Acciai rapidi**. La designazione comprende (nell'ordine riportato):

- le lettere **HS**;
- il ***tenore** degli elementi di lega*, nell'ordine: tungsteno (W), molibdeno (Mo), vanadio (V) e cobalto (Co).

Utensili in acciaio rapido.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Materiali non ferrosi

ALLUMINIO E SUE LEGHE

L'alluminio (simbolo **Al**) è molto diffuso in natura sotto forma di idrossido (*bauxite*) e nelle applicazioni industriali, che lo rendono il più importante dei metalli non ferrosi.

Caratteristiche

È un metallo leggero, con ottima conduttività termica ed elettrica, temperatura di fusione relativamente bassa (659 °C). Si ossida facilmente sotto forma di *allumina* (Al_2O_3, sesquiossido di alluminio), che però crea uno strato di protezione dagli agenti atmosferici.

Le sue caratteristiche meccaniche sono modeste, ma si elevano a ottimi livelli nelle sue leghe.

L'alluminio presenta anche buone proprietà tecnologiche (piegabilità, malleabilità, duttilità), ma è discretamente saldabile solo con saldatrice ad arco in gas protettivo; ottima, invece, è la sua fusibilità.

Poco utilizzato allo stato puro (fogli per la conservazione di alimenti), l'alluminio viene usato allo stato di **allumina**, materiale durissimo e di altissima temperatura di fusione (2000 °C) con cui si realizzano abrasivi; la metallurgia invece impiega largamente le sue leghe, dette *leghe leggere*.

Leghe leggere

Sono così chiamate perché conservano la caratteristica leggerezza dell'alluminio, ma possiedono caratteristiche meccaniche eccellenti.

Le leghe leggere sono impiegate in vasti settori delle costruzioni e dell'arredo come profilati e laminati per serramenti, strutture secondarie, lamiere conformate, pannelli, elementi radianti; ma sono ampiamente usate anche nella costruzione di auto e moto, aerei ed elicotteri, elettrodomestici e articoli casalinghi, ecc.

Nelle leghe leggere, oltre all'alluminio, figurano il rame, il magnesio, il manganese, il silicio, lo zinco, il nichel e altri metalli. In genere esse subiscono trattamenti termici (tempra, bonifica, ricottura) che ne innalzano la resistenza meccanica.

Profilati in lega leggera per infissi.

Sono lavorabili sia per fusione sia per deformazione plastica, per cui vengono distinte in:

- **leghe leggere da fonderia**;
- **leghe leggere da lavorazione plastica**.

Le **leghe leggere da fonderia** sono distinte in:

- **leghe alluminio-rame**, con rame (fino al 12%) che innalza la durezza, la resistenza a trazione e al calore, la lavorabilità all'utensile. Sono utilizzate in getti per pistoni e parti di motori, carter e altri usi generali;
- **leghe alluminio-silicio**, con silicio (fino al 12%) che migliora la resistenza a trazione e la fusibilità, permettendo di ottenere getti compatti ma abbastanza fragili e poco lavorabili all'utensile. Sono impiegate per ottenere getti di cilindri di motori, carter e articoli casalinghi;
- **leghe alluminio-magnesio**, con discreta resistenza a trazione e buona lavorabilità all'utensile. Per la loro ottima resistenza alla corrosione marina, queste leghe trovano impego soprattutto in parti di scafi;
- **leghe alluminio-zinco**, con buone caratteristiche meccaniche anche senza trattamenti termici.

Le **leghe leggere da lavorazione plastica** sono le seguenti:

- **leghe alluminio-rame**, con notevole resistenza meccanica. Sono prodotte commercialmente nel tipo *avional* (con la presenza anche di Si, Mg e Mn) per strutture di aerei, e nel tipo *duralite* (con presenza di Fe, Mg e Ni) per manufatti resistenti al calore e all'usura;
- **leghe alluminio-magnesio**, con discreta resistenza meccanica e buona resistenza alla corrosione; sono impiegate in laminati per pannellature;
- **leghe leggere ad alta resistenza**, che presentano alte caratteristiche meccaniche, come nel tipo *ergal* (con aggiunta di Zn, Mg e Cu), che raggiunge una resistenza a trazione di 590÷690 N/mm².

Cerchione di auto in lega leggera.

Le leghe leggere vengono designate:

- nel caso di *leghe da fonderia* con la sigla **G-Al** seguita dai simboli degli elementi di lega e loro tenore; per esempio: *G-Al Mg 7*;
- nel caso di *leghe da lavorazione plastica* con la sigla **P-Al** seguita dai simboli degli elementi di lega e loro tenore; per esempio *P-Al Cu 4,4 Si Mg Mn*.

RAME E SUE LEGHE

Caratteristiche

Il rame (simbolo **Cu**) è un metallo noto e usato fin dalla preistoria, ma ancora molto importante nell'attuale produzione industriale, sia allo stato puro sia sotto forma di composti e di leghe.

In natura il rame si trova sia puro (*rame nativo*) sia combinato in minerali sotto forma di ossidi, solfuri (*calcopirite*) e carbonati (*malachite*). Presenta un bel colore rosso fulvo (*rosso rame*), ottima conduttività elettrica e termica, temperatura di fusione a 1083 °C. Si ossida facilmente in una patina (*verderame*) che gli conferisce un'ottima resistenza agli agenti atmosferici.

È duttile, malleabile e facilmente saldabile; presenta una discreta resistenza a trazione (200÷250 N/mm²). Ha una grande attitudine a formare leghe, quali il bronzo o l'ottone, che migliorano decisamente le sue proprietà meccaniche. Il rame è impiegato nel settore elettrico (cavi, fili, avvolgimenti, ecc.), nell'edilizia (tubi per impianti termici e sanitari, gronde), nella chimica (elettrodi, scambiatori di calore, ecc.), nell'agricoltura (antiparassitari come il solfato di rame) e nella meccanica.

Bronzi

Sono leghe rame-stagno con buone caratteristiche meccaniche, notevole lavorabilità plastica e ottima fusibilità; quest'ultima proprietà ha elevato storicamente il bronzo a materiale di eccellenza per i getti di fusione artistica e industriale.

Nei bronzi alla crescita del tenore di stagno aumenta la resistenza a trazione e la durezza, ma diminuisce la duttilità e la saldabilità.

I bronzi sono distinti in:

- **bronzi comuni**, utilizzati sia per lavorazioni plastiche (con stagno 0,2÷10%) sia per fonderia (con stagno 10÷20%); se ne ottengono cuscinetti, molle, valvole, ingranaggi ecc.;
- **bronzi speciali**, se nella lega entrano anche elementi come lo *zinco*, il *piombo* e il *fosforo*.

Statua in bronzo dell'imperatore romano Marco Aurelio (II sec. d.C.).

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Ottoni

Sono leghe rame-zinco con buone caratteristiche meccaniche, ottima resistenza a corrosione, malleabili, lavorabili all'utensile e per getti di fusione. Il loro aspetto dorato e lucente li rende particolarmente adatti alla realizzazione di oggetti decorativi. Sono diffusamente impiegati per rubinetteria, valvole, maniglie, parti navali. Gli ottoni sono distinti in:

- **ottoni comuni**, con stagno e zinco (15÷40%) utilizzati sia per lavorazioni plastiche, sia per fonderia;
- **ottoni speciali**, se nella lega oltre al rame e allo zinco sono presenti il *piombo*, il *silicio*, il *manganese* e il *nichel*. Tra gli ottoni al nichel sono da citare le leghe del tipo alpacca e argentana, utilizzate per strumentazione ottica e fotografica, oggetti d'arte.

Articoli tecnici in ottone.

Altre leghe del rame sono:

- **cuprallumini**, leghe di rame e alluminio (5÷11%), con altri additivi (nichel, ferro, ecc.). Presentano notevoli caratteristiche meccaniche e alta resistenza alla corrosione. Sono utilizzati per rubinetteria, pompe, turbine, ruote dentate, eliche navali, ecc.;
- **cupronichel**, leghe di rame e nichel (24÷40%); dotate di buone caratteristiche meccaniche e resistenza alla corrosione in ambiente marino, sono utilizzate per tubazioni e parti navali.

MAGNESIO E SUE LEGHE

Caratteristiche

Il magnesio (simbolo **Mg**) è un metallo diffuso in natura sotto forma di minerale (*dolomite*) o di cloruro di magnesio nell'acqua marina.

Allo stato puro è scarsamente utilizzato per scopi industriali; nella chimica è invece sfruttato per la sua grande affinità con l'ossigeno, che lo rende altamente infiammabile quando è polverizzato.

Invece nelle applicazioni industriali sono diffuse le sue leghe, che per la loro estrema leggerezza sono chiamate *leghe ultraleggere*.

Leghe ultraleggere

Oltre al magnesio vi sono presenti alluminio, zinco e manganese. Hanno massa volumica molto bassa (1,8 kg/dm^3), buona resistenza alla corrosione e al calore, discrete caratteristiche meccaniche, ottima fusibilità, discreta lavorabilità.

Per la loro estrema leggerezza, in particolare nel tipo commerciale *elektron*, trovano impiego soprattutto nel settore aeronautico, ma anche in quello automobilistico o degli elettrodomestici.

TITANIO

Il titanio (simbolo **Ti**) è un metallo abbastanza diffuso, ma difficile da separare dai suoi minerali. È di colore argenteo, simile all'acciaio inossidabile, leggero, resistente alla corrosione e di notevoli prestazioni meccaniche quando è legato. Il titanio è abbastanza facilmente lavorabile all'utensile, per laminazione e stampaggio. Forma leghe con l'alluminio, il vanadio, il cromo, lo zirconio e il molibdeno. Nonostante gli alti costi le sue leghe per leggerezza, resistenza, durezza e inossidabilità si sono affermate in molti campi applicativi: dal settore aeronautico e aerospaziale si sono diffuse in quelli chimico, sanitario (protesi ortopediche), navale, metallurgico fino a quello delle costruzioni (rivestimenti e strutture).

Museo Guggenheim di Bilbao con rivestimenti in titanio.

ZINCO

Lo zinco (simbolo **Zn**) è un metallo di color grigio con riflessi azzurrini, di scarsa resistenza meccanica e durezza, ma malleabile, duttile e resistente alla corrosione, grazie alla formazione di una patina di ossido.

Allo stato puro è utilizzato come protettivo di altri metalli, soprattutto il ferro, nelle lamiere e nei fili zincati; la protezione dello zinco è di interposizione rispetto agli agenti (*effetto barriera*), ma anche di natura elettrochimica (*protezione catodica*).

Lo zinco è costituente di leghe importanti con l'alluminio e il rame, ma forma anche proprie leghe con l'alluminio e il magnesio. Queste leghe, note con il nome commerciale di *zama*, sono impiegate in parti di motori (carburatori, pompe dell'acqua e della benzina), di elettrodomestici e di apparecchi fotografici.

PIOMBO

Il piombo (simbolo **Pb**) è per antonomasia il metallo pesante, avendo massa volumica 11,35 kg/dm^3. Ha una bassa temperatura di fusione (327 °C), è molto malleabile, pieghevole e resistente alla corrosione. Per le sue proprietà è impiegato nei settori:

- elettrico (piastre per accumulatori, guaine di cavi);
- edilizio (manti di copertura);
- sanitario (lastre di protezione da raggi X e γ);
- chimico (vernici protettive come il *minio* o la *biacca*);
- bellico (proiettili).

Auditorium di Roma con rivestimento in piombo.

È invece ormai superato il secolare impiego per caratteri da stampa e per tubazioni idrauliche o del gas.

STAGNO

Lo stagno (simbolo **Sn**) è dalla preistoria utilizzato nella metallurgia per la produzione del bronzo, lega di rame e stagno. Ha colore argenteo e fonde a soli 232 °C; resistente agli agenti atmosferici, ha

nota bene

I bronzi e gli ottoni sono rispettivamente designati con le sigle **G-Cu Sn** e **G-Cu Zn** (per getti) oppure **P-Cu Sn** e **P-Cu Zn** (per lavorazioni plastiche) seguite dal tenore dello stagno o dello zinco ed eventuali altri simboli e tenori di altri elementi. Per esempio:

- bronzi G-Cu Sn 10 Zn 2 P-Cu Sn 8
- ottoni G-Cu Zn 33 G-Cu Zn 38 Pb 2 P-Cu Zn 25 Ni 20.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

caratteristiche meccaniche molto modeste, ma è molto malleabile essendo riducibile anche a sottilissimi fogli.

Come elemento puro viene largamente utilizzato nella produzione industriale di **banda stagnata** (*latta*), sottile lamiera di acciaio dolce protetta da uno strato di stagno. Ridotto in lamine è inoltre utilizzato per confezioni alimentari sotto forma di **stagnola**.

Ampio è il suo impiego in lega con il rame per ottenere il bronzo, con il piombo per saldature dolci.

Sono invece leghe a base di stagno, con la presenza di antimonio e rame, le cosiddette **leghe antifrizione**, utilizzate per cuscinetti e bronzine nei motori, per la loro resistenza all'usura, alla corrosione e alla fatica e per la loro attitudine a fondere in caso di carente lubrificazione, evitando il *grippaggio*.

NICHEL

Il nichel (simbolo **Ni**) è un metallo molto importante nella metallurgia, perché determinante per la produzione di acciai inossidabili. Ha un bel colore argenteo, speculare e lucente. È duro, resiste alle alte temperature e in modo eccellente agli agenti atmosferici e all'acqua anche marina. È malleabile, duttile e saldabile.

Il nichel è elemento di lega degli acciai inossidabili.

Allo stato puro è utilizzato per rivestimenti protettivi di altri metalli (*nichelatura*), per accumulatori elettrici, usi chimici, monetazione.

Diffuso è l'uso del nichel nelle leghe ferrose (ghise, acciai speciali e inossidabili), nelle leghe leggere e in quelle del rame.

Sono leghe a base di nichel il **monel**, di alta resistenza alla corrosione, e le cosiddette *superleghe*, **nimonic** e **inconel**, di elevatissima resistenza all'usura e alle alte temperature.

CROMO

Il cromo (simbolo **Cr**) è un metallo duro, inalterabile, di bel colore argenteo splendente. Per la sua durezza e resistenza alla corrosione è ampiamente impiegato per rivestimenti protettivi di altri metalli (cromatura); è inoltre largamente utilizzato nella metallurgia come elemento di lega per ghise, acciai speciali e inossidabili.

Articoli in acciaio cromato.

MOLIBDENO

Il molibdeno (simbolo **Mo**), di buona conducibilità elettrica e alta temperatura di fusione (2600 °C), è utilizzato come elemento di lega per acciai inossidabili, ai quali conferisce temprabilità e resistenza all'usura, impiegati per utensili e valvole di impianti ad alte temperature. Come elemento puro è utilizzato nel settore elettrico per resistenze e lampade a incandescenza.

MANGANESE

Il manganese (simbolo **Mn**) è utilizzato in siderurgia come deossidante e come componente di acciai speciali, ghise, bronzi, ottoni e leghe leggere.

TUNGSTENO

Il tungsteno (simbolo **W**), noto anche come wolframio, è un metallo pesante (massa volumica 19 kg/dm^3) e molto resistente al calore (temperatura di fusione 3370 °C). Come metallo puro è impiegato nel settore elettrico per filamenti di lampade a incandescenza, elettrodi di candele, contatti, resistenze di forni ad alte temperature. Come elemento di lega è presente in acciai rapidi per utensili; combinandosi con il carbonio forma **carburi di tungsteno** durissimi, lavorati come materiali sinterizzati per utensili ad altissima resistenza.

COBALTO

Il cobalto (simbolo **Co**) è impiegato come elemento di lega per acciai speciali, particolarmente duri e resistenti, per la formazione di placchette sinterizzate in carburi metallici per utensili; ma è anche utilizzato in leghe (tipo *alnico*) per magneti permanenti di alta intensità.

MATERIALI SINTERIZZATI

Sono materiali ottenuti con un particolare procedimento, chiamato *sinterizzazione*, che permette di agglomerare materiali difficilmente miscelabili e lavorabili. Il procedimento in estrema sintesi consiste in:

Cuscinetti autolubrificanti in bronzo sinterizzato.

- riduzione in polveri finissime (1÷1000 μm) dei materiali da agglomerare;
- miscelazione delle polveri;
- immissione nello stampo;
- compattazione (con pressione di 300÷1200 MPa);
- riscaldamento a temperatura notevolmente inferiore (2/3÷4/5) rispetto a quella di fusione.

La produzione di metalli sinterizzati si è notevolmente estesa dall'inizio del Novecento ed è divenuta oggetto di una branca chiamata **metallurgia delle polveri**.

La sinterizzazione ha i seguenti vantaggi:

- produzione di pezzi finiti di alta precisione, in media e grande serie;
- economicità (eliminazione di scarti di lavorazione, manodopera limitata);
- lavorabilità di metalli duri con alta temperatura di fusione, quali il tungsteno, il molibdeno, il titanio;
- agglomerazione di metalli non legabili allo stato fuso;
- garanzia sulle proprietà e la purezza del prodotto.

Con questo procedimento si ottengono principalmente:

- **miscele di carburi metallici** di tungsteno, molibdeno, titanio, con altri metalli in funzione di legante; sono utilizzate per placchette di utensili da taglio, utensili di particolare resistenza;
- **corpi metallici porosi** (per esempio con rame, stagno e grafite) per cuscinetti autolubrificanti;
- **pezzi meccanici** in bronzo, ottone, leghe leggere, metalli compositi (tungsteno-rame, molibdeno-argento);
- **unione di metalli e diamante** per mole diamantate;
- **sostanze refrattarie** in molibdeno, tungsteno, vanadio, ecc. per filamenti di lampade a incandescenza, resistenze di forni.

Utensili con inserti in carburi metallici sinterizzati.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Legno

Materiale naturale diffuso e lavorabile, è stato da sempre un materiale primario nella civiltà umana; la sua reperibilità lo ha reso il primo materiale per le costruzioni civili e l'utensileria, la sua combustibilità ne ha fatto per lungo tempo l'unica sorgente di calore, la sua leggerezza lo ha eletto a materiale per eccellenza della nautica, la sua lavorabilità lo ha visto impiegato in utensili e oggetti d'arte (sculture, ebanisteria). Questi suoi pregi vanno però associati al difetto fondamentale della sua *deperibilità*. Nonostante sia stato soppiantato nelle applicazioni industriali da altri combustibili, il ruolo del legno è ancora fondamentale in parecchi settori produttivi: costruzioni civili, falegnameria, produzione della carta, costruzioni navali.

PROPRIETÀ FISICHE

Struttura

Il legno presenta una struttura disomogenea composta da *fibre longitudinali* disposte in *anelli* concentrici lungo l'asse del tronco. Questi diversi anelli sono attraversati da *raggi midollari*, mentre le fibre si alternano a *vasi linfatici* o *canali della resina*.

Questa struttura conferisce al legno una tipica **porosità**, diffusa in modo disomogeneo; infatti alle parti più compatte fanno riscontro altre particolarmente dure (*nodi*) o discontinuità (*fenditure*).

I diversi legni presentano strutture molte diverse che ne condizionano le proprietà e li rendono adatti a svariati impieghi. In generale i tipi di legno, detti *essenze*, sono riconducibili a gruppi di caratteristiche simili:

- **essenze forti** (o *dure*), di rilevante massa volumica e notevoli caratteristiche meccaniche e durezza;
- **essenze dolci** (o *tenere*), più leggere, tenere e poco resistenti;
- **essenze resinose** (ricche di sostanze resinose).

Aspetto

Molto varie sono le caratteristiche esteriori:

- **colore**, dal bianco, al giallo, al rosso, al bruno o nero;
- **venature** marcate o impercettibili, striate fini o grosse, sinuose (*pomellate*), occhiolinate, fiammate; conferiscono al legno essenziali proprietà meccaniche e decorative;
- **odore** più o meno marcato (maggiore nei legni resinosi), quasi sempre gradevole.

Massa volumica

I diversi tipi di legno hanno caratteristica massa volumica; essa però varia nel tempo per il tenore di umidità presente nel legno, massima quando è fresco di taglio, minima quando è essiccato e stagionato.

I valori di massa volumica forniti commercialmente si riferiscono al legno stagionato.

MASSA VOLUMICA

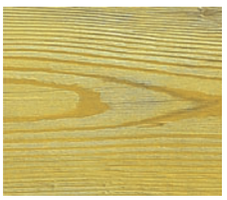
ESSENZA	kg/dm³
Abete	0,45
Acero	0,75
Balsa	0,10
Betulla	0,65
Castagno	0,60
Ciliegio	0,62
Faggio	0,75
Frassino	0,72
Noce	0,72
Olivo	0,95
Pino	0,65
Pioppo	0,50
Quercia (farnia)	0,77
Quercia (rovere)	0,80
Tek	0,70

Ritiro e dilatazione

Per la loro porosità e umidità i legni subiscono variazioni di dimensioni legate al *tasso di umidità* interno. Le variazioni si verificano anche dopo la stagionatura rendendo il legno un materiale in perenne movimento, una sostanza «viva». Queste modifiche possono creare deformazioni permanenti (svergolamento, imbarcatura sia trasversale sia longitudinale) o momentanee variazioni dimensionali.

Conduttività

In genere il legno è un buon isolante sia acustico sia termico che elettrico. Anche queste proprietà isolanti variano secondo il tasso di umidità e secondo la direzione delle fibre (longitudinalmente si ha la massima conduttività). Le proprietà isolanti possono essere aumentate con vernici, impregnanti e resine, ma anche realizzando tamburati (cornici rivestite esternamente da fogli di compensato) con eventuali inserti di sostanze isolanti.


Abete bianco

Acero

Ciliegio

Faggio

Frassino

Noce nazionale

Pino rosso

Rovere

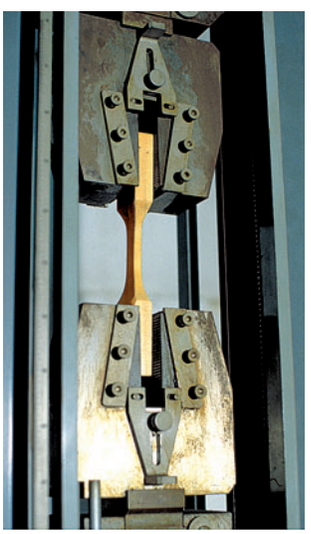
Teak

PROPRIETÀ MECCANICHE

Resistenza

Il legno, pur con differenze discrete tra i diversi tipi, presenta:

- **resistenza a trazione** discreta lungo le fibre, minore trasversalmente a esse;
- **resistenza a compressione** discreta, che anche in questo caso è superiore lungo le fibre;
- **resistenza a taglio** modesta trasversalmente alle fibre, pessima lungo le fibre;
- **resistenza a flessione** buona trasversalmente alle fibre;
- **durezza** molto variabile tra i diversi tipi (dalla *balsa* scalfibile con un'unghia, ai duri *bosso* e *noce*).


Prova di resistenza a trazione su provetta di legno.

In genere il legno ha una buona **elasticità**, cioè torna alla forma iniziale al cessare del carico, soprattutto se sollecitato a flessione.

Le prove di resistenza vengono eseguite con procedimenti analoghi a quelle sui materiali metallici, ma con provette di forma diversa e con chiara distinzione della direzione delle sollecitazioni rispetto alle fibre.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

PROPRIETÀ TECNOLOGICHE

In generale il legno presenta un'**ottima lavorabilità** e **facilità di giunzione** mediante colle, viti, chiodi, incastri.

Fendibilità e tranciabilità

La struttura fibrosa e discontinua del legno rende molto facile la sua fendibilità lungo piani paralleli alle fibre, mediante asce, scalpelli e cunei. Agevole è anche la sua tranciabilità lungo piani perpendicolari alle fibre mediante seghe, tranciatrici o segatrici.

Piegabilità

La struttura fibrosa del legno consente un'elevata piegabilità alle essenze con fibre lunghe, sottili e molto omogenee. Legnami piegabili per eccellenza sono il *faggio* e la *betulla*, utilizzati da grandi artisti del mobile piegato come Michael Thonet e Alvar Aalto.

La piegatura del legno si effettua in ambiente caldo umido (industrialmente in autoclave), che fa assorbire acqua alle fibre aumentandone la scorrevolezza reciproca; il pezzo, una volta piegato entro forme d'acciaio, viene fatto essiccare assumendo stabilmente la forma desiderata.

Sedia in faggio di Michael Thonet (1796-1871), a sinistra, e poltrona in betulla di Alvar Aalto (1898-1976) a destra.

Truciolabilità

Spiccata è l'attitudine di quasi tutte le essenze a formare truciolo se vengono lavorate parallelamente alle fibre. È pertanto eccellente la lavorabilità del legno con utensili a mano (lima, scalpello, pialla, ecc.) e con macchine utensili (trapano, tornio, fresatrice, piallatrice).

Levigabilità e lucidabilità

La levigabilità delle superfici del legno è ottima, molto facile nelle essenze tenere, di maggiore qualità in quelle dure. Per la levigatura del legno si usano rasiera, carte abrasive e levigatrici.

La lucidabilità è molto spiccata nelle essenze dure ed è ottenuta con lana d'acciaio, polvere di pomice, tamponi e sostanze lucidanti naturali (cera, coppale, gommalacca) o sintetiche.

IMPIEGHI

L'impiego del legno sia allo stato grezzo che sotto forma di semilavorati si estende in molto settori; vediamo i principali.

Chimica

Per la presenza di un'alta percentuale di **cellulosa** (45%) il legno viene sfruttato intensamente come materia prima per la produzione della carta, di vernici e di esplosivi (*nitrocellulosa*).

Dal legno si ricavano anche l'*essenza di trementina* e l'*acqua ragia* (trementina greggia), resine naturali (*gommalacca* e *coppale*), l'*alcol metilico*. Il *tannino* estratto dal legno viene utilizzato nell'industria conciaria.

Costruzioni

Non più utilizzato per ponteggi (ormai solo in tubolari d'acciaio), il legno è ancora molto impiegato per:

- strutture come pali, travi, correntini (travetti perpendicolari alle travi);
- carpenteria (casseforme del cemento);
- pavimentazioni (parquet);
- rivestimenti;
- infissi (porte e finestre).

Costruzione di una casa in legno.

Nautica

Per strutture, fasciame, coperte e arredo il legno è un indissolubile compagno delle grandi e piccole imbarcazioni.

Aeronautica

Anche se decrescente, l'impiego del legno per alianti è ancora diffuso.

Falegnameria ed ebanisteria

Molto utilizzato per mobili e pannellature, il legno è ancora impiegato per suppelletili varie. Le sue varietà più pregiate sono utilizzate in ebanisteria, mentre quelle più compatte si usano per oggetti artistici (sculture, incisioni, intagli). Un particolare settore che impiega legni pregiati è anche quello degli strumenti musicali (a corda, percussioni e fiati).

Siderurgia

Spesso i *modelli di fonderia* sono realizzati ancora in legno.

IMPIEGHI DEL LEGNO

IMPIEGHI	ESSENZE
Compensati	Acero, betulla, pioppo, platano
Chimica	Pioppo (per cellulosa) Abete, larice e pino (per resine) Faggio (per alcol metilico) Olmo e quercia (per tannino)
Costruzioni	Abete, betulla, castagno, faggio, larice, pino, pioppo, quercia
Nautica	Abete, larice, mogano, olmo, ontano, pino, quercia, teak
Aeronautica	Abete rosso, betulla, faggio, frassino
Falegnameria	Abete, acero, castagno, ciliegio, cipresso, faggio, frassino, mogano, noce, olmo, palissandro, rovere
Ebanisteria	Acero, bosso, ciliegio, cirmolo, ebano, noce, olivo, palissandro, tasso, tiglio Cirmolo, melo, pero, tasso (per scultura e intaglio) Abete rosso, acero, melo, pero, ebano (per stumenti musicali)
Modelli di fonderia	Abete, pino, robinia (usi comuni) Cirmolo, melo, noce, pero (usi pregiati)
Pezzi torniti	Acero, betulla, bosso, ciliegio, frassino, noce, olmo, pero, tasso, tiglio

glossario

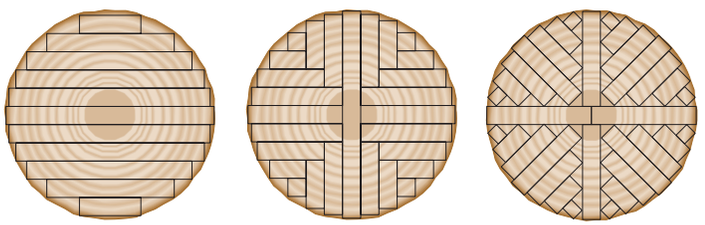
Ebanisteria è la lavorazione artistica dei legni pregiati, tra cui eccelle l'ebano.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

SEMILAVORATI

Il legno viene commercializzato sotto forma di *massello*, cioè blocchi di legno massiccio, oppure come prodotti di trasformazione (*trasformati*). Questi semilavorati si ottengono dal tronco dell'albero mediante lavorazioni preliminari:

- **scortecciamento** e **lavaggio** con acqua o vapore, per eliminare rischi di muffe e deterioramenti del legno;
- **segagione** che, dopo una squadratura sommaria del tronco, lo trasforma in *travi* e *tavole* di dimensioni diverse secondo i metodi di taglio (parallelo, radiale, alternato per quartiere) oppure in *tranciati* (fogli di 1÷3 mm). Dalle essenze pregiate si possono ricavare anche *piallacci* (sottilissimi fogli) impiegati per rivestimenti di essenze meno pregiate;
- **stagionatura** naturale o artificiale, che abbassa il tasso di umidità e stabilizza la struttura del legno. La stagionatura naturale si ottiene tenendo in ambiente ventilato (tettoie o magazzini) le tavole accuratamente disposte in cataste che favoriscano la circolazione d'aria e allo stesso tempo evitino la deformazione del legno. A seconda del clima la stagionatura naturale può durare 6÷12 mesi.



Taglio parallelo — Taglio alternato per quartiere — Taglio radiale

Dalla trasformazione del massello, dei tranciati e degli scarti di lavorazione (rami, trucioli, segatura) si ottengono prodotti commerciali ormai di larghissimo impiego.

Stagionatura naturale del legno.

Compensati

Molto diffusi perché si presentano sotto forma di pannelli regolari con grande lavorabilità, resistenza uniforme, scarsa resistenza a flessione. Sono realizzati con l'incollaggio di diversi fogli disposti con fibre alterne; in questo modo si aumenta la resistenza del pannello per effetto della diversa deformabilità a flessione di ogni strato. In genere si definiscono *compensati* quelli di spessore 3÷6 mm, *multistrati* quelli di spessore 8÷30 mm. Le essenze più usate sono il pioppo e la betulla, teneri e omogenei. Rivestendoli con piallacci di legno pregiato (noce, mogano, acero, ecc.) si realizzano i *compensati nobilitati*, molto utilizzati nei mobili per le loro qualità estetiche.

A causa delle essenze e del tipo di colla i compensati comuni sono poco resistenti all'umidità; con colle speciali ed essenze particolari, come il mogano, si realizzano *compensati marini*, molto resistenti all'umidità e all'acqua marina.

Compensato

Paniforti

Molto resistenti e lavorabili, con superficie regolare e di notevole qualità estetica, i paniforti sono realizzati con l'incollaggio di due strati esterni di compensato su un'anima di listelli affiancati di massello.

Paniforte

Anche in questo caso il rivestimento con piallaci di essenze pregiate consente di ottenere *paniforti nobilitati* di notevole qualità estetica.

Truciolari

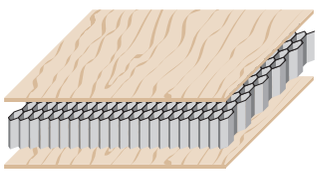
Sono pannelli di spessore diverso ottenuti da fini trucioli impastati con colla e pressati a caldo. I truciolari sono di scadente qualità estetica e pesanti, ma molto economici, duri e resistenti a flessione. Vengono utilizzati per pannellature e per mobili industriali, migliorandone le qualità estetiche mediante *impiallacciatura*, cioè rivestimento con piallacci pregiati o con laminati plastici.

Truciolare

Analoga al truciolare è la *faesite*, ottenuta da finissima polvere di legno impastata con resine e pressata a caldo in fogli molto duri e compatti.

Tamburati

Sono pannelli formati da due strati di compensato con una intercapedine di cartone a nido d'ape o altro materiale isolante e leggero. Possono raggiungere spessore superiore a quelli dei paniforti.



Tamburato

Sono impiegati nella costruzione di mobili e porte.

Lamellari

Sono ottenuti dall'incollaggio con resine sintetiche di sottili strati di legno ben pressati. Hanno caratteristiche meccaniche migliori del massello (per questo sono anche chiamati *legni migliorati*) e buona resistenza all'umidità.

Sono prodotti industrialmente in pannelli, ma vengono anche realizzati fuori serie per strutture modellate e curvate secondo le esigenze, di notevole qualità estetica e meccanica.

Struttura in legno lamellare.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

Altri materiali

MATERIALI NATURALI

Rocce

ROCCE ERUTTIVE. Sono quelle originate da magma vulcanico solidificato. Tra esse si possono ricordare:

- **basalti**: duri, scuri e compatti, usati per pavimentazioni stradali;
- **porfidi**: duri, compatti, di colori dal grigio al rosso, usati per pavimentazioni e per scopi decorativi;
- **graniti**: durissimi, lucidi, di colori vari e di struttura composita, utilizzati per rivestimenti.

Pavimentazione in basalto.

ROCCE SEDIMENTARIE. Sono quelle prodotte dal lento deposito di sostanze silicee, calcaree e organiche. Rilevanti sono:

- **argille**: diffusissime, tenere e molto lavorabili, sono usate come materia prima per la produzione di laterizi;
- **calcari**: resistenti e lavorabili, di colori dal bianco al grigio fino al rosso, sono di struttura abbastanza compatta. Sono utilizzati ampiamente per le costruzioni, usi decorativi e nella metallurgia come fondenti.

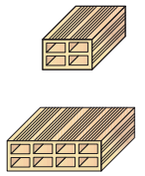
ROCCE METAMORFICHE. Sono quelle originate da trasformazioni di rocce eruttive o sedimentarie. Da citare sono:

- **marmi**: di consistenza e colori molto vari, sono adottati per rivestimenti e decorazioni;
- **tufi**: teneri, lavorabili, di colore giallo-rossastro, usati per murature;
- **ardesie**: scure, non molto resistenti, ma facilmente riducibili in lastre, utilizzate per rivestimenti e manti di copertura dei tetti.

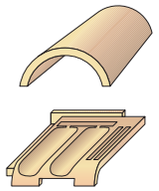
Copertura in ardesia.

Laterizi

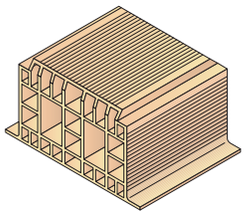
Ottenuti per cottura di argille impastate, sono lavorabili ed economici, con caratteristiche meccaniche molto variabili; presentano pasta porosa di colore giallo-rossastro. Sono prevalentemente usati per murature, solai e coperture.



Forati per murature



Tegole per coperture



Pignatta per solai

Leganti per costruzioni

CALCE. È prodotta dalla cottura di rocce calcaree da cui si ricava la *calce viva*; mediante spegnimento in acqua se ne ottengono le *calci aeree*, cioè delle calci che, mescolate con acqua e sabbia, induriscono all'aria. Da particolari trattamenti si ottengono invece le *calci idrauliche*, che induriscono anche in presenza di acqua.

GESSO. È ottenuto dalla cottura di pietra di gesso (*gesso naturale*); macinato e miscelato con acqua dà un impasto molto lavorabile che indurisce in pochi minuti. Miscelando il gesso con sostanze ritardanti la presa, si ottengono lo *stucco* e la *scagliola*. Per la sua plasmabilità è usato per intonaci, stuccature, pannelli, decorazioni e modelli (anche di fonderia).

CEMENTO. È il legante più usato nelle costruzioni per le sue elevate caratteristiche meccaniche, ma anche per la sua *idraulicità* (capacità di far presa in acqua, al di fuori di ogni rapporto con l'aria). Si ricava da pietre calcaree e argilla; dopo frantumazione, miscelazione e cottura se ne ricava il *clinker*, che viene macinato in polvere finissima. A seconda delle materie prime, della loro miscelazione e dei trattamenti di lavorazione, si ottengono diversi tipi di cemento. I principali sono: il *cemento Portland*, i *cementi pozzolanici*, i *cementi a presa rapida*, i *cementi ad alta resistenza*, il *cemento bianco*.

CALCESTRUZZO. Materiale primario delle costruzioni, è ottenuto dalla miscela di acqua e cemento, con l'aggiunta di due *inerti*, sabbia e ghiaia. L'impasto è plasmabile mediante colata in *casseforme*; dopo la solidificazione si presenta duro e particolarmente resistente a compressione.

Ceramiche

Sono ottenute per cottura, talvolta ripetuta dopo rivestimento con smalti o vernici, da un impasto di argille, caolino, additivi e coloranti. Sono dure, isolanti, impermeabili e resistenti alla corrosione; per questo sono utilizzate nelle costruzioni per rivestimenti e sanitari, nei settori industriali per isolanti o parti resistenti alla corrosione.

Apparecchi sanitari in ceramica.

Vetro

Ottenuto da silice con calce e soda o potassa, è durissimo, trasparente, levigato, isolante e impermeabile. La sua resistenza e durezza può essere migliorata da trattamento di tempra o da inserti di resine nei vetri di sicurezza (*sicurvis*, *visarm*). È ampiamente utilizzato nelle costruzioni e nella chimica. Essendo duttile (ridicibile in fili), il vetro viene trafilato sotto forma di **fibra di vetro**, utilizzata nelle vetroresine, o di **fibra ottica** (con vetro di altissima qualità) per telecomunicazioni.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone

RESINE SINTETICHE

Sono sostanze ottenute artificialmente con processi di sintesi chimica che creano strutture molecolari complesse (*polimeri*). Quasi sempre sono derivate da prodotti petroliferi. Avendo in genere una buona deformabilità (plasticità), queste sostanze vengono anche chiamate *materie plastiche*.

Sono distinte in *resine termoplastiche*, che sono deformabili a caldo anche dopo la produzione, e *resine termoindurenti*, quando non acquistano plasticità con riscaldamento successivo alla produzione.

Le resine sono in generale lavorabili per stampaggio, laminazione, trafilatura, fusione e alle macchine utensili.

Resine termoplastiche

CLORURO DI POLIVINILE (PVC): ampiamente usato per tubazioni idriche, canali di gronda, piastrelle, rivestimenti (corrimani, battiscopa, ecc.), infissi (finestre, blocchi finestra, tapparelle), pannelli, ecc.
POLIETILENE: usato per tubazioni e rivestimenti isolanti.
POLIPROPILENE (noto come *moplen*): anch'esso utilizzato per tubazioni, raccordi, oltre che per molti oggetti d'uso comune.
POLISTIRENI: impiegati per isolanti termici e acustici, in particolare il polistirolo e il polistirolo espanso.
POLIURETANI: utilizzati per vernici, adesivi, materiali espansi per coibentazioni.
RESINE ACRILICHE: per carte da parati, idropitture.
METACRILATI: impiegati per produrre lastre trasparenti e colorate; commercialmente note sono le denominazioni di *plexiglas* e *perspex*.

Resine termoindurenti

RESINE UREICHE: per colle e vernici.
RESINE MELAMMINICHE: per adesivi e vernici, oltre che per laminati plastici di rivestimento.
RESINE FENOLICHE: per vernici e laminati plastici.
RESINE POLIESTERE: impiegate per materiali compositi con fibre di vetro (la cosiddetta *vetroresina*) o di carbonio, per pannelli e oggetti particolarmente resistenti e leggeri.
RESINE EPOSSIDICHE: per adesivi, vernici, rivestimenti e materiali compositi.

Articoli in resina ottenuti per stampaggio.

Articoli commerciali in plastica.

glossario
Coibentazione: è sinonimo di isolamento (termico, acustico o elettrico).

MATERIALI COMPOSITI

Sono costituiti da due o più sostanze di proprietà sostanzialmente diverse, fisicamente separate, individuabili a occhio nudo o all'esame microscopico. In genere una sostanza funge da legante (*matrice*) mentre l'altra (*rinforzo*), sotto forma di fili o fibre, è destinata a resistere agli sforzi principali.

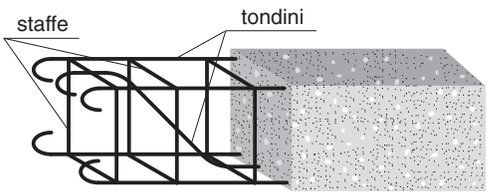
Antesignano di questi materiali è stato il cemento armato, usato nelle costruzioni, ma ormai da anni si moltiplicano materiali compositi in fibre naturali o sintetiche, utilizzati nei più disparati settori produttivi.

Cemento armato

Il cemento armato o, più propriamente, calcestruzzo armato, è un materiale composito ottenuto con una struttura di *tondini* di acciaio affogata nel calcestruzzo.

Questi due materiali hanno caratteristiche complementari. Il calcestruzzo, di costo modesto, funge da legante e ha una buona resistenza a compressione, al fuoco e alle intemperie. L'acciaio, anche se più costoso, presenta caratteristiche meccaniche eccellenti (elasticità, resistenza a trazione, a compressione, a taglio), ma deve essere protetto dal fuoco e dagli agenti atmosferici.

Per la realizzazione di opere in cemento armato si preparano delle casseforme sulle quali viene adagiata la struttura metallica. Sulla base dei disegni gli specialisti in carpenteria metallica danno ai tondini una sagomatura e li legano tra loro. I tondini vengono sagomati per far seguire loro l'andamento delle sollecitazioni di trazione e taglio a cui devono resistere. La struttura metallica è composta anche da *staffe* (preposte alla resistenza al taglio), che insieme ai tondini formano delle vere e proprie gabbie.



Trave in cemento armato.

Dopo il getto e la costipazione del calcestruzzo, si fa indurire il conglomerato prima di passare al disarmo di puntelli e casseforme.

Compositi sintetici

In genere presentano come matrice (sostanza legante) una resina sintetica, quali le resine poliestere e poliammidiche. Sono da citare:

- **vetroresine**, con fibra di vetro, resistenti ed economiche, di larga diffusione in tutti i settori, da quello automobilistico a quello nautico;
- **compositi al carbonio**, con fibra di carbonio, resistentissimi e leggeri ma costosi, impiegati in costruzioni aerospaziali, aeronautiche e nautiche, in articoli sportivi (racchette da tennis e canne da pesca) con ulteriori campi d'espansione.

Molti altri compositi utilizzano fibre di boro, molibdeno, nichel, kevlar, ecc. per componenti di prodotti d'avanguardia dei settori aerospaziale e aeronautico, militare, automobilistico, sanitario.

Scafo in vetroresina di imbarcazione a vela.

Copyright © 2014 Zanichelli Editore SpA, Bologna [5753]
Questo file è un'estensione online dei corsi di disegno di Sergio Sammarone