

42 Materiali Metallici Non Ferrosi

Alluminio

Non essendo un materiale presente in natura allo stato nativo, l'alluminio è stato isolato dall'allumina (che è un composto della bauxite) per la prima volta nel 1925 dal chimico danese Hans Christian Oersted: **dopo l'acciaio, l'alluminio è attualmente il metallo più utilizzato nelle costruzioni**. Dato che da 4 tonnellate di bauxite si ottiene soltanto 1 tonnellata di alluminio, l'industria dell'alluminio è tra le più avanzate nella tecnica del riciclaggio delle materie prime seconde.

Avendo l'alluminio puro (punto di fusione 660°C) ottenuto dal minerale della bauxite caratteristiche meccaniche modeste, viene *combinato in leghe con il magnesio, lo zinco, il silicio ed il rame*.

Le leghe commercialmente più diffuse sono quelle della serie 6000 ovvero:

- il duralluminio, con il 4% di rame
- l'aluman, con l'1,5% di manganese
- l'anticorodal, con lo 0,6-0,8% di manganese, lo 0,6-0,8% di magnesio, lo 0,9-1,15% di silicio
- l'alumag, con lo 0,5-5% di magnesio

In queste leghe risultano migliorate le caratteristiche di resistenza meccanica, duttilità lavorabilità, resistenza alla corrosione.

La sua resistenza meccanica varia a seconda degli elementi con cui è legato: si tratta comunque di un **materiale con valori molto vicini a quelli dell'acciaio con il vantaggio di essere molto più leggero** (2700 kg/m³, circa 1/3 dell'acciaio) e di avere una maggiore resistenza alla corrosione.

Massa volumica	2.700 kg/m ³
Temperatura di fusione	658°
Carico di rottura	15 kg/mm
Carico di snervamento	13 kg/mm
Allungamento percentuale	8%
Modulo di elasticità	650.000 kg/cm ²
Coeff. dilatazione termica	0,000024

Caratteristiche dell'alluminio.

L'alluminio in edilizia viene utilizzato per la realizzazione di infissi, curtain-walls, manti di copertura e rivestimenti di facciata, controsoffitti, etc.

Titanio

Il titanio è un metallo bianco argenteo, dotato di proprietà analoghe a quelle dello stagno.

Scoperto da Martin Heinrich Klaproth nel 1795 è stato isolato da Justus von Liebig nel 1831, che lo ottenne dal rutilo. Tra i metalli, è al quarto posto per abbondanza sulla crosta terrestre.

A partire dagli anni cinquanta, grazie ad un processo di estrazione efficace, si sono sviluppate due categorie di materie prime:

- **titanio commercialmente puro** ($Ti > 99\%$), indicato con la sigla **ASTM CP**
- **leghe di titanio**, con una *percentuale di titanio di 80-98%*, unito ad alluminio, vanadio, stagno, cromo o altri elementi di lega

Le caratteristiche principali del titanio sono:

- bassa densità, quindi leggerezza
- elevata resistenza alla corrosione, all'abrasione, all'impatto, al taglio e ai raggi UV
- elevata inerzia termica e buona resistenza al calore
- lavorabilità e saldabilità di buon livello
- non inquinante, non tossico e riciclabile

I settori di impiego di elezione del titanio sono il navale e l'automobilistico, dove è utilizzato soprattutto per le bielle e altre parti dei motori che sfruttano le caratteristiche fisiche, meccaniche e di resistenza alla corrosione di questo metallo, ed il settore della bioingegneria, che sfrutta la leggerezza, resistenza e biocompatibilità del titanio per realizzare protesi mediche. Inoltre è largamente impiegato per la produzione delle armi (proiettili, missili, etc.).

Infine, in architettura è impiegato soprattutto come involucro di rivestimento sotto forma di lastre, doghe e lamiere con spessori di circa 0,5mm. Ad esempio, il Guggenheim Museum di Bilbao ha un rivestimento di facciata in titanio.

Rame

Ricavato dalla calcopirite, dalla calcosina e dalla cuprite (minerali di scarsa qualità a base di zolfo), il rame è tra i primi metalli lavorati dall'uomo (V sec. a.C.).

Trattandosi di **un materiale molto duttile** viene essenzialmente lavorato per **estrusione** (fili e barre) e per **laminazione** (lamiere e tubi).

A seguito del primo attacco degli agenti atmosferici sul rame si forma una patina protettiva che protegge il materiale da ulteriori azioni aggressive: tale strato (Sali basici di rame di circa 10μ di spessore **detto verderame**) conferiscono al rame dapprima il colore bruno e successivamente il tipico colore verde.

In condizioni ambientali non aggressive possono essere necessarie decine di anni prima di raggiungere la colorazione verde mentre in condizioni ambientali aggressive, come vicino a stabilimenti industriali o alla costa marina, il verde rame compare anche dopo soli 3 anni.

La Chiesa di San Giovanni Battista, detta comunemente chiesa dell'Autostrada, è stata realizzata per ricordare i numerosi caduti sul lavoro causati dalla costruzione dell'Autostrada del Sole: la collocazione è esattamente a metà strada tra Milano e Roma, le due città collegate dall'A1.

Dopo che il progetto di Lamberto Stoppa fu bocciato dalla Soprintenda ai Monumenti e dall'Istituto Internazionale di Arte Liturgica, l'incarico fu affidato a Giovanni Michelucci.

Il progettista pistoiese eredita dal precedente progetto le fondazioni già realizzate e compose un edificio che rappresentasse la metafora dell'incontro tra culture e religioni diverse, così come lo sono le popolazioni di

una strada.

Anche grazie al contributo strutturale dell'architetto Enzo Vannucchi, le murature di pietra di San Giuliano assumono funzione strutturale, così come i possenti pilastri che ricordano alberi secolari, mentre la copertura in calcestruzzo armato precompresso assume l'aspetto di una vela adagiata sulle strutture portanti.

Essendo un materiale caratterizzato da una elevatissima resistenza agli agenti atmosferici e chimici, una buona duttilità e un'ottima lavorabilità, in edilizia il rame ha un impiego molto diffuso. In particolare, è impiegato per la realizzazione di:

- 1 - Manti di copertura e rivestimenti di facciata (spessore 0,6mm)
- 2 - Tubi per impianti termici e idrosanitari (spessore 0,5-0,8mm)
- 3 - Opere di lattoneria, quali gronde, scossaline, converse, etc. (spessore 0,5-0,8mm)
- 4 - Accessori, quali cimase, scossaline, etc. (spessore 0,5-0,8mm)

Piombo, Stagno e Zinco

Il **Piombo**, la cui diffusione è dovuta al suo **punto di fusione particolarmente basso (327°C)**, data la sua elevata deformabilità a freddo (è detto metallo molle) e la sua modesta resistenza meccanica, è utilizzato esclusivamente per la fabbricazione di tubi, elementi di raccordi per gli apparecchi sanitari, piastre di ripartizione e di raccordo.

Lo **Stagno**, oltre ad essere impiegato per la formazione di leghe, non si altera all'aria e quindi viene **utilizzato soprattutto per proteggere superfici metalliche corrodibili** e nelle saldature a bassa temperatura.

Lo **Zinco** (punto di fusione 420°C) si ricava per ossidazione e cottura da una minerale argilloso-calcareo solforoso povero di zinco (ZnS). *Allo stato puro, non lega con altri elementi, ha una scarsa resistenza meccanica, una elevata fragilità e assume un comportamento duttile tra i 120-200°C, diventando molto lavorabile e laminabile a caldo*: ha però una **ottima resistenza alla corrosione e all'attacco degli agenti atmosferici**. Proprio per questo in edilizia viene **impiegato come protettivo dell'acciaio** e di altri materiali attraverso procedimenti di protezione catodica (zincatura a freddo e a caldo) e galvanizzazione. Viene impiegato anche per manti di copertura e rivestimenti di facciata, opere di lattoneria, accessori, etc.

La facilità del rame a formare leghe con altri metalli ne ha esteso talmente l'impiego che più del 50% viene utilizzato industrialmente nelle leghe.

L'aggiunta al **rame dello zinco**, nella misura del 5-40%, forma gli **ottoni**: le leghe contenenti soltanto rame e zinco sono dette ottoni comuni, quelle che contengono anche altri metalli sono dette ottoni speciali. L'aggiunta al **rame dello stagno**, nella misura dell'1-30%, forma i **bronzi**.

Le lamiere metalliche vengono generalmente stoccate in rulli detti coils per poi subire successivi livelli di lavorazione per arrivare agli spessori desiderati.

	Metallo	Massa volumica (kg/m ³)	Temperatura di fusione (°C)	Colore
Pesanti	Piombo (Pb)	11.340	327	Grigio azzurro
	Rame (Cu)	8.910	1.083	Rosso
	Nichel (Ni)	8.800	1.455	Grigio splendente
	Acciaio	7.860	1.535	Grigio
	Stagno (Sn)	7.280	232	Bianco splendente
	Cromo (Cr)	7.200	1.880	Bianco splendente
	Zinco (Zn)	7.100	420	Bianco azzurro
Leggeri	Ghisa	7.100	1.535	Grigio
	Titanio (Ti)	4.870	1.725	Bianco argenteo
	Alluminio (Al)	2.700	658	Bianco argento
	Magnesio (Mg)	1.740	650	Bianco argenteo

Scala di Brinell

La scala di Brinell, proposta dallo svedese Johan August Brinell (1849-1925), è una scala di valori ricavati dalla **prova di durezza dei materiali**.

Durante la prova viene esercitata una *pressione di 15 secondi su di un metallo, tramite un penetratore di forma sferica con diametro di 1cm che esercita un carico di 3000kg, per poi misurare il **diametro dell'impronta lasciata***.

Il metodo Brinell prevede la possibilità di utilizzare un penetratore in acciaio temprato, in tal caso il valore di durezza è preceduto dalla sigla HBS, o in metallo duro quale il tungsteno, in tal caso il valore di durezza è preceduto dalla sigla HBW.

Scala di Rockwell

La prova di durezza Rockwell, brevettata nel 1914 dagli statunitensi Hugh M. Rockwell (1890-1957) e Stanley P. Rockwell (1886-1940), si realizza con *penetratori di forma sferica, realizzati in tungsteno, oppure conica, realizzati in diamante*.

*La prova è eseguita secondo più stadi successivi di carico e determina la durezza in base alla deformazione elastico-plastica del materiale in esame: essenzialmente durante la prova **la misura della profondità raggiunta è correlata con la misura di durezza***.

La misurazione può essere fatta con diverse scale ed è contrassegnata da sigle in funzione della forma e del materiale del penetratore e delle forze applicate.

Le scale maggiormente utilizzate sono:

- **HRC** (Hardness Rockwell Cone). Il penetratore è un cono di diamante con un angolo di apertura pari a 120° e raggio di raccordo 0,2mm: questa scala è impiegata per materiali molto duri ovvero con valore di durezza Brinell HB > 200

- **HRB** (Hardness Rockwell Ball). Il penetratore è una sfera di tungsteno del diametro di 1,59mm: questa scala è impiegata per materiali non eccessivamente duri ovvero con valore di durezza Brinell HB <200

Scala di Vickers

La scala di Vickers, proposta da un gruppo di ricercatori dalla società britannica Vickers Ltd. Nel 1924, viene ottenuta con una prova in cui il penetratore è costituito da un diamante a piramide retta a base quadrata: **la misura che si ottiene è data dal rapporto tra il carico applicato e la superficie dell'impronta.**

Le unità di misura della scala Vickers sono quindi quelle di una **pressione** ovvero di un carico su una superficie: il carico applicato varia da 1 a 120kg.

Questo sistema di valutazione della durezza consente **un'elevata precisione della misurazione anche se il sistema risulta costoso** per la valutazione che può essere effettuata esclusivamente al microscopio. La scala Vickers fornisce dei risultati generalmente equiparabili, con la dovuta approssimazione, ai valori della scala Brinell.

La **deformabilità elastica** è una delle proprietà fondamentali di qualsiasi materiale e la sua conoscenza fornisce un dato essenziale per le sue applicazioni strutturali.

Il **modulo di elasticità** viene definito come il **rapporto tra la variazione di tensione longitudinale e la deformazione unitaria in direzione longitudinale** prodotta dalla variazione di tensione e viene espresso in MPa. (rapporto fra sforzo di tensione longitudinale e deformazione dovuta a tale sforzo)

Se si sollecita un solido di lunghezza L così da avere una variazione di lunghezza ΔL allora la lunghezza dello stesso solido dopo la deformazione è pari a $L + \Delta L$.

il rapporto tra la variazione di lunghezza e la lunghezza iniziale:

$$\Delta L/L = \epsilon \text{ (deformazione unitaria)}$$

esprime la deformazione unitaria (epsilon) riferita all'unità di misura della lunghezza originaria.

La tensione unitaria (σ), definita da Augustin Cauchy (1789-1857) come il rapporto tra rottura sotto carico di un materiale e le sue dimensioni geometriche, è un valore caratteristico di ogni materiale e si esprime come:

$$\sigma = P/A \text{ (kg/cm}^2 \text{ o N/mm}^2\text{)}$$

P = pressione unitaria esterna

A = superficie

Dal rapporto tra la tensione unitaria e la deformazione unitaria si ottiene il modulo di elasticità ovvero:

$$E = \sigma / \epsilon \text{ (g/cm}^2 \text{ o N/mm}^2\text{)}$$

σ = sforzo ovvero la tensione unitaria

ϵ = allungamento unitario ovvero la deformazione unitaria.

Il modulo di elasticità E, detto anche **modulo di Young**, è definibile anche come "il carico P teorico capace di allungare un filo alla sezione di 1cm² fino al doppio della sua lunghezza iniziale".

è importante sottolineare che si tratta di un carico P teorico perché, in effetti, nessun materiale da costruzione resiste a tale allungamento (l'alluminio ha comunque un allungamento che è tre volte superiore a quello dell'acciaio).

La deformazione di un materiale dipende dal suo modulo di elasticità: a parità di carico supportato, un materiale con cui un modulo di elasticità maggiore si deforma meno, ovvero è più rigido e solitamente anche più fragile.

L'acciaio ha un modulo di elasticità E pari a 210.000 N/mm².

Rigidezza

La rigidezza, ovvero la *capacità che ha un corpo di opporsi alla deformazione elastica provocata da una forza applicata, dipende da materiale, forma e vincoli al contorno ed è direttamente legata al modulo di elasticità in quanto:*

$$k = \frac{AE}{L}$$

k= rigidezza

A= Area della sezione resistente

E= modulo di Young

L= Lunghezza del corpo

La variazioni di rigidezza in alzata può provocare degli scompensi in caso di sisma: il piano debole o piano soffice è un meccanismo di collasso globale di strutture intelaiate che cedono a causa di un'elevata differenza di rigidità tra piani contigui.

Il collasso avviene molto rapidamente: negli edifici in cui si verifica questo tipo di meccanismo si può osservare che un piano sparisce mentre i piani superiore sono solo leggermente lesionati.

Legge di Poisson

La Legge di Poisson stabilisce che *se un corpo è soggetto ad una trazione, oltre ad una elongazione nella direzione di azione della forza, si osserva una riduzione delle dimensioni trasverse; nel caso di una compressione si osserva invece un aumento delle dimensioni trasverse.*

Se si considera un cilindro di lunghezza L e raggio di base r, si osserva, nei limiti di elasticità del materiale che:

$$\Delta r/r = \nu (\Delta l/l) = \nu \epsilon$$

r = Raggio del cilindro; l = Lunghezza del cilindro; ν = costante adimensionale positiva che dipende dal materiale, detta coefficiente di Poisson; ϵ = allungamento unitario ovvero la deformazione unitaria. Sperimentalmente si riscontra che $\nu \leq 0,5$.

Fluage

Le deformazioni cambiano col passare del tempo: gli elementi strutturali in legno, ad esempio, sottoposti a carichi di lunga durata (nell'ordine dei 50 anni) possono rompersi a carichi pari al 60% di quelli risultanti da prove di breve durata.

A tale proposito, il fluage (creep in inglese o **scorrimento** in italiano) indica il lentissimo scorrimento delle fibre nelle strutture inflesse con carico fisso nel tempo che porta ad un incremento della freccia elastica: questo fenomeno accomuna, tra gli altri, il legno al calcestruzzo armato. In quest'ultimo materiale la deformazione lenta, detto anche scorrimento viscoso, si esaurisce in un periodo di tempo di circa tre anni.

Resistenza a Trazione

Il diagramma tensioni-deformazioni nella prova a trazione di un acciaio dolce evidenzia tre periodi, ovvero:

1 – un primo periodo di piccole deformazioni che aumentano in proporzione ai carichi [campo elastico (legge di Robert Hooke, 1678)]

2 – un periodo definito snervamento, con la rottura di parte delle fibre

3 – un periodo di grandi deformazioni (permanenti) che aumentano più rapidamente dei carichi fino ad aumentare anche in condizione di carico costante [campo plastico]

Dall'esame del diagramma si possono individuare anche dei singoli punti limite ovvero:

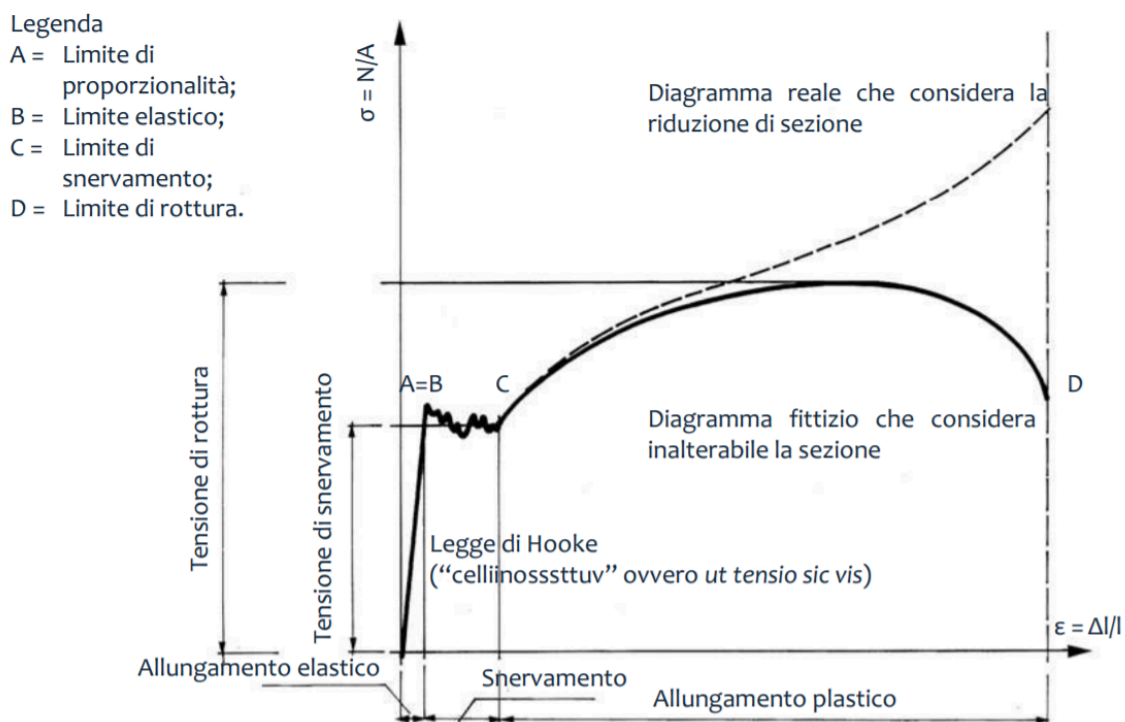
A – il limite di proporzionalità (Legge di Hooke)

B – il limite elastico (che spesso coincide con il limite di proporzionalità) che indica in valore oltre il quale la deformazione cessa di essere elastica: è il limite entro il quale al cessare della tensione la deformazione si annulla

C – il limite di snervamento

D – il limite di rottura

L'allungamento di un corpo elastico è direttamente proporzionale alla forza di trazione applicata; allo stesso modo, la contrazione è direttamente proporzionale alla forza di compressione.



Coefficiente di Sicurezza

Ai fini della sicurezza strutturale è necessario:

- evitare la formazione di deformazione permanenti
- non ammettere che una struttura sotto carico si snervi
- impiegare i materiali entro i limiti di elasticità lineare e, quindi, entro un limite di sicurezza ovvero entro una determinata frazione del carico di rottura.

La resistenza ammissibile, ottenuta applicando il coefficiente di sicurezza al carico di rottura, rappresenta quindi la frazione del carico di rottura entro il quale il materiale continua a fornire prestazioni controllate.

I coefficienti di sicurezza variano da materiale a materiale e sono calcolati su base probabilistica. Il legno, ad esempio, a causa delle condizioni di vegetazione, delle qualità intrinseche e della modalità di lavorazione è un materiale eterogeneo: questo spiega perché nei calcoli strutturali si considerano resistenze ammissibili ai vari tipi di sollecitazione molto più basse della resistenza a rottura.