



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



**Prof. Carlo Antonio Stival**  
via A. Valerio 6/1  
34127 Trieste  
+390405583478  
[cstival@units.it](mailto:cstival@units.it)

# TEMA 17

## Materiali da costruzione Acciaio

---

Laboratorio di **Progettazione Tecnologica dell'Architettura**  
Corso di **Materiali ed Elementi Costruttivi**

# 17.1

---

## **Introduzione**

# Definizioni

## MATERIALI METALLICI

### FERROSI

leghe di ferro e carbonio

proprietà variabili  
a seconda degli elementi  
che compongono la lega

#### GHISE

contenuto di carbonio  $> 2\%$

#### ACCIAI

contenuto di carbonio  $\leq 2\%$   
(al carbonio,  
bassolegati, speciali)

### NON FERROSI

distinti in base  
al peso specifico

#### PESANTI

rame, piombo, nichel,  
stagno, cromo, zinco

#### LEGGERI

alluminio, titanio

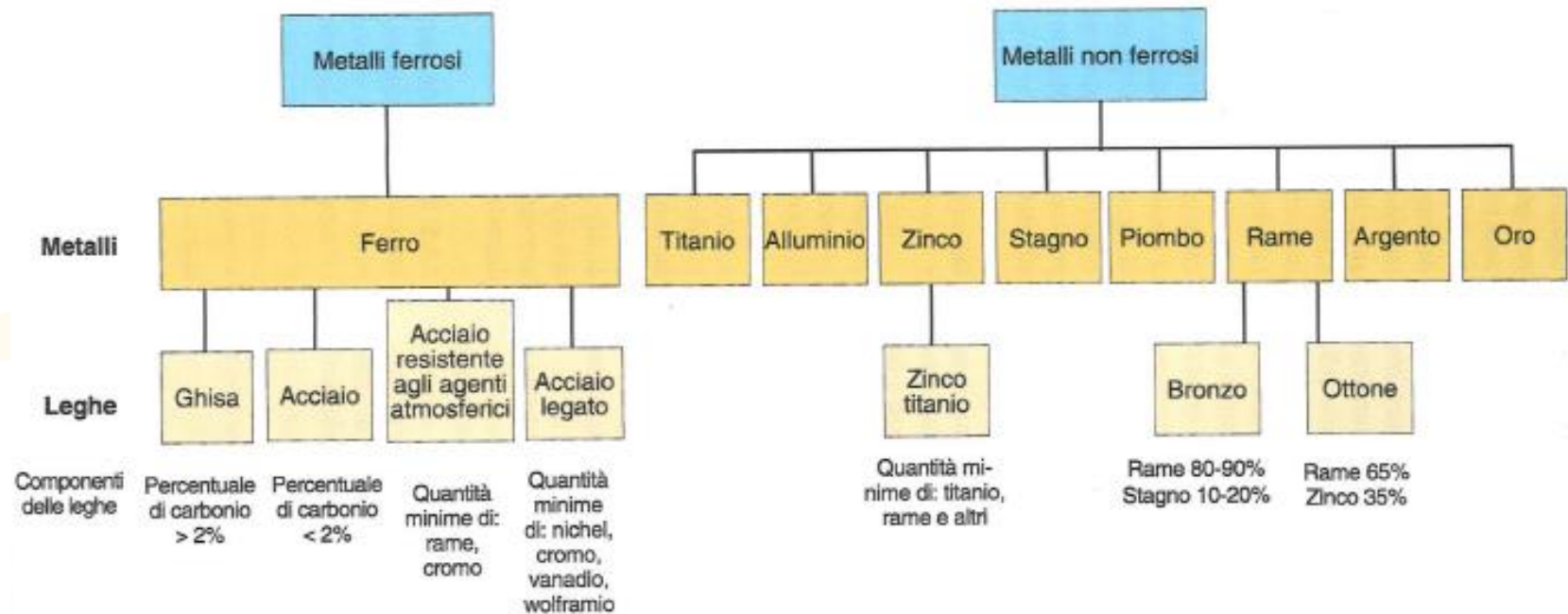
#### ULTRA-LEGGERI

magnesio

17

# Definizioni

## MATERIALI METALLICI



# Evoluzione della produzione

## FORNI PER ACCIAIO

### FINO AL XIII SECOLO

parzialmente incassati nel terreno e alimentati da mantici (ferro fucinato); solo dal 1200 forni sollevati dal terreno

## RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

1720

altoforno alimentato a coke (Abraham Darby)  
inizio della produzione di massa della ghisa

1784

forno a riverbero (Henry Cort) a decarburazione continua della ghisa: prodotto pastoso (ferro pudellato) poi battuto al maglio

## XIX SECOLO

1856

passaggio dalla ghisa all'acciaio

1864

forno Martin-Siemens per la produzione di acciaio anche a partire da rottami

# Evoluzione dei manufatti

## L'EPOCA DELLA GHISA (1780-1850)

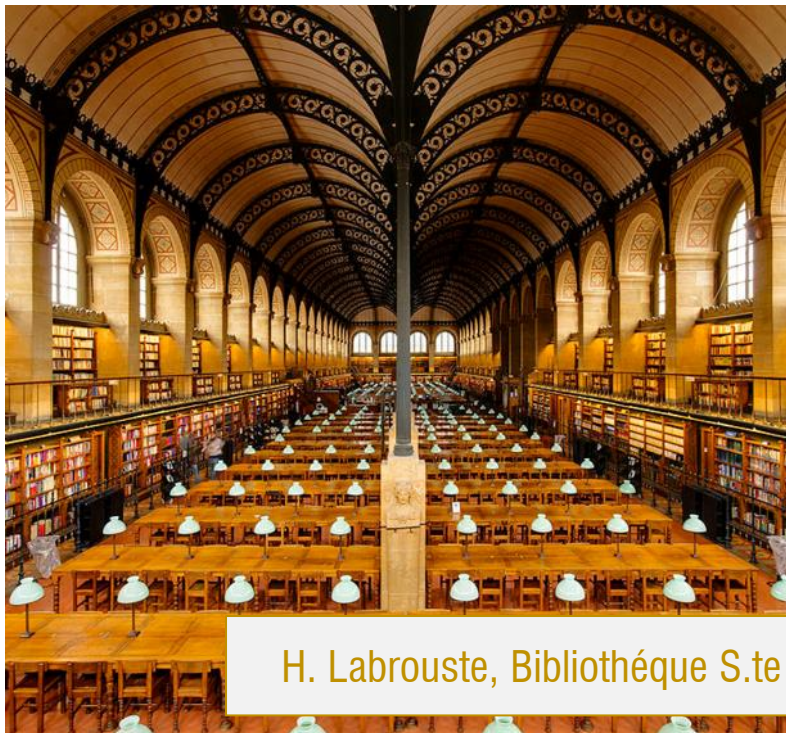
I primi ponti in ghisa furono realizzati con **forma ad arco** in **alternativa** ai ponti in **muratura**. L'utilizzo del nuovo materiale portò ad una sensibile **riduzione** del **peso strutturale**, dei **costi di costruzione** e dei **tempi di realizzazione**.

Il ponte sul Severn (1779) fu il primo ponte ad arco in ghisa, costituito da 5 archi adiacenti su una luce di 30 m, composti da due conci fusi in pezzo unico di sviluppo 21 m e uniti in chiave senza dispositivi specifici.



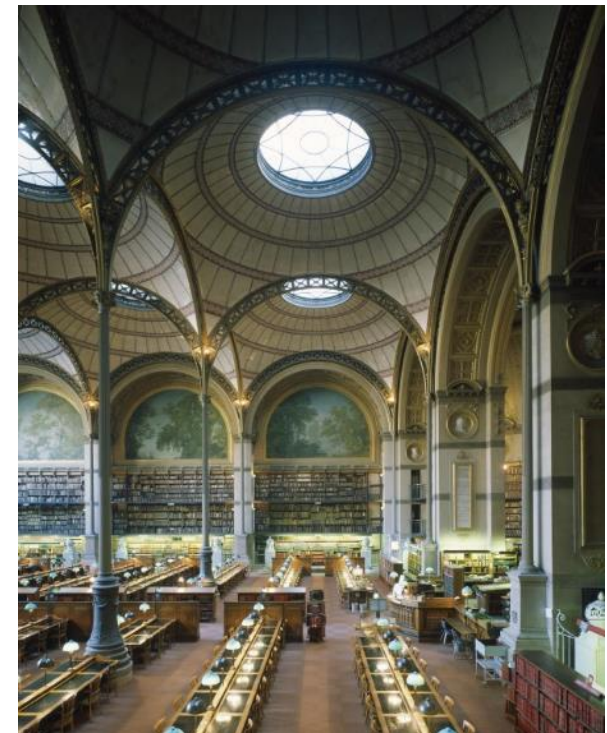
# Evoluzione dei manufatti

## L'EPOCA DELLA GHISA (1780-1850)



H. Labrouste, Bibliothèque S.te Geneviève

Il primo utilizzo di **leghe ferrose** (ghisa) come **elementi strutturali** per **edifici** avvenne all'inizio dell'800: colonne e archi in sostituzione di elementi lignei. Successivamente, tra il 1810 e il 1840, iniziò l'impiego di **travi in ghisa** di **luce** considerevole (superiore ai **12 m**) a sostegno dei **solai di piano** e di **copertura**.



# Evoluzione dei manufatti

## L'EPOCA DEL FERRO PUDELLATO (1850-1900)

Il periodo del ferro puddellato coincide con l'epoca delle travi rivettate ovvero composte da più lamiere unite tramite rivetti. Il processo di puddellaggio consisteva nell'agitare la ghisa grezza fusa sulla platea di un forno a riverbero. La massa fusa, per effetto dell'azione decarburante dell'aria, si trasformava in ghisa malleabile.

## L'EPOCA DEL LAMINATO (1880-...)

Particolare impulso alle costruzioni metalliche nell'edilizia venne dato dalle **esposizioni internazionali**: di **Londra** nel **1851** nella quale venne edificato ad opera di J. Paxton, il Palazzo di Cristallo con struttura di ferro e ghisa e di **Parigi** nel **1855** ove venne realizzata una copertura a volta circolare di 48 m. Ulteriori esposizioni svoltesi a **Parigi** nel **1867**, **1878**, **1889** videro la realizzazione di opere particolarmente ardite, rese possibili dall'utilizzo di prodotti laminati che dallo sviluppo di adeguati procedimenti di calcolo.

# Evoluzione dei manufatti

9

L'EPOCA DEL  
LAMINATO  
(1880-...)



J. Paxton, Crystal Palace

## L'EPOCA DEL LAMINATO (1880-...)



G. Eiffel, Viaduc du Garabit

L'EPOCA DEL  
LAMINATO  
(1880-...)



G. Eiffel, Nyugati Pályaudvar

17.2

---

**Acciai**

# Classificazione

**ACCIAI**

ACCIAI AL  
CARBONIO

Fe + C + modeste  
percentuali di impurità

L'invenzione muove dalla semplice osservazione che la **ghisa grezza**, investita dalla **corrente d'aria** nel forno di affinazione, si riscalda molto di più se **non** è **coperta** da **carbone**. In altre parole il carbonio contenuto nella ghisa grezza può essere eliminato con il solo getto d'aria, poiché lo stesso carbonio, come combustibile, produce una temperatura più elevata. Decarburando il metallo nel processo di affinazione e portandolo a un grado inferiore a quello necessario per ottenere il ferro, si può, dunque, produrre acciaio.

Sono **acciai al carbonio** i cosiddetti acciai **da costruzione**, (**armature** del **calcestruzzo armato**, **carpenterie metalliche**) sotto forma di **semilavorati**:

- **barre** e **reti elettrosaldate**
- **profilati laminati a caldo**
- **lamiere striate** e **bugnate**
- **lamiere grecate**,
- **profilati** formati **a freddo**
- **tubi** per condotte.

# Classificazione

ACCIAI

ACCIAI  
BASSOLEGATI

Fe + C +  
elementi in lega < 5%

L'acciaio **EX-TEN** è caratterizzato da un **elevato** limite di **snervamento**, è quindi adatto per **strutture leggere** anche soggette a notevoli carichi.

L'acciaio **COR-TEN** possiede **elevato** limite di **snervamento** e un buon grado di **saldabilità**. Presenta **elevatissima resistenza** alla **corrosione** (5-6 volte superiore a quella di un normale acciaio al carbonio).



# Classificazione

**ACCIAI**

ACCIAI LEGATI  
O SPECIALI

Fe + C +  
elementi in lega > 5%

Appartengono agli acciai legati gli acciai **inossidabili**: leghe a **elevato contenuto di cromo** (mai inferiore al 12%), che **ossidandosi** a contatto con l'atmosfera forma una **patina superficiale** molto **resistente**.

In generale sono caratterizzati da un'**elevatissima resistenza alla corrosione** unita a una grande **resistenza meccanica**.

- Acciai a **struttura martensitica**, o al **cromo** (Cr=11÷18%, C=0,1÷0,5%, in certi casi fino all'1%): molto duri e relativamente meno resistenti alla corrosione
- Acciai a **struttura ferritica**, o al cromo (Cr=16÷30%, C<0,1%, in certi casi fino a 0,35%): più resistenti alla corrosione
- Acciai a **struttura austenitica**, o al cromo cromo-nichel (Cr=16÷26%, Ni=6÷22%, C<0,1%): elevatissima resistenza alla corrosione (tra più usati in edilizia).

# Classificazione

ACCIAI

ACCIAI CALMATI

$\text{Fe} + \text{C} +$   
 $\text{Si} + \text{Al} < 1\%$

Sono acciai al carbonio sottoposti all'aggiunta di **modeste quantità** di **silicio** e **alluminio** per migliorare l'**omogeneità** ed **eliminare** gli **elementi gassosi** nella massa.

A seconda del grado di **calmaggio**, si distinguono:

- acciai **effervescenti**, che non subiscono processi di calmaggio (presentano **minutissime porosità** dovute alla presenza di elementi gassosi contenuti nella massa);
- acciai **calmati** e **semicalmati**, a seconda del grado a cui viene spinto il calmaggio. Possiedono una **cristallizzazione** più **fine** rispetto ai prodotti effervescenti.

# Classificazione

## TENORE DI CARBONIO

Per individuare un tipo di acciaio si ricorre alle norme UNI EN 10027, che stabiliscono una designazione simbolica (alfanumerica) che li divide in due gruppi principali, e numerica (complementare), che riguarda gli acciai di diffusione commerciale.

**EXTRADOLCI** – da 0,10% a 0,15% di C  
(lamiere, tubi, fili, viti, bulloni)

**DOLCI** – da 0,15% a 0,30% di C  
(profilati, barre di armature, lamiere, tubi, rotaie)

**SEMIDURI** – da 0,30% a 0,45% di C  
(barre di armatura, rotaie)

**DURI** – da 0,45% a 0,65% di C  
(cavi, molle, scalpelli, seghe)

**EXTRADURI** – da 0,65% a 0,80% di C  
(barre e fili per calcestruzzi armati precompressi, utensili)

# Proprietà dell'acciaio

## PROPRIETÀ MECCANICHE

### DUREZZA

### RESILIENZA

Consiste nella misura del diametro dell'**impronta** di **penetrazione** lasciata sul provino da una **sfera di acciaio** sottoposta ad un **carico F** per un determinato **intervallo** di **tempo**. La prova viene effettuata con **apparecchi diversi** (Brinell, Vickers, Rockwell) che si differenziano tra di loro per la forma del penetratore.

Questa prova consiste nel determinare la **capacità** dell'acciaio di **resistere a sollecitazioni impulsive**, quantificando l'energia per unità di superficie assorbita dal campione portato a rottura in maniera fragile.

La resilienza è elevata negli acciai a comportamento **tenace**, bassa in quelli a comportamento **fragile**, con eccessivo tenore di carbonio, lavorati a freddo o esposti a basse temperature.

# Proprietà dell'acciaio

## PROPRIETÀ MECCANICHE

RESISTENZA  
AL PIEGAMENTO

RESISTENZA  
A FATICA

SALDABILITÀ

La prova consiste nel sottoporre il provino ad una deformazione plastica per flessione, piegandolo a 90° o a 180°. Consente di accertare l'attitudine del materiale a sopportare grandi **deformazioni a freddo** senza rompersi. La proprietà è particolarmente importante per le **barre da armatura** nel calcestruzzo armato.

Importante nelle strutture metalliche soggette a **sollecitazioni dinamiche** con carichi **ciclicamente** variabili tra i massimi e i minimi, che possono produrre **rottture** causate da **fenomeni di fatica**. Il carico limite a fatica è inferiore a quello di rottura per carichi statici.

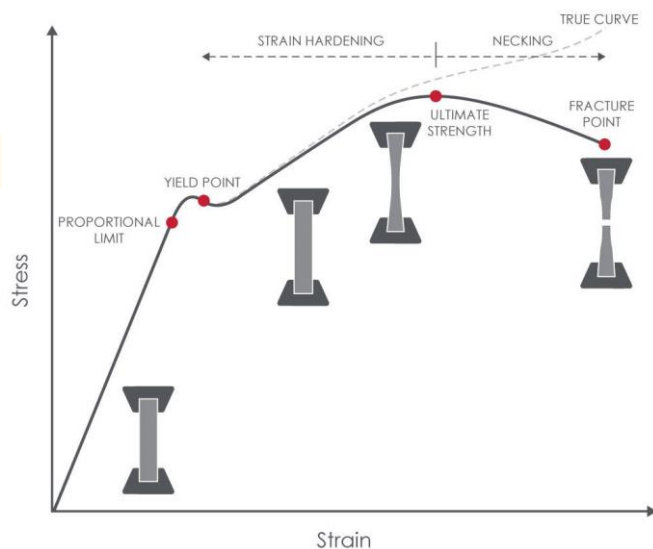
Indica la proprietà di un materiale di **non essere suscettibile** a **rottura fragile** alle condizioni di temperatura e sollecitazione previste, **dopo** l'operazione di **saldatura**. La saldabilità degli acciai dipende dalla loro composizione (contenuto di C, P, S).

# Proprietà dell'acciaio

## PROPRIETÀ MECCANICHE

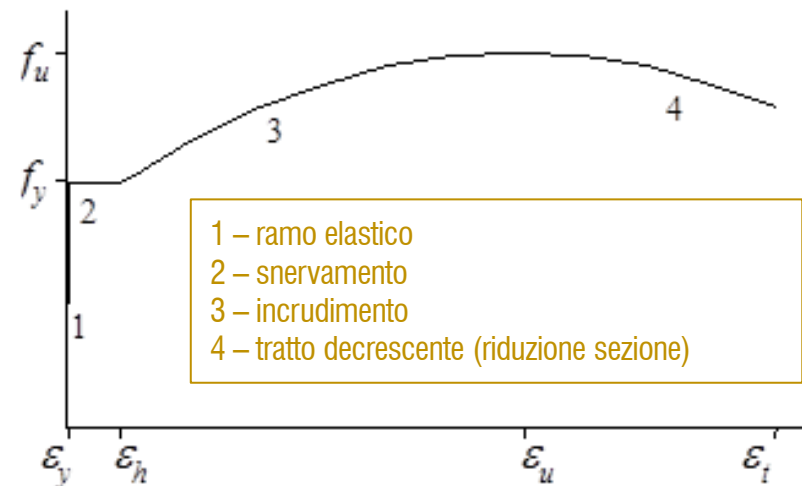
### RESISTENZA A TRAZIONE

Ductile Material Stress-Strain Curve



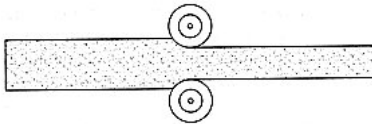
Si misura con una **prova distruttiva** che consente di determinare il **carico di snervamento**, il carico di rottura di un acciaio e il suo diagramma sforzo / deformazione.

Dalla prova si ricava la **tensione di snervamento  $f_y$**  cui corrisponde la **deformazione  $\epsilon_y$** ; la deformazione in cui inizia l'**incrudimento  $\epsilon_h$**  (12-15 volte  $\epsilon_y$ ); la **tensione di rottura a trazione  $f_u$**  (il massimo raggiunto nella prova) e la **corrispondente deformazione  $\epsilon_u$** ; la **deformazione a rottura  $\epsilon_t$** .



# Processi di lavorazione

## LAMINAZIONE



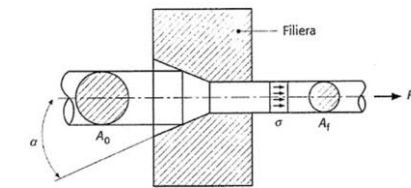
Consiste nel far passare il materiale grezzo attraverso una serie di **coppie di cilindri** sempre più vicini e rotanti in senso opposto che ne **riducono lo spessore aumentandone** la **lunghezza** e la **larghezza**. La laminazione può essere **a caldo o a freddo**.



# Processi di lavorazione

## TRAFILATURA

Consiste nel far passare il materiale sotto forma di barre attraverso una **trafila** formata da una serie di **fori svasati** di dimensioni decrescenti così da **diminuire** la **sezione**. **Generalmente** è effettuata **a freddo**.



# Processi di lavorazione

## STAMPAGGIO O FORGIATURA

Il prodotto viene introdotto in appositi **stampi** dove verrà **pressato** fino ad ottenere la forma voluta.



# Processi di lavorazione

## PIEGATURA

Viene effettuata attraverso **punzoni** e matrici di varia forma che consentono di **piegare a spigolo** l'acciaio.



## FUCINATURA

È praticata **battendo il metallo rovente** con un **maglio** sopra ad un'incudine. Può avvenire **a freddo** per produrre **barre** o blocchi, o **a caldo** per creare **oggetti di forma più complessa**.

# Trattamenti

L'acciaio può essere sottoposto a **trattamenti** che **agiscono** sulla sua **struttura cristallina**, modificandone le **caratteristiche fisiche** e **meccaniche**.

## TERMICI

permettono di variare in modo sensibile le caratteristiche meccaniche in funzione agli impieghi specifici a cui sono destinati

## MECCANICI

provocano una forte deformazione della struttura cristallina e notevoli tensioni interne, determinando l'incrudimento del materiale, l'incremento delle proprietà meccaniche accompagnato da diminuzione della tenacità

## FISICO-CHIMICI

hanno lo scopo di aumentare la durezza superficiale degli acciai mediante il riscaldamento del materiale a contatto con altre sostanze

# Trattamenti

## TEMPRA

riscaldamento fino a 800-900° e successivo brusco raffreddamento in acqua o olio; aumenta la durezza e la resistenza meccanica, rendendo però il materiale fragile

## RINVENIMENTO

riscaldamento fino a 600° e successivo lento raffreddamento; aumenta la tenacità, la lavorabilità, diminuisce la fragilità

## BONIFICA

tempra e rinvenimento eseguiti in successione

## RICOTTURA

riscaldamento fino a 900° e raffreddamento lentissimo; aumenta l'omogeneità, la lavorabilità meccanica senza intaccare la resistenza, all'inverso della tempra

# Trattamenti termici

A FREDDO

laminazione, trafilatura, martellatura

A CALDO

laminazione, estrusione, forgia,  
stampaggio a caldo

17



# Trattamenti fisico-chimici

---

CEMENTAZIONE

arricchimento superficiale in carbonio

NITRURAZIONE

riscaldamento fino a 500° per introduzione di azoto atomico che, assorbito dalla ferrite, forma nitruri che distorcono il reticolo cristallino

CIANURAZIONE

riscaldamento fino a 800° per immersione o cospargimento di cianuro di potassio

SOLFONITRURAZIONE

arricchimento superficiale di zolfo e azoto

# Prodotti

## PROFILATI A CALDO

Doppio T (IPE, HE, IPN) con altezza compresa tra 80 e 160 mm

T, ala compresa tra 20 e 100 mm

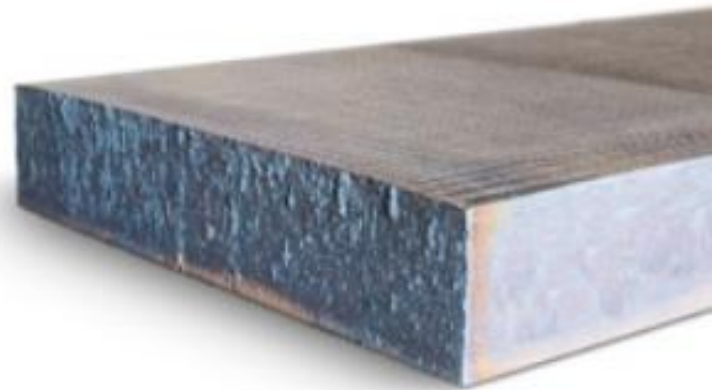
L a lati uguali o disuguali, lato compreso tra 15 e 200 mm

U, a facce interne inclinate, altezza compresa tra 30 e 300 mm



## SEMIPRODOTTI DI PRIMA LAVORAZIONE

Blumi e bramme sono ottenuti dalla colata continua di un altoforno o da lingotti e sono destinati a successive lavorazioni quali la laminazione, forgiatura e fucinatura



## PROFILATI A FREDDO

ricavati da nastro laminato impiegando macchine sagomatrici

a sezione aperta (angolare, L, U, omega, C, Z)

a sezione chiusa (tubo quadro, rettangolare, mobilio)



## PROFILATI A CALDO

superficie ruvida, bordi arrotondati

tolleranze dimensionali maggiori



## PROFILATI A FREDDO

superficie liscia e uniforme, spigoli vivi

minore tolleranza

## BARRE

Dette anche **tondini**, possono essere **lisce** o ad **aderenza migliorata**, ovvero dotate di **risalti trasversali** che aumentano l'**aderenza** con il **conglomerato cementizio**; hanno diametri compresi tra **6 e 40 mm** se laminate **a caldo**, mentre tra **5 e 10 mm** se laminate **a freddo**:

- tonde: con diametro compreso fra 5 e 180 mm
- esagonali: con larghezza che varia da 9 a 83 mm
- quadre: con lato fra 5 e 150 mm
- piatte: con larghezza compresa fra 10 e 320 mm.



ARMATURE  
LONGITUDINALI  
STAFFE  
RETI ELETTROSALDATE



# Prodotti

## LAMIERE GRECATE

Sono ottenute per **profilatura a freddo** di lamiere sottili di **spessori compresi** tra **0,6 e 1,5 mm** con una sezione costituita da **nervature** che tanto più ravvicinate tanto più conferiscono **resistenza** agli sforzi di **flessione**.

per coperture



per solai



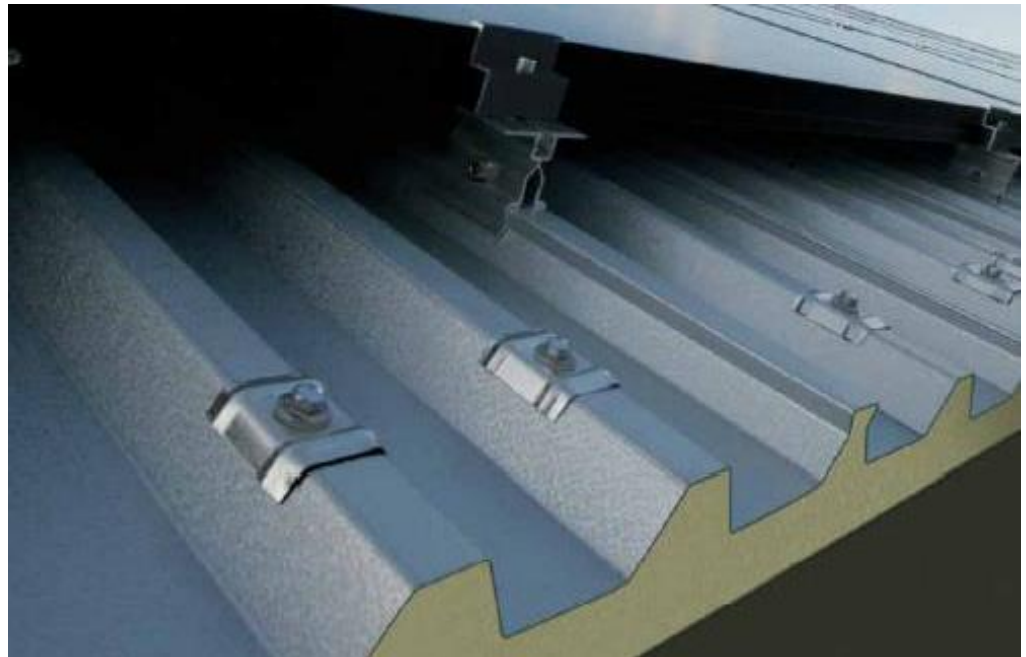
per pareti



# Prodotti

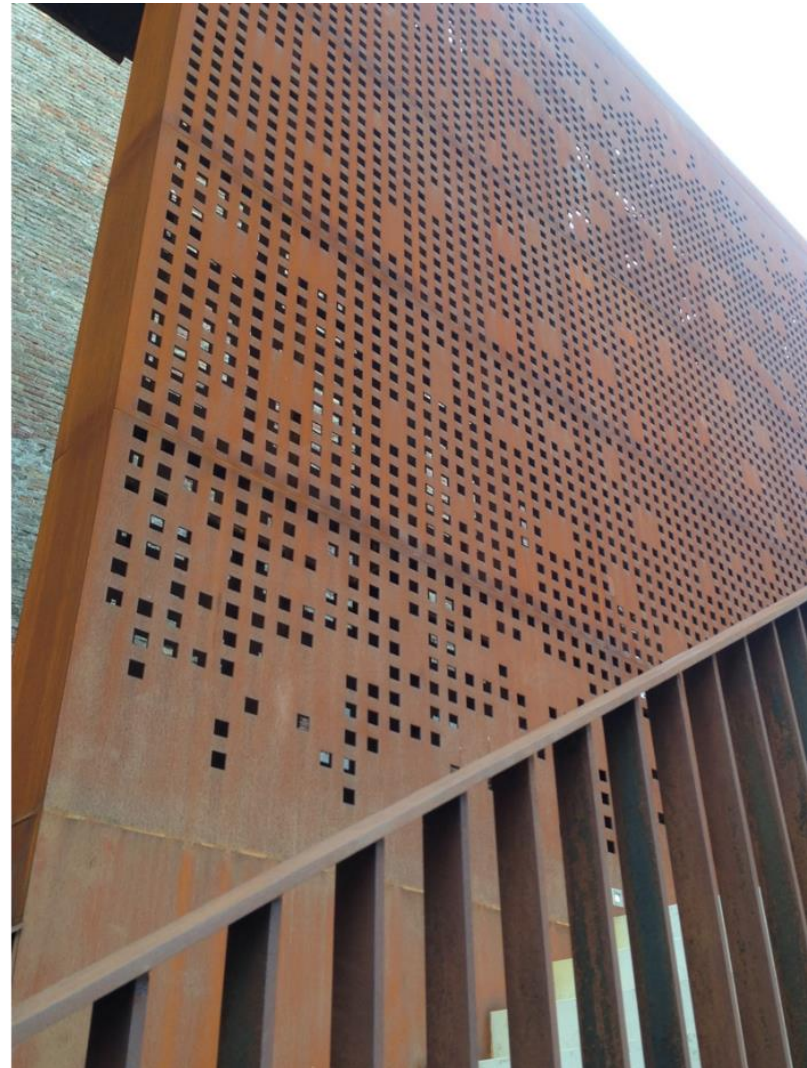
## PANNELLI DI LAMIERA

Sono costituiti da **due fogli di lamiera** di **acciaio zincato** nervato e preverniciato tra i quali viene iniettato **materiale coibente** che, espandendosi, aderisce alle pareti e dà origine a un **pannello leggero, resistente a flessione** e con buone capacità di **isolamento termico**. Vengono utilizzati soprattutto per realizzare coperture e pareti esterne.



17

## PANNELLI DI LAMIERA



# Prodotti

## TUBI



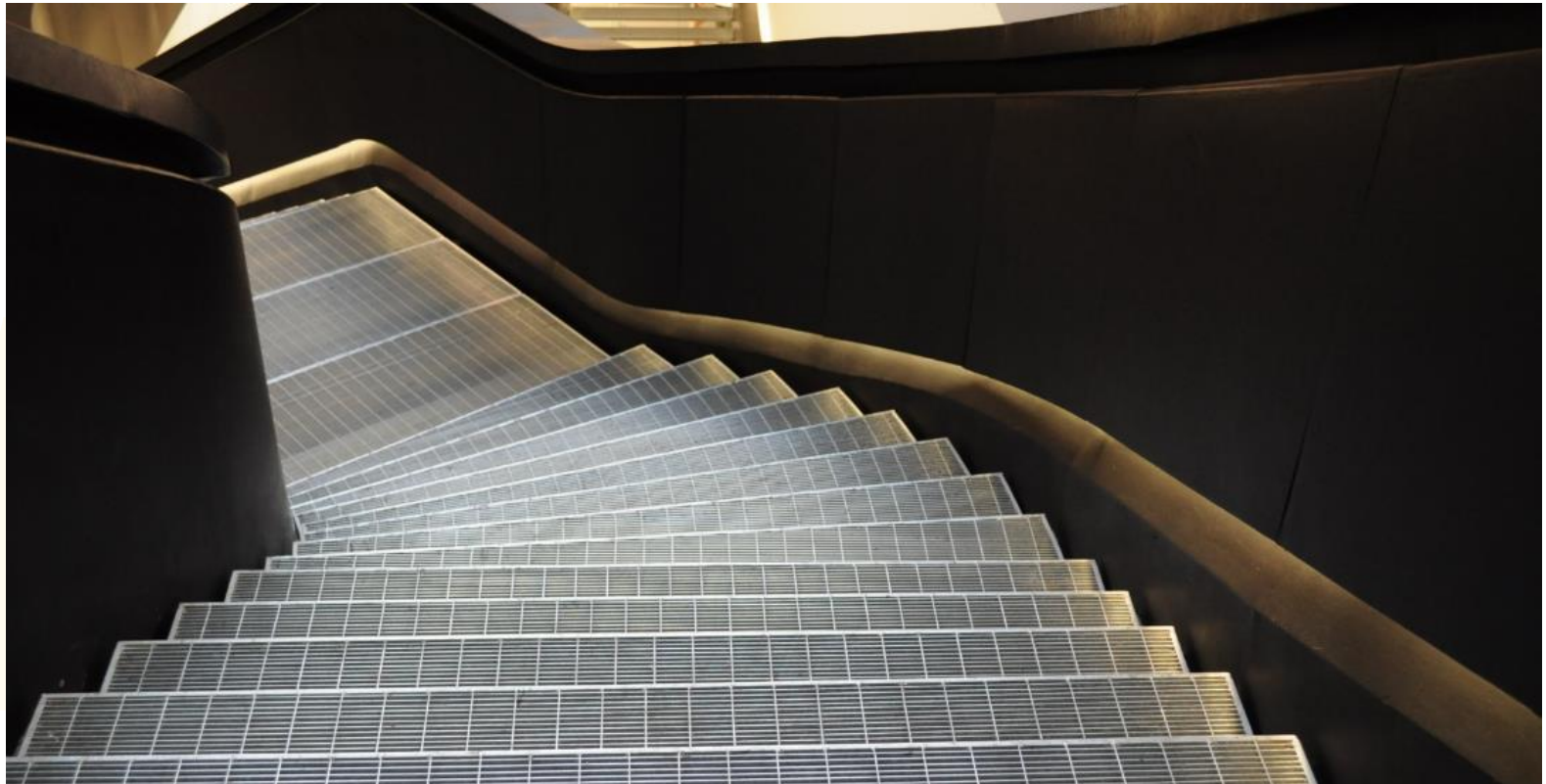
I tubi per condotte sono **profilati cavi** a **sezione circolare** che, a seconda del metodo di produzione vengono distinti in:

- **senza saldatura**, detti anche **Mannesmann**, ottenuti mediante **laminazione a caldo**; hanno diametro massimo di 4 pollici;
- **saldati**, ottenuti attraverso la sagomatura del nastro d'acciaio e dalla saldatura dei lembi accostati di **diametro massimo di 500 mm**, usati per acqua e fluidi a bassa pressione.

# Prodotti

## MAGLIE METALLICHE GRIGLIATI

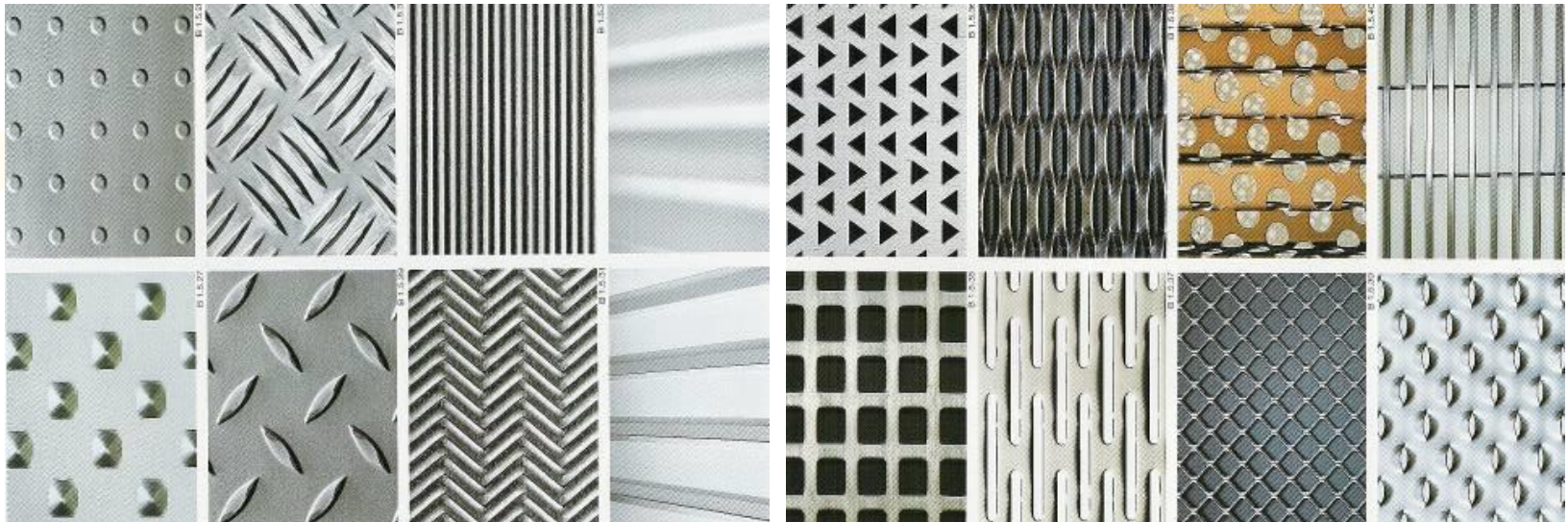
Sono tessute a telaio (fili lisci rettilinei o ondulati) o saldate (piattine di diverso spessore/altezza) secondo una texture/ disegno prestabilito.



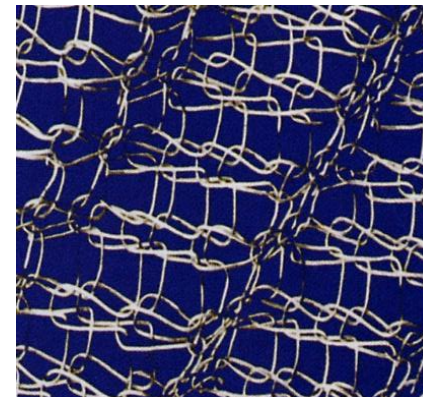
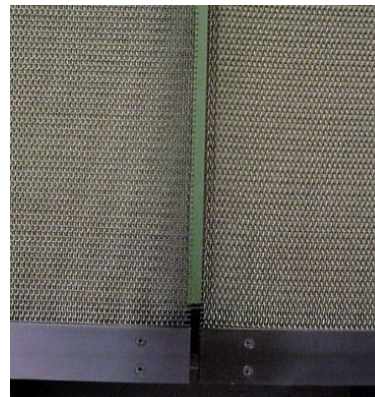
## RIVESTIMENTI

Sono ottenuti per:

- fusione e foggatura (colata in stampi, sinterizzazione, foggatura per pressione/trazione, foggatura per piegatura/spinta;
- taglio (frazionamento, truciolatura con tagli geometrici, smerigliatura, truciolatura con getti d'acqua abrasivi, asportazione termica.



## RIVESTIMENTI



# Prodotti

## RIVESTIMENTI PROTETTIVI

### PITTURAZIONE

a base di sostanze organiche che proteggono l'acciaio  
mediante una barriera resistente alla corrosione

### SMALTATURA PORCELLANATA

due strati di copertura, completamente inorganici,  
cotti in forno

### PLASTIFICAZIONE

sottile pellicola di cloruro di polivinile,  
o altre resine idonee allo scopo

### ZINCATURA

a base di zinco, mediante immersione in bagni

### VERNICIATURA CON INTUMESCENTI

aumentano sensibilmente il volume sotto l'azione del calore,  
formando uno strato spugnoso, a impedire per un certo periodo che  
l'aumento di temperatura determini deformazioni permanenti il  
collasso della struttura durante gli incendi

REVERSIBILI

avvitatura, bullonatura, innesto a spina, aggraffaggio

PERMANENTI

chiodatura, rivettatura (per i lamierini), saldatura, incollaggio



REVERSIBILI

avvitatura, bullonatura, innesto a spina, aggraffaggio

PERMANENTI

chiodatura, rivettatura (per i lamierini), saldatura, incollaggio



Scheletro portante



Elemento reticolare

