

NUMERO: 563

DATA: 20/06/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Sannipoli

MATERIA: Tecnologia dei Materiali da Costruzione
Prof. Actis Grande

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Welcome Vincenzo | Home | Logout

Suggerimenti | Autenticato tramite Shibboleth - IDP: Studenti

03IMXMX - Tecnologia dei materiali da costruzioneCrediti: 6
Periodo: 2-2Precedenze: -
Esclusioni: -

Avvisi

Guida

Materiale

Forum

Elaborati

ACTIS GRANDE MARCO**Programma**

Il legame metallico; reticoli cristallini dei metalli. Le prove di durezza. La prova di trazione. Meccanismi di rafforzamento. Fabbricazione degli acciai: ciclo integrale e ciclo da rottami; principi di funzionamento di altoforni, convertitori e forni ad arco; metodi di elaborazione in siviera; colata in lingotto e colata continua; laminazione a caldo; effetti su impurezze ed inclusioni. Diagrammi di stato binari di elementi metallici. Diagramma di stato Fe-C. Trasformazione dell'austenite in ferrite e perlite. Metodi di analisi metallografica. Acciai eutetoidici patentati e trafilati per fili (per c.a. precompresso e per funi). Trasformazioni dell'austenite in martensite e bainite; Metallografia. Curve TTT e CCT. Ricottura subcritica, ipercritica e normalizzazione. Bonifica: principi generali, esecuzione e risultati. Tempra e temprabilità, diametro ideale critico (D_{ic}), calcolo del D_{ic}. Elementi influenti sulla temprabilità. Durezza della martensite. Rinvenimento: trasformazioni microstrutturali e strutturali ed effetti sulle proprietà meccaniche, in funzione della temperatura. Il processo di laminazione a caldo, tempra parziale ed auto rinvenimento per barre di rinforzo saldabili per c.a. (processo tempcore). Metodi di rafforzamento mediante micro alligazione e trattamento termomeccanico: affinamento del grano con uso di precipitati di bordo grano; rafforzamento per precipitazione. La saldatura degli acciai: zona fusa e zona termicamente alterata; possibili origini di difetti e rotture a caldo o differite; possibile formazione di martensite; saldabilità degli acciai e Ceq. Tecnologie di saldatura. Fratture di tipo duttile o fragile. Prove di resilienza Charpy: metodi di esecuzione e risultati. Curve di transizione duttile-fragile. Meccanismi microscopici di frattura: clivaggio, frattura intergranulare e frattura per nucleazione, crescita e coalescenza di micro vuoti; esempi (frattografie di fratture fragili e duttili. Classificazione e designazione degli acciai: principi generali ed esempi. Prodotti in acciaio per le costruzioni: prodotti per c.a. ordinario e precompresso e per strutture metalliche saldate (acciai laminati a caldo, acciai a grano fine, acciai sottoposti a trattamento termomeccanico, acciai corten); bulloni: classi e requisiti composizionali, microstrutturali e meccanici. Corrosione dei materiali metallici: generalità; aspetti termodinamici; aspetti elettrochimici; corrosione uniforme; velocità di corrosione e sua misura. Acciai inossidabili: composizione e proprietà dei tipi 405, 430, 304 e 316. Diagrammi di stato Fe-Cr-C. Caratteristiche generali degli acciai inox ferritici. Elementi alfoeni ed austenitizzanti e diagramma di Shaeffler. Acciai inox a basso tenore di elementi interstiziali o stabilizzati con Ti. Classificazione degli stati di trattamento termico e di finitura superficiale per lamiere di acciaio inox (norma EN 10088). Leghe di alluminio: confronto tra densità, modulo elastico e temperatura di fusione di Al e di Fe. Stati metallurgici normati delle leghe di alluminio: stati F, O, H, W, T; stati di trattamento termico: T3, T4, T5, T6; stati di incrudimento o incrudimento e ricottura parziale: da H11 ad H18 e da H21 ad H28. Cenni alle leghe di rame.

Introduzione ai materiali vetrosi: generalità e classificazione; ossidi formatori, i modificatori, gli intermedi. Viscosità in funzione della temperatura. Condizioni di vetrificabilità, la temperatura di transizione vetrosa; Viscosità vs temperatura per vetri di diverse composizioni. Proprietà (meccaniche, termiche, ottiche) dei vetri. Stabilità chimica dei vetri. Resistenza in funzione del tempo- lento propagarsi delle cricche. Materie prime per la fabbricazione del vetro, cenni sulla sua produzione e formatura, trattamenti termici e tempra. Tipologie di vetri per l'edilizia (vetri di sicurezza, vetrocemento, vetri per il risparmio energetico, vetro cromogeni e fotocromici). Vetro e luce, suggerimenti per la progettazione. Trasmissione termica, Vetri speciali per il controllo solare o per l'isolamento termico; Vetri a camera, Vetri basso emissivi. Coefficiente di Sicurezza, Deformazione Elastica (Freccia D'inflexione), Dimensionamento delle lastre (esercizi). Trattamenti termici e tempra dei vetri. Vetri stratificati, isolamento acustico. Vetroceramico, vetri cromogeni e vetri fotocromici. Isolamento termico: Richiami alle proprietà termiche dei materiali. Vetro cellulare per l'isolamento termico degli edifici. Materiali innovativi per l'isolamento termico. Cenni ai materiali a cambiamento di fase per l'accumulo di calore. Richiami alle proprietà dei materiali ceramici, correlazioni microstruttura-proprietà dei materiali. Proprietà meccaniche dei materiali fragili. Produzione dei materiali ceramici e classificazione: laterizi gres, cotto, terraglie, etc. Le materie plastiche: generalità, struttura, sintesi e classificazione dei materiali polimerici; correlazioni microstruttura-proprietà dei materiali polimerici. Tipologie di polimeri: termoplastici e termoidurenti; sintesi dei polimeri. Proprietà meccaniche ed esempi applicativi. Tecnologia dei materiali polimerici. Applicazioni dei polimeri in edilizia. Introduzione ai materiali compositi, generalità, classificazione, meccanismi di rinforzo, processi produttivi; materiali compositi rinforzati con fibre. Materiali compositi per applicazione nel settore dell'edilizia: compositi a matrice polimerica rinforzata con fibre (FRP). Tipologie ed esempi applicativi.

Testi e materiale didattico

Dispense e lucidi forniti dal docente sul portale della didattica

Testi di approfondimento:

- Callister, Scienza e Ingegneria dei Materiali (terza edizione EDISES)
- A. Varshneya, Fundamental of Inorganic Glasses
- Krauss, Steels: processing, structure and performance (acciai)
- Bhadeshia e Honeycomb, Steels: microstructure and properties (acciai)

LEZIONE 1

(vedi anche fotocopia fatta da Stefano al fondo di questa lezione)

Tecnologia dei materiali da costruzione

Ing. M. Actis Grande

Ing. M. Lombardi

Politecnico di Torino

marco.actis@polito.it

mariangela.lombardi@polito.it



1859-2009

150 anni di Cultura
Politecnica

Proprietà dei materiali

Le proprietà meccaniche → risposta alle sollecitazioni meccaniche, resistenza, etc.

Proprietà termiche → sono collegate alla trasmissione del calore e alla capacità termica

Proprietà elettriche e magnetiche → risposta ai campi elettrici e magnetici, conducibilità elettrica, etc.

Proprietà ottiche → comprendono l'assorbimento, la trasmissione e la diffusione della luce

La stabilità chimica → per contatto con l'ambiente, resistenza alla corrosione



risposta alle proprietà chimiche dei materiali

Strutture atomiche(II)

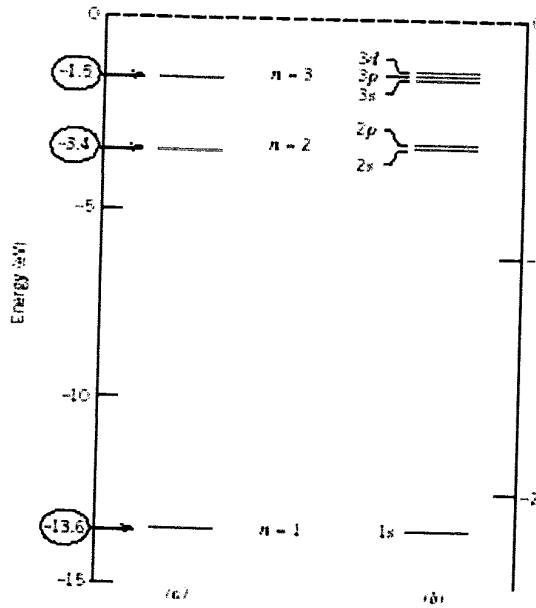
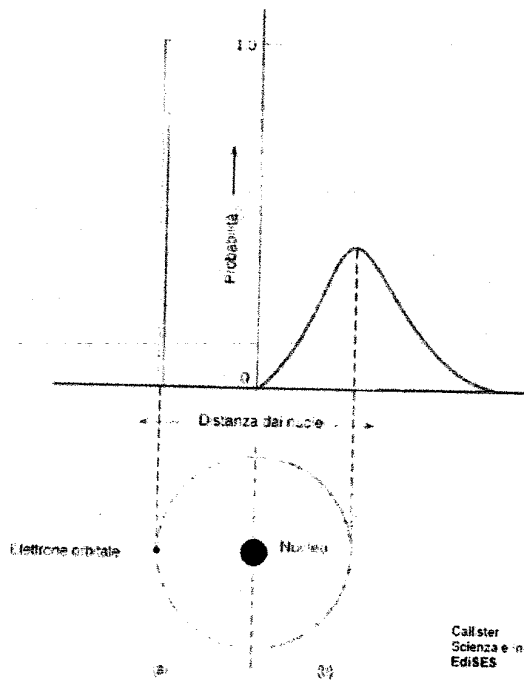


Figure 2.2 (a) The first three electron energy states for the Bohr hydrogen atom. (b) Electron energy states for the first three shells of the wave-mechanical hydrogen atom. (Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, Structure, p. 10. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons Inc.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture atomiche(III)



Callister
Scienza e ingegneria dei materiali: una introduzione
EdiSES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture atomiche(V)

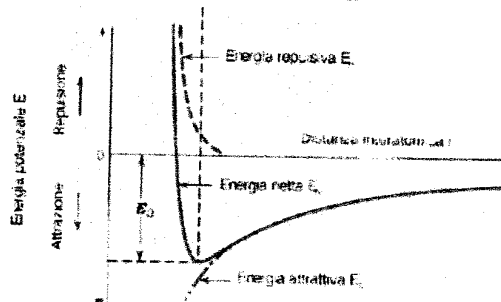
Energie potenziali tra due atomi

$$E = \int F dr$$

nel caso di sistemi atomici:

$$E_N = \int_{\infty}^r F_N dr = \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr = E_A + E_R$$

Dove EN, EA, ER sono le energie potenziali netta, attrattiva e repulsiva. La curva di EN presenta un minimo alla distanza di equilibrio r0. L'energia di legame dei due atomi E0 corrisponde all'energia minima del sistema

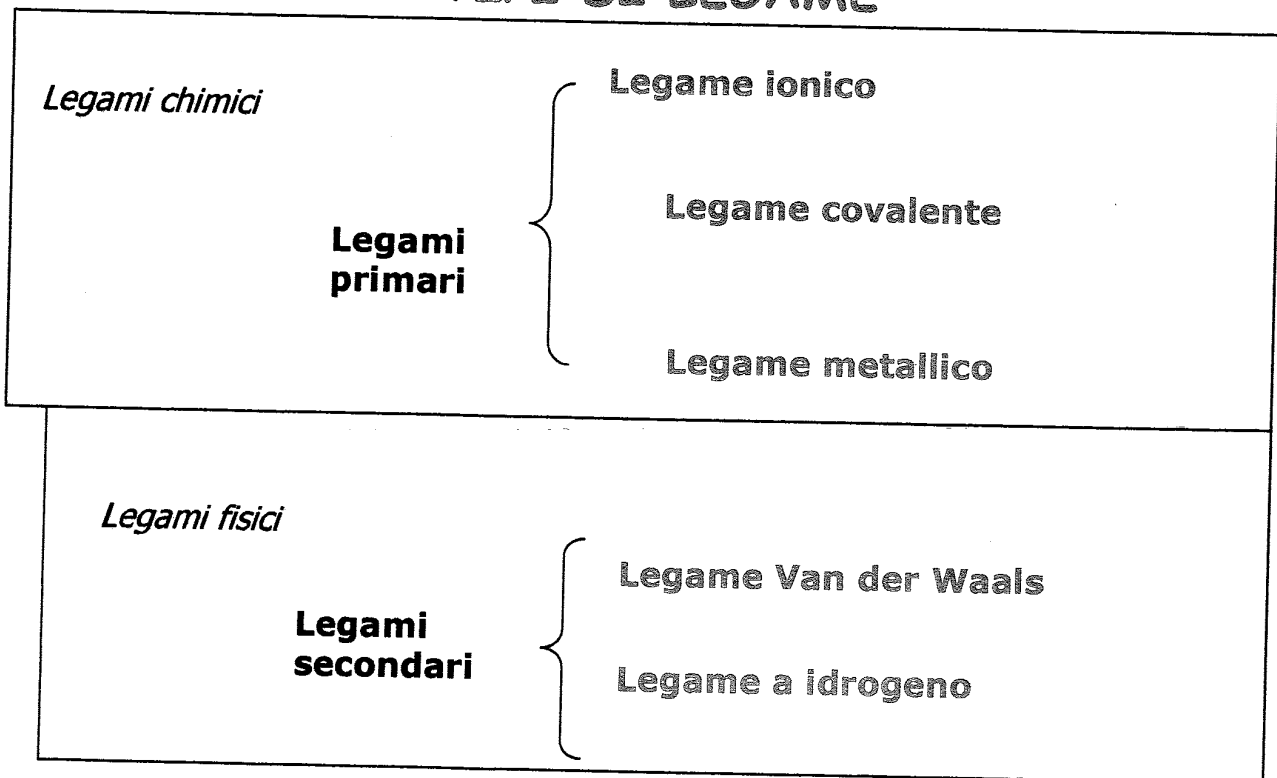


Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali - una introduzione
EdiSES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



TIPI DI LEGAME



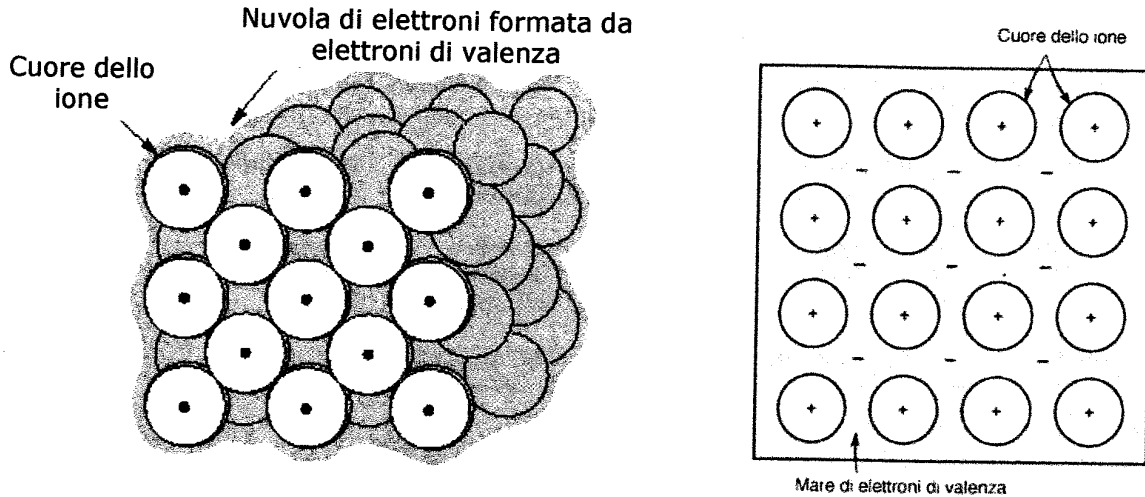
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



LEGAME METALLICO

Gli elettroni di valenza degli atomi metallici non sono legati ad un particolare atomo della struttura solida ma sono in grado di spostarsi all'interno dell'intera struttura metallica. Si può pensare ad essi come ad un "mare di elettroni" appartenente al metallo.

Un legame metallico è **NON** direzionale → gli atomi sono impacchettati gli uni sugli altri



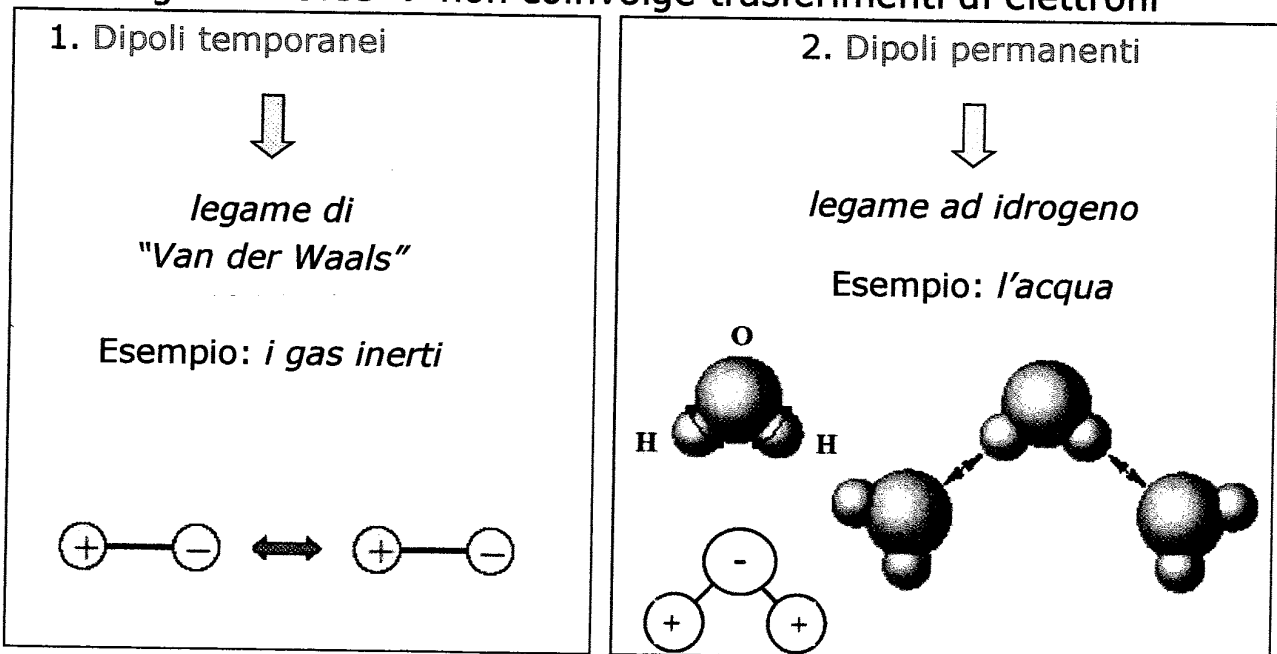
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



LEGAMI SECONDARI

Il legame secondario risulta dall'interazione di dipoli (separazione di carica) atomici o molecolari ed è **debole** (10 kJ/mol)

E' un legame **fisico** → non coinvolge trasferimenti di elettroni



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Nella tabella periodica degli elementi si può osservare un cambiamento graduale del comportamento delle proprietà degli elementi: legame misto

- ionico – covalente (ceramici, semi-conduttori GaAs, ZnS),
- metallico - covalente (Si e Ge),
- metallico - ionico (composti intermetallici Al- Co, Fe- Zn),

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SONO 3 + 1

CLASSI DI MATERIALI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

■ 1- METALLI

■ 2- CERAMICI

■ 3- VETRI → sottoclasse omologa dei materiali ceramici.

■ 4- POLIMERI

■ 5- COMPOSITI

↳ struttura

→ combinazione lineare delle classi precedenti.
Prendono il meglio delle proprietà di ogni sotto classe e migliorano esse o più caratteristiche del materiale rispetto a quelli di partenza.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

MATRICE = fase predominante + AGENTE RINFORZANTE

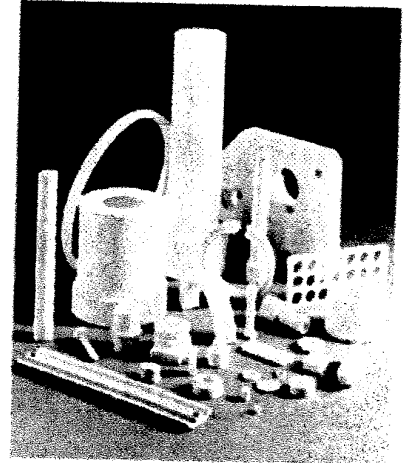


2-Ceramici (I)

Si comportano in maniera FRAGILE
d'Ho quasi def.
nella struttura

"Proprietà" dei ceramici:

- fragili e difficilmente lavorabili
- rigidi
- ad elevata durezza
- isolanti elettrici e termici
- refrattari e resistenti ad alte temperature
- chimicamente inerti anche in ambienti aggressivi



T fusione > 20
di solito si fanno
x sinterizzazione
↓
son
pen

Non si rende utilizzabile in pls contrasto!! es. PIASTRELLE

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

PIASTRELLE da esterni
hanno lavorazioni particolari.

In esterno l'H₂O che
penetra e poi gela
volume → il materiale non è in
grado di deformarsi → sofferenza



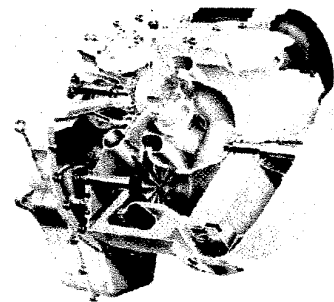
2-Ceramici (II)

- Gli atomi si comportano come ioni negativi o positivi che sono almeno parzialmente legati da forze coulombiane
- Sono combinazioni di metalli o semiconduttori ed ossigeno, azoto o carbonio: ossidi (Al₂O₃), carburi (SiC), nitruri (Si₃N₄)

- fondono a temperature elevate
- vengono preparati per sinterizzazione, mai fusione

> 2000°C x la maggior parte!

Esempi: mattoni, calcestruzzo, piastrelle, porcellane, vetri,



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



3-Polimeri (II)

- Sono legati da legami **covalenti** e anche da legami **secondari** (Van der Waals e a idrogeno)
- Sono costituiti da composti **organici** macromolecolari, naturali o sintetici
- vengono preparati per sintesi organiche
- hanno **bassa densità**, spesso minore di 1 [g/cm³]
- sono **lavorabili** meccanicamente
- non conducono calore ed elettricità
- hanno scarse resistenze meccaniche e alla temperatura

Esempi: pneumatici, adesivi, vernici, bitumi,...

più rari metallici
polimerici o
ceramici

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

classificati in
base alla matrice

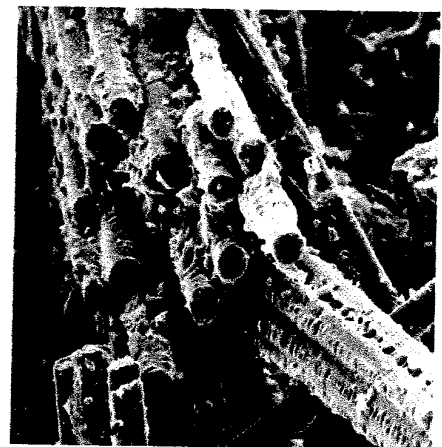
Hanno almeno 2 FASI

4-Compositi (I)

MATRICE → è la fase
+ PRESSIONE
+ RINFORZO
↳ più rari metallici
polimerici o ceramici

La combinazione fra le proprietà dei materiali è stata estesa grazie allo sviluppo dei materiali compositi.

I compositi sono sistemi eterogenei, costituiti da una matrice di tipo ceramico, polimerico o metallico in cui si trova dispersa una seconda fase, dotati di proprietà che non possono essere garantite dai singoli costituenti.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



4-Compositi : combinazioni di proprietà.

Obiettivi:

In base all'obiettivo, scegli il materiale composito

- aumentare la durezza di materiali metallici → rinforzi ceramici
- aumentare la rigidità e la resistenza a trazione di materiali polimerici → rinforzi di fibre di vetro, di carbonio
- ridurre il peso dei componenti → matrice polimerica

Esempi:

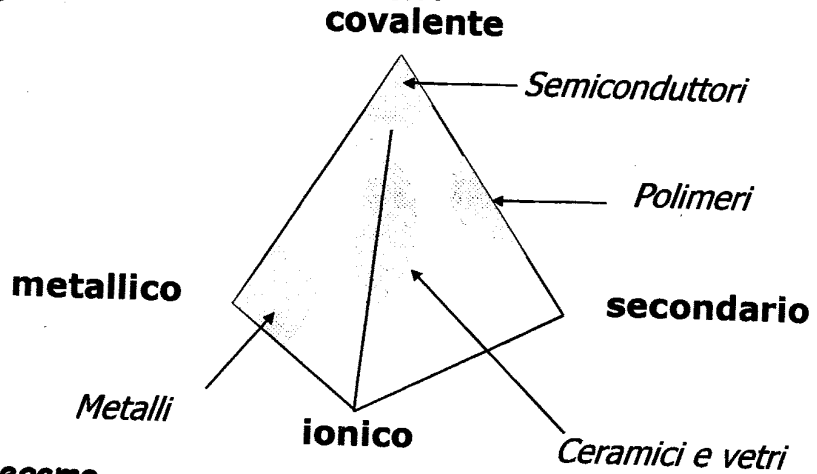
- ▣ calcestruzzo armato (matrice ceramica e rinforzo metallico) :
- ▣ pneumatico (matrice polimerica e rinforzo metallico)
- ▣ vetroresine (matrice polimerica, fibre vetrose)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

GRAFICA da fare in soluzione diiferenza
proprietà in funzione dei legami



Legami e materiali



Materiale	Legame
Metalli	→ Metallico
Ceramici	→ Ionico / Covalente
Polimeri	→ Covalente e Secondario
Semiconduttori	→ Covalente o Covalente / Ionico

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



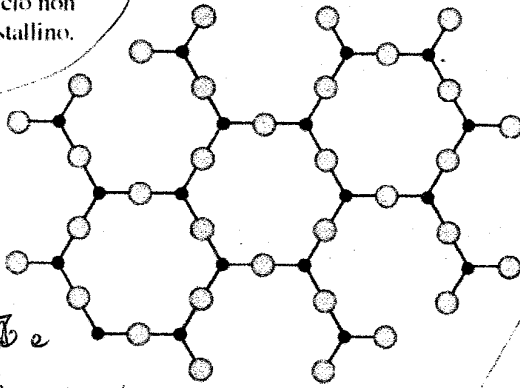
Struttura dei materiali (II)

a sono materiali che possono essere cristallini o amorfi

FIGURA 3.21
Schemi bidimensionali della struttura di: (a) biossido di silicio cristallino e (b) biossido di silicio non cristallino.

CRISTALLINA

QUARZO



(a)

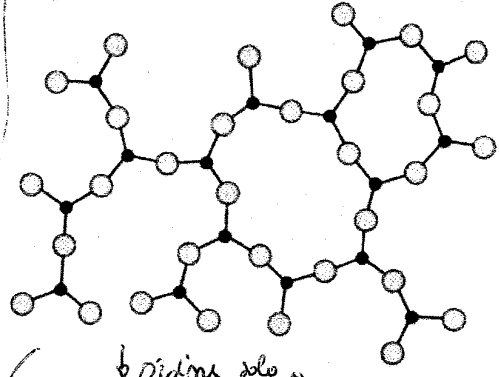
Un raggio di luce viene scomposto e non il mio pensiero

AMORFA

→ Un raggio di luce passa dritti

VETRO DI SILICE

● atomo di silicio
○ atomo di ossigeno



↳ ordine solo a livello atomico o poco più
Cambiano gli angoli che portano ad un modo disordinato → strutt. amorfa.

Le strutture amorfe sono sempre **TRASPARENTI** → se passa tutta la luce, la struttura è al 100% amorfa.

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EDISES

CORRELAZIONI STRUTTURA-PROPRIETA' DEI MATERIALI

Risposta in temperatura dei materiali è un'altra caratteristica che viene a seconda della struttura

• STRUTTURA CRISTALLINA

– temperatura di fusione ben definita

• STRUTTURA AMORFA

– non c'è temperatura di fusione, ma un rammollimento progressivo all'aumentare della T

intervallo di fusione
se ho fono elementare
se x metalli ho T_f =
ho un range definito
di T di fusione.

↳ intervallo di T di fusione molto ampio + rammollimento

(T_g = Temperatura di TRANSIZIONE VETROSA)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

N.B.

risposta alla forma del legame chimico:
i legami secondari (mol. polimerici) ho T_f fusione

inferiore ai metallici, inferiore ai ceramici.
L'intervallo di fusione (o c.p.t.o) dipende dal CAMPO di IMPIEGO del materiale.



STRUTTURA CRISTALLINA (I)

"Un materiale cristallino è caratterizzato da una disposizione **ordinata** di atomi (es. metalli), o ioni (es. ceramici) o molecole (es. polimeri)"

Vi è un numero molto vasto di possibili strutture cristalline, tutte caratterizzate dalla presenza di ordine a **lungo** raggio

Risulta molto conveniente descrivere le strutture cristalline come la ripetizione della più piccola unità ordinata ripetitiva, che viene chiamata **cella unitaria** *→ si ripete uguale a se stessa in modo ordinato.*

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Arrivare in fase del foto che ci sono dist. d'equilibrio e fanno il legame differenziale dei materiali a materiali.



STRUTTURA CRISTALLINA (II)

- Nei materiali cristallini (mono o poli) gli atomi, o gli ioni, o le molecole sono sistemati ordinatamente in **posizioni geometriche ben definite** dalle rispettive celle. Sono mantenuti in queste posizioni dai LEGAMI CHIMICI.
- Tra atomi, o ioni, o molecole si esercitano forze attrattive o repulsive tali da farli accostare ad una **distanza di EQUILIBRIO** (DISTANZA DI LEGAME).

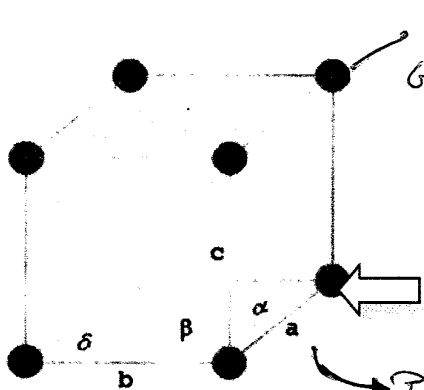
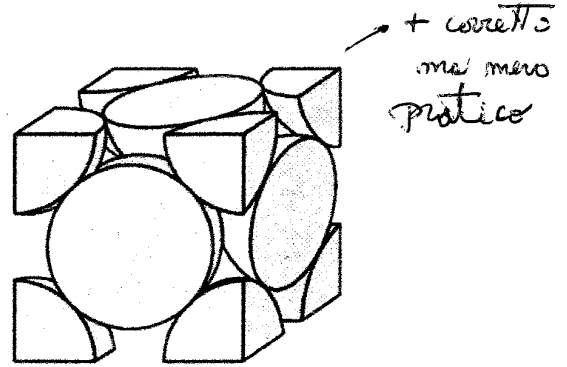
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Rappresentazione della cella unitaria

Per studiare le strutture cristalline è utile considerare gli atomi come sfere rigide con raggio ben definito

La distanza minima fra due atomi uguali è pari al diametro



NON SONO GLI ATOMI, SONO IL CENTRO dell'Atomo.

Possiamo anche considerare la struttura cristallina come un reticolo: griglia tridimensionale nella quale i punti di intersezione fra le varie linee coincidono con i centri delle posizioni occupate dagli atomi

Più semplice da apprendere

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Andando a usare i parametri di cella
pono attenzione



Celle cristalline

Le diverse che poi
in modo diverso da
sotto le. Differenze per
i parametri.
e angoli.

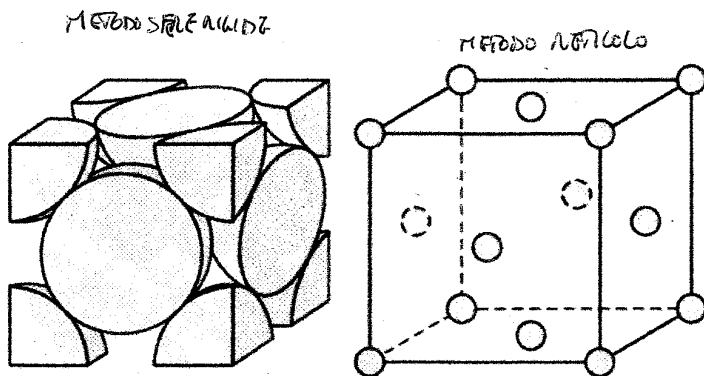
CUBICO	TETragonALE	ORTOROMBICO	MONOCLINO
Semplice	Semplice $a = b \neq c \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Semplice	Semplice
Facce Centrate (CFC)	Corpo Centrato	Basi Centrate	Basi Centrate $a \neq b \neq c \quad \beta \neq 90^\circ$
Corpo Centrato (CCC) $a = b = c \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	ROMBOEDRICO Semplice $\alpha \neq 90^\circ$	Facce Centrate	TRICLINO Semplice $a \neq b \neq c \quad \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
	ESAGONALE Semplice	Corpo Centrato $a \neq b \neq c$	

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

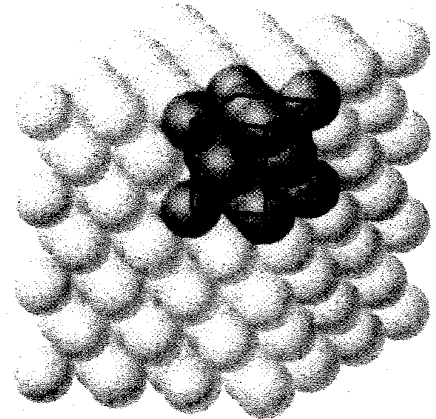


La struttura cristallina CFC (I)

La struttura cristallina cubica a facce centrate è caratterizzata da una cella unitaria cubica, con gli atomi disposti ai vertici del cubo e al centro di ciascuna faccia.



Per ogni cella ci sono parenti di raffinemento caratteristici che mi dicono come si comportano: n° atomi all'interno della cella, n° di coordinazione e fattore di compattazione.
Esempi: rame, alluminio, oro, nichel

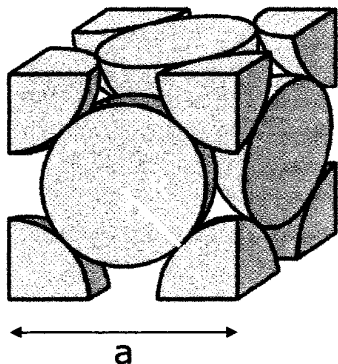


Le posizioni ai vertici e alle facce sono equivalenti fra di loro

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



La struttura cristallina CFC (II)



n. atomi per cella = 4

Ho quelli al centro delle facce che sono in contatto con ai vertici sulle facce
8 + 6 ma ho 8 celle che si affacciano $8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2}$

altro parametro:
Relazione fra lato della cella e raggio atomico R

$$a = 2R\sqrt{2}$$

n. coordinazione = n. di atomi vicini ai quali un atomo è legato = 12 → 12 atomi (4 x 3)
Quanto la cella è densa

Fattore di compattazione atomica = frazione di volume occupato dagli ioni rispetto al volume della cella = $\frac{\text{Somma dei volumi atomici}}{\text{Volume della cella}} = 0,74$

26% di spazio libero.

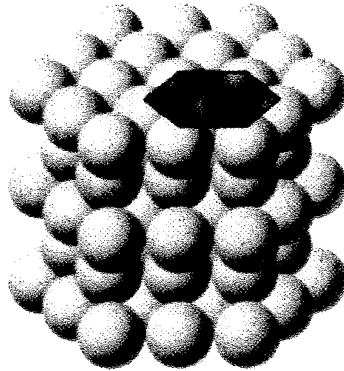
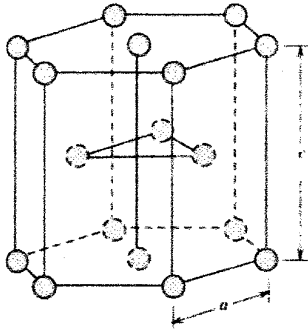
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



La struttura cristallina esagonale compatta

Facce sup. e inf. (sei atomi disposti a formare un esagono regolare che contiene un atomo nel suo centro) + Piano intermedio (costituito da tre atomi)

Ho 2 basi e un piano intermedio a 3 atomi



n. Atomi per cella = 6

n. coord. = 12

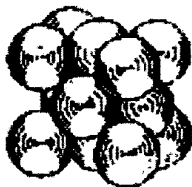
FCA = 0,74 = a quello di CFC

Esempi: cadmio, magnesio, titanio, zinco

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

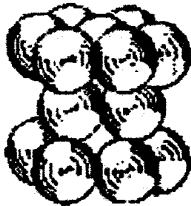
Elementi metallici

* elem. da presentarsi con struttura CFC non dov. avere fra loro con-
niche CCC, CFC con ecc. o volte loro base e a volte metal



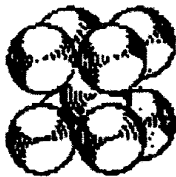
CFC

Fe- γ , Al, Ag, Au, Ca, Cu
Ni, Pb, Pd, Zr



EC

Be, Cd, Co,
Mg, Ti, Zn



CCC

Ba, Cr, Fe- α , K, Li, Mo,
Na, Nb, Ta, V, W, Zr

Poi c'è anche Fe-S, l'elemento ferro può presentarsi CFC o CCC, in funzione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

x che in funzione della struttura ho \neq proprietà meccaniche, rispetto in Temp e differente presenza a forza delle

N.B. \rightarrow alpha



Se ho piani con \neq quoz. di impaccamento - non \neq ug.

Alto x numero di sovrapposizione in modo il quoz. e l'ordine \Rightarrow meno denso + il fronte scivola (perché le dislocazioni si muovono più difficilmente)

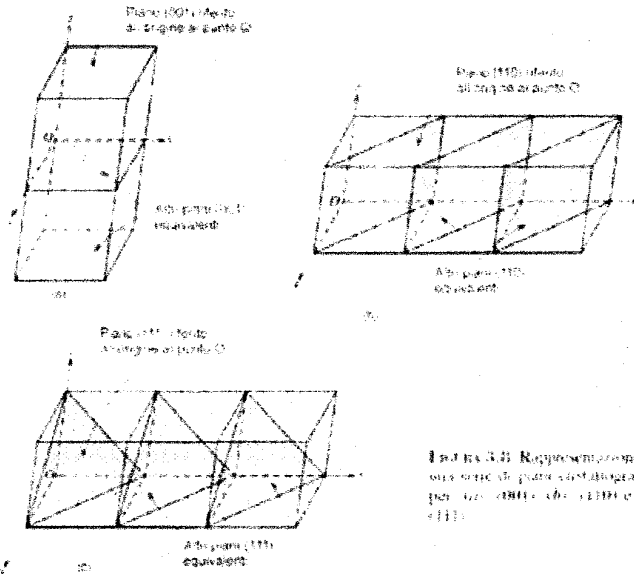


Figura 3.8 Rappresentazione di una serie di piani cristallografici per un cubo che (100) e (111).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Disposizione atomica

La disposizione degli atomi in un piano cristallografico dipende dalla struttura del cristallo. I piani atomici (110) per le strutture cristalline cfc e ccc dove ritroviamo il differente impaccamento atomico delle strutture

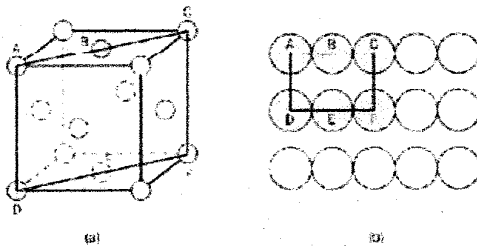
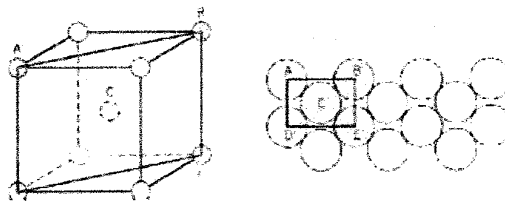


Figura 3.9 (a) Cella unitaria cfc col modello a sfere ridotte con il piano (110). (b) Impaccamento atomico di un piano cfc (110). Sono indicate le posizioni degli atomi corrispondenti alla figura (a).

Figura 3.10 (a) Cella unitaria ccc a sfere ridotte con il piano (110). (b) Impaccamento atomico di un piano ccc (110). Sono indicate le posizioni degli atomi corrispondenti alla figura (a).



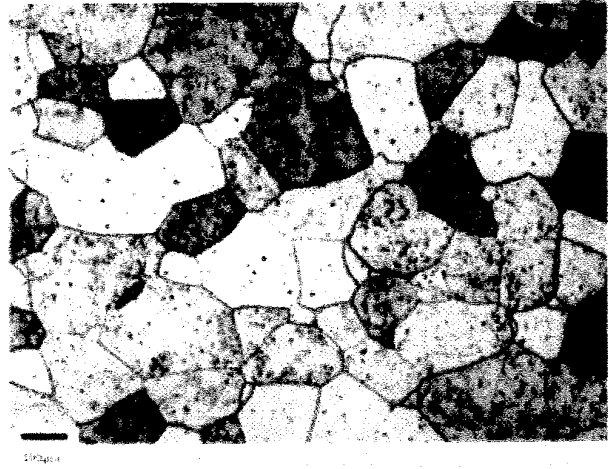
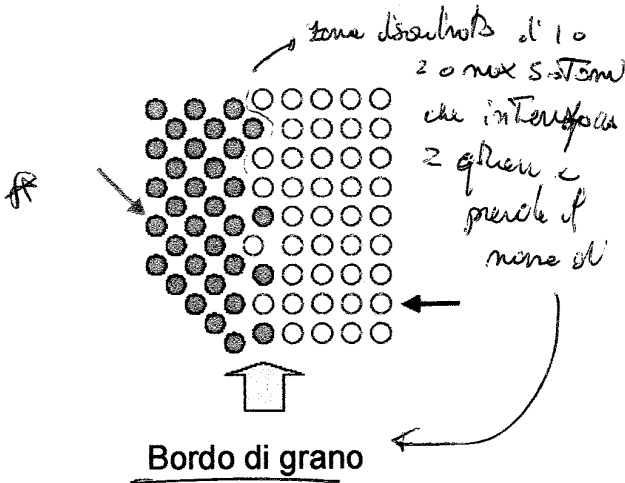
Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
Edises

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Tipi di solidi cristallini - policristallini (II)

Vi è una non compatibilità fra le distribuzioni di atomi nelle regioni di confine fra un grano e l'altro → tali zone sono denominate bordi di grano



Acciaio inox policristallino al microscopio ottico

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

+ complessi dei mat. ceramici

leg. ionico e covalente ma anche tutti e 2 con % di def. ilnico e % di covalente



Solidi cristallini: materiali ceramici

I ceramici sono formati da almeno due elementi e quindi le loro strutture cristalline sono generalmente più complesse. Il legame atomico varia da quello ionico puro a quello totalmente covalente e spesso abbiamo una combinazione dei due tipi di legami. Per determinare la percentuale di carattere ionico in un determinato materiale si fa riferimento alla seguente equazione:

$$\% \text{legame ionico} = \{1 - \exp[-(0.25)(X_A - X_B)^2]\} \times 100$$

dove X_A e X_B sono rispettivamente i valori di elettronegatività di ciascun elemento (con A più elettronegativo)

1 H 1.0	2 He 2.0																	17 Cl 3.0	18 Ar 3.5																
3 Li 1.0	4 Be 1.5	5 B 2.0	6 C 2.5	7 N 3.0	8 O 3.5	9 F 4.0	10 Ne 4.5											11 Na 0.9	12 Mg 1.2																
11 Na 0.9	12 Mg 1.2	13 Al 1.5	14 Si 1.8	15 P 2.1	16 S 2.5	17 Cl 3.0	18 Ar 3.5	19 K 0.8	20 Ca 1.0	21 Sc 1.3	22 Ti 1.5	23 V 1.6	24 Cr 1.7	25 Mn 1.5	26 Fe 1.8	27 Co 1.8	28 Ni 1.9	29 Cu 1.9	30 Zn 1.9	31 Ga 1.6	32 Ge 2.0	33 As 2.2	34 Se 2.4	35 Br 2.8	36 Kr 3.0										
37 Rb 0.8	38 Sr 1.0	39 Y 1.3	40 Zr 1.4	41 Nb 1.6	42 Mo 1.8	43 Tc 1.9	44 Ru 2.2	45 Rh 2.2	46 Pd 2.2	47 Ag 1.9	48 Cd 1.7	49 In 1.8	50 Sn 1.9	51 Sb 2.0	52 Te 2.1	53 I 2.5	54 Xe 2.6	55 Cs 0.7	56 Ba 0.9	57-71 La-Lu 1.0-1.1	72 Hf 1.3	73 Ta 1.5	74 W 1.7	75 Re 1.9	76 Os 2.2	77 Ir 2.2	78 Pt 2.2	79 Au 2.4	80 Hg 2.0	81 Tl 1.8	82 Pb 2.0	83 Bi 1.9	84 Po 2.0	85 At 2.2	86 Rn 2.2
87 Fr 0.7	88 Ra 0.9	89-103 Ac-Lr 1.0-1.1																																	

Materiale	% Carattere ionico
CaF ₂	89
MgO	73
NaCl	67
SiO ₂	51
ZnS	18
SiC	12

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture cristalline tipo AmXp

Quando le cariche di cationi e anioni non sono le stesse. Es. CaF₂: fluorite
NC=8

La struttura cristallina simile a quella di CsCl cubica a corpo centrato ma con il fatto che solo metà delle posizioni centrali del cubo sarà occupata da ioni Ca⁺

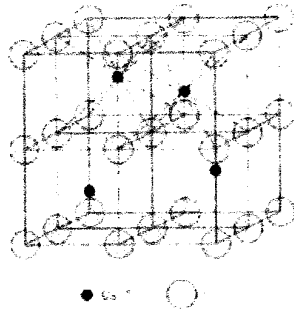


Figura 13.5 Cella unitaria per la struttura cristallina della fluorite (CaF₂)

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdISES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Strutture cristalline tipo AmBnXp

E' possibile avere dei composti ceramici costituiti da tipi diversi di cationi. Es. Titanato di bario BaTiO₃ (con ioni Ba²⁺ e Ti⁴⁺). La struttura cristallina è di tipo perovskitica

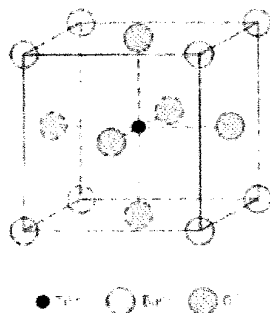


Figura 13.6 Cella unitaria per la struttura cristallina della perovskite

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdISES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



$F_2 \alpha, \beta \rightarrow CCC$

$F_2 \gamma \rightarrow CFC$

Struttura cristallina (onde x raggi) cerami

Strutture cristalline nei materiali polimerici

Date le dimensioni e la complessità delle macromolecole, i polimeri solitamente sono solo parzialmente cristallini, presentando regioni cristalline disperse all'interno della restante massa amorfa.

Chiaramente ogni disallineamento o disordine delle catene da luogo a regioni amorfie.

Il grado di cristallinità di un polimero può quindi variare da 0 (polimero completamente amorfo) a oltre il 95% (quasi completamente cristallino).

Il grado di cristallinità dipende dalla velocità di raffreddamento delle molecole dal fuso e dalla configurazione delle catene. Solitamente tempi lunghi (quindi velocità di raffreddamento lente) e monomeri con strutture semplici favoriscono la cristallinità dei polimeri

Le proprietà fisiche-meccaniche dei polimeri sono influenzate dal grado di cristallinità.

usato volume moduli di Young e di elast. Tenacia e la altri proprietà



Figure 11.11 Micrograph of a polymer crystal showing a spherulitic structure. The spherulite is a circular region of ordered polymer chains, with a radial arrangement of lamellae. The center is the nucleation site, and the growth proceeds outwards. The image shows a typical spherulitic morphology of a polymer crystal.

IL TEST. in questo corso presenta strutture ALLOTROPICHE

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Calister
Scienza e Ingegneria dei materiali: una introduzione
Edises

in funz. delle
si utilizza in una
struttura + conveniale.



STRUTTURA CRISTALLINA: POLIMORFISMO

- Il riscaldamento di un solido cristallino provoca normalmente la fusione

- E' possibile che il solido **CAMBI LA SUA STRUTTURA CRISTALLINA** durante il riscaldamento (**POLIMORFISMO**) per reazione allo stato solido

esempi di polimorfismo: Ti, Fe, SiO₂

- Il polimorfismo provoca variazioni nelle proprietà dei materiali (V, α , k, E, d,....)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Handwritten signature or mark.

04/03/13

TECNOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Prof. Marco Actis Grande

L' introduzione e richiamo concetti materiali
+ materiali metallici

Prof. su Mariangela LOMBARDI.

Vetro + ceramici (laterizi e porcellane) + polimeri +

compositi + legno

EXAM: SCRITTO + ORALE DA COMMENTO dello scritto

↓
Vedremo esempio durante l'anno.

LIBRI:

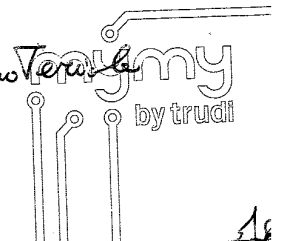
VOL. 1 e 2 " MATERIALI DA COSTRUZIONE "

ED. CITTA' STUDI AUTORE L. BERTOLINI

DISPENSE + APPUNTI bastano.

Le caratteristiche che ci interessano e che influenzerà la resp. del materiale e
- PROP. MECCANICHE → risposta alle sollecitazioni meccaniche in esercizio o in
laboratorio, prevede ciò che occorre per condizioni materiali
o carichi materiali.

Devo capire in lab. in prove se quel materiale
resisterà o x sollecitazioni.



STRUTTURE ATOMICHE

(2)

Non esiste la certezza della distanza degli elettroni dal nucleo.

Tutte le volte che si parla di ciò si danno dei numeri T (oscillando) che sono valori medi, probabilistici, sia quando si danno es. $E_s, E_{cus},$ ecc...

Non deve confondere valori medi con valori puntuali.



Non indovinare che l'alluminio ha res. di 192,123 MPa, viene richiesto un ORDINE DI GRANDEZZA giusto e di conoscere le PROPRIETÀ DEI MATERIALI essere grave 1 MPa anziché 500 MPa.

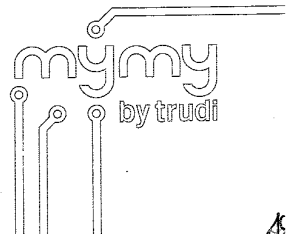
MOLTO MP. \Rightarrow Carott. materiali sono dipendenti dalle caratteristiche di legame ATOMICO (quanto bene si reagiscono?)

Forze attrattive e repulsive in continuo e danno CURVA DI FORZA NETTA DI LEGAME \rightarrow CURVA DI HOOK-MORSE

Varia in funzione del tipo di materiale (ceramico, polimerico, metallico) \Rightarrow varia la pendenza \Rightarrow in base a essa si OTTENE IL MODULO ELASTICO DEL MATERIALE E che è uno dei elementi caratteristici su tante prop. meccaniche.

Quando forze attrattive e repulsive sono in equilibrio si ha la DIST. DI EQUILIBRIO \rightarrow È un modello semplificato a 2 atomi, focus T_0 di zero e zero con un'interazione su E.
 deve ho interatt. come esiste.

Vali dal $p \cdot T_0$ di attr. di forze d'interazione fra 2 atomi.



LEGAMI SECONDARI

→ DI VAN DER WAALS → è temporaneo es. gas nobili

→ DI IDROGENO → dipoli permanenti es. acqua.

⇒ Non si ha trasferimento di elettroni

TAVOLA PERIODICA

Posso combinare gli elementi e ottenere diverse materie.

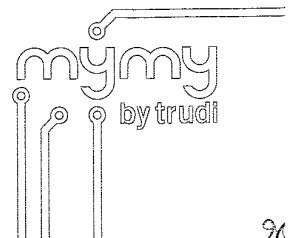
Fe - C = Acciaio

↓
29,6% (C40) ho anche un po' di manganese.

Ne prendo anche altre e miglioro specifiche caratteristiche del materiale.

Posso partire dalla tavola e generare materiali in base alle caratteristiche che ci si aspetta da essi e farli la struttura.

Dobbiamo capire quali sono le caract. del materiale e ad es. cercare il carbonio e come ottenerlo l'impianto.



Oltre ad avere 10^{22} - 10^{23} ^(come minimo!) atomi di impurezza per m^3 , avremo anche possibilità di discontinuità spaziale di tali atomi (es: dislocazioni).

↓
atomi che stanno dove
non dovrebbero stare.

Classificazione dei difetti

- impurezze (soluzioni solide)
- difetti puntuali (o puntiformi)
- difetti lineari (o monodimensionali)
- difetti di superficie (interfacciali o bidimensionali)
- difetti tridimensionali

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Impurezze: Soluzioni solide

Una soluzione solida è un solido che consiste di due o più elementi atomicamente dispersi in una struttura monofase.

Si parla di soluzione solida quando, per aggiunta di atomi di "soluto" nel materiale ospite "soluzione" viene mantenuta la struttura cristallina presente e non si formano nuove fasi.

Esistono due tipi di soluzioni solide: **sostituzionali o interstiziali**

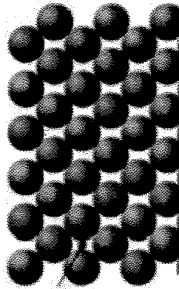
→ All'interno dello scheletro principale vanno a mettersi una serie di elementi che non vanno a modificare la natura dello scheletro

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Soluzioni solide interstiziali

A differenza del caso precedente, la quantità di elementi interstiziali massima tollerabile all'interno del sistema risulterà essere molto minore del 100%.



Gli atomi di soluto si collocano negli spazi vuoti tra gli atomi di solvente, detti interstizi.
 Il diametro atomico di un'impurezza interstiziale deve essere sostanzialmente più piccolo di quello dell'atomo ospitante.
 In ogni caso l'introduzione di atomi interstiziali provoca una deformazione reticolare alla struttura.
 Normalmente la massima concentrazione tollerata di atomi di impurezza interstiziale è bassa (<10%)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



raggio atomico ferro 0,143 nm
 " " carbonio 0,075 nm

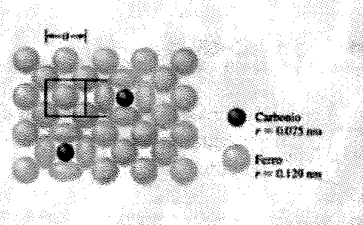
Ma una data strutturale, che è quella CFC del ferro, ----

ACCIAIO: lega Fe-C con
 0,01% \lesssim C \lesssim 2,1%

Esempio di soluzione solida interstiziale.
 Carbonio nel ferro- γ (cfc) stabile tra i 912 e i 1394°C.
 Raggio atomico del ferro- γ è 1,29 Å quello del C è 0,75Å
 con una differenza del raggio atomico del 42%.
 Nonostante questo la % massima di carbonio che si può dissolvere interstizialmente nel ferro- γ è di 2.08%

in queste condizioni, il ferro è in grado di contenere fino al 2,1% di C in posizione interstiziale.

Figura 4.15a
 Illustrazione schematica di una soluzione solida interstiziale di carbonio in un piano (110) di ferro- γ con reticolo CFC appena sopra 912 °C in un piano (100). Si noti la distorsione degli atomi di ferro (0,129 nm di raggio) attorno agli atomi di carbonio (raggio 0,075 nm), che si collocano in vuoti di raggio 0,053 nm.
 (Da L. H. Van Vlack, "Elements of Materials Science and Engineering", 4th ed., Addison-Wesley, 1980, p. 111.)



Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



sul sistema Fe-C avviene un po' la stessa cosa che accade alla soluzione acqua-zucchero: al variare della temperatura, varia la quantità massima di zucchero (C) che può dissolversi in acqua (Fe).
 (e cioè troppo zucchero \Rightarrow esso precipita).

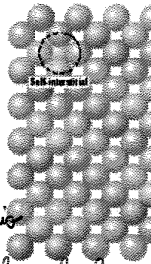
Difetti puntuali

- Un difetto interstiziale è un atomo che occupa un interstizio del reticolo atomico, normalmente non occupato nella struttura di un reticolo perfetto.
- Si parla di **auto-interstiziale** quando l'occupazione avviene da uno degli atomi costituenti il reticolo cristallino ospitante.
- I siti interstiziali possono essere occupati anche da impurezze chimiche (atomi estranei)

(ciascun atomo da più di quelli che costituiscono il reticolo), l'atomo non dovrebbe essere presente).

questa conclusione può non dare origine ad un problema o dare origine a tanti problemi: esempio: C, Z, F, N (zolfo, fosforo, azoto, carbonio) nell'acciaio. atomi indissolubili dal punto di vista interstiziale nel ferro.

nel ferro (per dare acciaio) è voluto.



questi elementi infragiliscono l'acciaio. zolfo ⇒ fenomeni di fragilità a freddo.

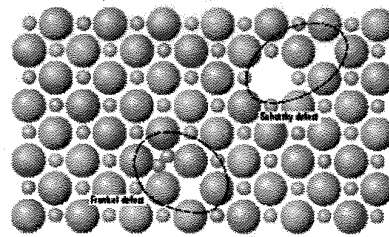
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Difetti Puntuali

In cristalli ionici, dove deve essere garantita l'elettroneutralità anche nei reticoli difettuali si possono verificare altre due situazioni

Notare che qui stiamo considerando un sistema che non è più metallico; è un sistema (esempio $Na-Cl$) in cui possono venire a crearsi uno dei 2 difetti di questa specie, rimanendo però il sistema ELETTRONEUTRO.



Uno ione può lasciare il suo sito e disporsi in una posizione interstiziale dando origine contemporaneamente ad un doppio difetto vacanza-autointerstiziale: **difetto di Frenkel**

Due ioni di carica opposta si allontanano da un cristallo creando una biva vacanza catione-anione: **difetto di Schottky**

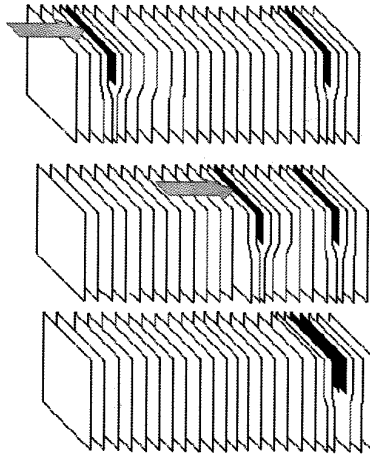
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

contemporanea presenza di vacanza e di un sistema autointerstiziale

presenza di 2 vacanze



Cosa succede nel momento in cui applico una sollecitazione al sistema? La DISLOCAZIONE si muove.
Dislocazioni a spigolo e loro moto



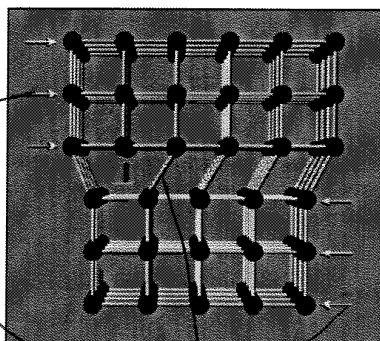
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



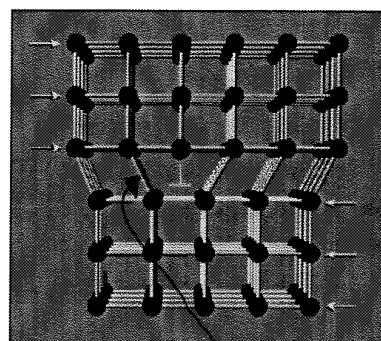
Dislocazioni a spigolo e loro moto

In una parte del cristallo è presente un piano cristallino in più o in meno rispetto al reticolo perfetto.

Sforzo di TAGLIO



I



II

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

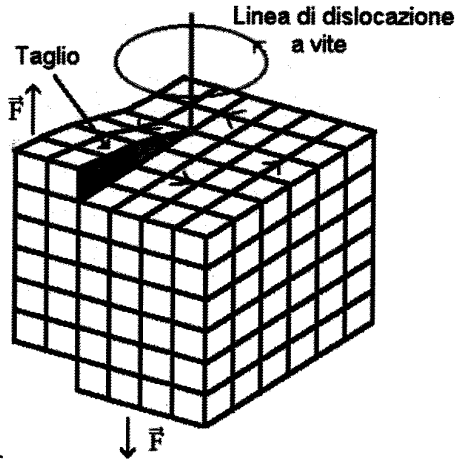


in causa dello sforzo di taglio, questo legame si rompe e se ne genera quest'altro. Se continuo ad applicare lo sforzo tale processo va avanti fino a quando non avviene la generazione dello scivolo.

Dislocazioni a vite

Una rampa a spirale di atomi spostati rispetto alla posizione del reticolo perfetto. Dovuta all'applicazione di sforzi di taglio.

representabili come una spirale di atomi che risulta essere spostata e riparata dalla posizione originaria e che va a generare una RAMPA



Superficie di un cristallo organico: in evidenza la spirale dovuta all'accrescimento del cristallo per la presenza di una dislocazione a vite.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



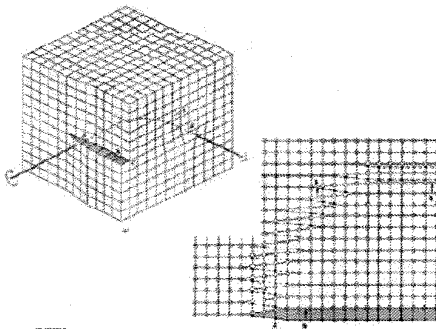
Dislocazioni miste

La maggior parte delle dislocazioni che si trovano in un materiale cristallino presentano entrambi i componenti e vengono definite miste.

combinazione lineare di dislocazioni a spigolo e a vite.

contemporaneamente

FIGURA 4.5 (a) Rappresentazione schematica di una dislocazione che ha carattere a spigolo, a vite o mista. (b) Vista dall'alto in cui i cerchi chiari indicano la posizione degli atomi sopra il piano di scorrimento, i cerchi scuri gli atomi nel piano sottostante. Al punto A, la dislocazione è di pura vite, mentre al punto B è di puro spigolo. Per le regioni intermedie dove si verifica una curvatura dell'asse della dislocazione, le caratteristiche sono miste, dallo spigolo o della vite. (Figura (b) da W.E. Read Jr., *Dislocation in Crystals*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.)



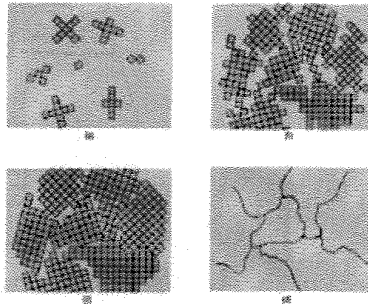
CALZISI
Scienza e ingegneria dei materiali: una introduzione
EDISES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Bordi di grano

Un fase di solidificazione ci sono un po' di cristalli che nascono da una parte e un po' dall'altra con diversi orientamenti.



Gran parte dei solidi cristallini sono composti da un aggregato di molti piccoli cristalli o grani. Inizialmente si formano piccoli cristalli o nuclei in posizioni diverse e questi presentano orientamenti cristallografici del tutto casuali. Quando il processo di solidificazione si avvicina al termine si determina, all'interno della regione nella quale si incontrano due grani, un difettoso accoppiamento di atomi: **bordo di grano**.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



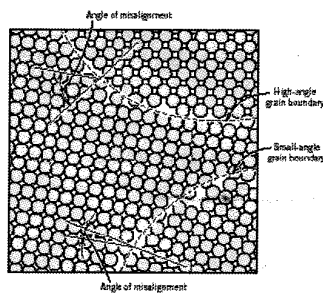
Bordi grani: possono essere:
- molto simili } → gli angoli tra i diversi grani possono essere molto elevati o
- molto differenti } → piccoli. A seconda di ciò varia il meccanismo di deformazione.

Bordi grani molto simili

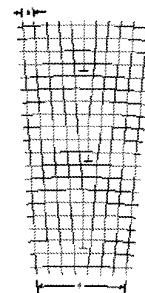
Bordi di grano

→ bordi grani molto differenti

Entro la regione di confine vi sono atomi disposti in maniera irregolare che assumono posizioni di orientazione intermedia tra quella di un grano e quella del grano adiacente. Quando il disallineamento tra due grani è blando, dell'ordine di pochi gradi si usa il termine: **bordo del grano a basso angolo**.



Un semplice bordo a basso angolo viene formato da un impilamento di dislocazioni a spigolo: **bordo inclinato**



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



i difetti 2D sono il più al livello microscopico; quelli 3D sono a livello macroscopico.

cioè che non rientrano in quelli 2D.

Difetti tri-dimensionali (3D)

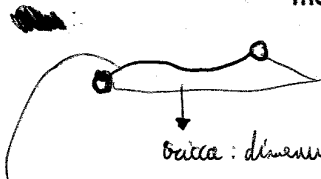
rispetto agli altri, sono qualcosa che non entra nel materiale in sé.

peggiorano le caratteristiche meccaniche e c'è una sorta di impossibilità di pressione dell'

Pori: possono influenzare in maniera notevole le proprietà meccaniche, termiche ed ottiche di un materiale

Le cricche di frattura: possono influenzare in modo notevole le proprietà meccaniche

Inclusioni estranee: possono influenzare le proprietà ottiche, elettriche e meccaniche



faccio un foro circolare con un trapano, perché un foro circolare rilassa lo stato tensionale ed evita l'ulteriore propagazione della cricca. lì metto la stoppa nella fusoliera.
cricca: dimensioni critiche (1-2-5 mm)

Cricca che si crea nelle fusoliera dell'aereo a causa dei forti salti termici.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

[Una struttura a grani più fini è più difficilmente deformabile di una struttura a grani più grossi].

mobilità delle dislocazioni ridotta

Esami microscopici

E' importante investigare gli elementi strutturali di un materiale per spiegarne le proprietà

Alcuni elementi strutturali sono visibili ad occhio nudo: pali di alluminio, bidoni della spazzatura metallici, lingotti di Pb

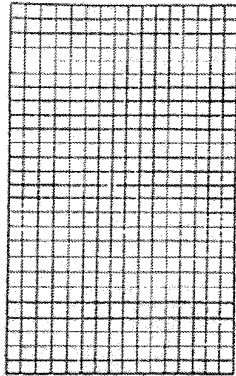


Nella maggior parte dei materiali i grani sono di dimensioni microscopiche → determinano parte della microstruttura dei materiali

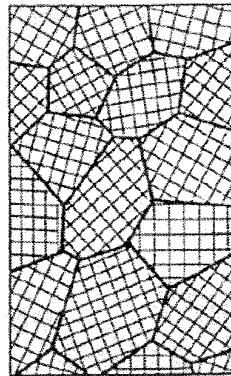
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Monocristallo (a) e policristallo (b)



(a)

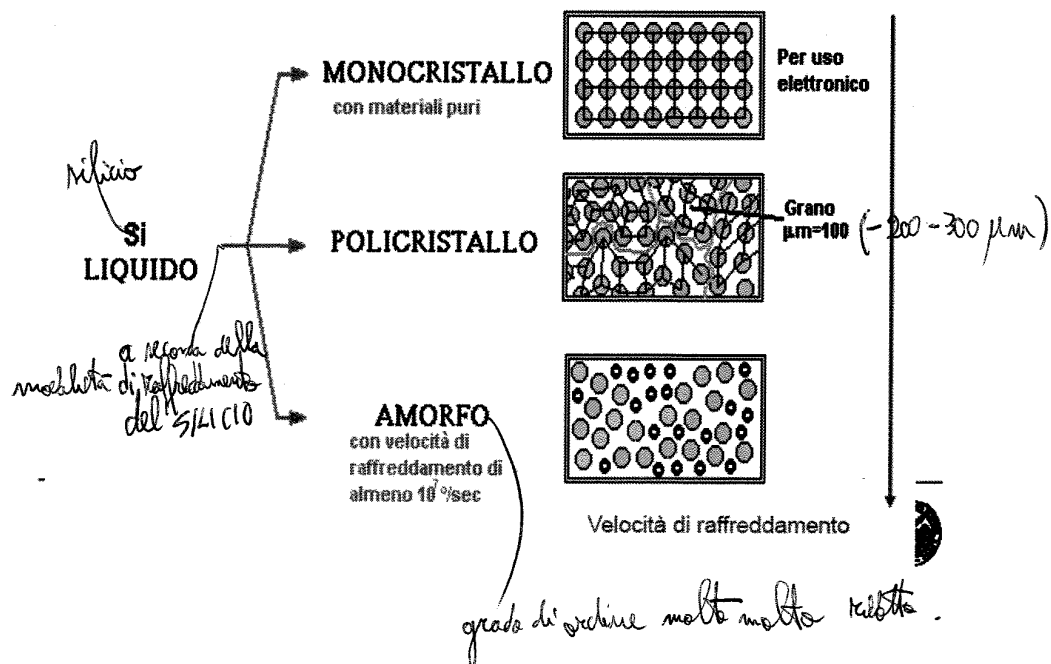


(b)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



EFFETTO DELLE DIVERSE VELOCITA' DI RAFFREDDAMENTO SULLA STRUTTURA DEI MATERIALI e BDG



STATO INSTABILE/METASTABILE

tende a evolvere molto rapidamente ad una condizione di stabilità

condizione intermedia, che però comunque tende a tendere alla condizione di stabilità.

STRUTTURA AMORFA

- Lo stato amorfo non è stabile: *(ha elevata energia)* dunque nel tempo (\pm breve) tenderà ad evolvere verso una condizione di maggiore stabilità.
- se si riscalda un amorfo a temperatura e tempi opportuni, esso diventerà cristallino.
- se si raffredda un liquido ad una velocità di raffreddamento opportuna tale da lasciargli il tempo di disporsi in maniera ordinata, esso diventerà cristallino.
- per ottenere un amorfo, occorre raffreddare il fuso a velocità elevate.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



STRUTTURA AMORFA

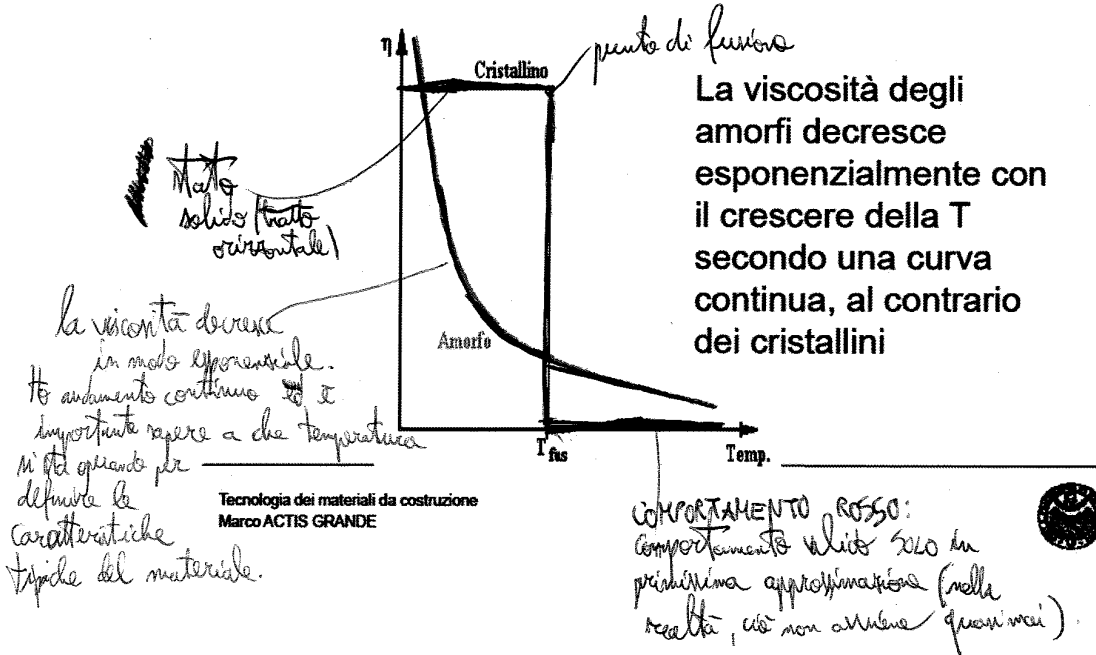
- Es: vetro di silice: gli angoli di legame fra i vari tetraedri variano
- la forza di questi legami sarà diversa
- non avremo dunque una T_{fus} fissa come per lo stato cristallino, dove i legami erano regolari
- occorre conoscere la viscosità in funzione della temperatura (per lo stato cristallino questo non è necessario: si ha una viscosità propria dello stato solido e, dopo fusione, dello stato liquido).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



perché abbiamo un progressivo rammolimento al crescere della T.

VISCOSITA' DI AMORFI E CRISTALLINI



VISCOSITA'

- Per ogni tipo di amorfo (sia esso un vetro o un polimero), ci sono temperature caratteristiche (di rilevanza tecnologica) a valori fissi di η .
 - LIQUIDO $\eta \leq 10^2$ Poise
 - LAVORAZIONE: operazione di formatura degli oggetti
 - RAMMOLLIMENTO: l'amorfo mantiene la sua forma solo in assenza di carichi



LEZ. 3

Proprietà meccaniche

Tutti i materiali durante la vita di esercizio sono soggetti all'azione di forze e carichi.

Il comportamento meccanico di un materiale rappresenta la risposta o la deformazione che presenta quando è soggetto ad una forza.

Normalmente i materiali vengono testati secondo procedure riconosciute a livello internazionale (per armonizzare il tutto fra i vari paesi)

- American Society for Testing and Materials (ASTM)

La scelta di un materiale per specifiche applicazioni (es. strutturali) viene effettuata prendendo in considerazione la **combinazione** delle sue proprietà meccaniche (resistenza, durezza, duttilità, rigidità)

(NON una sola!)

Tenere in considerazione che le prove avvengono non aderenti al 100% a ciò che avviene nella realtà - effetto scala -

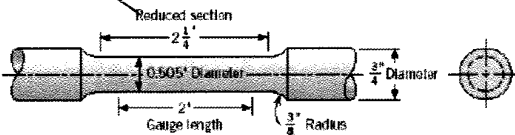
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



per essere sicuro che non c'è la componente legata al taglio e quella legata agli allungamenti.

(201: Mn acciaio)

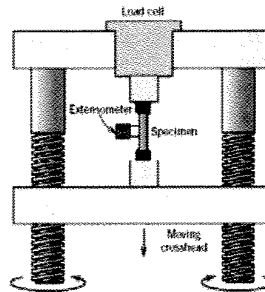
Prova di trazione



Questa prova permette di determinare diverse proprietà del materiale.

Generalmente il provino viene deformato fino a rottura mediante un incremento graduale del carico, applicato in maniera uniassiale lungo l'asse lungo del provino.

Il provino, durante la prova, subisce un allungamento a velocità costante e vengono monitorati sia carico istantaneamente applicato (con la cella di carico) che l'allungamento del provino (con l'estensimetro)



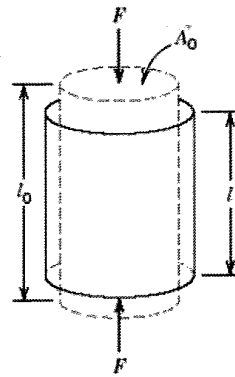
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Prova di compressione

La prova di compressione è del tutto simile a quella di trazione anche se in questo caso il provino si contrae invece di allungarsi.

Per convenzione una forza di compressione è negativa per cui anche lo sforzo ottenuto sarà negativo, allo stesso modo visto che l_0 sarà maggiore di l ; anche la deformazione sarà negativa.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Prova di compressione

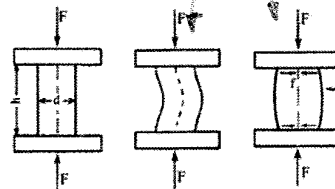
Utile per prevedere la resistenza a carichi strutturali.

Inconvenienti: distorsione del provino

Utile per i materiali fragili (idonei a carichi compressivi):

non vi è estensione dei macro o microdifetti presenti \Rightarrow resistenza e deformazione maggiore che non a trazione

La prova di compressione "sovrastima" le prestazioni del materiale che in esercizio (sollecitazioni complesse) può essere soggetto a frattura precoce.



Buckling: formazione di un barile (sinusoide) tra delle sup. esterne

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



In solito la compressione è + di quella a trazione. [fratture precoci]

Prova di flessione

Per i materiali fragili è migliore la prova a flessione rispetto a quella a trazione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Prova di flessione

Es. Flessione a tre punti

Specialmente per i materiali fragili.

Sono attive tensioni a compressione sulla superficie superiore del provino e a trazione su quella inferiore. Si registrano curve carico-deformazione analoghe a quelle delle prove a trazione e si determina il carico massimo che il materiale sopporta prima di rompersi.

Possibili sezioni trasversali:
 Rettangolare
 Circolare

Supporto

$\sigma = \text{stress} = \frac{Mc}{I}$
 dove M = momento flettente massimo
 c = distanza del centro del provino alle fibre più esterne
 I = momento di inerzia della sezione trasversale
 F = carico applicato

	M	c	I	S
Rettangolare	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circolare	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

Al variare della geometria variano le relazioni per calcolare σ , ϵ , F .

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

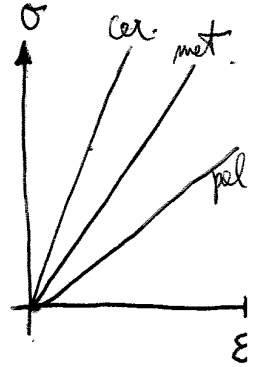
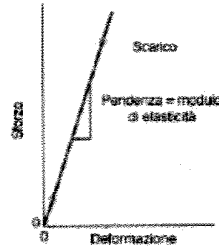
Prove di trax, compr, fless. e taglio sono prove statiche o quasi-statiche: le velocità di applicazione del carico sono relativamente basse.
 Per una prova di impatto non si conta (e i meccanismi di dissipazione dell'energia sono totalmente differenti) - velocità di applicazione altissime (carico impulsivo).

E è legato alla natura del materiale: tanto più un materiale presenta un legame forte, tanto più E è elevato.

La deformazione per la quale lo sforzo e la deformazione sono proporzionali è chiamata deformazione elastica. La pendenza della curva sforzo vs deformazione corrisponde proprio al modulo elastico E.

E quindi si può definire come una grandezza che misura la rigidità di un materiale, ovvero alla resistenza che il materiale stesso oppone alla deformazione. Maggiore è il modulo più rigido è il materiale e quindi minore è la deformazione elastica.

La deformazione elastica è una deformazione reversibile, quindi una volta rimosso il carico applicato il pezzo riacquista la sua forma originaria.



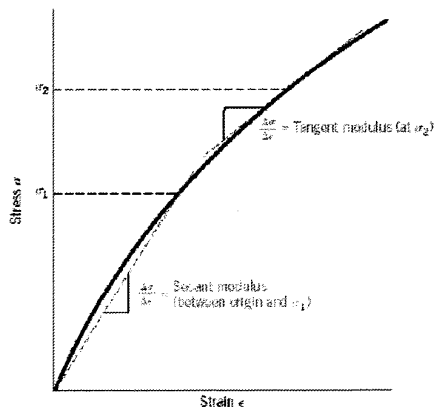
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Per alcuni materiali (ghisa grigia, calcestruzzo e molti polimeri) il tratto elastico iniziale della curva non è lineare. In questo caso per calcolare il modulo elastico si utilizzano i moduli tangente o secante. *("iperparabola" o "la curva")*

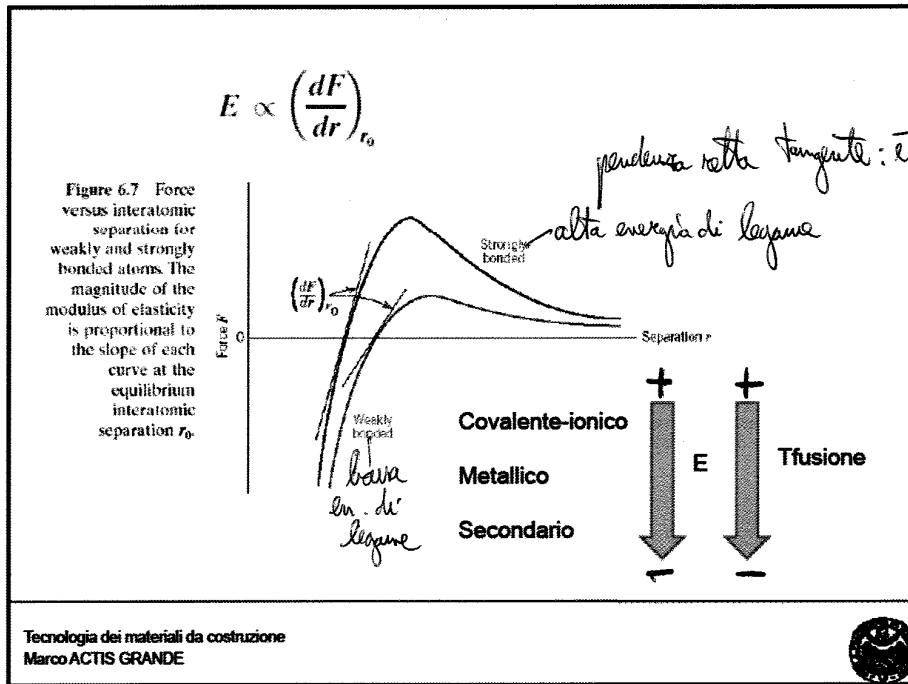
Modulo tangente: pendenza della curva sforzo-deformazione ad uno specifico livello di sforzo

Modulo secante: pendenza di una retta secante passante per l'origine e per un punto definito della curva



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



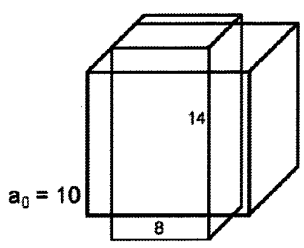


Modulo elastico per diversi materiali

Metalli	E(GPa)	Ceramici	E(GPa)	Materie plastiche	E(GPa)
W	400	Diamante	1000	Melamminiche	6-7
Leghe Mo	320-365	WC	450-650	polimmidiche	3-5
Leghe Mg	45	SiC	450	PMMA	3,4
Leghe Ni	214-234	Al ₂ O ₃	370-390	polistirene	3-3,4
Leghe Co	200-248	BeO	380	epossidiche	3
Acciai	190-200	TiC	379	policarbonato	2,6
Ghise	170-190	Si ₃ N ₄	290	poliestere	1-5
Leghe Cu	124-150	MgO	250	polietilene	0,2-0,8
Leghe Al	69-79	ZrO ₂	160-240	gomme	0,01-0,1
Leghe Ti	105-120	SiO ₂	72-94		

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Provino cubico senza variazione di volume associato alla trazione




$$\epsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{-2}{10} = -\frac{1}{5}$$

$$\epsilon_z = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$$

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{-\frac{1}{5}}{\frac{2}{5}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Il valore del rapporto di Poisson massimo (per materiali ideali) è 0,5.
In genere per materiali reali il valore è più basso compreso tra 0.25 e 0.4

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE




Per materiali isotropi il modulo elastico e quello di taglio sono correlati tra di loro dal coefficiente di Poisson

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Metalli	Modulo di elasticità [GPa]	Modulo di taglio [GPa]	Coeff. Poisson
Acciaio	207	83	0,30
Al	69	25	0,33
Mg	45	17	0,29
Ni	207	76	0,31
Ottone	97	37	0,34
Cu	110	46	0,34
Ti	107	45	0,34
W	407	160	0,28

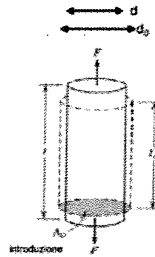
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Su una barra di alluminio di diametro 12.5 mm agisce una forza di 12500 N. Calcolare lo σ nominale sulla barra [MPa].

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{12500\text{N}}{r^2 \times \pi} = \frac{12500\text{N}}{(6,25\text{mm})^2 \times 3,14} = 101,9\text{MPa}$$

Un carico di trazione viene applicato lungo l'asse di simmetria di una barra cilindrica di ottone (lega Cu-Zn) avente un diametro di 10mm. Determinare il carico necessario (in N) a produrre una variazione del diametro di $2,5 \times 10^{-3}$ mm. (coeff. Poisson = 0,34 E = 97GPa)



$$\epsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{d - d_0}{d_0}$$

$$\epsilon_z = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Quando viene applicata una forza F la barra si allunga nella direzione z e si riduce di diametro Δd di $2,5 \times 10^{-3}$ mm lungo la direzione x.

$$\epsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{-2,5 \times 10^{-3} \text{mm}}{10\text{mm}} = -2,5 \times 10^{-4}$$

Utilizzando il coeff. di Poisson si calcola la deformazione lungo l'asse z

$$\epsilon_z = -\frac{\epsilon_x}{\nu} = -\frac{(-2,5 \times 10^{-4})}{0,34} = 7,35 \times 10^{-4}$$

Applicando la legge di Hooke:

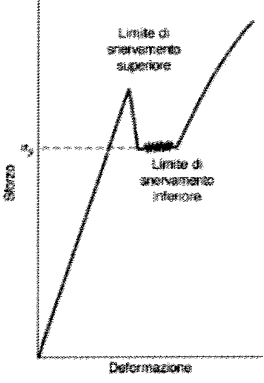
$$\sigma = E\epsilon = (97 \times 10^3 \text{MPa}) \times (7,35 \times 10^{-4}) = 71,3\text{MPa}$$

Infine si può quindi determinare la forza applicata:

$$F = \sigma A_0 = \sigma \left(\frac{d_0}{2} \right)^2 \pi = (71,3 \times 10^6 \text{N/m}^2) \left(\frac{10 \times 10^{-3} \text{m}}{2} \right)^2 \pi = 5600\text{N}$$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE





Alcuni acciai e altri materiali presentano una curva sforzo-deformazione a trazione in cui la transizione tra il campo elastico e il campo plastico è ben definita ed avviene in un tratto definito **zona di snervamento**, in cui la deformazione plastica inizia in corrispondenza di una decrescita dello sforzo al punto di limite di snervamento superiore e successivamente varia fluttuando intorno al valore di limite inferiore di snervamento, successivamente lo sforzo riprende a crescere al crescere della deformazione.

In questi casi si considera come carico di snervamento lo sforzo medio associato con il limite inferiore di snervamento.

lo ha stabilito Callister.

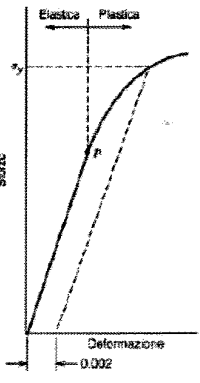
Cioè si considera come carico di snervamento quello associato al limite inferiore di snervamento.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Deformazione plastica

I materiali sollecitati oltre il limite elastico o arrivano a frattura senza ulteriore apprezzabile deformazione (es. ceramici, vetri) o prima di fratturarsi subiscono una deformazione irreversibile detta **deformazione plastica**.

Per i materiali metallici il limite della deformazione elastica è di circa 0.002.



La curva sforzo-deformazione nel campo di deformazione plastica non è più una retta ma appare una curvatura del diagramma in cui la deformazione cresce più rapidamente al crescere dello sforzo.

Dal punto di vista atomico la deformazione plastica corrisponde alla rottura di alcuni legami tra atomi vicini, allo scorrimento degli stessi atomi e alla conseguente formazione di nuovi legami tra atomi. Proprio la formazione di questi nuovi legami porta come conseguenza che, una volta rimosso lo sforzo, gli atomi non possono tornare alle loro posizioni di partenza.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Nei materiali cristallini la deformazione plastica è dovuta al moto delle dislocazioni. Una dislocazione a spigolo si muove se si applica uno sforzo di taglio nella direzione perpendicolare al suo asse.

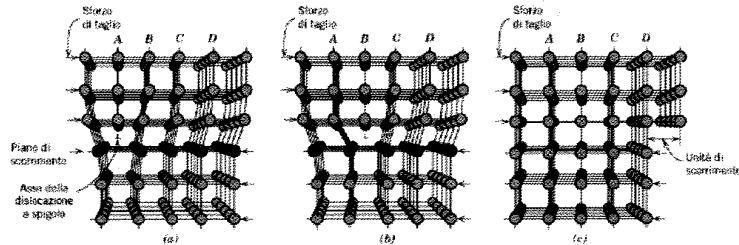
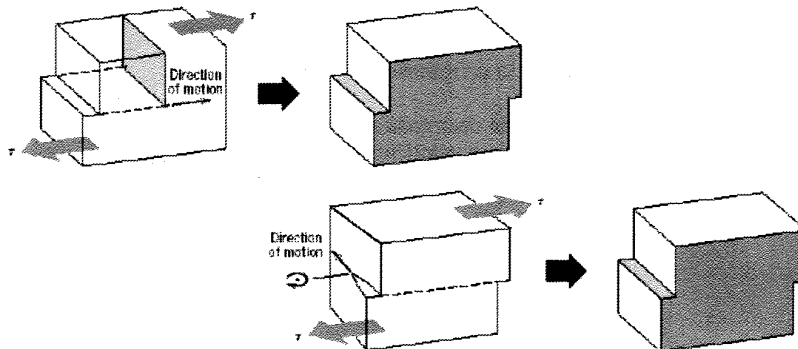


Figura 7.1. Ridisposizione degli atomi causata dal moto di una dislocazione a spigolo sollecitata da uno sforzo di taglio. (a) Il semipiano aggiuntivo è indicato con A. (b) La dislocazione si sposta a destra di una distanza interatomica non appena A si unisce alla parte inferiore del piano B; nel processo, la parte superiore di B diventa il semipiano aggiuntivo. (c) Quando il semipiano aggiuntivo raggiunge la superficie del cristallo si forma un gradino. (Da A. G. Guy, *Essential of Materials Science*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976, p. 153).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il processo che produce deformazione plastica per moto di dislocazioni viene chiamato scorrimento; il piano cristallografico lungo il quale si sposta l'asse della dislocazione è il *piano di scorrimento*. La deformazione plastica macroscopica è del tutto corrispondente alla deformazione permanente che risulta dal moto delle dislocazioni.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Quando i metalli vengono deformati plasticamente una piccola frazione dell'energia di deformazione viene trattenuta all'interno, l'energia rimanente viene dissipata sotto forma di calore. La parte più grande dell'energia immagazzinata rappresenta l'energia di deformazione associata alle dislocazioni.

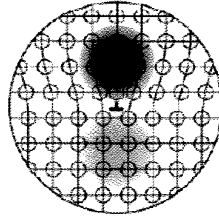


Figura 7.4 Regioni di compressione (in verde) e di trazione (in giallo) disposte intorno ad una dislocazione a spigolo. (Da W. G. Moffatt, G. W. Pearsall e J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 85. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Per concessione di John Wiley & Sons, Inc.).

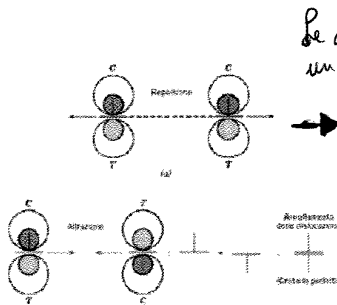
Castellani
Scuola di Ingegneria dei Materiali
ENISEE

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Se ci sono dislocazioni vicine i campi di tensione che le caratterizzano possono interagire tra di loro.

Figura 7.5 (a) Due dislocazioni a spigolo dello stesso segno e giacenti nello stesso piano di scorrimento manifestano una forte repulsione reciproca. C e T indicano regioni di compressione e di trazione, rispettivamente. (b) Dislocazioni a spigolo di segno opposto e giacenti nello stesso piano di scorrimento manifestano una forte attrazione. Dopo l'incontro, si annullano reciprocamente lasciando una regione cristallina perfetta. (Da H. W. Haselden, W. G. Moffatt e J. Wulff, *The Structural Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, p. 75. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Per concessione di John Wiley & Sons, Inc.).



Le dislocazioni possono anche generare un fenomeno di attrazione: $\Rightarrow +$
 \Downarrow
annullamento del difetto

Castellani
Scuola di Ingegneria dei Materiali
ENISEE

Se abbiamo due dislocazioni di segno opposto queste saranno attratte l'una all'altra e si annulleranno al momento dell'incontro.

Nel corso della deformazione plastica il numero di dislocazioni cresce drammaticamente (fino a 10^{10} mm^{-2}),

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



reticolo CFC
 ↓
 presenta 12 sistemi di scorrimento differenti.

Nella struttura cristallina cfc esiste una famiglia di piani {111} tutti fortemente impaccati. Nella figura è riportato il piano (111) e in questo piano lo scorrimento si verificherà lungo le direzioni tipo <110>. Quindi, nel cfc, {111}<110> rappresenta il sistema di scorrimento

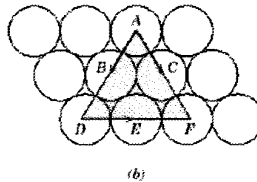
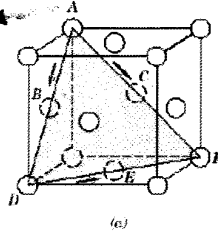


Figure 7.6 (a) A {111} <110> slip system shown within an FCC unit cell. (b) The (111) plane from (a) and three <110> slip directions (as indicated by arrows) within that plane comprise possible slip systems.

Un dato piano di scorrimento può contenere più direzioni di scorrimento, quindi in una particolare struttura cristallina possono esistere diversi sistemi di scorrimento. Il numero sistemi di scorrimento indipendenti rappresenta le differenti possibili combinazioni di direzioni e piani di scorrimento. Il cfc ha 12 sistemi di scorrimento: quattro piani di tipo {111} e, per ciascun piano, tre direzioni indipendenti <110>.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Moto delle dislocazioni: piani di scorrimento

Table 7.1 Slip Systems for Face-Centered Cubic, Body-Centered Cubic, and Hexagonal Close-Packed Metals

Metals	Slip Plane	Slip Direction	Number of Slip Systems
Cu, Al, Ni, Ag, Au	Face-Centered Cubic		
	{111}	<110>	12
α-Fe, W, Mo	Body-Centered Cubic		
	{110}	<111>	12
	{211}	<111>	12
	{321}	<111>	24
Cd, Zn, Mg, Ti, Be	Hexagonal Close-Packed		
	{0001}	<1120>	3
	{1010}	<1120>	3
	{1011}	<1120>	6

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



N.B.: in funzione della cella da noi considerata, (c) è un differente numero di sistemi di scorrimento
~~...~~
 lungo direzioni di scorrimento differenti lungo piani di scorrimento differenti.
 Questo avviene proprio per la struttura di base caratteristica dei materiali metallici.

Anche in una sollecitazione di pura trazione si possono ottenere componenti di taglio in tutte le direzioni (a parte le parallele e perpendicolari alla direzione degli sforzi).

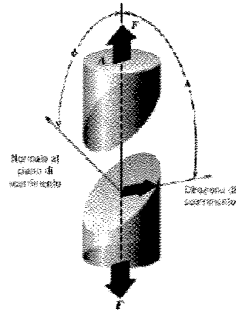


Figura 7.7 Relazioni geometriche tra la direzione di trazione, il piano di scorrimento e la direzione di scorrimento, utilizzate per il calcolo dello sforzo di taglio indotto per un singolo cristallo.

Editori
Scienze ed ingegneria dei materiali
BORGES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

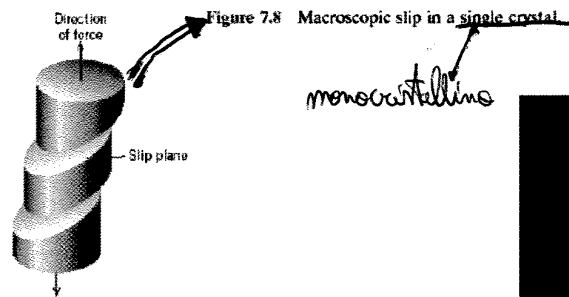
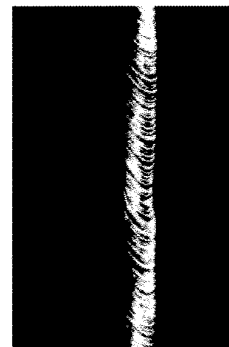


Figure 7.8 Macroscopic slip in a single crystal

monocristallino



il sistema di scorrimento è sempre lo stesso → succede uguale per tutta l'attraversata.

Figure 7.9 Slip in a zinc single crystal (From C. F. Elam, *The Distortion of Metal Crystals*, Oxford University Press, London, 1935.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Al di là delle caratteristiche microstrutturali viste, definiamo ulteriori caratteristiche sulla base di quella che è la curva sforzo-deformazione.

Un vetro è fragile.
Un ceramico è fragile.

Duttilità

La duttilità è una misura della deformazione plastica che il materiale può subire senza rompersi. Un materiale che presenta scarsa o inesistente deformazione plastica viene definito: fragile.

La duttilità può essere espressa sia come allungamento percentuale che come percentuale di riduzione della sezione. L'allungamento percentuale A% è la percentuale della deformazione plastica a rottura:

$$A\% = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

dove l_f è la lunghezza a rottura e l_0 quella iniziale

Calcolo Sforzo e allungamento dei materiali, una introduzione pratica

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

La riduzione percentuale di sezione S% è definita come:

$$S\% = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

I valori di riduzione della sezione sono indipendenti sia da l_0 che da A_0 . La maggior parte dei metalli presenta a temperatura ambiente un certo grado di duttilità che si perde al diminuire della temperatura. Invece il modulo di elasticità non cambia, perché esso dipende dalla forza di legame (energia).

la rottura del materiale è funzione della caratteristica di moto dilatativo del materiale stesso.

Curve sforzo-deformazione per il ferro

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Il problema è che la duttilità dipende dalle condizioni al contorno (condizioni di test) ed: T.

Provino cilindrico diametro 12.5mm di acciaio al carbonio è tirato fino a rottura. Il diametro del provino sulla sezione di rottura è 9 mm. Calcolare la strizione percentuale

$$S\% = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

$$S\% = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{A_f}{A_0} \right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{(4.5)^2 \pi}{(6.25)^2 \pi} \right) \times 100 = (1 - 0.52) \times 100 = 48\%$$

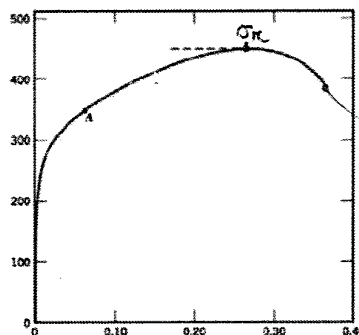
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Dopo lo snervamento lo sforzo necessario a continuare la deformazione plastica cresce fino a raggiungere un valore massimo e successivamente decresce fino alla frattura.

La resistenza a rottura (σ_r) o carico di rottura è lo sforzo rappresentato dal punto di massimo nella curva sforzo-deformazione.

La deformazione a rottura (ϵ_r) corrisponde alla deformazione plastica a rottura del provino.



ϵ_r non corrisponde a σ_r .

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



non lo definiamo, perché il materiale non si deforma plasticamente

essendo la def. totalmente elastica, essa viene completamente recuperata al momento della rottura \Rightarrow non è definibile E_r .

Material/Condition	Yield Strength (MPa [ksf])	Tensile Strength (MPa [ksf])	Percent Elongation
GRAPHITE, CERAMICS, AND SEMICONDUCTING MATERIALS*			
Aluminum oxide	—	282-551 (41-80)	—
• 99.9% pure	—	358 (52)	—
• 98%	—	337 (49)	—
Concrete ^b	—	37.3-41.5 (5.4-6.0)	—
Diamond	—	1050 (152)	—
• Natural	—	800 1400 (116 203)	—
• Synthetic	—	—	—
Gallium arsenide	—	—	—
• [100] orientation, polished surface	—	86 (9.6)	—
• [100] orientation, as-cut surface	—	57 (8.3)	—
Glass, borosilicate (Pyrex)	—	69 (10)	—
Glass, soda-lime	—	69 (10)	—
Glass ceramic (Pyroceram)	—	123-370 (18-54)	—
Graphite	—	—	—
• Extruded (with the grain direction)	—	138-34.5 (2.0-5.0)	—
• Isostatically molded	—	31-69 (4.5-10)	—
Silica, fused	—	104 (15)	—
Silicon	—	—	—
• [100] orientation, as-cut surface	—	130 (18.9)	—
• [100] orientation, laser scribed	—	81.8 (11.9)	—
Silicon carbide	—	—	—
• Hot pressed	—	230-825 (33-120)	—
• Sintered	—	96-520 (14-75)	—
Silicon nitride	—	—	—
• Hot pressed	—	700-1000 (100-150)	—
• Reaction bonded	—	250-345 (36-50)	—
• Sintered	—	414-650 (60-94)	—
Zirconia, 3 mol% Y_2O_3 (sintered)	—	800-1500 (116-218)	—

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



più basso rispetto a metallici (e ceramiche)

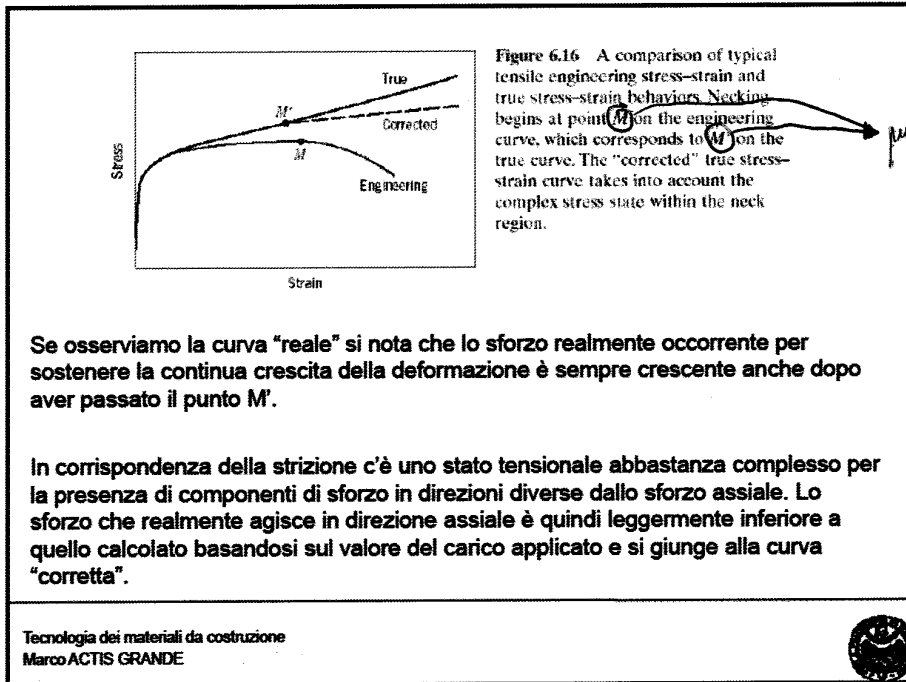
maggiore dei metallici

Material/Condition	Yield Strength (MPa [ksf])	Tensile Strength (MPa [ksf])	Percent Elongation
POLYMERS			
Elastomers	—	—	—
• Butadiene-acrylonitrile (nitrile)	—	6.9-24.1 (1.0-3.5)	401-600
• Styrene-butadiene (SBR)	—	12.4-20.7 (1.8-3.0)	450-900
• Silicone	—	10.3 (1.5)	100-900
Epoxy	—	27.6-90.0 (4.0-13)	2-6
Nylon 6,6	—	—	—
• Dry, as molded	55.1-92.8 (8-12)	94.5 (13.7)	15-80
• 50% relative humidity	44.8-58.6 (6.5-8.3)	75.9 (11)	150-300
Phenolic	—	34.5-62.1 (5.0-9.0)	1.5-2.0
Poly(butylene terephthalate) (PBT)	56.6-60.0 (8.2-8.7)	56.6-60.0 (8.2-8.7)	50-300
Polycarbonate (PC)	62.1 (9)	62.8-72.4 (9.1-10.5)	110-150
Polyester (thermoset)	—	41.4-89.7 (6.0-13.0)	2.6
Polyetheretherketone (PEEK)	91 (12.2)	70.3-103 (10.2-15.0)	20-150
Polyethylene	—	—	—
• Low density (LDPE)	9.0-14.5 (1.3-2.1)	8.3-31.4 (1.2-4.55)	100-650
• High density (HDPE)	26.2-33.1 (3.8-4.8)	22.1-31.0 (3.2-4.5)	10-120
• Ultrahigh molecular weight (UHMWPE)	21.4-27.6 (3.1-4.0)	38.6-48.3 (5.6-7.0)	350-525
Poly(ethylene terephthalate) (PET)	59.3 (8.6)	48.3-72.4 (7.0-10.5)	30-300
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	53.8-73.1 (7.8-10.6)	48.3-72.4 (7.0-10.5)	2.0-5.5
Polypropylene (PP)	31.0-37.2 (4.5-5.4)	31.0-41.4 (4.5-6.0)	100-600
Polystyrene (PS)	—	35.9-51.7 (5.2-7.5)	1.5-2.3
Poly(tetrafluoroethylene) (PTFE)	—	20.7-34.5 (3.0-5.0)	200-400
Poly(vinyl chloride) (PVC)	40.7-44.8 (5.9-6.5)	40.7-51.7 (5.9-7.5)	40-80

E_r bassa ($< 5\%$) \Rightarrow caratteristica a rottura principalmente fragile (cioè perché vengono utilizzati ad una temperatura $<$ alla temperatura di transizione vetrosa).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE





Alla fine ang. considererò solo la curva ingegneristica (che è quella più cautelativa dal punto di vista progettuale).

Provino cilindrico di acciaio (diametro iniziale 12.8mm) sottoposto a trazione fino a rottura e presenta un carico di rottura nominale $\sigma = 460\text{MPa}$. Se il diametro di rottura è di 10.7mm calcolare:

a) La duttilità in termini di strizione percentuale

$$S\% = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

$$S\% = \frac{\left(\frac{12.8\text{mm}}{2} \right)^2 \pi - \left(\frac{10.7\text{mm}}{2} \right)^2 \pi}{\left(\frac{12.8\text{mm}}{2} \right)^2 \pi} \times 100 = 30\%$$

b) Il carico di rottura reale

Prima occorre calcolare la forza a rottura dal carico a rottura

$$F = \sigma \cdot A_0 = (460 \cdot 10^6 \text{N/m}^2) (12.8\text{mm})^2 \left(\frac{1\text{m}^2}{10^6\text{mm}^2} \right) = 59200\text{N}$$

$$\sigma_R = \frac{F}{A_1} = \frac{59200\text{N}}{89.9\text{mm}^2} = 658\text{MPa}$$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Calister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdiSES

Calister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdiSES

Deformazione

TS
Snervamento
y

Nei polimeri si assume quale limite di snervamento il valore massimo della curva alla fine del tratto elastico mentre la resistenza a trazione corrisponde alla sollecitazione alla quale avviene la rottura

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

dentro

Praticamente tutti i materiali polimerici hanno le caratteristiche a trazione che sono fortemente dipendenti dalla T di test del materiale

Material	Specific Gravity	Tensile Modulus [GPa (ksi)]	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]	Elongation at Break (%)
Polyethylene (low density)	0.917-0.932	0.17-0.28 (25-41)	8.3-31.4 (1.2-4.55)	9.0-14.5 (1.3-2.1)	100-650
Polyethylene (high density)	0.952-0.965	1.06-1.09 (155-158)	22.1-31.0 (3.2-4.5)	26.2-33.1 (3.8-4.8)	10-1200
Poly(vinyl chloride)	1.30-1.58	2.4-4.1 (350-600)	40.7-51.7 (5.9-7.5)	40.7-44.8 (5.9-6.5)	40-80
Polytetrafluoroethylene	2.14-2.20	0.40-0.55 (58-80)	20.7-34.5 (3.0-5.0)	—	200-400
Polypropylene	0.90-0.91	1.14-1.55 (165-225)	31-41.4 (4.5-6.0)	31.0-37.2 (4.5-5.4)	100-600
Polystyrene	1.04-1.05	2.28-3.28 (330-475)	35.9-51.7 (5.2-7.5)	—	1.2-2.5
Poly(methyl methacrylate)	1.17-1.20	2.24-3.24 (325-470)	48.3-72.4 (7.0-10.5)	53.8-73.1 (7.8-10.6)	2.0-5.5
Phenol-formaldehyde	1.24-1.32	2.76-4.83 (400-700)	34.5-62.1 (5.0-9.0)	—	1.5-2.0
Nylon 6,6	1.13-1.15	1.58-3.80 (230-550)	75.9-94.5 (11.0-13.7)	44.8-82.8 (6.5-12)	15-300
Polyester (PET)	1.29-1.40	2.8-4.1 (400-600)	48.3-72.4 (7.0-10.5)	59.3 (8.6)	30-300
Polycarbonate	1.20	2.38 (345)	62.8-72.4 (9.1-10.5)	62.1 (9.0)	110-150

Source: Modern Plastics Encyclopedia '96. Copyright 1995, The McGraw-Hill Companies. Reprinted with permission.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Curva sforzo deformazione per un materiale polimerico (HDPE)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

è molto denso, quindi è un materiale caratterizzato da una cristallinità di un certo tipo (zone di cristallinità e zone amorphe)

Alcun certo grado di ordine, cioè vicinanza delle catene polimeriche

Le catene polimeriche che si orientano per prime sono quelle più disordinate (maggiore disordine → maggiore reattività). Successivamente si ha un progressivo riordinamento delle aree che presentano maggiore cristallinità (cioè maggiore ordine)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Figure 15.17 Stages in the elastic deformation of a semicrystalline polymer. (a) Two adjacent chain-folded lamellae and interlamellar amorphous material before deformation. (b) Elongation of amorphous tie chains during the first stage of deformation. (c) Increase in lamellar crystallite thickness (which is reversible) due to bending and stretching of chains in crystallite regions (From Schultz, Jerome M., *Polymer Materials Science*, 1st edition, © 1974, pp. 500, 511. Adapted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ)

L'avvento dell'uno o dell'altro tipo di frattura dipende:

- dalla struttura del materiale interessato
- dalla temperatura
- dalla velocità di applicazione del carico (cioè del tempo concesso al materiale per deformarsi) → è importante soprattutto per materiali polimerici

Per avere frattura in linea teorica è necessario che lo sforzo applicato sia uguale o superiore alla tensione teorica di decoesione del materiale, ossia: **sforzo necessario a separare permanentemente due piani atomici e quindi a rompere tutti i legami presenti su una superficie.**

È possibile calcolare la sollecitazione di trazione necessaria a spostare permanentemente gli atomi dalle loro normali posizioni di equilibrio, tenendo conto che il lavoro compiuto da tale sollecitazione dovrà essere sufficiente a creare due nuove superfici di frattura.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

è vero se valgono ipotesi restrittive e ideali - infatti nessun materiale è privo di difetti (anche macroscopici) (compresi difetti) >>>

perché ci sono i difetti che giocano in modo determinante sulle caratteristiche del materiale

Frattura moderatamente duttile

Frattura estremamente duttile in cui la provetta riduce per strizione la sua sezione fino ad un punto. (b) Frattura moderatamente duttile dopo una certa strizione. (c) Frattura fragile senza alcuna deformazione plastica.

frattura fragile (distacco netto delle superfici senza avere alcuna def. plastica).

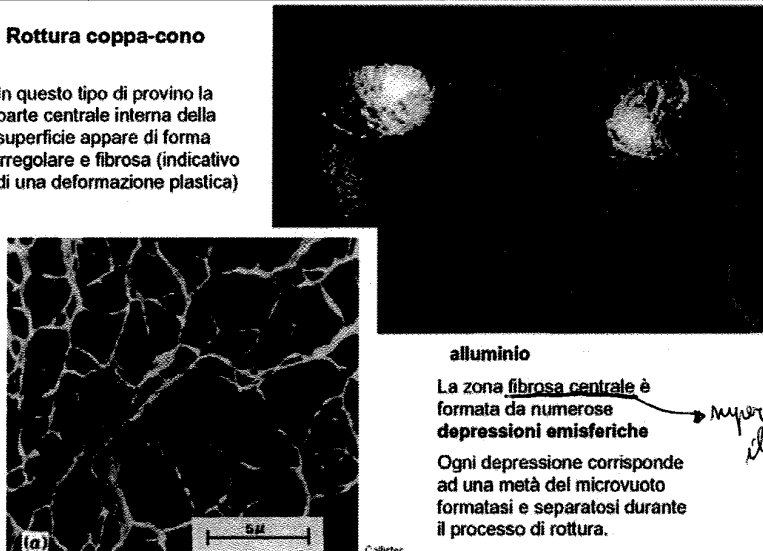
Strizione: il solo punto di contatto

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Come si riconoscono le rotture?

Rottura coppa-cono

In questo tipo di provino la parte centrale interna della superficie appare di forma irregolare e fibrosa (indicativo di una deformazione plastica)



alluminio


La zona **fibrosa centrale** è formata da numerose **depressioni emisferiche**

Ogni depressione corrisponde ad una metà del microvuoto formatasi e separatosi durante il processo di rottura.

superficie spugnosa che prende il nome di "DIPPLE".

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EISES

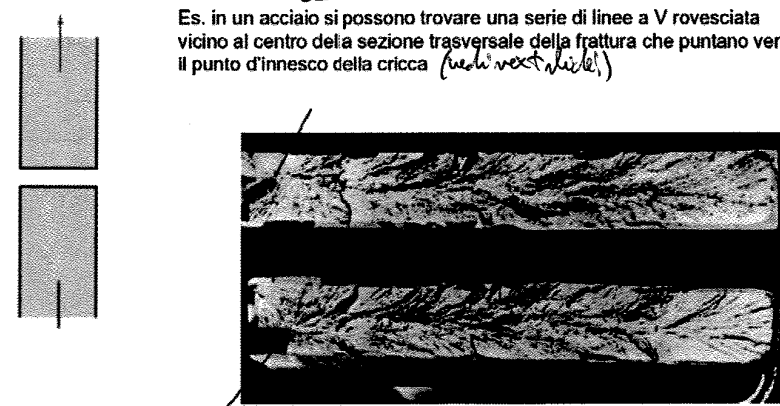
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE




La frattura di tipo fragile avviene con una rapida propagazione della cricca. La direzione del moto della cricca è molto vicina a quella perpendicolare alla direzione del carico di trazione applicato e porta ad una superficie di frattura relativamente piana. La superficie di frattura non ha segni di deformazione plastica.

CLEAVAGE

Es. in un acciaio si possono trovare una serie di linee a V rovesciata vicino al centro della sezione trasversale della frattura che puntano verso il punto d'innescio della cricca (*vedi next slide!*)

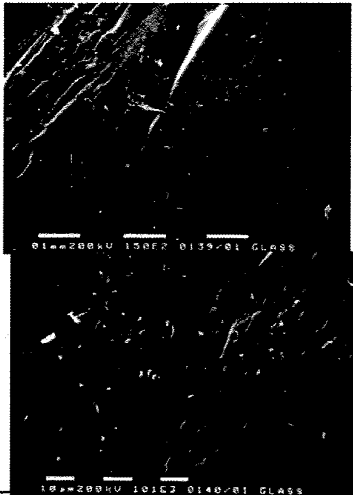
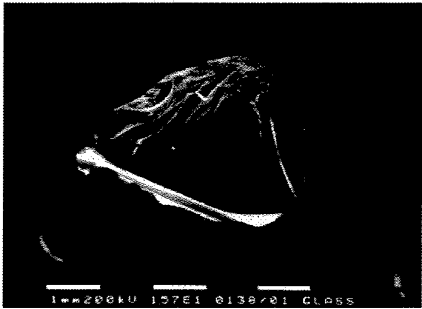


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE




Meccanismi di frattura

- **Vetro**
Frattura fragile: basso assorbimento di energia



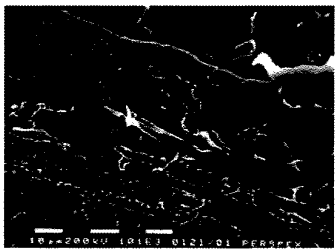
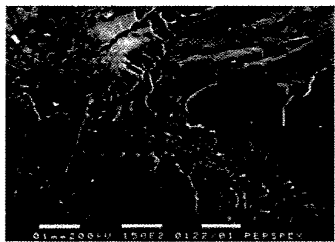

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE




plexiglas

Perspex (PMMA)

Frattura fragile: basso assorbimento di energia



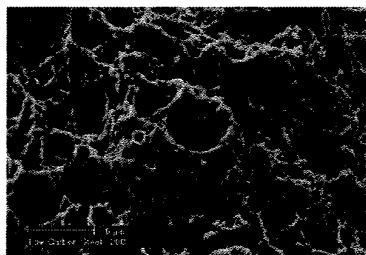
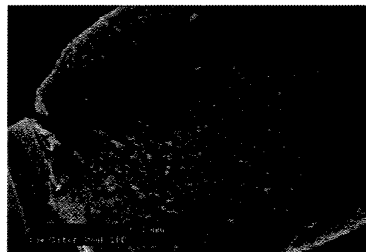
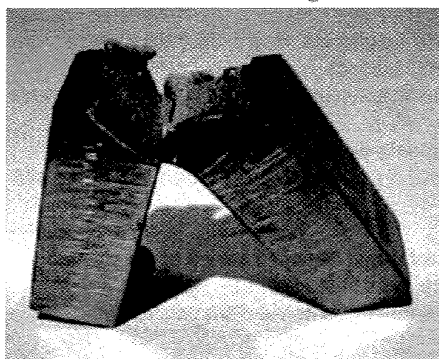
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



basso tenore di C (ferraccio)

● **Acciaio dolce(20°C)**

Frattura duttile: elevato assorbimento di energia

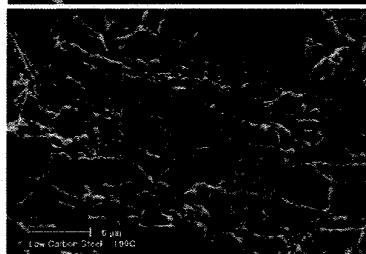
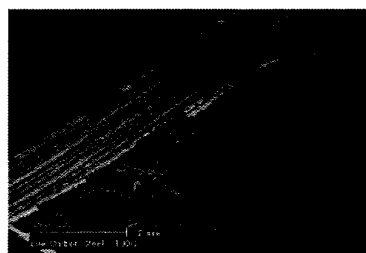
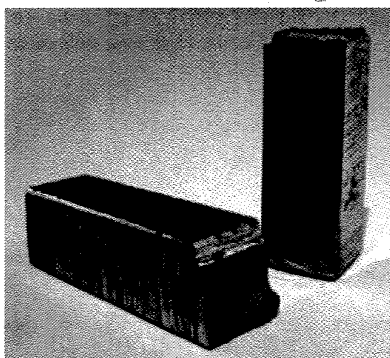


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



● **Acciaio dolce(-190°C)**

Frattura fragile: basso assorbimento di energia



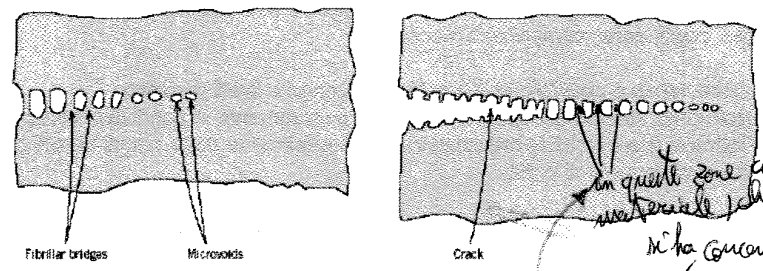
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Per un ceramico le cricche sono "drammatiche"!!!, perché la rottura dei ceramici è fragile!!!
 già da per sé

Frattura nei polimeri

Un fenomeno che precede la frattura in alcuni polimeri termoplastici è quello dei microstrappi.



I microstrappi si manifestano in regioni molto localizzate nelle quali si raggiunge il limite di snervamento e si formano microcavità piccole e interconnesse. Tra queste microcavità si formano ponti fibrillari. Se il carico applicato è sufficientemente elevato questi ponti si allungano fino a spezzarsi facendo ingrandire e coalescere le microcavità, da qui si formano le cricche. Un microstrappo è differente da una cricca in quanto può sostenere un carico sulla superficie, poiché

I polimeri si rompono con la propagazione dei microstrappi.
 In queste zone ci sono ancora dei ponti di materiale che consentono ancora al materiale di resistere un po' tra loro

non ha concentrato il carico e non

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

(grazie ai ponti fibrillari)

Il processo di crescita dei microstrappi è in grado di assorbire energia e quindi è in grado di incrementare la resistenza a frattura del materiale.

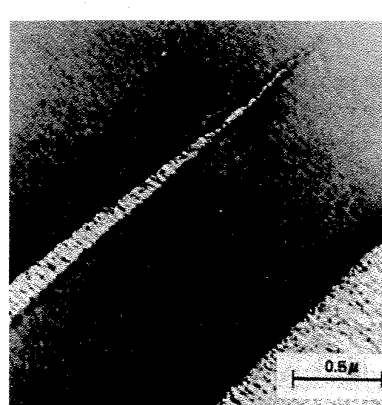


Figure 15.16 Photomicrograph of a craze in poly(phenylene oxide). (From R. P. Kambour and R. E. Robertson, "The Mechanical Properties of Plastics," in *Polymer Science, A Materials Science Handbook*, A. D. Jenkins, Editor. Reprinted with permission of Elsevier Science Publishers.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Daunque, riassumendo:
 - un materiale ~~carichi~~ carichi maggiori di quelli teorici, poiché ci sono dei difetti è assoggettato

Pero si potrebbe anche avere;

Nel ciclo a carico ripetuto il massimo e il minimo sono asimmetrici rispetto al livello di sforzo nullo

Traslo la rinvessibile di un test, in modo che il carico medio applicato nel sistema non sia nullo

σ_{max}
Tension
+
0
-
Compression
 σ_{min}
Time (t)

σ_a
 σ_m

$|\sigma_{max}| > |\sigma_{min}|$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Ciclo a carico casuale in cui il livello di sforzo può variare casualmente in ampiezza e frequenza

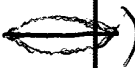
Caso RANDOM: è la condizione di carico più tipica per qualsiasi materiale/struttura nella realtà.

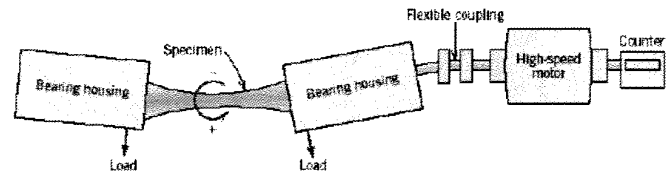
Stress
Tension
+
-
Compression
Time

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

2 DOMANDE:
 - Dopo quanti cicli si rompe?
 Qual è il carico da applicare per quel N di cicli di carico?

Per valutare le proprietà a fatica di un materiale si utilizza un dispositivo che simula le condizioni di sforzo ciclico

Esempio: Flessione rotante *(quando rompo un filo di ferro: )*



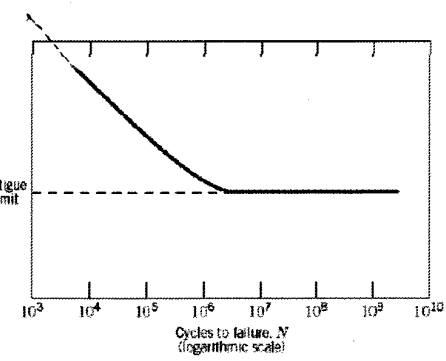
Di solito si iniziano le prove sottoponendo il provino ad un ciclaggio con un'ampiezza di carico massimo relativamente grande e viene contato il numero di cicli a rottura. Poi si prosegue utilizzando ampiezze di carico progressivamente decrescenti.

I risultati si diagrammano come carico S *applicato* rispetto al logaritmo del numero di cicli a rottura N per ogni provino. Solitamente per S si usa l'ampiezza di carico (σ_a)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Maggiore è l'ampiezza dello sforzo minore è il numero di cicli a rottura
 In alcuni casi (es. leghe ferrose e di titanio) la curva S-N diventa orizzontale per bassi valori di S . Vi è quindi un livello di sforzo limite (limite di fatica) al di sotto del quale non avviene rottura per fatica *(anche se $N = \infty$!)*.



ampiezza del filo di ferro

Stress amplitude S

Fatigue limit

Cycles to failure, N (logarithmic scale)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

cicli che faccio nella prova
 ⇒ bisogna valutare la pendenza $\frac{1}{E}$.

Per i materiali metallici ci sono 2 grosse macrocategorie:
 - quelle che presentano il limite di fatica: *S* ↑
 limite di fatica *N* →

Se $S <$ del limite di fatica, il materiale ha vita ∞ ! Ma ciò è solo questione del carico che applico nella prova e del numero di

NON fare il 5

Come si identifica, riconosce, una superficie di frattura che sia stata soggetta a fatica?

Onole che vanno avanti all'interno del materiale e corrispondono ai fenomeni di propagazione di un difetto presente sulla sup. del materiale.

PROVA DI FATICA



Superficie corrispondente alla rottura di schianto

FRATTURA di SCHIANTO
Sup. Granulosa e spugnosa



Superficie di fatica

SUPERFICIE di ROTTURA a FATICA
Sup. Liscia e Lucente

INNESCO
Prima cricca

I cedimenti a fatica iniziano con la formazione di una cricca superficiale, proseguono con la propagazione della cricca che avanza piu' o meno velocemente a seconda del carico applicato, e si concludono catastroficamente quando la cricca ha raggiunto dimensioni critiche e la sezione del materiale che sopporta le sollecitazioni si e' notevolmente ridotta.

La resistenza a fatica e' molto influenzata dalle condizioni della superficie del provino. (cioè se c'è già presenza o meno di cricche sulla superficie).

che poi procedi nel materiale secondo le onde gialle (vedi slide). Questa propagazione si ha fino a che il materiale non ce la fa più (cioè la sezione resistente è così piccola, che il materiale non riesce più a resistere).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

l'effetto principale nella res. a fatica è la cura della superficie del materiale. Tanto più il materiale è curato superficialmente, tanto più il materiale resiste fatica

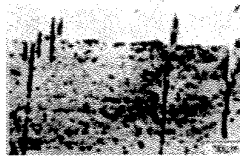
appref.

PROVA DI FATICA

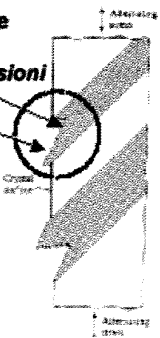
Fenomeno localizzato in alcune zone del componente

Lo slittamento produce microestrusioni e microintrusioni

Sul fondo delle microintrusioni nucleano le cricche di fatica ⇒ la maggior parte delle cricche di fatica nuclea sulla superficie del pezzo



Estrusioni ed intrusioni nel rame



Microinclusioni
Cricca
Alternating stress


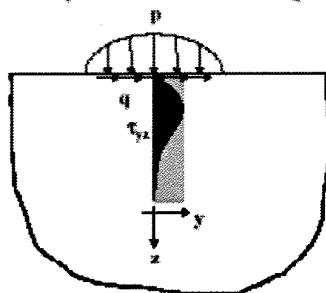
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

(es: cuscinetti)

PROVA DI FATICA

non in superficie, ma sottile

In taluni casi la frattura può iniziare sotto la superficie del pezzo
 ⇒ **fatica per contatto (cedimento tipico di cuscinetti, ingranaggi, camme, ruote ferroviarie)**

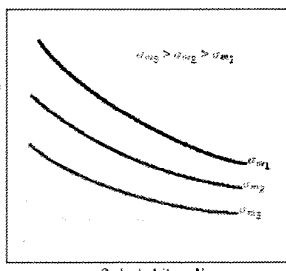



Distribuzione degli sforzi al contatto ruota ferroviaria-rotaila

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Fattori che influenzano la vita a fatica

Lo sforzo medio: all'aumentare dello sforzo medio si ha una diminuzione della vita a fatica.



(Cycles to failure, N (logarithmic scale))

- Effetti superficiali: in molte situazioni di carico il massimo sforzo si ha in corrispondenza della superficie, di conseguenza la maggioranza delle cricche che portano a fatica si originano da siti superficiali. La vita a fatica è estremamente sensibile alle condizioni della superficie del componente

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

superficie del materiale: soggetta a condizioni meteorologiche ⇒ stress termici
 (i fenomeni ossidativi hanno inizio nella zona superficiale del materiale).
 ⇒ tutto ciò favorisce l'insorgere di cricche sulla sup. del materiale e dunque la rottura per fatica.

Una tipica prova di scorrimento a caldo consiste nell'assoggettare un provino ad un carico o sforzo costante ad una determinata temperatura.

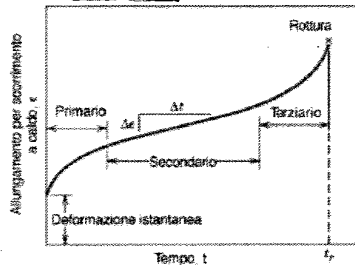


FIGURA 8.36 Curva tipica di scorrimento deformazione vs. tempo a sforzo costante e a temperatura elevata costante. La minima velocità di scorrimento $\Delta \epsilon / \Delta t$ è la pendenza del segmento lineare nella regione secondaria. Il tempo di vita a rottura t_r è il tempo totale a rottura

Callias
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
edises

Al momento dell'applicazione del carico vi è una deformazione istantanea (quasi totalmente elastica). La curva ha tre regioni caratteristiche: *un aumento di deformazione con*
 Il creep primario (transiente) è caratterizzato da una velocità di scorrimento decrescente (la pendenza $\Delta \epsilon / \Delta t$ diminuisce). In questo tratto il materiale sta aumentando la resistenza allo scorrimento. Il creep secondario (creep stazionario) ha invece la velocità costante. Di solito è lo stadio a più lunga durata.
 Nel creep terziario la velocità aumenta rapidamente fino a rottura.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



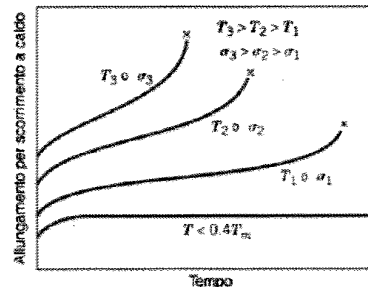
(ho linearità)

dunque è quello da prendere in considerazione nella fase progettuale

Il parametro più importante è la pendenza della parte secondaria della curva di scorrimento: è chiamata velocità minima o di creep stazionario $\dot{\epsilon}_s$

Dipendenza da T e dallo σ *rimane costante durante la prova*
 al loro aumentare:

- la deformazione istantanea al momento dell'applicazione dello sforzo aumenta
- la velocità di scorrimento stazionario aumenta
- il tempo di vita a rottura diminuisce



A noi la progettazione lavora sul creep non interessa molto

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il carico viene applicato tramite un martello che viene lasciato cadere da un'altezza h nota. La barretta si rompe e il pendolo continua la sua corsa risalendo, dopo l'impatto ad un'altezza h' inferiore ad h . L'energia assorbita si calcola dalla differenza delle due altezze.

dal prossimo (e cioè quella per la barra marcia)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Interpretazione dei risultati:

*propagazione
crack*

*è l'area
la crack*

Tanto più il materiale si è deformato, tanto meno il pendolo forma un'arcata, tanto più energia è richiesta per rompere il materiale.

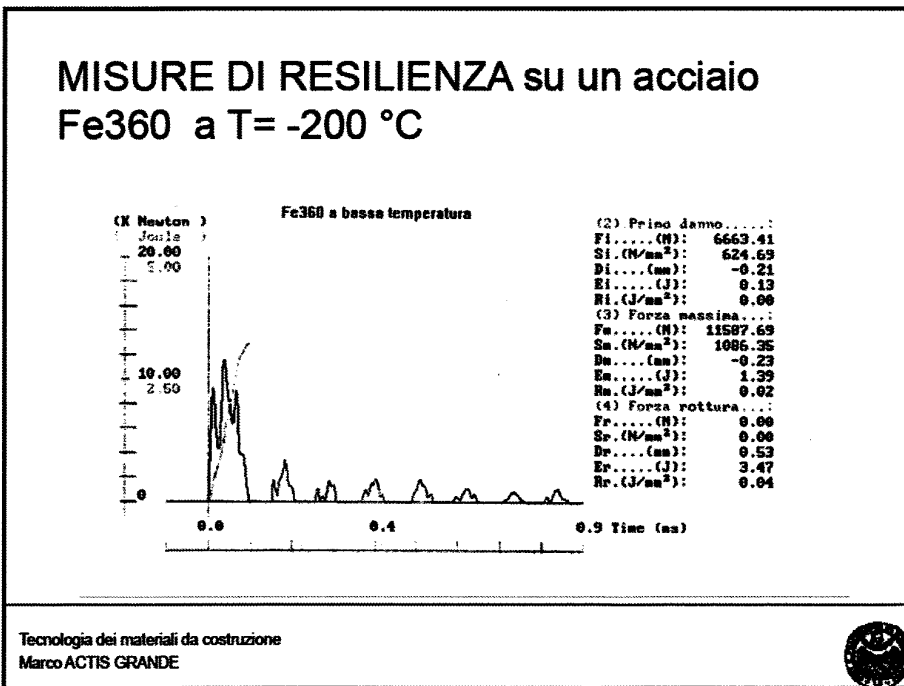
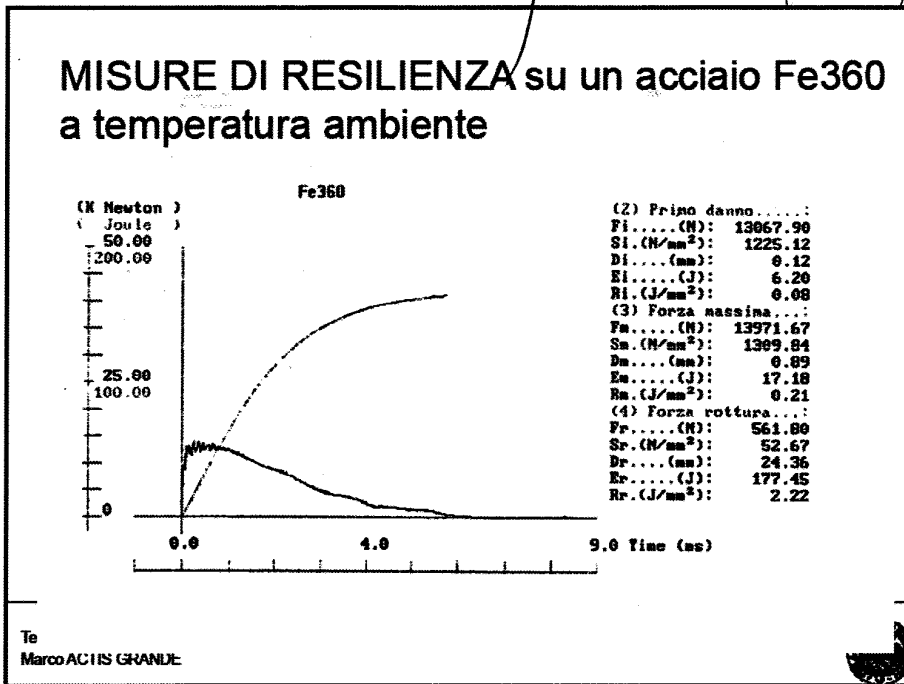
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Tanto più il materiale si è deformato, tanto meno il pendolo forma un'arcata, tanto più energia è richiesta per rompere il materiale.

Il problema è che questa distanza è dell'ordine di qualche millisecondo non è facilissimo rilevarla!

Tempo per la frattura fragile, cioè tempo necessario al materiale per fare in modo che nel materiale si abbia frattura fragile (cioè per schianto).

mettono in luce la natura variabile del comportamento di alcuni materiali a seconda, ed in, della T.



L'aspetto della superficie di rottura è indicativo della natura della rottura stessa:
 Rottura fragile: aspetto lucente
 Rottura duttile: aspetto fibroso e opaco

non c'è per niente deformazione

-59 -12 4 16 24 79

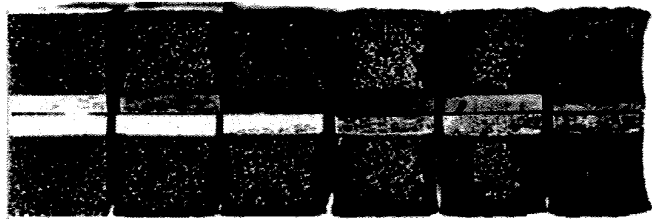
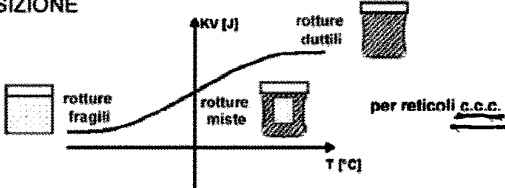


Figure 8.14 Photograph of fracture surfaces of A36 steel Charpy V-notch specimens tested at indicated temperatures (in °C). (From R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition, Fig. 9.6, p. 329. Copyright © 1989 by John Wiley & Sons, Inc., New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

→ bisogna stare attenti alle condizioni in cui prova il materiale.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

TEMPERATURA DI TRANSIZIONE



rotture fragili rotture miste rotture duttili

per reticoli c.c.c.

T [°C]

KV [J]

CURVA DI TRANSIZIONE DUTTILE-FRAGILE

- frattura fragile brillante e cristallina
- frattura duttile opaca e setacea
- frattura mista duttile ai bordi e fragile al centro

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

In frangimento si usa, per tutte le costruzioni (zona sismica) acciai inox (che ha struttura

lega Fe-C:

al variare del tenore di carbonio, il comportamento del materiale è molto variabile: la T di transizione duttile-fragile varia moltissimo!

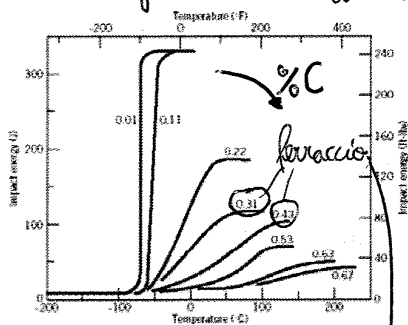


FIGURA B.19 Influenza del contenuto di carbonio sul comportamento di un provino in acciaio tipo Charpy con intaglio a V. (Riscampa autorizzata da ASM International, Metals Park, OH 44073-9989, USA; J. A. Reinbolt e W. J. Harris, Jr., "Effect of Alloying Elements on Notch Toughness of Pearlitic Steels", Transactions of ASM, Vol. 43, 1951.)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

T_{trans} ≈ 0 : 30 : 40 °C

ALTRI FATTORI CHE INFLUISCONO SULLA FRATTURA FRAGILE

Negli acciai a struttura c.c.c.:

• elementi di lega:

all'aumentare di C, P, Si (oltre ~ 0,3%) ⇒ la curva di transizione si sposta verso T maggiori ⇒ aumenta FATT ⇒ aumentano i pericoli di frattura fragile;

(caso quindi verso anche T_{ambiente})

all'aumentare di Mn, Al (fino allo 0,10%), Ni, Si (fino a ~ 0,3%), Mo ⇒ diminuisce FATT ⇒ diminuiscono i pericoli di frattura fragile;

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

le varie tipologie di prove differiscono per :
 - carico applicato
 - tipo di indentatore

Table 7.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number*
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.85417 d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2 P l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone 1/8, 1/16, 1/32 in. diameter steel spheres			60 kg	Rockwell
				100 kg	
				150 kg	Superficial Rockwell
				30 kg	
				45 kg	

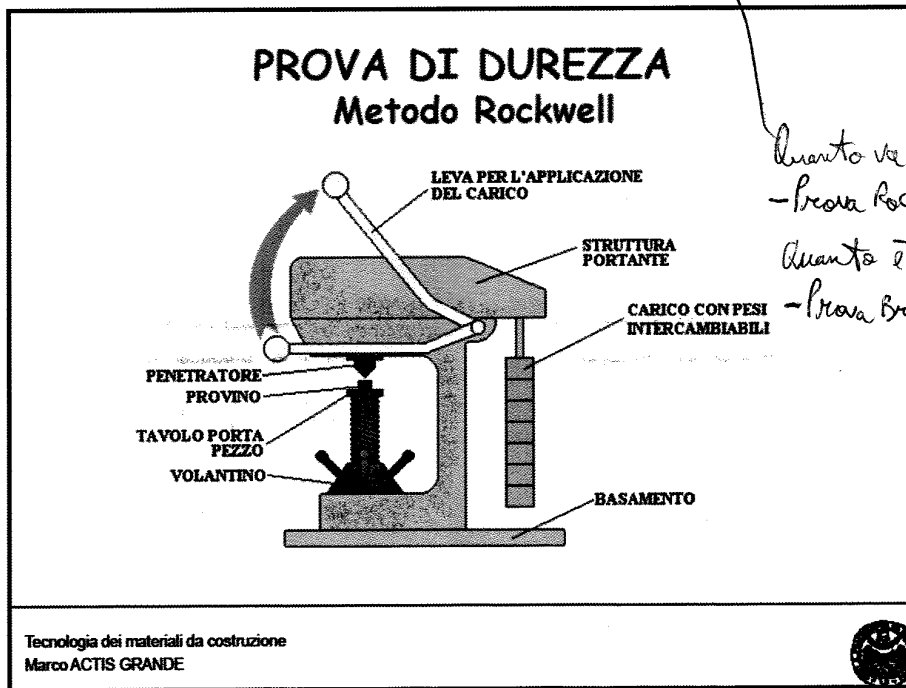
*For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, a, and l are all in mm.
 Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

solo per materiali ceramici

ma essere Rockwell A, B e C.

formule che correlano la dim. dell'impronta o l'entrata dell'indentatore al carico che genera nell'indentatore resistenza.
 profondità della punta

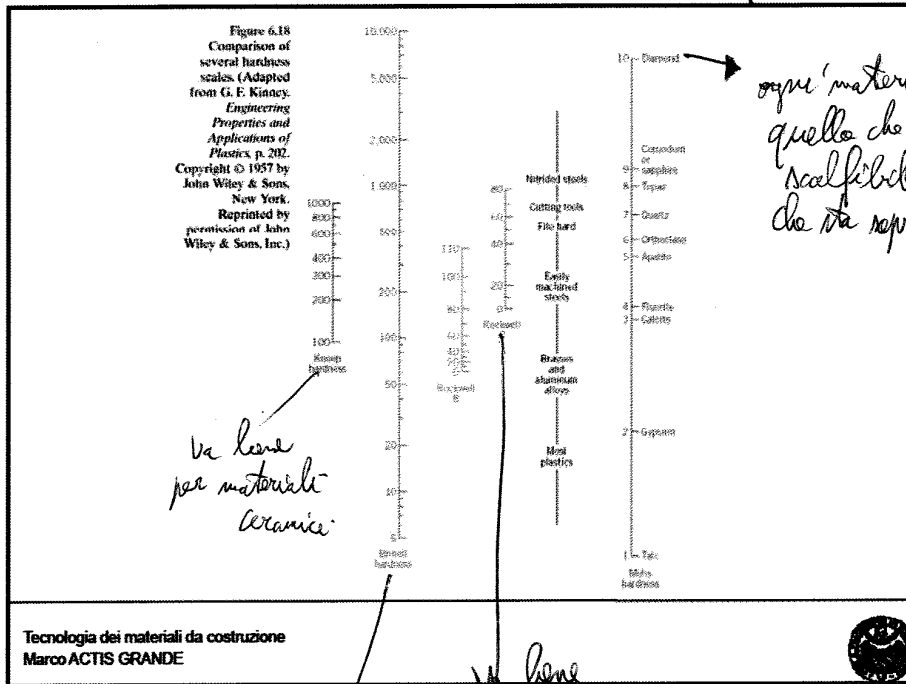
Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Quanto va giù l'indentatore?
 - Prova Rockwell
 Quanto è grande l'impronta?
 - Prova Brinell o Vickers

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Conversione tra le varie prove

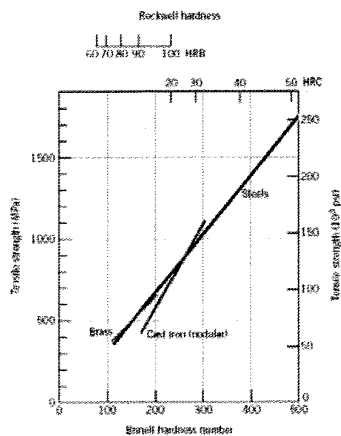


questo materiale scalfire quello che sta sotto ed è scalfibile da quello che sta sopra

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Correlazione tra durezza e resistenza a trazione

Sia il carico di rottura che la durezza sono indicatori della resistenza di un materiale alla deformazione plastica. In generale quindi la durezza sarà proporzionale al carico di rottura (TS)



Per la maggior parte degli acciai il TS e l'HB possono essere correlate da:

$$TS(\text{MPa}) = 3.45 \times \text{HB}$$

vale solo per certi materiali, vale se non possiamo fare prove, quindi usare un po' grossi saliti!

indicazione parametratica! (non sostituire il rapporto delle prove di res. a trazione)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Per quanto riguarda i materiali metallici abbiamo visto come il loro comportamento meccanico e in particolare la loro duttilità (deformazione plastica) sia correlata al moto delle dislocazioni.
 Visto che la durezza e la resistenza di snervamento sono correlate alla facilità con cui si può verificare la deformazione plastica riducendo la mobilità delle dislocazioni si può aumentare la resistenza meccanica.
 Tutte le tecniche di rinforzo si basano sul principio:

limitando o ostacolando il movimento delle dislocazioni si rende un materiale più duro e più resistente. *si può agire su:*

- parcellazione delle*
- a) **Dimensioni dei grani**
 - b) **Soluzioni solide**
 - c) **Incrudimento** *(case deformare plasticamente il materiale)*
- per aumentare l'*

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

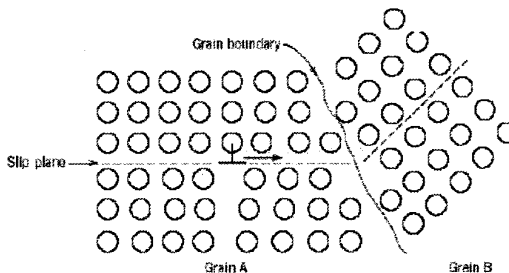


Se riduco la dimensione del grano, le dislocazioni si muovono molto meno perché i bordi grano sono più vicini) => il materiale si deforma molto meno e risulta di più.

Dimensioni dei grani

In un materiale policristallino la dimensione dei grani (diametro medio dei grani) ha influenza sulle proprietà meccaniche.
 Normalmente i grani adiacenti hanno una diversa orientazione cristallografica e la presenza di un bordo di grano tra di loro.

Figure 7.14 The motion of a dislocation as it encounters a grain boundary, illustrating how the boundary acts as a barrier to continued slip. Slip planes are discontinuous and change directions across the boundary. (From Van Vlack, *A Textbook of Materials Technology*, 1st edition, © 1973, p. 53. Adapted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

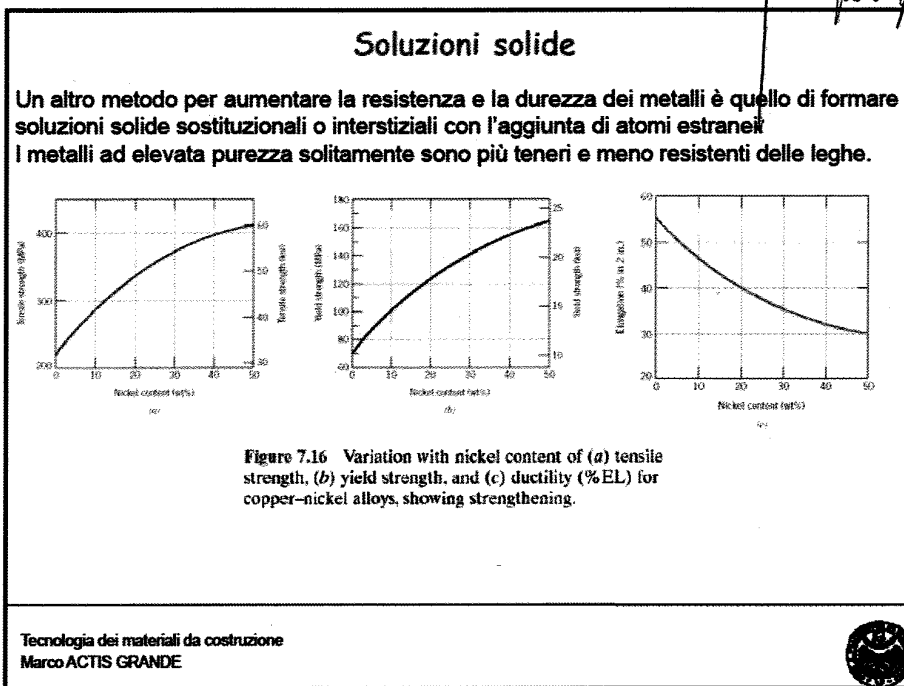


Nel corso della deformazione plastica lo scorrimento delle dislocazioni deve per forza passare per i bordi di grano.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

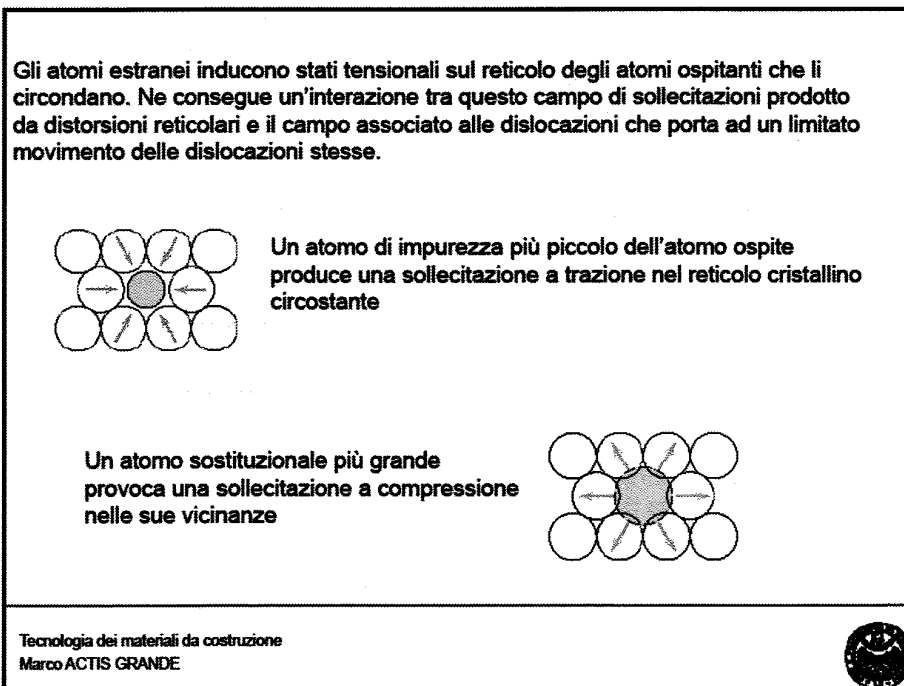


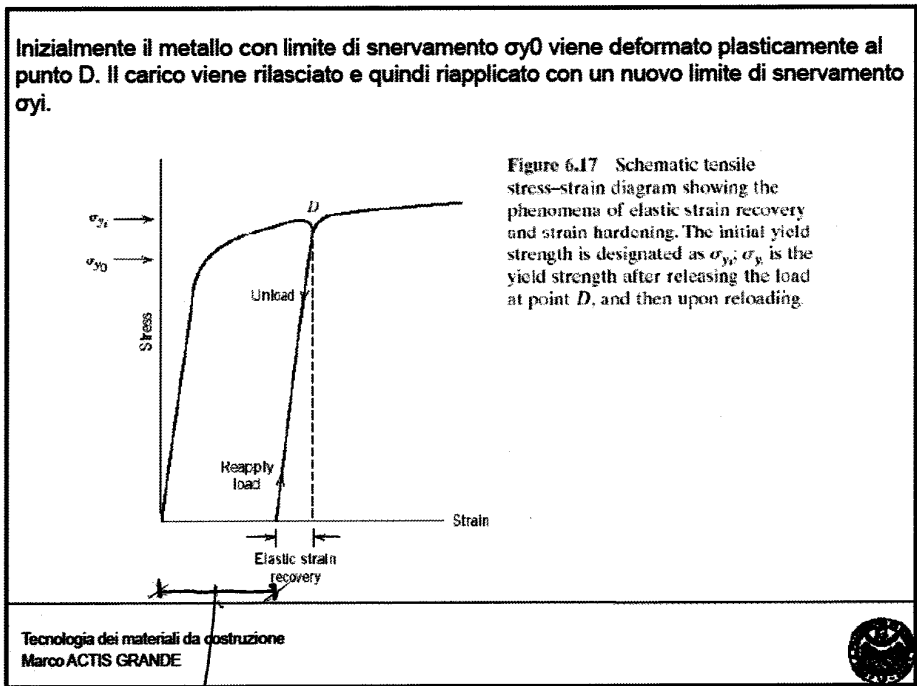
*ciò determina l'insorgenza di
una zona di trazione - compr.
(a seconda che mette materiale
più piccolo o più grande)*



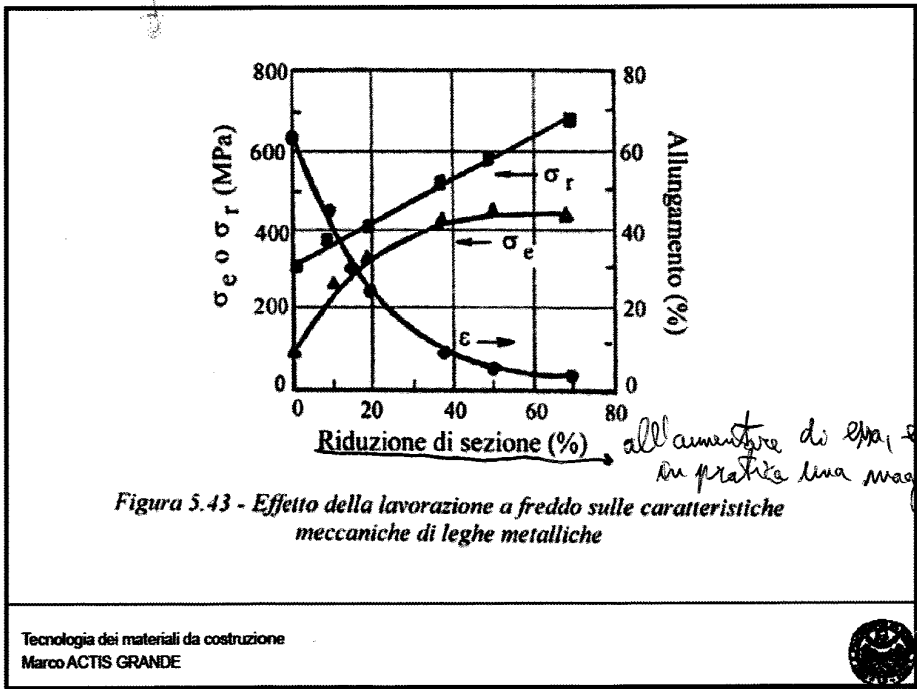
le dislocazioni vengono bloccate (a meno di aumentare la sollecitazione) - esterne

a causa di queste zone di trazione - compr. in cui si imbroccano





def. residua



Meccanismi di rafforzamento dei materiali: AFFINAMENTO DEL GRANO- Recovery e Ricristallizzazione

Siccome i grani ottenuti per ricristallizzazione sono simili a quelli antecedenti all'incrudimento → ad essa e' associata una diminuzione della resistenza a trazione e un aumento della duttilità del materiale

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

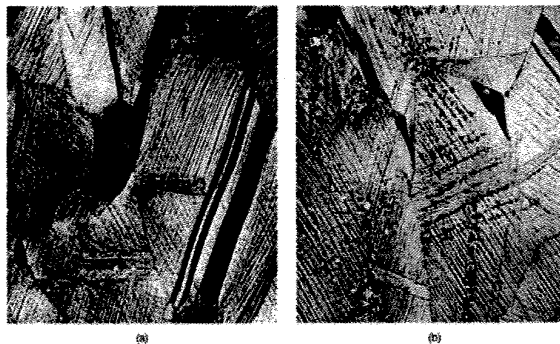


FIGURA 7.21 Micrografie rappresentanti i diversi stadi della ricristallizzazione e della crescita del grano di un piombo. (a) Struttura del grano dopo lavorazione a freddo (33% di L.F.). (b) Stadio iniziale della ricristallizzazione dopo riscaldamento di 3 s a 580°C; i grani molto piccoli sono quelli ricristallizzati. (c) Parziale sostituzione dei grani da lavorazione a freddo con quelli ricristallizzati (4 s a 580°C). (d) Ricristallizzazione completa (8 s a 580°C). (e) Aumento del grano dopo 15 minuti a 580°C. (f) Aumento del grano dopo 10 minuti a 700°C. Tutte le micrografie a 75x. (Per gentile concessione di J.E. Burke, General Electric Company.)

Callister
Scienza e Ingegneria dei materiali, una introduzione
EdISES

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



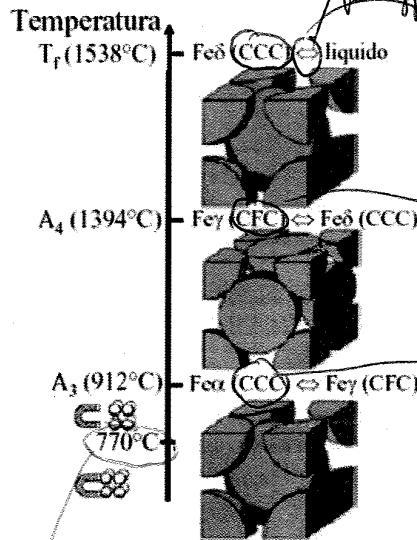
LEZIONE 4
 Apriamo la parte 4 dei materiali metallici veri e propri:

X GLI ACCIAI dobbiamo partire dalla considerazione che il acciaio è di base una lega Fe-C →

→ guardiamo le caratteristiche del ferro:

Ferro puro

Densità ρ (20°C): 7,870 Mg/m³
 Rm = 180-290 MPa
 Re = 100-170 MPa
 A% = 40-50%
 Z = 80-95%
 HB = 45-55
 E = 210 GPa
 Oltre alla fusione, il ferro puro presenta due trasformazioni di fase allo stato solido; le temperature corrispondenti vengono indicate con A3 ed A4 (nelle condizioni di equilibrio).



indica che a 1538°C ho passaggio di Fe a liquido

il Fe è meterepartico! a seconda della T cambia la struttura

Credo che se raffreddo troppo velocemente, le celle non hanno il tempo di formarsi

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

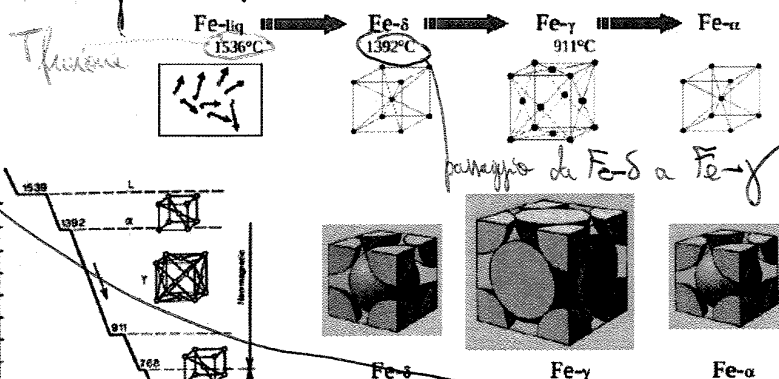
sempre, a condizione che la velocità di raffreddamento non sia eccessivamente elevata

Non si possono dare valori precisi e puntuali, perché non sono funz. del tipo di lega che stiamo considerando. Bisognerebbe raffreddamento dell'elemento ferro.

45° punto di luce:

al di sotto è magnetico, sopra è amagnetico → di relazione tra

Indicando tra 450° e 912°C un po' la T



Fe-δ e Fe-γ sono compatibili, Fe-α è un po' più grande. Lega differente → struttura differente → risposta differente

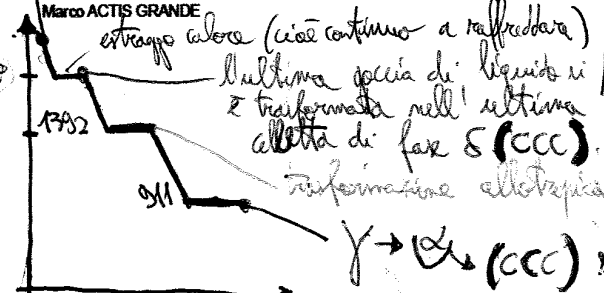
Ma finora - di come si cambia il materiale e di come reagisce i gradi (1° ogni ora o ogni settimana) → allora una serie di variabili che determinano la variazione di ± 1°C delle T indicate.

Allotropia nel Fe puro

potrebbe essere la velocità

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

1538



estraggo calore (cioè continuo a raffreddare), ma T rimane a 1538 perché avviene il passaggio dallo stato liquido alla fase di Fe-δ (c'è un primo subordine del materiale (formazione celle)).
 Fe-δ → Fe-γ (CCC) → Fe-α (CC)

ultima specie di liquido si trasforma nell'ultima cella di fase δ (CCC). trasformazione allotropica. tutti i orizzontali corrispondono alle trasformazioni

non è tutto al 100%

Mappe che presenta zone di confine e campi di esistenza.

MAPPA Fe-C: vediamola come una

Ciclo: orientativamente:

- se $0.3\% C < 2,11 \Rightarrow$ acciaio

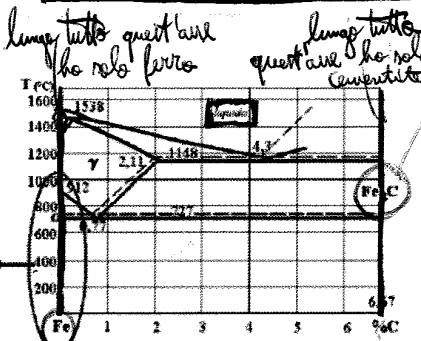
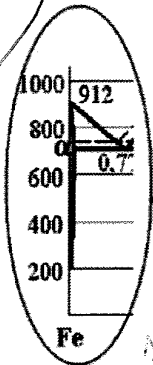
- se $2,11 < C < 6,67 \Rightarrow$ ghisa (mi parato ci facevano i tubi, ora i tombini!)

Localizziamoci in

($< 2,11\%$)

Campo di stabilità del sistema monofasico ferrite α

FASI MONOFASICHE:
liquida - δ - γ - α - Fe_3C - Fe
per carbonio a cell
cristallina. Le varie
zone possono avere
dimensioni differenti.



strana dicitura del diagramma
campi di natura intermetallica
chiamato CEMENTITE (struttura
che corrisponde al tipo γ
di per se di carbonio del
(6,67%)

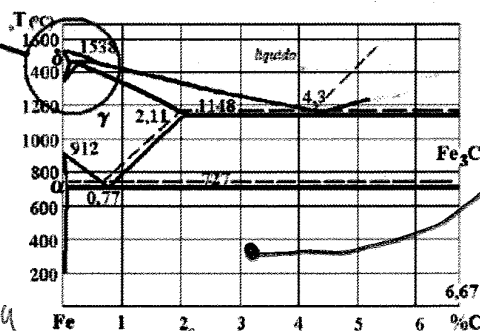
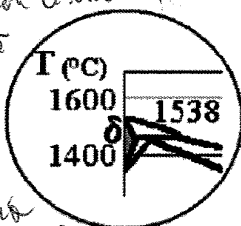


questa zona che ripare
liquida di ferro δ
risultava essere
composta di $liq. +$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

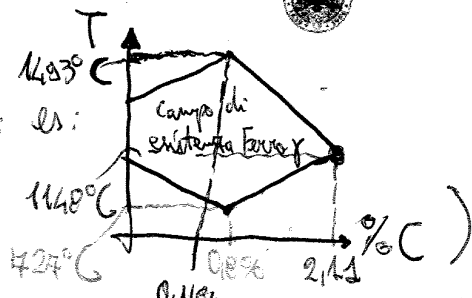
Questo diagramma va interpretato
e definire le variazioni in
un caso una linea (liquida)
Nella area blu il carbonio
riesce a stare, senza dare
troppo disturbo, nella cella
cristallina del Fe
nella CCC il C non ci sta
tanto comodo perché
la cella CCC contiene
al suo interno un
atomo di Fe che
si prende tutto lo spazio
disponibile (anche se CCC ha
gradi di compatibilità
2 della FCC)
la FCC ha nella
parte centrale una "lacuna ottaedrica"
che consente uno spazio abito. grande affinché il carbonio ci stia anche in
quantità non trascurabili.

Campo di stabilità del sistema monofasico ferrite δ

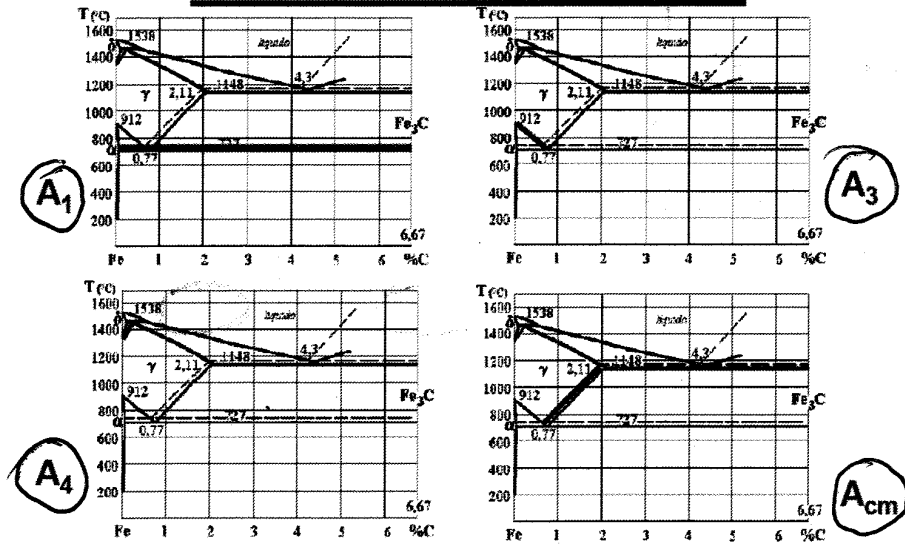


• punti che rappresentano
il valore di C relativi
a quel punto.

dependo dalla T (e lo dice il diagramma: es:



Punti critici nel sistema Fe-C



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



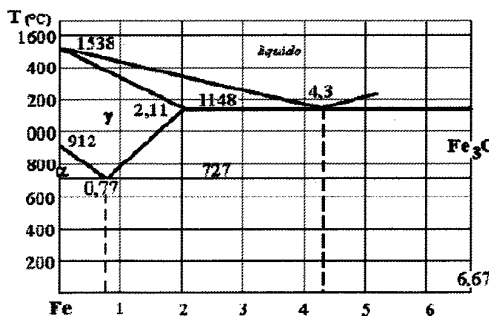
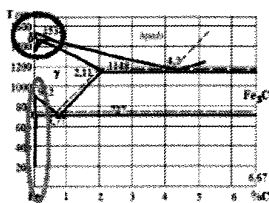
Una semplificazione

Forma semplificata del diagramma di stato:

- Si considera nulla la solubilità del C nel reticolo ccc del ferro α ;
- Si trascura l'esistenza della reazione peritettica;

Il diagramma di stato è una semplificazione di quello che avviene nella realtà, ma ha un suo valore scientifico. La semplificazione del diagramma di stato è "NA CZEZATA"!!!

↳ lontano dalla realtà

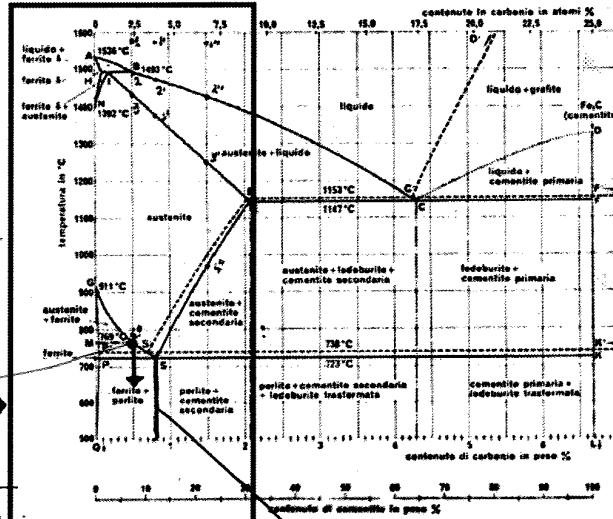


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Diagramma Fe-C: il campo degli acciai

Questo diagramma è composto dal axes e per ciascuna area viene definita la composizione caratteristica (non esport. per noi)



Questa struttura è detta PERLITE: intima miscela di α e Fe_3C (tra loro separata)

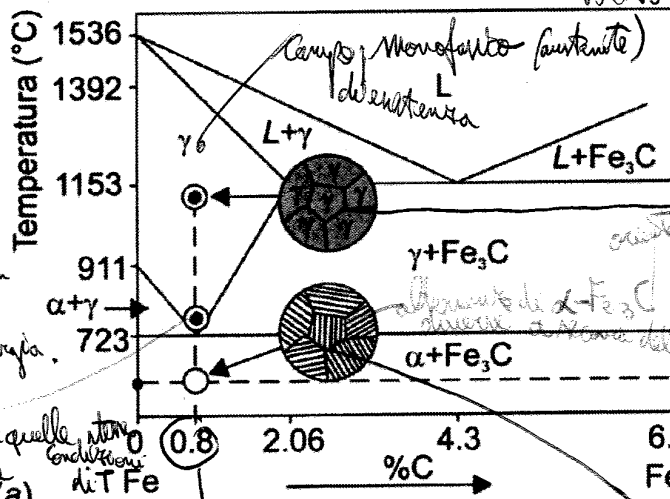
se parte da qui per raffreddamento
 → prima forma ferrite, poi a 723°C comincia a formare anche perlite → sotto i 723°C tutto ferrite + perlite.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

lunga tutta questa linea ho solo perlite

Importante per noi: cosa succede alla struttura del materiale in funzione della zona che mi trovo:

La struttura dell'acciaio eutettoidico



Nono non si fare liquidi → lo spostamento di carbonio avviene in soluzione solida (non è così facile lo spostamento) → richiede del tempo e dell'energia. Tale spostamento non può durare all'infinito. A tempo o tutto il carbonio, per ogni singolo grano, tenderà ad andare tutto da una parte e il ferro tutto dall'altra ma allo stesso tempo si preparano le trasformazioni (ferrite + Fe₃C) → ferrite e cementite hanno %C molto differenti tra loro

struttura caratteristica: grani cristallini tutti uguali tra loro (magari con orientamenti diversi)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

mi interessa
 diametro %C = 0.8



struttura in cui si ha che se questo era il grano originale di γ , abbiamo infatti ad un qualcosa in cui si ha alternanza tra ferrite e cementite

Dietro gli orologi dovrebbero essere scritto "acciaio inox austenitico"

(cioè è stabile sopra)

La fase austenitica sta sopra i 400°C. → superando C facis sì che l'acciaio inox austenitico ci sia a T_{amb} (esata)

è interessante perché:
la struttura CFC

garantisce che il materiale non sia soggetto a fenomeni di transizione duttile-fragile. (Inox ferritico e inox martensitico, invece, sono soggetti a fenomeni di trans. duttile-fragile)

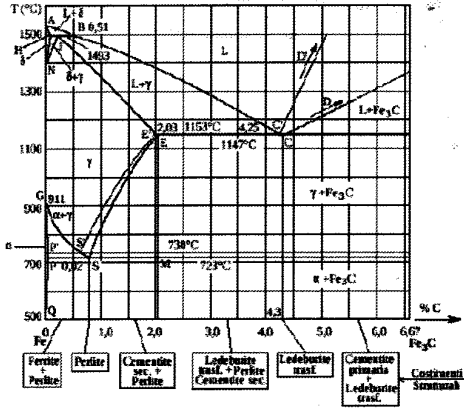
Acciaio inox austenitico;
acciaio inox martensitico;

la martensite non sta nel diagramma di stato, perché non è una condizione stabile (condiz. di stato), ma ce l'abbiamo solo nella vita reale.

- Diagramma Fe-cementite
- Diagramma Fe-grafite

• Solubilità max del C:
2.06% a 1147°C nel Fe-γ
0.02% a 723°C nel Fe-α

Fasi	e	Costituenti strutturali
- liquida		- ferrite δ
- fase δ		- austenite
- fase γ		- ferrite α
- fase α		- cementite
- Fe ₃ C		- perlite
		- ledeburite



Punti critici
A4: γ ↔ δ
A1: austenite eutettoidica ↔ perlite
A3: α ↔ γ Acm: austenite ↔ cementite

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



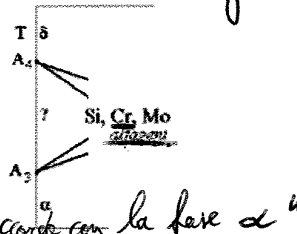
Ci sono elementi che sono più compatibili con la fase α del ferro e altri che sono più compatibili con la fase γ del ferro.

Influenza degli elementi di lega

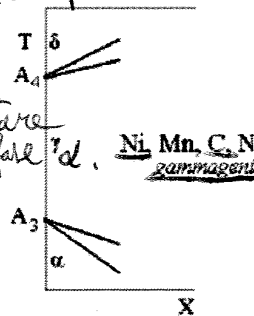
Il Fe forma delle leghe con un elevato numero di elementi. La messa in soluzione di elementi di lega nel Fe comporta lo spostamento dei punti A3 ed A4.

• Si definiscono **alfageni** quegli elementi che stabilizzano la fase ccc, aumentando la temperatura del punto A3 e diminuendo quella del punto A4.

• Si definiscono **gammageni** quegli elementi che stabilizzano la fase cfc, diminuendo la temperatura del punto A3 ed aumentando quella del punto A4.



«Vanno più d'accordo con la fase α»
«Tenderanno ad incrementare il campo di esistenza della fase γ»



significa modificare la posizione dei punti A3 e A4 e la forma delle curve del diagramma in stato fase α

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Variazioni delle proprietà dei materiali, le posso ottenere variando la composizione chimica e/o effettuando

Trattamenti Termici

cioè metto nel forno il materiale (non cambio la composizione chimica, ma cambio la microstruttura del pezzo grazie ad un processo di tipo termico).

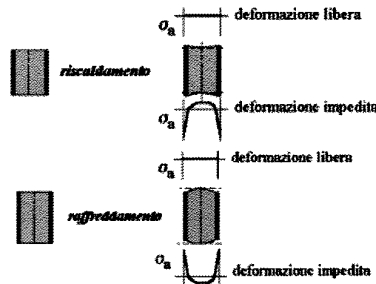
Il riscaldamento del materiale metallico coinvolge tutti i meccanismi di trasporto del calore (conduzione, convezione ed irraggiamento). Ovviamente il pezzo interessato dal trattamento si riscalda a partire dalla superficie esterna. Si formano inevitabilmente dei gradienti di temperatura tra la superficie riscaldata ed il cuore ancora freddo e dei corrispondenti gradienti di deformazione: le parti più calde si dilatano ma sono ostacolate dalla presenza di parti fredde.

La dilatazione lineare ϵ per una variazione di temperatura

$\Delta T > 0$ vale: $\epsilon = \alpha \Delta T$

Se tale dilatazione è impedita, il materiale è sottoposto ad una sollecitazione σ di compressione data dalla legge di Hooke:

$\sigma = \epsilon E = \alpha E \Delta T$



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



I trattamenti degli acciai possono essere classificati in: 2 MacroCategorie

- Trattamenti effettuati a temperature superiori alle temperature critiche (ricotture, normalizzazioni, tempre) A_1, A_3, A_{cm}
- Trattamenti effettuati a temperature inferiori alle temperature critiche (rinvenimenti, distensioni)
- Trattamenti termochimici di diffusione (nitrazione, cementazione) arricchimento di N, arricchimento di C

Prima di un trattamento termico che preveda una trasformazione di fase si ha un processo di austenizzazione. Tale processo consiste in un riscaldamento in modo da ottenere una struttura che sia austenitica in modo completo o parziale, a seconda della composizione chimica dell'acciaio.

umentando la T, effettuo anche una variazione della comp. chimica del materiale nelle zone in prossimità della superficie esterna del pezzo (cioè le zone superficiali del pezzo).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



In zone ben definite, cioè

avvicino di tutti i punti del pezzo. Solo una temp. di tutto per strutture?

se voglio avere una microstruttura martensitica o bainitica è necessario partire da una condizione in cui tutta la struttura si trova nella stessa situazione (struttura austenitica). Se voglio solo effettuare una distensione, non c'è bisogno di ciò.

Quali sono le trasformazioni che possono avvenire nell'acciaio, in funzione del trattamento termico che vuoi applicare?

Per un raffreddamento medio lento \rightarrow il C ha tempo per i suoi fenomeni diffusivi

Trasformazioni perlitiche

- Si hanno per temperature di permanenza elevate
- La trasformazione perlitica è legata a fenomeni diffusivi del C e degli elementi di lega nell'austenite. I carburi che si formano sono sia delle cementiti legate, sia dei carburi legati veri e propri
- L'aggregato è di tipo lamellare
- La distanza interlamellare diminuisce con la diminuzione della temperatura

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Cioè il C non ha il tempo per andare lontano, cioè per andare ad organizzarsi in strutture lamellari

Trasformazioni bainitiche

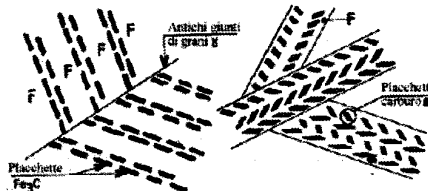
Per temperature di mantenimento inferiori, rispetto alle precedenti, la diffusione degli elementi di lega sostituzionali diviene più difficile.

La fase nucleante è la ferrite.

- Si possono distinguere:
- Bainite superiore
 - Bainite inferiore

arrivare quando i fenomeni diffusivi del C risultano essere + difficili perché non si lascia il tempo necessario per la diffusione completa

Non struttura lamellare, ma più fine (dipende al fatto che i fenomeni diffusivi non + completati)



Bainite superiore

Bainite inferiore

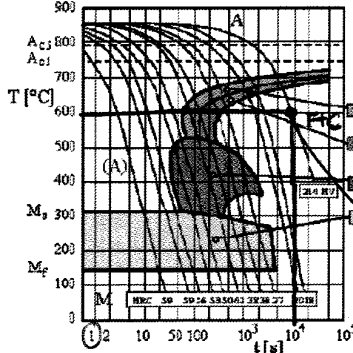
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

In realtà, a V_i (vel. inferiore di tempera) avviene un'altra trasformazione (trasformazione martensitica) \rightarrow dopo V_i si forma una nuova anche struttura (martensitica).
Tra V_i e V_s sono presenti 2 strutture differenti che coesistono, ma al di sopra di V_s esiste solo per la struttura martensitica.

Una funzione della composizione chimica di un dato acciaio (Es:) deve realizzare quella curva CCT che in funz. della vel. di raffreddamento, mi dice che struttura ottengo

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu
0.44	0.80	0.31	0.013	0.030	0.46	0.96	0.05	0.18

quasi il completo a 100% rappresentate del Fe



è praticamente un bronzo (perché c'è $\approx 1\% \text{ Cu}$)

se da 900°C raffreddo in un tempo di 10^4 s ($\Rightarrow 900/10^4 \text{ } ^\circ\text{C/s}$) \Rightarrow vengo a 600°C e avrò F+C

Per le applicazioni numeriche, al fine di rappresentare una determinata legge di raffreddamento, viene utilizzato un solo parametro significativo. Ad esempio:

- la velocità di raffreddamento istantanea a 700°C
- il Δt necessario a passare da 700 a 300°C

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



struttura dura \Rightarrow decisamente meno deformabile rispetto alle strutture ottenute con vel. di raffreddamento più lento.

Ulteriori informazioni sulle trasformazioni martensitiche

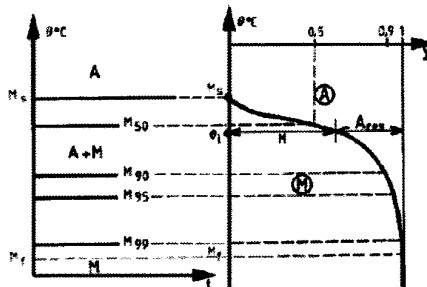
La martensite è caratterizzata da una durezza molto elevata, dovuta a:

- una elevata densità di dislocazioni;
- indurimento per l'influenza del C (in soluzione solida interstiziale)

Da ricordare che

- La trasformazione martensitica è quasi istantanea.
- Ad ogni temperatura una determinata frazione di austenite si trasforma in martensite.
- Le iso-austenite sono parallele all'asse dei tempi
- Se la T finale è superiore ad (M_f) al termine del raffreddamento si otterrà dell'austenite residua

martensite
sforzata



Avrà una T_{inizia} e una T_{fine} trasformazione \Rightarrow devo controllare non solo vel. di raffreddamento, ma anche T_s . Due esempi: il caso in cui T_{fine} è 20°C \Rightarrow più energia il caso in cui tutta la trasformazione non sia avvenuta

Temperatura di arrivo (temperatura di M_s : "martensite start")

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Quali sono i possibili trattamenti termici che portano ad applicare nel sistema?

RICOTTURA *risponde il pezzo, lo si scalda nel forno per un certo periodo di tempo a $T > T_{crit}$ e poi si fa raffreddare in forno, cioè a velocità di raffreddamento controllata → genera una struttura che risponde appieno i dettami del diagramma di stato.*

Un acciaio può presentare all'interno della sua struttura disomogeneità di varia natura ed origine:

- Segregazioni (macro e micro) ottenute al termine della solidificazione;
- Incrudimento per deformazione a freddo;
- Sforzi residui per saldature etc...

I I trattamenti di ricottura permettono all'acciaio di avvicinarsi ad uno stato di equilibrio termodinamico, eliminando, almeno in parte, le suddette disomogeneità

Il ciclo consiste in un riscaldamento ad una temperatura opportuna (in modo che l'acciaio sia austenitico), permanenza per una durata opportuna, raffreddamento effettuato in forno.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Ricottura completa (o, semplicemente, ricottura)

- Mantenimento a: $T = A_{c3} + 50$ (ipoeutetoidici)
 $T = A_{c1} + 50$ (ipereutetoidici)

- Raffreddamento lento, specialmente attraversando l'intervallo critico.

per gli acciai

Risultato: *si ha*
• Ipoeutetoidici: ferrite e perlite relativamente grossolane, resistenza e durezza modeste, duttilità elevata

- Ipereutetoidici: globulizzazione parziale della cementite proeutetoidica, con aumento della resilienza.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Normalizzazione

ci dà anch'essa struttura omogenea (come la ricottura)

La normalizzazione segue lo stesso ciclo termico della ricottura e permette quindi di ottenere strutture ferrito-perlitiche. Tuttavia:

- La temperatura di mantenimento è leggermente superiore per gli ipoeutetoidici e supera A_{cm} nel caso degli ipereutetoidici
- Il raffreddamento in aria calma è sicuramente più rapido di quello caratteristico della ricottura.

vel. di raff. + durata della ricottura

Risultato:

si prende il pezzo dal forno e lo si mette a raffreddare all'aria aperta → avrà ricottura più fine rispetto a quella della ricottura

- Una struttura ferrito-perlitica caratterizzata da grani ferritici fini e da uno spazio interlamellare della perlite molto ridotto
- Sono strutture ottimali per successivi trattamenti termici di tempra e per determinate applicazioni meccaniche

prop. meccaniche maggiori di quelle ottenibili con ricottura

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



perché non si lascia il tempo per far acquistare strutture più grandi

Tempra

genera la formazione di strutture martensitiche

Il trattamento di tempra consiste in una completa austenitizzazione dell'acciaio, seguita da un rapido raffreddamento al fine di ottenere una struttura completamente martensitica.

Il raffreddamento può essere effettuato in acqua, soluzioni saline, olio, metalli fusi, aria soffiata oppure semplicemente aria.

de, ovviamente, preventivo T fusione anche bassa

La scelta del mezzo temprante dipende dalla sua attitudine alla tempra, caratterizzata dalla temprabilità o penetrazione di tempra.

Metallurgicamente, la temprabilità può essere definita come la capacità di nucleazione della austenite rispetto alla ferrite, oppure ai carburi.

Più le curve CCT sono spostate verso destra, più è elevata la temprabilità → *maggior rate la diversa max finale che si può ottenere nel pezzo dopo aver effettuato la tempra.*

In fase dell'acciaio ne considero (composita chimica) avio ± preferiscono a far avvenire la tempra e bene facile avvenire (usa solo in superficie o anche nel cuore)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



sono definite come ricottura, ma non bisogna farsi trarre un inganno dal termine ricottura!

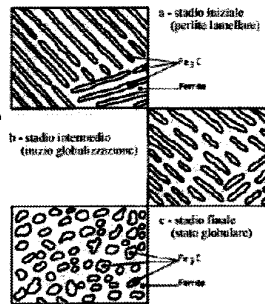
Trattamenti termici che non comportano trasformazioni di fasi

Costa per riscaldamento

- **Ricottura di addolcimento o di miglioramento della lavorabilità**
Consiste in un riscaldamento a qualche decina di gradi al di sotto di Ac_1 , seguito da un raffreddamento lento. Permette di ottenere uno stato sufficientemente addolcito e privo di sforzi residui, migliorando la lavorabilità e l'attitudine alla deformazione a freddo
- **Ricottura di sferoidizzazione o globulizzazione**
Si riscalda il pezzo appena al di sotto di Ac_1 , si mantiene per un tempo sufficiente, oppure si oscilla intorno ad Ac_1 , si raffredda lentamente, in modo da ottenere una coalescenza spinta della cementite

nella hanno a che fare con la ricottura di omogeneizzazione, perché non hanno la capacità di eseguire la trasform. di fase della struttura (perché la T a cui sottopongono non è alta), ma solo trasformazioni

di aspetto della struttura esistente. Vengono eseguite al di sotto degli intervalli critici, cioè al di sotto di Ac_1 .



di lamelle a globuli

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Trattamenti di restaurazione e di ricristallizzazione

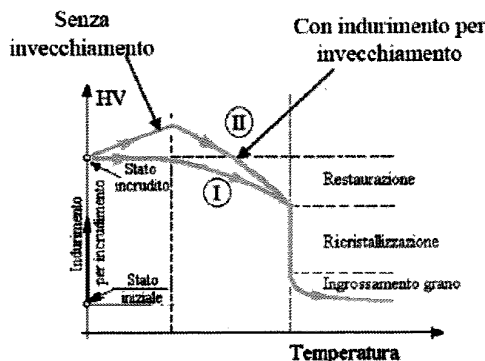
più ha un rilassamento delle tensioni residue, possono essere generate da un trattamento di def. plastica

Premessa:

- La lavorazione a freddo di una lega comporta il suo incrudimento.
- Una struttura incrudita è caratterizzata da una forte deformazione orientata dei grani e da una elevata densità di difetti (dislocazioni e vacanze).
- Una struttura incrudita è fragile.

Per ovviare a tali problemi si può ricorrere a due trattamenti:

- **Trattamento di restaurazione**
- **Trattamento di ricristallizzazione**



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Soltanto si effettua a valle del trattamento di tempra

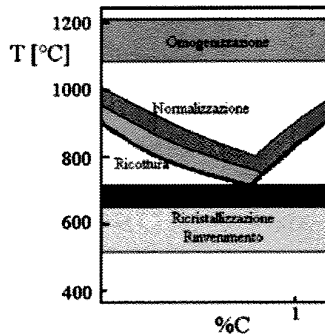
Trattamento di distensione

Si tratta di un rinvenimento effettuato a temperatura piuttosto bassa, con velocità di riscaldamento e di raffreddamento piuttosto basse.
E' essenzialmente dovuto alla restaurazione, ma non modifica le proprietà meccaniche

Rinvenimento

Si effettua dopo una tempra, in modo da eliminare, almeno in parte, la bassa duttilità e resilienza di una struttura completamente martensitica.
La sequenza di tempra + rinvenimento è denominata bonifica.
Il rinvenimento comporta una evoluzione del metallo verso uno stato chimico fisico di maggiore equilibrio.

essere eseguito ad una T che può essere anche abbastanza alta al di sotto di A1.



Tempra → struttura molto dura, ma anche molto tenace anche → molto fragile → rinvenimento, in modo che una parte delle tenaci restino vengano rilassate → la

performance meccanica cala, ma diminuisce la fragilità → restano che, parzialmente, si trova in una condizione di maggiore equilibrio.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Trasformazioni della martensite dovute al rinvenimento

Soltanto se agisce su una struttura Fe-C ad alto contenuto di carbonio. Al crescere della temperatura si possono avere elementi che hanno interazioni con C → modificando la T si possono avere tali interazioni, cioè la formazione dei carburi.

Dipendono dalla temperatura T_r : al crescere di questa temperatura aumenta l'importanza della diffusione del C che si sposta dal reticolo tetragonale e con formazione di ferrite e cementite.
Se l'acciaio contiene elementi carburigeni

$T_r > 450^\circ\text{C}$: si formano dei carburi legati, più stabili della cementite. Si ottiene un indurimento per precipitazione

Evoluzione delle proprietà meccaniche durante il rinvenimento

I principali parametri che influenzano il trattamento di rinvenimento sono:

- la composizione chimica
gli elementi di lega ritardano la diminuzione di durezza della ferrite (soluzione solida e per coalescenza di carburi).
- le condizioni di rinvenimento (T_r , t_r)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



perché ho la presenza di elementi molto affini al C

Carburi: non stabili, ma non con tanto carbonio elementi più stabili di lui)
carburo di ferro Fe_3C (cementite)

Trattamenti termochimici di diffusione

Cementazione → anche detta *carburatione*

• E' un trattamento termochimico di diffusione in cui l'acciaio viene arricchito superficialmente in carbonio

• La temperatura di cementazione è $> A_{c3}$ (normalmente fra 900 e 1000°C)

• Esistono tre tipi di cementazione:

- Solida (o in cassetta)
- Liquida
- Gassosa

Quando lavoriamo nel campo di austenizzazione, quindi lo scopo è arricchire il quantitativo di C → dare forza in modo che il materiale è ricettivo al C (quando ha struttura austenitica)

• L'acciaio cementato subisce un processo di indurimento mediante tempra immediata oppure successiva (differita)

• Si possono ottenere durezza di 700-900HV

Vickers (1-2 mm)

• Lo spessore cementato è dell'ordine del millimetro

cioè CFC

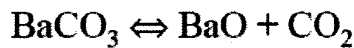
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

in funzione di una serie di fattori che vengono regolati dalla 2° legge di Fick

(es: quanto tempo il pezzo è lasciato esposto a C, quanto C c'è fuori, ...)

Cementazione solida o in cassetta

- L'acciaio è posto in una cassetta di ghisa o di acciaio legato
- L'agente cementante è costituito da una miscela di carbone di legna, carbonato di bario, carbonato di sodio



- $T_{cem} = 900-950^\circ C$ ($\bar{x} > A_{c3}$)
- A contatto con il Fe il monossido di C si decompone liberando C
- Il C penetra nel Fe γ
- Durata del trattamento: alcune ore

carbonio libero che entra all'interno dell'Fe γ

struttura CFC del

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Parametri influenzanti la penetrazione del C

- Composizione chimica dell'acciaio
- Temperatura di cementazione
- Durata trattamento
- Sostanza cementante

 (è sempre perso → questo aspetto non)

• La cementazione è favorita dagli elementi che formano carburi (Cr, Mo, Tungsteno, Vanadio, ...)
 • La cementazione è ostacolata da elementi che formano soluzioni solide (Ni, Si, Al)

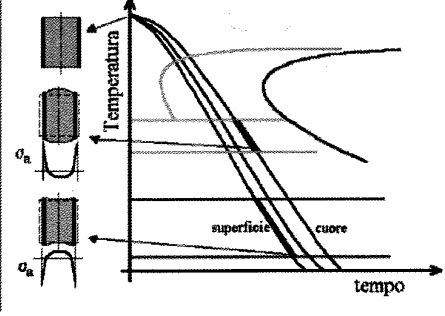
Solitamente: *acciaio ipocritico*
 $\%C < 0.2\%$ (C penetra meglio nel Fe)
 $\%Mn < 0.4$ (lo strato cementato diviene fragile)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Carbonio presente all'interno della *struttura da cementare*

È necessario fare la *tempra!* perché, grazie ad essa, la *struttura* diventa più performante, perché l'arricchimento di C garantisce un po' di durezza in più (superficialmente), quindi per ottenere il **Trattamenti termici post-cementazione** *plus ultra* della *prestazioni* si fa una *tempra*.

L'indurimento dello strato superficiale cementato si ottiene generalmente mediante tempra (in olio). I pezzi possono quindi subire un rinvenimento di distensione (150-190°C), con un aumento della tenacità dello strato cementato.



Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Vantaggi della nitrurazione sulla cementazione

- Durezza superficiale più elevata (1200HV rispetto a 700 HV)
- Invariabilità della durezza fino a 500°C (rispetto a 200°C per la cementazione)
- Il trattamento termico è fatto prima della nitrurazione (non si hanno deformazioni notevoli)
- Si utilizzano acciai da bonifica, mentre nella cementazione si utilizzano acciai a basso C
- Non si hanno pericoli di surriscaldamento

dato che T è minore, non si va incontro al rischio di deform del sistema -

quindi nella nitrurazione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

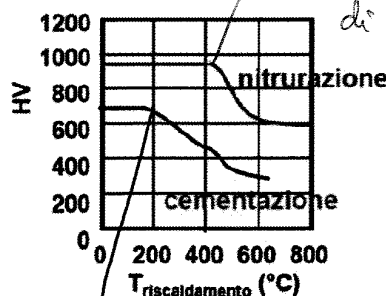
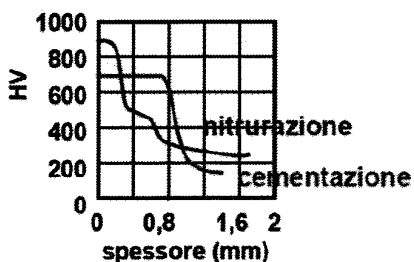


al suo interno questi elementi (Cr, Ni, Ti) che penetrano all'interno di essere nitrurabili

Inconvenienti della nitrurazione rispetto alla cementazione

- Lo strato indurito è molto più sottile
- Il ciclo di lavorazione è più lungo e costoso
- Si ha la necessità di utilizzare acciai legati
- Si ha un peggioramento della tenacità nel caso in cui non si abbia il Mo

quando un acciaio da nitrurazione costa di più di uno da cementazione, perché deve avere



si ha un maggior mantenimento di HV > 900

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



il mantenimento di HV > 700 si ha fino a 200°C

Composizione chimica acciai da nitrurazione

Al (0.3-1.0%)
 Cr (< 3%)
 Mo (0.2-1%)
 Ti, V (talvolta)

Si possono nitrurare:

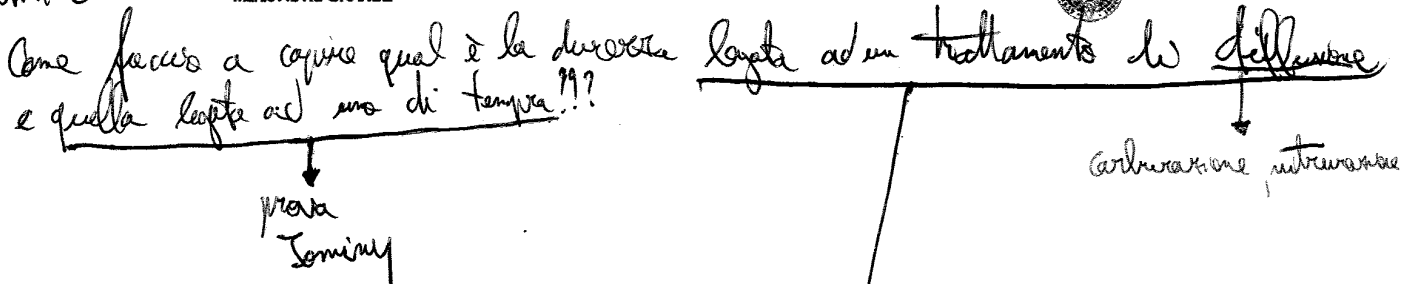
- acciai al C
- acciai al Mn
- acciai al Cr
- acciai al Cr-Mo
- acciai al Cr-Al-Mo
- acciai al Ni-Cr-Mo
- acciai per utensili
- acciai inossidabili

pro acciai + ricchi di quelli da cementazione, perché presentano una quantità di elementi allegganti maggiore

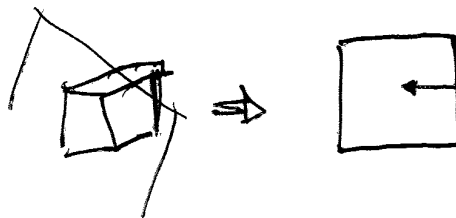
servono per favorire l'interazione tra tali elementi e il nitrato che viene inserito superficialmente in modo da generare durezza.

Appendice:

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



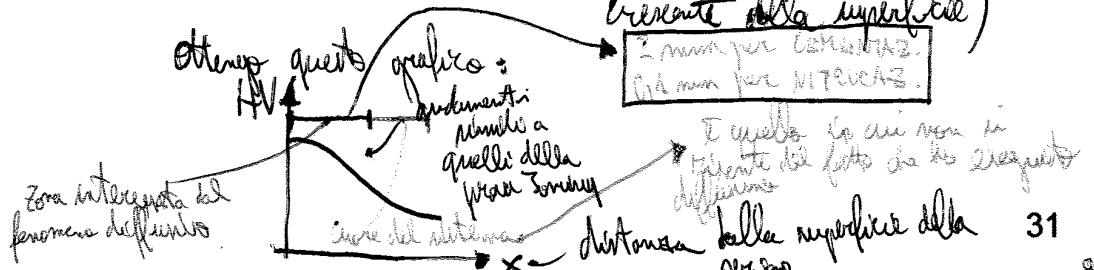
Come faccio a capire quanto in profondità è andata C? lungo il pezzo, la nitrurazione



areole piccoli con impronte piccole

e sulla sezione erapio misuro la MICRODUREZZA (con carichi molto bassi) a distanze proporzionalmente crescenti dalla superficie

2 mm per cementazione
 0.4 mm per nitrurazione



LEZIONE 5

Classificazione e designazione convenzionale degli acciai

Leggere l'acciaio

L'acciaio da costruzione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Trattiamo il quadro di natura normativa riguardante gli acciai.
Il quadro normativo è abb. complesso, perché ci sono normative vecchie, superate, che però sono fortemente radicate, → introducono elementi di confusione nel momento in cui si voglia classificare un acciaio.

hanno riferimento a
valori numerici e a
sfr. "simbolica"
non così puntualmente
designanti il materiale
(in questione)

NORME DI CARATTERE GENERALE

- definizioni e classificazioni degli acciai
UNI EN 10020 - Definizione e classificazione dei tipi di acciaio
- sistemi di designazione degli acciai
UNI EN 10027 - Sistemi di designazione degli acciai:
Designazione alfanumerica o numerica

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



DEFINIZIONE DA UNI EN 10020

Acciai legati

È considerato come acciaio legato qualsiasi acciaio per il quale almeno un limite indicato nella tabella precedente venga superato anche solo per un elemento.

Convenzione:

Acciaio bassolegato: nessun elemento al di sopra di 5%, anche nel metallo fuso, viene considerato acciaio basso-legato

Acciaio altolegato: almeno un elemento al di sopra di 5%

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

*dice una cosa, mentre i metallurgisti ne fanno un'altra: considerano acciaio altolegato quello per cui la sommatoria degli elementi alliganti supera il 10%. È praticamente (in pratica) impossibile ottenere un acciaio con tenore di elementi alliganti compreso tra 5 e 10%.
cioè perché*



per il quale la sommatoria degli elementi alliganti non supera il 5%.

DA UNI EN 10020

Classificazione degli acciai per applicazione:

4 MACRO CATEGORIE DI UTILIZZO:

- *acciaio* **Usò generale**
 - > di base
 - > di qualità
- *acciaio* **Speciali da costruzione**
 - > da bonifica
 - > autotempranti
 - > da cementazione
 - > da nitrurazione
 - > per molle
 - > per cuscinetti
- *acciaio* **Da utensile**
 - > per lavorazioni a freddo
 - > per lavorazioni a caldo
 - > Rapidi
- *acciaio* **Inossidabili**
 - > Austenitici
 - > Ferritici
 - > Martensitici
 - > Duplex, e superduplex
 - > PH

precipitation hardening

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Con la nuova norma ...

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI in funzione dell'impiego finale

a) Designazione alfanumerica

b) Designazione numerica (o sequenziale)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



precede una serie di simboli e numeri facilmente riconoscibili.

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI in funzione dell'impiego finale

a) Designazione alfanumerica 1 - simbolo che identifica l'impiego

Prima del simbolo può essere presente la lettera **G** per indicare acciaio per getti

non è obbligatorio

Non ce li dobbiamo ricordare!!!

- S = acciai per impieghi strutturali
- P = acciai per impieghi in pressione
- L = acciai per tubazione
- E = acciai per costruzioni meccaniche
- B = acciai per cemento armato
- Y = acciai per cemento armato precompresso
- R = acciai per rotaie
- H = acciai ad alta resistenza per imbutitura a freddo
- D = acciai per formatura a freddo
- T = acciai per banda (per imballaggio)
- M = acciai magnetici

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



È una indicazione "simbolica" (gli 11 simboli non li dobbiamo ricordare)


DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI

in funzione dell'impiego finale

Acciaio S235J0 UNI EN 10025

- **S** = acciaio da costruzione
- **235** = carico unitario di snervamento minimo in N/mm² a 20 °C per spessore fino a 16 mm
- **J0** = resilienza minima K_v a 0°C di 27J

Ricordarsi che per quanto riguarda la prova di resilienza, ci sono diversi tipi di
 Technology dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE
 sntaglio (U e V). Ci sono gli intagli perché
 il mole che la cricca e la rottura si
 abbia proprio in corrispondenza dell'intaglio.



Qui le cose sono un po' più complesse perché non si dà indicazione immediata di quale sia, ad es., il valore di carico di snervam. e a rottura per quel materiale.

b) Designazione numerica (o sequenziale)

A • B C D E

A: tipo di lega

- 1: Acciai
- 2: Metalli pesanti escluso l'acciaio (ad es. Rame e leghe di Rame)
- 3: Metalli leggeri (ad es. Alluminio e leghe di alluminio, Titanio e leghe di Titanio,....)
- Fino a 9: altri materiali

BC: gruppo della lega

DE: tipo di materiale considerato (all'interno del gruppo considerato)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Spesso sono comuni, nei paesi scandinavi, quasi in un fascio si ricorre alla designazione per impiego si utilizzano i della 1° colonna, mentre la 2° colonna è utilizzata dai produttori nordici o nordamericani.

Alcune designazioni equivalenti per acciai da costruzione

EN 10027-1 EN10027-2 EU 27

S185	1.0035	Fe 320
S235JR	1.0037	Fe 360 B
S235J0	1.0114	Fe 360 C
S235J2G3	1.0116	Fe 360 D
S275JR	1.0044	Fe 430 B
S275J0	1.0143	Fe 430 C
S275J2G3	1.0144	Fe 430 D
S355JR	1.0045	Fe 510 B
S355J0	1.0553	Fe 510 C
S355J2G3	1.0570	Fe 510 D
E295	1.0050	Fe 490
E335	1.0060	Fe 590
E360	1.0070	Fe 690

Capiterà che ci riferiamo a questa colonna anche se la norma non la prevede più.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Altra designazione! + utile per conoscere la composizione chimica:

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI

in funzione della composizione chimica del materiale

Suddividiamo in macrofamiglie: acciai non legati o legati.

Acciai non legati (al carbonio)

È semplice: basta dare la % di C presente all'interno del sistema per classificare un acciaio non legato.

1. C

2. **%** di C x 100

È IN PESO!!!

moltiplicata per

Esempi:

C10 acciaio da carbocementazione

C40, C80, C120

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Il ferraccio C40 è un acciaio che contiene lo 0,4% di C e, formalmente, il 99,6% di ferro.



es: 25 Cr Ni Mo 2 → C = 0,25%

Cr = 2/4 = 0,5%

Ni è sicuramente < 2/4 = 0,5%

Mo < 2/10 = 0,2%

anche se questa è la
Carbone possibile
pure non darla (non
meno tenuti
a definire i valori
di tali elementi alliganti

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI in funzione della composizione chimica

ESEMPIO:

de avessimo un acciaio con:
0,5% C
2% Cr
1% Ni

50 Cr Ni 8
è 2x4

34CrMo4 UNI EN 10083-1
(acciaio da bonifica)

elementi in lega

fa sempre riferimento al 1° elemento (Cr in questo caso)

Tutti gli altri elementi presenti (Mo) sono presenti con tenore inferiore a quello del 1° elemento

➤ 34 = contenuto medio di C x 100

➤ Cr = cromo (1%) → lo stesso dividendo il 4 (che compare nella nifa) per il fattore moltiplicativo (che vale 4)

➤ Mo = molibdeno (0,20%)

è minore di

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Di molibdeno ne posso avere, al max., lo 4 = 0,4%
Cma in realtà non si misura, perché i simboli chimici vengono scritti in ordine di quantità, però, che io ho definito 1 materiale, ma una classe di materiali sicuramente non ho 0% di Mo, perché sarebbe stato

4/10 = 0,4%

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI in funzione della composizione chimica

Acciai altolegati:

1. X
2. % di C x 100
3. Simboli chimici (in ordine di quantità decrescente)
4. % degli elementi di lega (senza separazione o con un punto)

34 Cr 4.
Anche se nella nifa il Mo (anche se non so di preciso quanto ce n'è) serve perché con facendo così a fare i trattamenti termici termochimici dipende che il molibdeno determina una variazione delle caratteristiche meccaniche finali del mio materiale.

Esempi:

X2CrNi19N10: acciaio inossidabile (AISI 304L; 1.4306)

X4CrNiMo17.12.2: acciaio inossidabile (AISI 316; 1.4401)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

oppure
X4 Cr Ni Mo 14 12 02
oppure (meno usata):
X4 Cr Ni Mo 14 2 02

con le % in 2 digit
con le % in un solo digit

Acciai da costruzione di uso generale

- Sono posti in opera ^{nel 99% dei casi} senza trattamento termico; al massimo, dopo normalizzazione.
- Si richiede unicamente di possedere un certo valore minimo di R_s .

→ *nono numero dei FERRACCI*

→ Ciò può essere ottenuto mediante:

- Affinamento del grano mediante precipitati fini
- Incrudimento per deformazione plastica a freddo
- Rafforzamento per soluzione solida (Mn, Si)
- Rafforzamento per dispersione di precipitati (in presenza di Nb, Ti, V)
- Presenza di bainite e/o martensite

questi acciai (uso generale) in esercizio dopo un semplice trattamento di normalizzazione e dato che la bainite e la martensite vengono formate nel momento in cui si ha un raffreddamento rapido, è difficile che gli acciai di uso generale, non essendo temperati, originino quel tipo di struttura.

Per costruzioni saldate, bullonate e chiodate

	COMPOSIZIONI CHIMICHE			
	%C _{max}	%P _{max}	%S _{max}	%N _{max}
Fe360B	0.19	0.045	0.045	0.009
Fe410D	0.18	0.040	0.040	-
Fe510D	0.20	0.040	0.045	-

Hanno $R_s < 500$ MPa, bassi valori di R_s/R_m ed $A\% < 26$

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

questo tipo di classificazione serve per capire la comp. chimica indicata nella "tabella" a lato.

allungamenti a rottura < 30%

È possibile andare a selezionare quali siano le caratteristiche di res. meccanica del materiale, a priori, semplicemente valutando quale sia la composizione chimica del materiale stesso, e andando a valutare se quel materiale sia stato sottoposto a dei trattamenti termici o no.

Si introducono elementi di lega per aumentare R_s con una buona resilienza ed accettabile resistenza alla corrosione atmosferica.

L'incremento del tenore di C è il modo più semplice per ottenere elevati valori di R_s

Esistono delle relazioni empiriche che permettono di correlare la resistenza meccanica R con la composizione chimica:

$$R = R_{Fe} + \Delta R_C + \sum \Delta R_{Ei}$$

↑ contributo dato dal semplice elemento Fe
↑ legato alla comp. chimica della lega

Influenzato dal trattamento termico

Indipendente dal trattamento termico

Carico di rottura e % di allungamento

Incremento delle caratteristiche meccaniche, dovuto al fatto che il materiale è stato sottoposto ad un trattamento termico

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



hanno caratteristiche meccaniche e di corrosione incrementate grazie ad una serie di fattori correlati
resistenza a

Gli acciai Corten

L'acciaio COR-TEN (in inglese weathering steels) fa parte della categoria degli acciai basso legati definiti patinabili. **CORrosion resistance TENSile strenght**

L'acciaio COR-TEN è stato brevettato dalla *United States Steel Corporation* nel 1933 che lo lanciò come acciaio basso legato:

0,2-0,5% Cu, 0,5-1,5% Cr, 0,1-0,2% P

La composizione negli anni ha subito degli aggiustamenti, quali ad esempio l'introduzione dello 0,4% di Ni, la riduzione del fosforo al 0,04% nonché l'aggiunta di piccoli tenori di altri elementi, capaci di migliorare la sua resistenza meccanica.

Rs fino a 580 MPa.

questi elementi presenti danno la possibilità di ridurre il più possibile la formazione di prodotti di corrosione. Cioè sono in grado di sviluppare una patina di ossidazione

ne / Corrosione, ma che è in grado di proteggere il materiale sottostante. Se prendiamo un pezzo di ferro e lo poniamo in atmosfera → corrosione: una struttura di ferro NON protetta origina la formazione di prodotti di corrosione che procedono all'interno del pezzo

(cioè si crea un buco)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



fine a determinare la frattura del pezzo stesso.

strato di ossido superficiale che risulta essere compatto, resistente e passivante; cioè, per parlare chiaro, ha uno strato di ruggine (che è uno strato di ruggine) che però non fa progredire ulteriormente l'ossidazione all'interno del pezzo.

La principale peculiarità dell'acciaio COR -TEN è quella di autoprotgersi dalla corrosione elettrochimica, mediante la formazione di una patina superficiale compatta passivante, costituita dagli ossidi dei suoi elementi di lega, tale da impedire il progressivo estendersi della corrosione; tale film varia di tonalità col passare del tempo, solitamente ha una colorazione bruna. È evidente il comportamento notevolmente diverso dell'acciaio COR -TEN rispetto a quello al carbonio nei confronti dell'azione corrosiva. Infatti in quest'ultimo il film superficiale formato dai prodotti di ossidazione risulta poroso e incoerente e per questo non idoneo a passivare il sottostante metallo.

Il acciaio Corten è un acciaio basso legato, ma il fatto di avere cromo fa sì che si sviluppi quella patina passivante che risulta essere coerente e non porosa al punto tale che la corrosione non possa progredire all'interno della struttura come fa, invece, nel del ferro.

N.B.: affinché si possa sviluppare di questi ossidi passivanti, è necessario che ci sia un'alternanza

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



di cicli di bagnatura - asciugatura e NON una condizione di bagnatura permanente. Inoltre, non deve esserci la presenza con dei contatti permanenti, in alcune aree, con acqua.

Se così fosse, piuttosto che non, se si è in presenza di una soluzione che presenti medi - alti tenori di cloruri, l'ossido passivante non si forma e il materiale si comporta esattamente come un ferro qualsiasi.

Terminiamo alla classificazione per impiego (per che cosa lo uso: l'elemento acciaio?).
 La tavola periodica è il supermarket: ho la necessità di ~~esso~~ preparare un certo prodotto, quindi:
 - prima di tutto servono gli ingredienti
 - poi devo "cucinarli" bene (però devo fare determinati trattamenti: es: per resistere bene al calore devo mettere molibdeno (ingrediente) e poi devo a fare il trattamento termico).

Le percentuali sono basse \Rightarrow potenzialmente, infatti sono tutti acciai bassi legati, però, il fatto di poter combinare alcuni elementi tra loro (es: Al, Si, V), anche in quantitativi molto bassi, può determinare una variazione sostanziale delle proprietà finali del materiale.

- > $0.1 < \%C < 0.6$ aumenta R_m , R_s ma fa diminuire la tenacità
- > $0.2 < \%Mn < 0.4$ (<2 molle) aumenta un po' la resistenza
- > $0.2 < \%Si < 0.4$ (<2 molle) aumenta R_m ed il rapporto R_s/R_m
- > $\%Cr < 3$, $\%Ni < 5$ aumentano la resistenza, migliorano la tenacità
- > $0.2 < \%Mo < 0.5$ elimina il fenomeno della fragilità al rinvenimento (importante negli acciai da nitrurazione), aumenta R_m
- > $\%V < 0.2$ migliora notevolmente R_m , R_s ha un forte effetto di affinamento del grano
- > $\%Al < 1$ negli acciai da nitrurazione
- > $B < 0.1$ aumenta la temprabilità
- > W utilizzato nel passato negli acciai da bonifica al posto del Mo
- > Pb completamente insolubile, aumenta la lavorabilità, ma...

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Assicuramente, però, possono essere aumentate anche le fragilità di alcuni acciai. Per cui, da un lato il Pb, ad es., che è completam. insolubile, aumenta la lavorabilità, ma dall'altro rende il materiale non troppo soggetto ad essere utilizzato alle medio alte T.

le vediamo anche qui perché rappresentano l'elemento seguente alla scelta della composizione chimica opportuna per il dato prodotto che vogliamo.

Variazione della resistenza meccanica, per gli acciai speciali da costruzione, al variare di Trinv

già visto la volta scorsa (anche visto la variazione delle caract. meccaniche in funzione dei trattamenti termochimici o termici)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



tecnicamente ha:

$\frac{3}{4} = 0,75\%$ di Ni e il resto
un po' di meno. In realtà, di Ni e Cr ne ha lo stesso e di Mo ne ha all'incirca lo

0,20%.

Attenzione: quel

39NiCrMo3 non ha
praticamente lo
0,85% Mo o di Cr, ma
può avere dei valori di

Mo o di Cr che sono
compresi all'interno di un
certo intervallo

(0,75% è un valore ±

spazimetrico).

Se il prof. ci disse:

39NiCrMo, una
composizione accettata a

questo tipo di
classificazione

qualche: $\left\{ \begin{array}{l} 0,39\% \text{ C} \\ 0,75\% \text{ Ni} \\ 0,85\% \text{ Cr} \\ 0,20\% \text{ Mo} \end{array} \right.$

Alcuni acciai da bonifica:

	%C	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo
C25	0.25	0.60	-----	-----	-----
C60	0.60	0.75	-----	-----	-----
41Cr4	0.40	0.65	1.00	-----	-----
36CrMn5	0.35	1.00	1.15	-----	-----
35CrMo4	0.35	0.75	1.00	-----	0.20
39NiCrMo3	0.39	0.65	0.85	0.85	0.20

Proprietà meccaniche (valori minimi di Rm ed Rs [MPa] e di A% e K [J])

	R _m	R _s	A%	K
C25	625	360	19	37.5
C60	905	590	11	-----
41Cr4	1030	735	11	25
36CrMn5	980	685	12	25
35CrMo4	1030	735	11	30
39NiCrMo3	1080	785	11	30

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

perché mi serve a per
differenziare una prima grad
di temperatura, materiali e
materiali che posso usare.

sapere l'0.50
non il valore
alla virgola.

però, praticamente, questo tipo di composizione e
quelle che troviamo sono praticamente la
stessa identica cosa.

non importa ricordare che per il
39NiCrMo3, ho una R_m di 800 MPa, ma se
diciamo che R_m è 500 MPa al prof. ci
maravilla! Perché 500 MPa è al limite
del carico di rottura di
una lega di Al (e di Al pure)
eventualmente non deformato
plasticamente.

La nitrosazione non va ad influenzare le caratteristiche del
materiale, perché viene condotto ad
una T medio bassa (al di sotto dei 600°C), ma
dopo bonifica, sono sottoposti al trattamento di nitrosazione (50 ore a 525°C)
Il Mo viene aggiunto per evitare il problema della fragilità al rinvenimento

alcuni elementi
che vanno ad
interagire con
N (azoto) a livello
superficiale per
dare origine a quei
nitruro, che sono gli
elementi che induriscono
in modo notabile il
materiale.

Acciai da nitrosazione

cosa che non avviene negli altri acciai
(presenza dell'Al come elemento di lega)

	%C	%Cr	%Mo	%Al
31CrMo12	0.31	3.00	0.35	-----
41CrAlMo7	0.41	1.65	0.32	1.00

%Mn ≤ 0.6 %Si < 0.40 %S < 0.035 %P < 0.030

	R _m	R _s	A%	KCU
31CrMo12	1080	880	10	324.5
41CrAlMo7	930	730	12	22.5

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



categoria di acciai "particolari" perché origine formabile di struttura martensitica anche se raffreddata lentamente (processo di normalizzazione)

Acciai autotempranti sono acciai che originano il fenomeno di tempra anche se sottoposti ad un raffreddamento in aria.

Sono quegli acciai che prendono tempra dopo un semplice raffreddamento all'aria. Essi vengono rinvenuti a 200°C. Si ottengono in tale modo delle resistenze elevatissime (2000MPa) con una tenacità soddisfacente.

Il tenore degli elementi leganti non è considerabile (vedi ad es. %Ni)

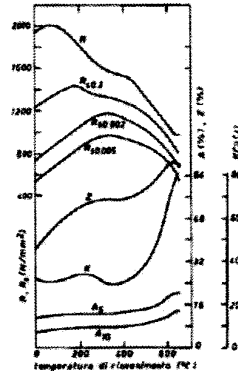
$%C + \%Ni + \%Cr = 5-7$
 $0,3 < \%C < 0,5$ $3 < \%Ni < 6$ $1 < \%Cr < 2$

Il elemento aggiunto per aumentare la dimensione della fase γ

Dopo ricottura, tali acciai hanno struttura perlitica.

Esempio: 34NiCrMo 1 6
 $%C=0.34$; $%Mn=0.45$;
 $%Si=0.30$; $%Cr=1.80$;
 $%Ni=3.95$; $%Mo=0.35$

Evoluzione proprietà meccaniche 34NiCrMo1 6 con la T di rinvenimento



Nel momento in cui si vogliono avere un'altra struttura, deve farsi raffreddare molto più lentamente che non in aria (=> deve fare una ricottura)

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Acciai per funi NO, anche se ricotture

Il prodotto è caratterizzato da una elevata resistenza a trazione, resistenza alla torsione, resistenza piegamento, tenacità.

Tali caratteristiche sono ottenute con una scelta ottimale della composizione chimica (%C), della deformazione plastica (grado di incrudimento), trattamento termico (patentamento)

Normalmente $0.2 < \%C < 0.9$.

Si parte da una struttura perlitica fine, tenore di inclusioni non metalliche molto ridotto, limitata segregazione ed assenza di decarburazione superficiale.

Si deve trafilare con una riduzione di sezione fino al 90-95% senza trattamento termico intermedio.

Si possono ottenere $R_m = 1770 MPa$ (rischio massimo ai 2 GPa)

Esempio:
 $S < 0.03\%$; $0.15 < \%Si < 0.35$; $0.4 < \%Mn < 0.85$

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

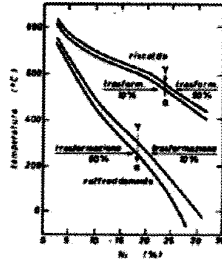


ci sono differenti categorie in funz. del fatto che il Ni sia inferiore al 17% o superiore al 23% (ma non voglio entrare in questi valori)
 E da sottolineare soltanto che, in funzione del quantitativo del Ni si hanno pure con tenori alti di Ni, strutture ferritiche (o parzialmente f) piuttosto che non strutture austenitiche ⇒ il Ni gioca un ruolo sostanziale nella modifica delle strutture del materiale

La scelta del tenore del Ni è dettata dalle seguenti considerazioni:

- Se Ni < 17, la struttura resta parzialmente ferritica
- Se Ni > 23 si ha della austenite residua non trasformata in martensite

La presenza del Mo e del Ti aumenta notevolmente l'isteresi della trasformazione α/γ



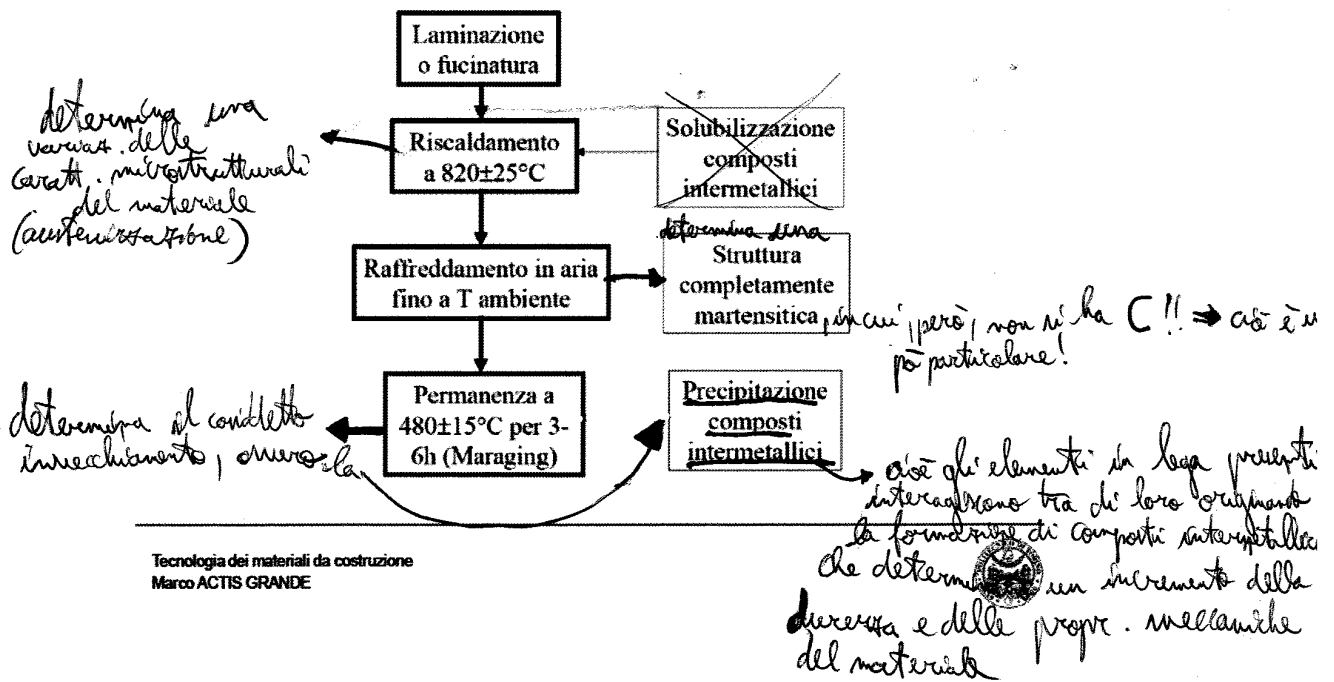
Si possono ottenere valori di:
 Rs=1950MPa, con Rm=2000MPa

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Come si fanno a fare questi acciai? insieme di sequenze differenti di trattamenti termici e di lavorazioni meccaniche.

Tattamento termico di Maraging



Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

Vai a **SLIDE X** a pag. 29 e poi continua da qui.

Andiamo ad individuare quale siano le peculiarità delle singole classi.

Il loro grosso problema è che vanno bene (ottimi) proprio in termini di Caratt. (meccaniche) ma tra tutti gli acciai inox sono quelli che hanno la minore resistenza alla corrosione, perché ^{al crescere} del tenore di C ~~decrevano~~ le caratteristiche di resistenza a corrosione.

Acciai inossidabili martensitici (posseggono A3 ed A1)

Sono caratterizzati da una notevole temprabilità e la loro velocità di raffreddamento critica corrisponde a quella relativa ad un raffreddamento in aria

Tipo AISI	%C	%Cr	Altri elementi	R _t [MPa]	R _m [MPa]	A%
410	0.12	13	-	500	700-900	14
420	0.30	13	-	550	750-1050	10
431	0.16	16	Ni = 2.00%	600	800-1000	14

I trattamenti tipici di questi acciai, che vengono effettuati nei diversi stadi di lavorazione, sono la ricottura, la tempra ed il rinvenimento. Per quanto riguarda il rinvenimento:

per Trinv < 430°C si ha la migliore resistenza alla corrosione
 per 600°C < Trinv < 760°C si ha la migliore tenacità
 per 430°C < Trinv < 570°C si ha il rischio di fragilità al rinvenimento

Solitamente 150°C < T < 430°C

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

perché i cattedri devono essere più duri (dunque temprare, le forbicette no)

ed erano essere eventualmente flessibili

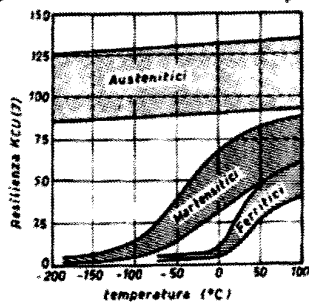
ciò risulta essere facile eseguire un trattamento termico per queste strutture.
 cioè un trattamento di tempra, che origina la formazione di una struttura martensitica. Ciò mi consente di ottenere Caratt. meccaniche abbastanza notevoli: ordine del GPa per Km, con degli allungamenti di circa il 10%, a fronte di valori di C abbastanza bassi.

hanno var. nella corrosione minore di quelli inox austenitici (con un po' meno C, un po' più di Cr). Infatti, i cattedri (acciaio inox martensitico) possono pat. corrosione (soprattutto dopo lavorazioni, mentre le forbicette (acciaio inox austenitico) non si corrodono.

Altro problema degli acciai inox martensitici: riduzione della transizione duttile - fragile.

Ed inoltre: il fatto che sono stati temprati significa che il campo di applicazione in temperatura è poco più che prossimo rispetto

alla T ambiente, perché al crescere della T, vengono meno gli effetti legati alla tempra del materiale.



Impiego ad elevate temperature

Gli acciai martensitici non vengono impiegati ad elevata T per non eliminare gli effetti della bonifica, a parte l'AISI 410 (fino a circa 650°C).

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



acciai inox martensitici: belli, bellissimi, ma il campo di applicat. è un po' ristretto!

giungendo

ma, dato il tenore decisamente molto elevato di Ni, il valore di t_3 e A_1 è, o può essere, al di sotto della Tamb.

Acciai inossidabili austenitici (hanno A3 ed A1 < 20°C)

Sono i migliori dal punto di vista della res. alla Corrosione, ma i peggiori dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche (carico di rottura e di allungamento); sono quelli che non presentano fenomeni di tranciabilità fragile e quindi possono essere usati anche a T molto < 0°C

Tipo AISI	%C	%Ni	%Cr	Altri elementi	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A%
304	0.05	10	18	-	250	600	55
310	0.22	20	25	-	350	650	45
321	0.06	11	18	Ti > 5 %C	250	600	50

Sono esposti al pericolo della sensibilizzazione (600 - 700°C), che, in determinate condizioni, rende possibile l'attacco corrosivo intergranulare.

Per ovviare a tale problema si può:

- Diminuire la % di C (fino a 0.02%)
- Aggiungere elementi di lega stabilizzanti (Nb, Ti), effettuando il trattamento di stabilizzazione (885°C - 2h)
- Effettuare un trattamento di solubilizzazione (1000°C)

Fra i trattamenti termici si può ricordare anche la distensione (a 350-450°C) che viene effettuato solo in taluni casi

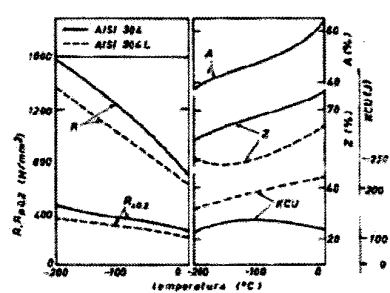
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Contenuti liquidi



chi: Acciai per nautica / a bassissime T sono esclusivamente quelli inox austenitici

Impiego a basse temperature



hanno malissimo alle alte T perché generano la formazione di strutture intermetalliche

Impiego ad elevate temperature

- Si può avere:
- Precipitazione di carburi
 - Segregazione fase σ

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Un metodo per sapere quale materiale utilizzare è cercare di valutare a priori quale sia l'intervallo di T all'interno del quale quel materiale sarà usato:

SLDEX

ricordare il meccanismo di transizione duttile - fragile

Acciai per impieghi a bassa T (case ridotto di un materiale "a freddo")

- fino a 0°C : Acciai al carbonio effervescenti e semicalmati;
- fino a -20°C : Acciai al carbonio calmati;
- fino a -45°C : Acciai al Mn (\cong 1%) calmati e normalizzati;
- fino a -80°C : Acciaio 1.5% Ni normalizzato;
- fino a -103°C : Acciaio 3.5% Ni normalizzato e rinvenuto a 620°C;
- fino a -196°C : Acciaio 9% Ni sia bonificato che normalizzato e rinvenuto;
- fino a -269°C : Acciai inossidabili austenitici.

Nel momento in cui vado ad utilizzare degli acciai a T progressivamente decrescenti, però, non si ricorre a delle strutture che sono dichiaratamente CCC \rightarrow al lavoro di -50°C in giù è importante utilizzare degli acciai che presentino tenore di Ni crescente, perché quanto più Ni ho, tanto più ho la garanzia che la struttura sia costituita o presente alle cristalline CFC

non risentono del fenomeno di rottura fragile.

Acciai per impieghi ad elevata T

Devono resistere allo scorrimento viscoso ed alla ossidazione

va quasi a bruciare tutto

- fino a 450°C Acciai al C (%C<0.2, %Mn<1.6, 0.15<%Si<0.5,%S e %P<0.04); Acciaio con C (0.16%) e Mo (0.5%);
- fino a 520°C Acciaio con Cr (1%) e Mo (0.5%);
- fino a 600°C Acciaio con Cr (2.25%) e Mo (1%);
- fino a 1100°C Acciai inossidabili ferritici (AISI 446).

devo bruciare il tenore di Cr presente all'interno del materiale. Se poi, vado sopra i 500°C \rightarrow devo orientarmi sicuramente verso gli acciai che sono a più alto tenore di Cr, che sono quelli inossidabili ferritici.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

LE POTENZIALITÀ DELL'ACCIAIO INOSSIDABILE NELLE COSTRUZIONI ANTISISMICHE

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Elementi di restauro di
elementi di chiesa



La sovrapposizione della chiesa della Madonna delle Lacrime (SR) ed il dettaglio degli elementi strutturali in acciaio inossidabile.



Travi di acciaio inox nella chiesa di Vanostrone (MI) e dettaglio dei punti di ancoraggio.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



- La maggior parte delle strutture è quella austenitica

maggiore resistenza alla corrosione e non presenza di rottura duttile / fragile (mantengono una certa duttilità anche a $T < 0^\circ C$)

- Strutture inox ferritiche: dette "ferritiche stabilizzate" (vedremo poi)

Nel settore edile gli inox più utilizzati sono (usando le sigle delle norme europee EN 10088) gli austenitici 1.4301 (AISI 304) e 1.4401 (AISI 316), con le relative varianti a basso carbonio e stabilizzate, il ferritico 1.4016 (AISI 430) e il duplex 1.4462 (commercialmente noto come 2205). Trova anche applicazione un tipo di acciaio inossidabile ferritico, definito strutturale, al 12% di cromo.

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Altri
	max	max	max	max	max				
1.4301	0.07	2	0.045	0.015 ¹	1	17-19.5	8-10.5	-	N \leq 0.11
1.4401	0.07	2	0.045	0.015 ¹	1	16.5-18.5	10-13	2+2.5	N \leq 0.11
1.4016	0.08	1	0.040	0.015 ¹	1	16-18	-	-	-
1.4462	0.03	2	0.035	0.015	1	21-23	4.5-6.5	2.5-3.5	0.10 \leq N \leq 0.22

¹ Per l'uso, gli acciai e semilavorati il tenore di zolfo può raggiungere lo 0.030%. Per i prodotti da lavorare con macchine utensili si raccomanda ed è concesso un contenuto di S= 0.015-0.030%.

alla tabella emerge che gli acciai inox sono materiali allargati

la % di C è bassa
favorisce la struttura per chiamati leghe Fe-Cr-Ni, ma per acciai si intende una famiglia molto ampia)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

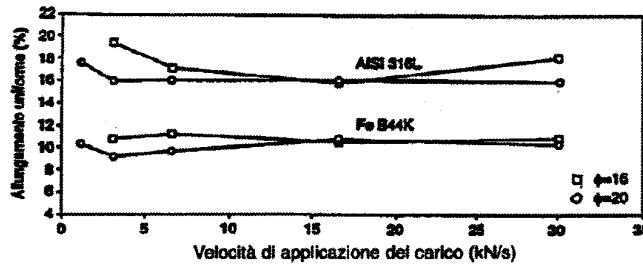
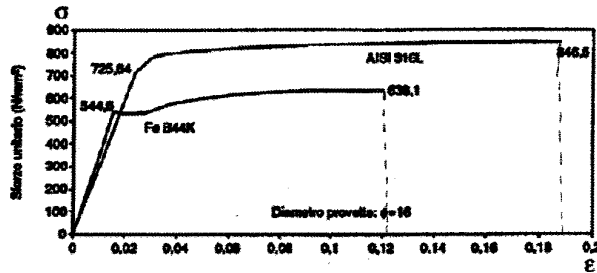
Struttura	1.4301	1.4401	1.4016	1.4462
	Austenitica	Austenitica	Ferritica	Austeno-Ferritica
R _m [N/mm ²] (min.)	190	200	240	450
Carico di rottura R _t [N/mm ²]	500-700	500-700	400-630	650-880
Modulo di elasticità a 20 °C [N/mm ²]	200	200	220	200
Allungamento a rottura	45	40	20	25
Coefficiente di dilatazione termica tra 20 e 100 °C [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	16.0	16.6	10.0	13.0
Conducibilità termica a 20°C [W/mK]	15	15	25	15

strutture austeno-ferritiche hanno maggiore costo, ma anche maggiore resistenza alla corrosione)

costo minore di quella limite degli acciai

INOX: % Cr > 12%

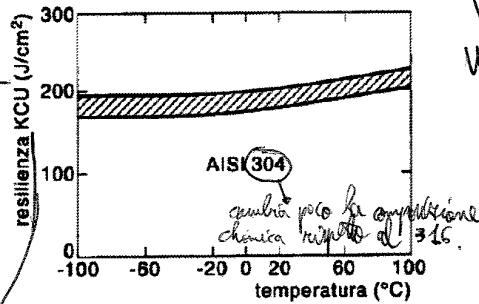
Anche il σ - ϵ mostra andamenti diversi:



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Non trascurare il discorso relativo alla resilienza del materiale!
 Fare la prova Charpy a -100°C e a $+100^{\circ}\text{C}$ cambia veramente poco!
 Un acciaio con $\% \text{C} = 0,2 \div 0,3 \div 0,4 \%$ C: in quel caso la resilienza scade e il materiale è estremamente fragile alle basse T. Noi, però, non siamo in Siberia...
 ... OK ... meno pure esatte e delle caratteristiche al freddo non ci interessano



Valore \pm costante al variare della T.

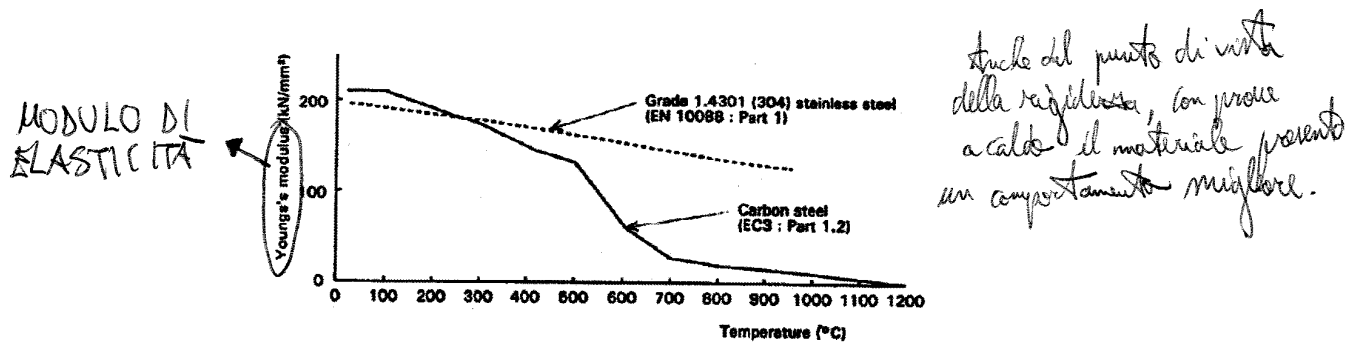
es: prova Charpy

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



(non ci interessa transizione duttile-fragile). Facciamo però considerazioni "al caldo": mi casate con dall'incendio

Altro dato molto significativo è quello relativo al modulo di elasticità; dalla figura si rileva come la diminuzione del valore di questo parametro con la temperatura, sia nettamente maggiore nel caso dell'acciaio al carbonio che nell'acciaio inox.



Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



$\uparrow T \Rightarrow \downarrow$ rigidità del materiale \Rightarrow ancora una volta \exists un punto di svista.

$\text{e } T > 300^\circ\text{C} \Rightarrow E_{\text{max}} > E_{\text{Fe-C}} \Rightarrow$ comportamento migliore.

Quale SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE usare per il rame? Il più usato è

"C 10103"

valori che esprimono la differenza tra lega e lega.

Copper

2 MACROCATEGORIE

C. Ita per "copper"

leghe da colata

leghe da deformazione plastica o leghe da fonderia

EN standard	EN number	Composition	EN standard	EN number	Composition
wrought alloys			Copper	C8100-C8110	>99% Cu
Copper	C10100-C10109	>99% Cu	High-copper alloys	C81300-C82000	>94% Cu
High-copper alloys	C10200-C10209	>98% Cu	Red and leaded red bronzes	C83300-C83500	Cu-Zn-Sn-Pb (75-85% Cu)
Brasses	C20100-C20200	Cu-Zn	Yellow and leaded yellow bronzes	C83200-C83500	Cu-Zn-Sn-Pb (57-71% Cu)
Leaded bronzes	C11100-C11200	Cu-Zn-Pb	Magnesium bronzes and leaded magnesium bronzes	C86100-C86500	Cu-Zn-Sn-Fe-Pb
Tin bronzes	C40100-C40200	Cu-Zn-Sn-Pb	Silicon bronzes, silicon bronzes	C87300-C87500	Cu-Zn-Si
Phosphor bronzes	C50100-C50200	Cu-Sn-P	Tin bronzes and leaded tin bronzes	C92300-C94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Leaded phosphor bronzes	C53200-C54000	Cu-Sn-Pb-P	Nickel tin bronzes	C84700-C94800	Cu-Sn-Si-Zn-Pb
Copper-phosphorus and copper-silver-phosphorus alloys	C13100-C13104	Cu-P-Ag	Aluminum bronzes	C93200-C95100	Cu-Al-Fe-Si
Aluminum bronzes	C80100-C84800	Cu-Al-Si-Fe-Ni-Sn	Copper nickels	C96200-C96800	Cu-Ni-Fe
Silicon bronzes	C64700-C66100	Cu-Si-Sn	Nickel alloys	C97300-C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Si
Other copper-zinc alloys	C45100-C49000	...	Leaded coppers	C98200-C98500	Cu-Pb
Copper-nickels	C7000-C79900	Cu-Ni-Fe	Aluminum alloys	C99100-C99700	...
Nickel alloys	C73000-C76000	Cu-Ni-Zn			

N.B.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

TEMpra → QUENCHING
RINVENIMENTO → TEMPERING

o anche il trattamento di distensione

Designazione per lo stato metallurgico o di lavorazione

Per il rame, al pari dell'Al, ci sono sigle che indicano i trattamenti applicati al materiale allo stato di formatura (cioè prima dell'essere Zis) e lo caratterizzano.

ASTM B 601 temper designation codes for copper and copper alloys			
H00, ..., H14	Cold-worked tempers (based on cold rolling and cold drawing)	TF00	Solution-treated and precipitation-hardened temper
H00, ..., H14	Cold-worked tempers (based on temper names applicable to specific products)	TH01, ..., TH04	Cold-worked and precipitation-hardened tempers
HR01, ..., HR50	Cold-worked and stress-relieved tempers	TL00, ..., TL10	Precipitation-hardened and cold-worked tempers
HT04, HT06	Cold-rolled and order-strengthened tempers	TM00, ..., TM08	Mill-hardened tempers
M01, ..., M45	As-manufactured tempers	TQ00, ..., TQ75	Quench-hardened tempers
O10, ..., O82	Annealed tempers (based on specific mechanical property requirements)	TR01, ..., TR04	Precipitation-hardened, cold-worked, and thermal-stress-relieved tempers
OS005, ..., OS200	Annealed tempers (based on prescribed nominal average grain size)	TX00	Solution-treated and spinodal-heat-treated temper
TB00	Solution-treated temper	WH00, ..., WR08	Tempers of welded tubing
TD00, ..., TD04	Solution-treated and cold-worked tempers		

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Handwritten mark

Rame basso legato

□ RAME ALL' ARGENTO

1. Cu-LSTP (low silver tough pitch) (Ag 0,02-0,12%)
2. Cu-HSTP (high silver tough pitch) (Ag 0,12-0,25%)
3. Cu-OFS (oxigen free silver) (Ag 0,027-0,12%)

□ RAME AL CADMIO E CADMIO-STAGNO

1. Cu-Cd (Cd 0,5-1,5%)
2. Cu-(0,2-1%)Cd-(0,2-1%)Sn

□ RAME-ZOLFO e RAME-TELLURIO

- RAME-ARSENICO
- RAME-CROMO-ZIRCONIO
- GLIDCOP (*placcatura a polvere*)
- RAME-NICHEL-FOSFORO

Anche piccole % di materiale aggiunto provocano abbattimenti delle caratteristiche del rame

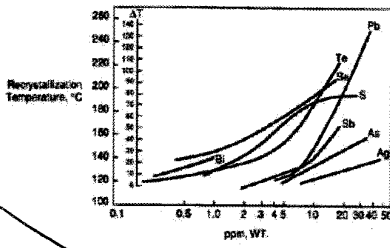
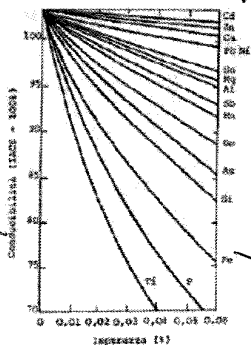
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Rame basso legato

degli
Effetto elementi in lega sulle caratteristiche del rame

conduttività



IACS (International Annealed Copper Standard): un valore del 100% si riferisce alla conduttività a 20°C del rame allo stato ricotto di 5.80×10^7 siemens per metro

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

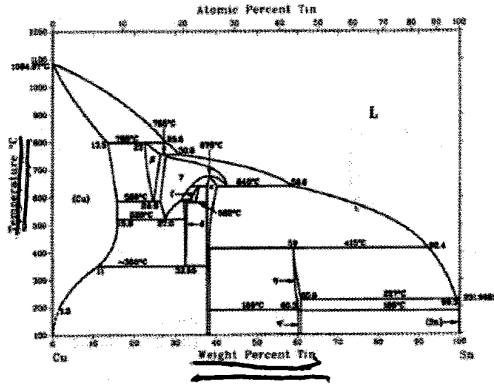


anche con basse % di elementi in lega → grande effetto sulle caratteristiche del materiale.

Materiali Cu-Sn
Bronzi

Sono le leghe di rame da più tempo conosciute dall'uomo. Lo stagno può essere presente in tenori compresi tra il 3 e il 35%. Sono deformabili plasticamente ma trovano largo impiego sottoforma di getti grazie alla loro buona colabilità.

Subgamma di Materiali Cu-Sn:
Zona monofasica non è che le restano con tanto



l'variazione di Sn, il materiale è ± lavorabile, con ± propr. meccaniche.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Bronzi

Tali leghe presentano, in generale, buone caratteristiche meccaniche ed elevata resistenza alla corrosione. Per un contenuto di Sn fino al 9%, tali leghe possono essere sottoposte ai processi di deformazione plastica.

All'aumentare del tenore di stagno, la durezza raggiunge livelli tali da permettere i soli processi di colata.

A seconda del tenore di stagno si possono avere tre fasi:

- la fase α permette i processi di deformazione sia a caldo sia a freddo.
- la fase δ risulta essere dura e fragile
- l'eutettoide $\alpha + \delta$ è formato principalmente da fase δ con la α presente sottoforma di piccole inclusioni.

con ± quantità di Sn.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Precipitazione (anche nell'Al) delle seconde fasi delle leghe.
Si basa sul diagramma di questa classe.

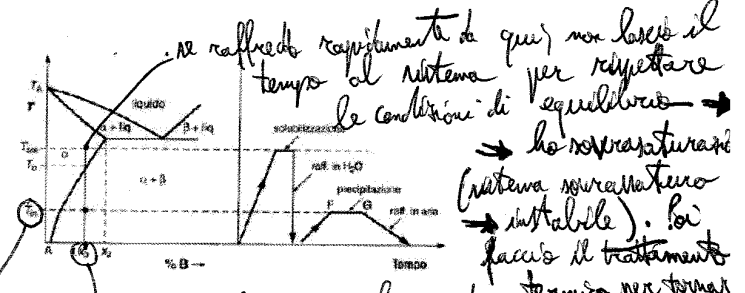
non realizzabile in leghe Fe-C
(accensione fatta per le "mancette" in ferr.)

Trattamenti Termici

osservazione del tipo di lega che si sta considerando

Indurimento per precipitazione

Sono le leghe Cu-Cr, Cu-Cr-Zr, Cu-Co-Be, Cu-Be, Cu-Ti e Cu-Ni-Sn. Attraverso un trattamento di solubilizzazione, tempra ed invecchiamento si favorisce la precipitazione di fasi coerenti nella matrice, si riesce ad ottenere un buon compromesso tra proprietà meccaniche, resistenza ad usura e conducibilità elettrica.



precipitazione
invece a loro
non è possibile
la deformabilità
plastica del materiale
aumento usura

Indurimento spinodale → NO

La decomposizione spinodale è una spontanea separazione di fase su nanoscala che avviene nelle soluzioni omogenee sovrassature e che porta alla formazione di due fasi di diversa composizione ma con stessa struttura cristallografica. La struttura spinodale risulta estremamente fine ed omogenea. Le leghe suscettibili a questo trattamento sono le leghe Cu-Ni-Sn. Come per l'indurimento per precipitazione, il trattamento consta di solubilizzazione, tempra ed invecchiamento.

T ambiente

se raffreddo rapidamente da qui, non lascio il tempo al sistema per rispettare le condizioni di equilibrio → ho sovrassaturazione (tempra sovrassaturazione instabile). Poi faccio il trattamento termico per tornare all'equilibrio: fornisco energia fino a T < di quella che porta a fare unità. Hanno così dei precipitati che vanno a loro volta a formare a loro volta a limitare la def. plastica del materiale (che sappiamo essere proprio dovuta alla presenza dei bordi grano) → la durezza aumenta

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

Trattamenti Termici

Indurimento per riordino strutturale

Le leghe della famiglia Al-Bronze e Al-Brass mostrano un riordino di modesta entità degli atomi di soluto nella matrice di rame; ciò impedisce il movimento delle dislocazioni attraverso i cristalli.

Indurimento per trasformazione martensitica

Certi bronzi di alluminio (specialmente quelli contenenti più del 9% di Al) o di manganese, possono essere induriti per trasformazione martensitica mediante tempra ad una temperatura critica (da 815 a 1010°C). Il processo di indurimento è simile a quello che avviene nella tempra delle leghe ferro-carbonio. La struttura, che si ottiene, è dura e fragile; tuttavia, le proprietà meccaniche possono essere variate da un trattamento di rinvenimento dopo tempra, oppure utilizzando una tempra interrotta anziché una tempra standard. I bronzi alluminici con aggiunte di Ni o Zn, grazie a questo trattamento, presentano effetti di "memoria di forma".

non confondere con fase martensitica (martensite)
fase Fe-C
con struttura tetragonale a corpo centrato

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



OTTONI (tubature e rubinetti): la resist. a corrosione è fondamentale (l' H_2O può essere stagnante). Il materiale deve però essere lavorabile → per ottenere un prodotto tale metterò il piombo. Problema: il piombo e l' H_2O vanno d'accordo, però noi non andiamo bene col piombo! (acquedotti romani rifiniti col piombo → effetti sulla salute → declino impero romano): ci sono pericoli per la salute e norme stringenti sul tenore di Pb! Quando si apre il rubinetto, lasciare scorrere per 30,60 sec prima di bere!

LEGA

Rame e leghe di rame con Cu > 90wt%
In applicazioni che richiedono elevata conducibilità elettrica e termica unitamente a buone prestazioni meccaniche e in edilizia

COMPRT. A CORROSIONE

Eccellente resistenza alla corrosione in acqua di mare e al biofouling e alla corrosione atmosferica

Ottoni e ottoni al piombo (Cu-Zn e Cu-Zn-Pb)
Sono le leghe più diffuse (valvole, rubinetteria, cerniere, vasellame, etc.)

Con Zn > 15 wt% suscettibili di dezinficazione in ambienti acquosi, in soluzione saline o soluzioni blandamente acide. Inoltre suscettibili di tensocorrosione.

Ottoni allo stagno (Cu-Zn-Sn-Pb)
Tubi condensatori, tubi per scambiatori di calore, per evaporatori, per depuratori

Lo Sn aumenta notevolmente la resistenza a corrosione

Ottoni all'alluminio (Cu-Zn-Al)
Tubi condensatori, tubi per scambiatori di calore, per evaporatori, per depuratori

La formazione di Al_2O_3 aumenta la resistenza all'impigement in acque saline turbolente e con alte velocità di flusso.

Il piombo ha una serie di effetti negativi sulla salute. Quanto maggiore è il quantitativo di Pb nell'acqua, tanto maggiore sono i pericoli per la salute.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il ragionamento è: per cosa uso quel componente? ... quale comportamento a corrosione mi serve? ⇒ scegliro la lega più adatta.

Bronzi fosforosi (Cu-Sn-P)
Fili (telefonia), giunti, getti con aggiunta di Zn, Ni, Pb

Buona resistenza alla corrosione in acqua di mare e alla maggior parte delle soluzioni acide non ossidanti (eccetto l'HCl)
Elevata resistenza all'impigement ed eccellente resistenza alla corrosione atmosferica

Leghe Cu-Ni (Cupronichel)
Industria chimica, tubi, condensatori e scambiatori, accessori e tubi per acqua di mare, etc.

Presentano la migliore resistenza alla corrosione in ambiente acquoso e in soluzioni acide. Elevata resistenza all'impigement e alla tensocorrosione.

Alpacche (Cu-Ni-Zn)
Rivetti, bigiotteria, parti di strumenti musicali, base per effettuare argentatura, etc.

Buona resistenza alla corrosione in acque dolci e salate. L'elevato contenuto di Ni inibisce la dezinficazione.

Bronzi all'alluminio (Cu-Al-Ni-Fe-Si-Sn)
Agitatori, macchine per lavorare la cellulosa, eliche per navi, ferramenta per applicazioni marine, valvole, pompe, etc.

Elevata resistenza all'impigement, all'ossidazione ad elevata temperatura.

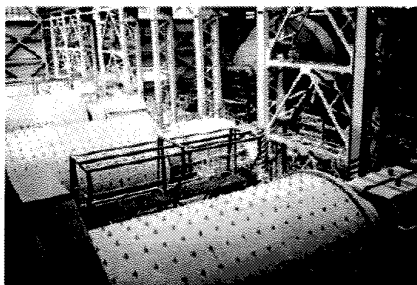
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Processo di estrazione

Macinazione

Il minerale, che contiene una rilevante quantità di inerti, (ganga) viene ridotto, per mezzo di potenti mulini, a una polvere di adeguata granulometria al fine di ottimizzare il trattamento successivo.



Flottazione

Questa operazione consente la separazione delle frazioni contenenti il rame dagli inerti; la polvere, emulsionata con liquidi tensioattivi, viene immessa in grandi vasche da dove si asporta lo strato schiumoso superficiale che contiene le particelle più ricche di rame. La concentrazione di rame ottenibile può variare dal 30 al 50% in funzione del tenore del minerale di partenza.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Processo di estrazione

Concentrazione

I fanghi sono essiccati meccanicamente prima dell'immissione nel forno di arrostitimento, in quanto una elevata quantità d'acqua produrrebbe uno spreco di energia termica per la sua evaporazione; si ottiene così un composto prevalentemente a base di minerali solforati.

Arrostitimento

La concentrazione procede poi per via termica; si diminuisce così il tenore dello zolfo presente sfruttando la sua più elevata affinità chimica con l'ossigeno rispetto al rame.

Fusione e conversione

Nel forno si procede alla fusione del concentrato in ambiente reso ossidante per mezzo di insufflaggio di aria od ossigeno nel bagno ottenendo la formazione di SO₂ gassosa, che si separa dal metallo liquido; l'aggiunta di silicio inoltre permette l'eliminazione del ferro presente; esso forma la scoria, composta prevalentemente da silicati, che galleggia e viene asportata per sfioramento.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

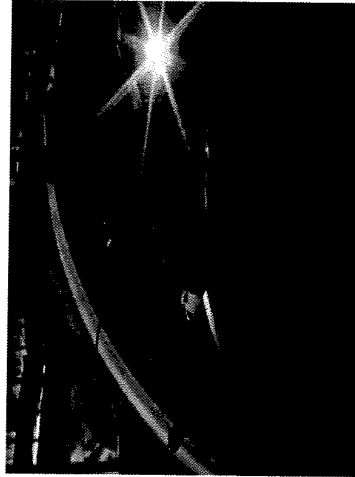


Così vale per la metallurgia primaria...

Processo di estrazione

Rifusione

I catodi non possono essere lavorati per deformazione plastica direttamente; essi sono infatti costituiti da materiale incoerente e devono pertanto subire una rifusione. Il metallo liquido periodicamente viene estratto dal forno e conservato in apposite siviere o in forni di attesa per le conseguenti operazioni di colata. Quest'ultima avviene oggi prevalentemente con processi di colata continua, per la vergella, e semicontinua, per billette e placche. La forma del metallo solido è ottimizzata in funzione del semilavorato da produrre: vergella per ottenere fili, billette per tubi e barre, placche per lamiere e nastri.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

...mentre
Kottani.

per il materiale di riciclo occorre valutare bene la qualità dei



LEGGI DA COLATA

Processi di colata

I processi di colata permettono di produrre, in modo economico, componenti con geometria o dimensioni difficili da ottenere mediante deformazione o asportazione di truciolo. Poiché il rame puro è estremamente difficile da colare a causa della tendenza alla formazione di fratture superficiali, cavità interne o porosità, vengono aggiunti in lega altri elementi quali Sn, Zn, Be, Si, Ni e Cr.

I processi maggiormente utilizzati sono:

- Colata in sabbia
- Colata in conchiglia
- Pressocolata
- Colata centrifuga
- Colata con stampo in gesso
- Colata in cera persa

→ si utilizza una pressa che va ad iniettare materiale fuso all'interno di uno stampo metallico.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



L'intervallo di fusione è più basso (1000°C) di quello dell'acciaio (1500°C).
È un vantaggio sostanziale per la facilità del processo → rende disponibili alcuni processi (es: pressocolata) impraticabili per gli acciai.

Applicazioni

Beni di consumo

Dall'arredamento all'abbigliamento, dall'artigianato ai gioielli passando per gli strumenti musicali, il rame è utilizzato da migliaia di anni.

Oggi il rame è utilizzato in questi e in molti altri beni di consumo come tavoli, sedie, lampade, attrezzi da cucina, specchi e scultura oltre che ai ben noti fili elettrici e contatti alle più performanti schede per i PC.

- Stoccaggio di bevande alcoliche
- Monete e medaglioni
- Padelle e pentole
- Connettori



- Artigianato
- Arredamento
- Gioielli
- Strumenti musicali
- Semiconductor Chips

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Applicazioni

Trasporti

Oggi giorno automobili, aerei, treni ad alta velocità, sottomarini, macchine per movimento terra, tram o filobus ma anche space-shuttle dipendono dal rame. E la domanda è stata sempre crescente. Si consideri ad esempio l'automobile: nel 1948, una utilitaria conteneva solamente 55 cavi con una lunghezza media di 45 metri. Grazie ai continui miglioramenti nell'elettronica e all'aggiunta di accessori, oggi una automobile di medie dimensioni contiene circa 22,5 Kg di rame, di cui 18Kg solo per i componenti elettrici, mentre una macchina di lusso contiene circa 1500 cavi per un totale di 1,6 Km.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



IL RAME PER GLI EDIFICI

è quello trattato con il fosforo e presenta tenore di fosforo medio-alto

Composizione:
rame ~~Cu-DHP~~
Cu: 99,90% min. P: 0,015-0,40%

Norme di riferimento:

- UNI EN 1172: Rame e leghe di rame - Lastre e nastri per edilizia.
- UNI EN 506: Prodotti di lastre metalliche per coperture - Specifiche per prodotti autoportanti di lastre di rame o zinco.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

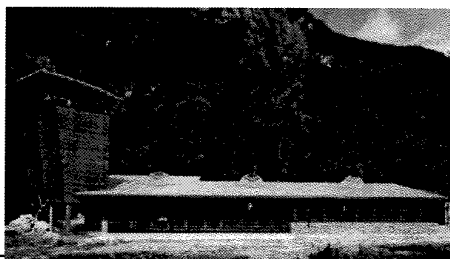


proprietà considerabili del rame per le sue applicazioni:

Durata e resistenza agli agenti atmosferici



Nessun costo di pulizia e manutenzione



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



*(dal momento che accettiamo che si
moltiplici una certa patina di ossido)
protettiva*

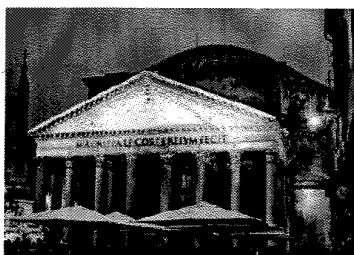
Colori naturali e pre-formati

Riciclabile al 100% al termine della sua vita utile

questo è il + grande vantaggio



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il Pantheon (II sec d.C.) era ricoperto di tegole in bronzo dorato. Le tegole sopra il pronao sono state rimosse nel XVII sec., cioè dopo 1500 anni

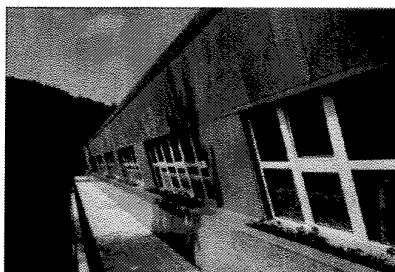
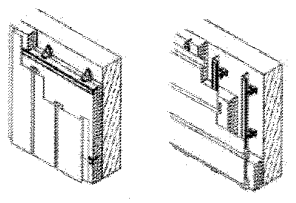
grossa durata!!!

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

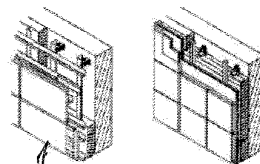
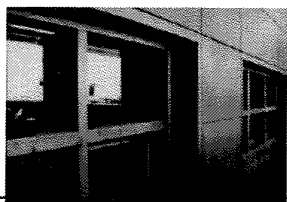


RAME PER LE FACCIATE

Doghe/pannelli



Cassette

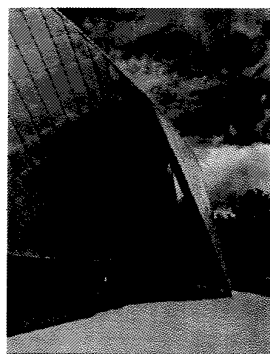
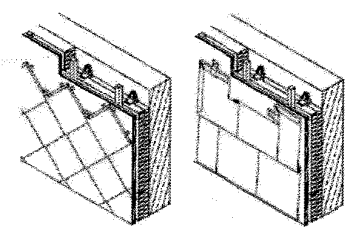


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

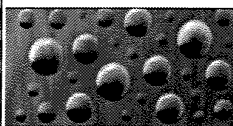
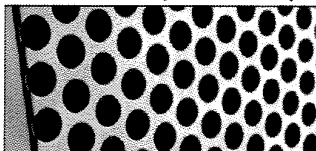
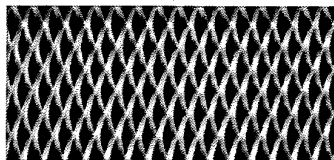


*valutare gli
accoppiamenti con
quello de l'è sotto.*

scandole



Lamiere forate, intrecciate, sagomate, stirate



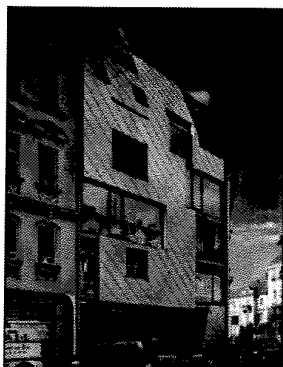
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



LEGHE DI RAME: BRONZO

BRONZO: lega rame-stagno

- stabilità e rigidità
- resistenza ad abrasione
- durata



CUPRALLUMINIO: lega rame-alluminio

- colorazione dorata
- resistenza ad abrasione
- rigidità

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Fatte le considerazioni principalmente estetiche, vediamo ora gli aspetti progettuali:

COPERTURE: ASPETTI PROGETTUALI

1. Compatibilità tra i materiali

2. Dilatazione termica

3. Azione dei venti

4. Pioggia

*eventuale fenomeno di
corrosione che può sorgere*

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



**COPERTURE:
ASPETTI PROGETTUALI**

2) Dilatazione e contrazione termica

*Cu e Pb generano una
pellicola ⇒ evitare!!!*

Dilatazione termica (in mm / m per ΔT di 100 °C)

Rame	1,67
Acciaio	1,20
Acciaio Inox (AISI 304)	1,70
Alluminio	2,36
Zinco	2,74
Piombo	2,93

*A Torino: $\Delta T = 60^\circ C$
In Romania: $\Delta T = 80^\circ C$
Equatore: $\Delta T = 20^\circ C$*

Linee Guida:

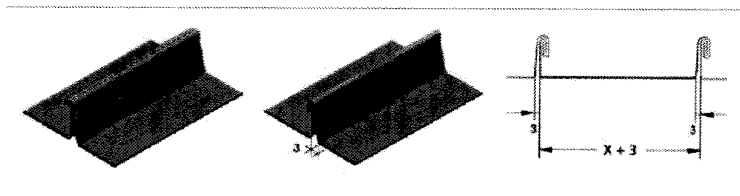
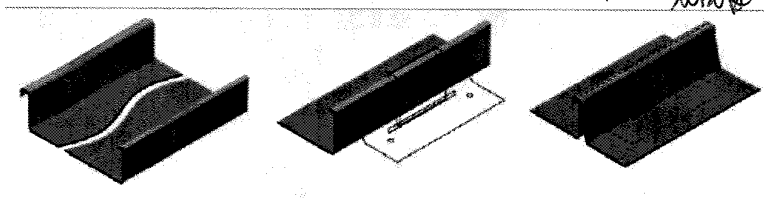
- Non installare lamiera con fissaggi diretti (chiodature, avviture)
- Non fissare rigidamente grondaie e pluviali
- Utilizzare fissaggi indiretti
- Utilizzare giunti di dilatazione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



DOPPIA AGGRAFFATURA

*ovviamente le sovrapposizioni
dipendono dal materiale
usato! (diversi coeff. di
dilataz. termica)*



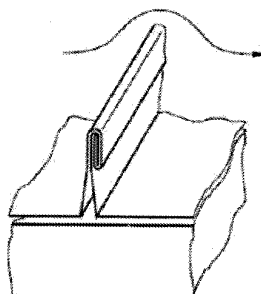
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il numero dei fissaggi dipende da:

- altezza dell'edificio
- zona della falda (angolo, bordo, zona centrale)

La piegatura delle lastre deve tenere conto della direzione del vento dominante!!



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



4) Pioggia e dilavamento: *principale fonte dei fenomeni corrosivi (di indebitamento della vel. di corrosione).*

Una errata progettazione di grondaie, pluviali e scossaline può determinare la macchiatura di facciate e superfici porose

Linee Guida

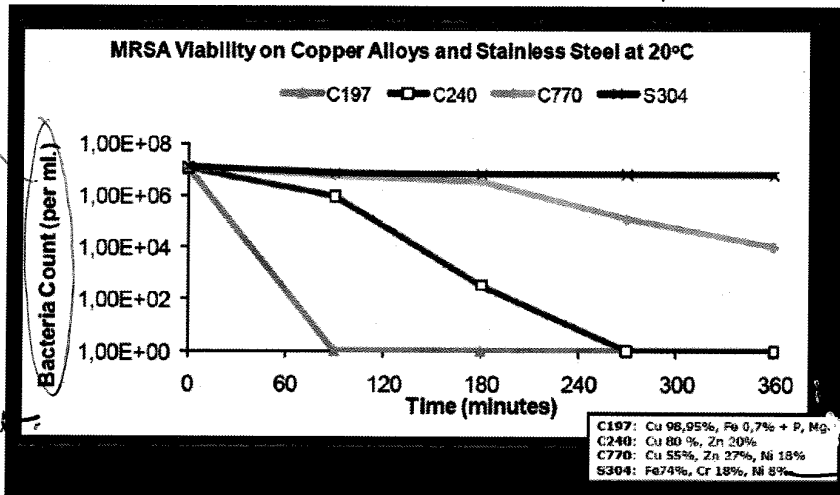
- Distanziare di 40-60 mm l'installazione di accessori in rame dalle superfici di rivestimento
- Pulire accuratamente da decapante e acidi le parti in rame saldati

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



In che cosa consistono e qual è l'entità delle propr. antibatteriche?

andando a postulare una specie di carica batterica su un dato materiale si vede che:
 - se S304 → la carica rimane tal quale
 - se C... → dopo un po' le cariche se ne vanno di tempo

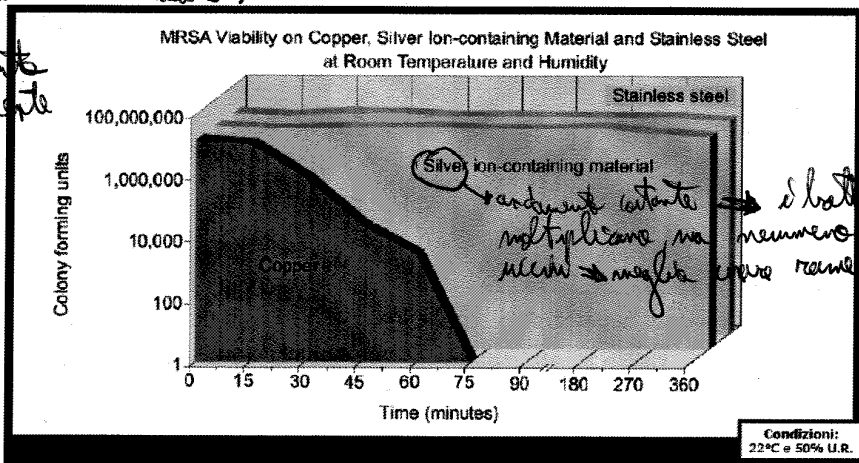


Michels, Wilks, Noyce, Keevil: "Copper Alloys for Human Infectious Disease Control"

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Ci sono altre prove eseguite con altre cariche batteriche e altre condizioni di umidità:
 si vede che il comportamento è sostanzialmente lo stesso:



Michels, Noyce, Keevil: "Effects of temperature and humidity on the efficacy of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper"

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



La letteratura scientifica cita la capacità del rame di inattivare o eliminare diversi tipi di batteri, funghi e virus nocivi:

- Acinetobacter baumannii
- Adenovirus
- Aspergillus niger
- Candida albicans
- Campylobacter jejuni
- Clostridium difficile
- Enterobacter aerogenes
- Escherichia coli (ceppo O157:H7)
- Helicobacter pylori
- Influenza A (ceppo H1N1)
- Legionella pneumophilla
- Listeria monocytogenes
- MRSA (con E-MRSA)
- Poliovirus
- Pseudomonas aeruginosa
- Salmonella enteritidis
- Staphylococcus aureus
- Bacilli della tubercolosi
- VRE (enterococcus resistente alla Vancomicina)

è uno dei batteri/virus che dà parecchi problemi in applicazioni di tipo ospedaliero.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



non si è riuscita a determinare la reazione reale/ricerca perché siamo nel campo della medicina, non dell'ingegneria!!!

con cui il rame è in grado di inattivare o eliminare diversi tipi di batteri

L'esatto meccanismo non è chiaro, probabilmente il rame interagisce con il batterio in più modi, tra cui:

- perdita di potassio o glutammato attraverso la membrana esterna;
- interferenza nell'equilibrio osmotico;
- legame con proteine che non richiedono ioni rame;
- stress ossidativo attraverso la generazione di OH⁻.

ovvero al fatto che si generano sali D

da annullare il effetto del batterio/virus

Dal momento che alcuni di questi meccanismi possono agire simultaneamente, è estremamente improbabile che un batterio possa in futuro sviluppare resistenza al rame.

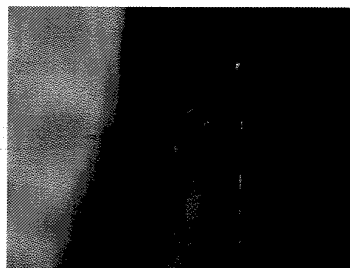
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Campo di utilizzo delle leghe: **OSPEDALI**

L'80 per cento delle infezioni nosocomiali si trasmette per contatto, cioè toccando oggetti "contaminati" da batteri.

Maniglie, corrimano, piastre per porte a spinta, interruttori, ecc. in materiale antibatterico possono ridurre il numero di batteri sulla loro superficie e limitare la possibilità di infezioni nosocomiali.



Le proprietà antibatteriche del rame sono state confermate anche per gli oggetti presenti nelle corsie o nelle stanze d'ospedale.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

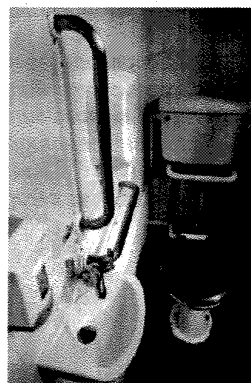
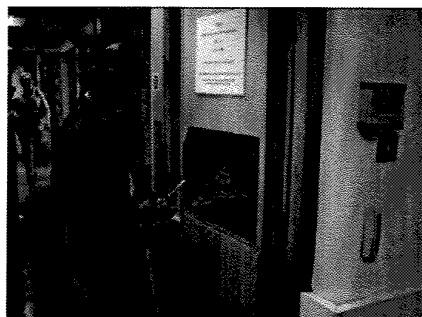


PROVE SPERIMENTALI
(ospedale di Birmingham UK)

leghe di rame su piastre di porte a spinta, water, rubinetto

Gli oggetti studiati sono sia in materiale "comune" che in lega di rame (% Cu):

- piastre sulle porte a spinta (ottone, 70%),
- copriwater(composito, 70%),
- rubinetti (ottone, 60%).



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



**SAINT FRANCIS HOSPITAL
(MULLINGAR, IRLANDA)**

Gennaio 2010: il primo ospedale ad avere deciso di installare su tutte le sue porte maniglie, piastre e serrature in lega di rame, per ridurre le infezioni nosocomiali.

Gli ospedali italiani ad avere aderito a questo progetto sono stati 0.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



ANTIMICROBIAL COPPER

A seguito della registrazione EPA, è stato lanciato il marchio **ANTIMICROBIAL COPPER Cu+**

I prodotti con marchio Antimicrobial Copper eliminano almeno il 99,9% dei batteri (VRE, MRSA, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli* (ceppo O157:H7), *Pseudomonas aeruginosa*) in due ore

Antimicrobial
Copper **Cu+**


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il batterio che non dipende da cosa si sta toccando; può essere trasportato / si moltiplica in determinati "posti".

LEGIONELLA PNEUMOPHILA

La legionella è un batterio responsabile di una forma di polmonite grave e a volte mortale.



Impianti critici (in ordine di importanza):

- 1 Impianti idrosanitari e idrici di emergenza
- 2 Piscine e fontane
- 3 Torri di raffreddamento
- 4 Impianti di condizionamento dell'aria

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



IL RAME CONTRO LA LEGIONELLA

LINEE GUIDA PER LA PREVENZIONE E CONTROLLO DELLA LEGIONELLOSI (pubblicate in G.U. n.103 del 5 maggio 2000)

Cap. 8.5 - Ionizzazione rame-argento *con* *questo ufficiale* *articolo di legge di rame:*

"Metalli come rame ed argento sono noti agenti battericidi ed il loro effetto è dovuto alla loro azione sulla parete del microorganismo [...].

Inoltre, a causa dell'accumulo del rame nel biofilm, l'effetto battericida persiste per alcune settimane dopo la disattivazione del sistema e riduce la possibilità di una ricolonizzazione"

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Qual è l'interazione tra legionella e, ad es., la T?

Ricerca KIWA Water Research (2007): effetto combinato materiale-temperatura

25°C	La legionella non rilevabile nei tubi di rame, ma sopravvive nell'acqua e nel biofilm, degli altri materiali (PE-Xa, acciaio inox, PVC-C) <i>plumulelorures</i> <i>polietilene</i>
37°C	Concentrazioni di legionella tra 10 ⁴ e 10 ⁵ cfu/l
55°C	La legionella scompare completamente nei tubi di rame, mentre subisce pochissime "perdite", o addirittura nessuna, negli altri materiali.
60°C	<u>La legionella scompare in tutti i materiali.</u>

Il tubo di rame viene scelto anche come forma di prevenzione contro la proliferazione di legionella.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



ma non è che si riesce sempre a lavare a quelle T!!!

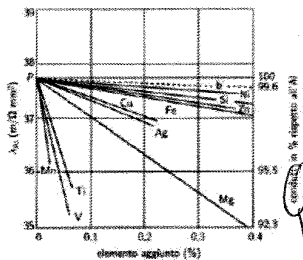
Non prendere in considerazione solo i costi della struttura, ma anche quelli sociali e dello Stato (costo umano nel caso dell'accesso inox, e prevenzione batterica/microbica nel caso dell'utilizzo di leghe di rame).

Alluminio "commercialmente puro"

applicaz. elettriche

- Si tollera l'1% di impurezze
- Per AP5-E (purezza elettrica): $Fe+Si+Cu+Zn+Ti+Cr+V \leq 0,50\%$
- Effetto delle impurezze sulla conduttività elettrica dell'Al

perché, al crescere degli elementi in lega, si ha un calo sostanziale delle caratteristiche elettriche del materiale

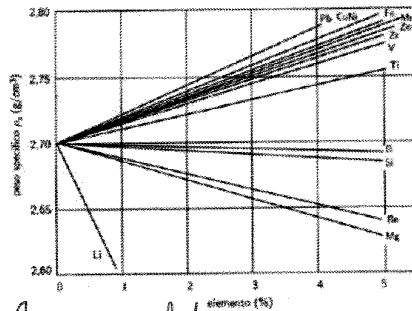


Marco ACTIS GRANDE

L'importanza dell'Al come conduttore è funzione dell'elevato rapporto conduttività elettrica/peso specifico. A parità di sezione l'Al conduce il 63% rispetto al Cu, ma a parità di peso conduce 2 volte tanto

conduttività: cala all'aumentare della % di elemento aggiunto.

se volessimo avere la stessa conduttività tra Cu e Al abbiamo un volume di Al maggiore, ma anche un peso inferiore. 1 kg di Cu o di Al

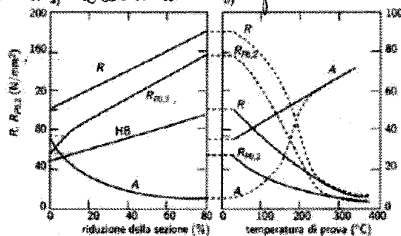


perché, credo, la densità sia più bassa

Alcune modifiche di dimensioni dei grani tramite dell. plastica

Influenza degli elementi di lega sul peso specifico finale

- può essere aumentato da \geq molti:
- *all. plastica dei grani*
- *impurezze di elementi in lega che vanno a formare sol. solide.*



Caratteristiche meccaniche dell'Al 99% in funzione dell'incrudimento (a) e della temperatura di prova (b) per materiale ricotto (linee continue) o incrudito (linee tratteggiate)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

nessa fatica a freddo, quindi termomeccanicamente è corretto parlare di incrudimento



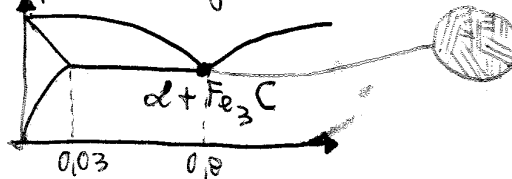
Meccanismi di rafforzamento delle leghe di alluminio.

• **soluzione di elementi allo stato solido nella matrice di alluminio:**
 mentre la totalità dei metalli ha una completa miscibilità allo stato liquido con l'alluminio, nessun elemento ha una totale solubilità allo stato solido; a parte il caso dello zinco la cui solubilità massima è di 66,4%, i valori della stessa sono superiori al 10% nel caso dell'argento, del magnesio e del litio, sono compresi tra 1% e il 10% con il rame, il silicio, il gallio e il germanio, mentre gli altri elementi sono impiegati con percentuali inferiori all'1%.

↓
 nel momento in cui vuoi a produrre una lega, ad es, di Al-Cu, questo un sistema composto da 2 fasi differenti → questo un sistema che sicuramente ha caratt. meccaniche superiori

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

all'elemento di partenza. Ricordare infatti, il diagramma di stato:



Se ho 2 fasi → ho maggiore difficoltà di deformazione. Più difficilmente deformabile → maggiore resistenza

Le leghe deformabili plasticamente sono quelle che consentono la deformabilità a freddo. Altre non la consentono, perché sono troppo fragili.

• **deformazione plastica a freddo:**

l'indurimento tramite lavorazione a freddo è possibile solo in leghe in cui può avvenire l'incrudimento e che in seguito saranno definite da trasformazione.

Lo *strain hardening* è la conseguenza della maggiore parte delle operazioni di lavorazione e formatura nell'alluminio e nelle sue leghe. Nell'alluminio puro e nelle leghe non trattabili termicamente come le leghe alluminio-manganese e alluminio-magnesio, l'indurimento per deformazione aumenta la resistenza dovuta alla soluzione solida e alla dispersione di alliganti.

Nelle leghe trattabili termicamente, invece, l'incrudimento migliora la risposta all'invecchiamento. Molto spesso i prodotti della deformazione a freddo sono ricotti per riprendere una certa duttilità e per eliminare le tensioni interne.

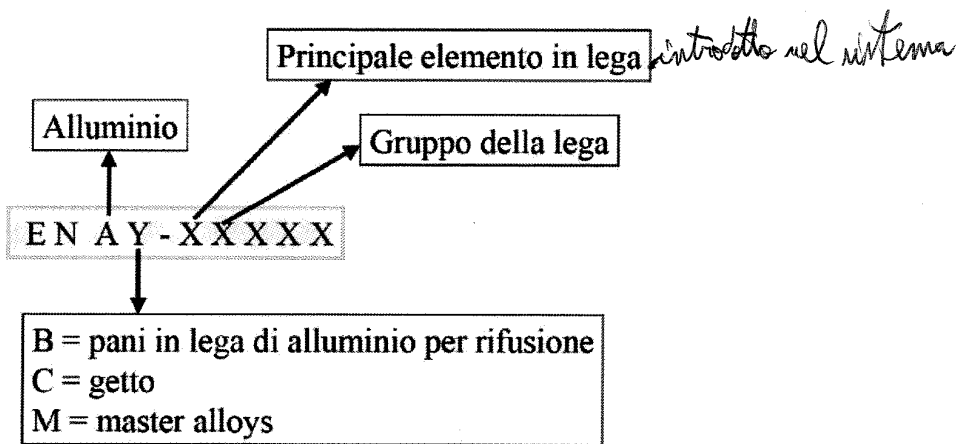
• **precipitazione:**

meccanismo successivo ad una tempra di soluzione; l'indurimento e il rafforzamento della lega di alluminio sono dovute all'*invecchiamento, naturale o artificiale* della lega, durante il quale avviene la formazione di precipitati coerenti nella soluzione solida.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE

provoca incremento delle caratt. meccaniche perché l'invecchiamento fa sì che ci sia la precipitazione di alcuni componenti che vanno a porre nelle zone di bordo grano e dunque incrementano le caratt. del materiale.

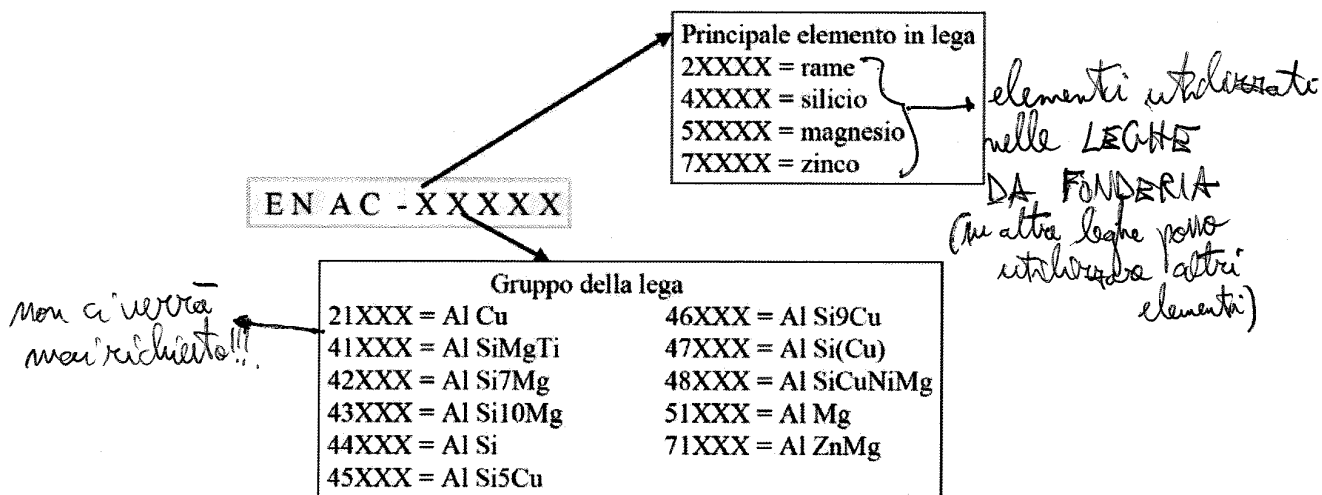
Classificazione secondo EN 1780



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Classificazione secondo EN 1780



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Leghe da deformazione plastica

Il sistema di designazione, promosso dall'Aluminum Association nel 1954, suddivide le leghe da deformazione plastica in base al principale elemento alligante. La designazione prevede che ad ogni lega venga associato un codice a quattro cifre: la prima cifra individua la classe, la seconda serve per esprimere lo scostamento dalla lega originaria, mentre le ultime due cifre identificano una specifica lega all'interno di una stessa famiglia (o il grado di purezza dell'alluminio se si tratta della famiglia delle 1xxx).

Classificazione numerica simile a quella delle leghe da fonderia →

Serie	Alligante principale	Serie	Alligante principale
1xxx	Alluminio puro	5xxx	Magnesio
2xxx	Rame	6xxx	Silicio e Magnesio
3xxx	Manganese	7xxx	Zinco
4xxx	Silicio	8xxx	Varie

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Leghe da deformazione non trattabili termicamente

o meglio

quella per la quale non si hanno sostanziali modifiche del comportamento del materiale quando si espongono

Le leghe appartenenti a tale categoria devono il loro rafforzamento alla soluzione allo stato solido degli alliganti nella matrice di alluminio e alla formazione di seconde fasi e composti intermetallici nel caso si sia in presenza di elementi che hanno bassa solubilità con l'alluminio, come ferro, nichel, titanio, manganese e cromo. A tali meccanismi deve essere aggiunto lo *strain hardening*, cioè l'insieme di tutte le lavorazioni che inducono una deformazione sul getto ricotto (allo stato O), facendogli conferire sia la forma desiderata, sia una struttura cristallina tale da indurre determinate proprietà meccaniche.

trattamenti termici → l'arricchimento delle precip. è legato, quasi in maniera esclusiva, alla formazione di soluz. solide.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



7xxx: le leghe appartenenti a tale gruppo non trattabili termicamente sono utilizzate, in primo luogo, come rivestimento per altri tipi di leghe; si ricorda a questo proposito la lega 7472.

8xxx: si raccolgono in tale famiglia le leghe con varia composizione, come la 8001 Al-Ni-Fe utilizzata in applicazioni che sfruttano l'energia atomica, oppure in campi in cui si richiedono pressioni e temperature elevate. La lega 8280 Al-Sn-Ni-Cu è impiegata per la costruzione di cuscinetti.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



I meccanismi che determinano l'incremento delle proprietà sono legati ad invecchiamento del materiale (riscaldare, raffreddare e capitarlo prima di metterlo in opera)

Leghe da deformazione trattabili termicamente

I trattamenti che sono applicati alle leghe in questione sono gli stessi validi per le leghe da fonderia. Le leghe appartenenti a tale categoria, oltre a presentare una solubilità che diminuisce con il diminuire della temperatura, hanno una concentrazione di alligante maggiore rispetto a quella richiesta per una soluzione solida in equilibrio a temperatura ambiente o moderatamente alta. L'invecchiamento, che permette il rafforzamento e l'indurimento della lega, si basa sulla formazione di clusters, coerenti con la fase solvente, che consentono una migliore distribuzione delle tensioni all'interno del materiale, e che ostacolano o bloccano il movimento delle dislocazioni. L'invecchiamento, naturale o artificiale, segue il trattamento termico di solubilizzazione e tempra.

Fare un trattamento termico nell'Al è più economico (minor T fus) che farlo in leghe a base Fe.

↓
l'Al fonde a 560°C; i trattamenti termici avviano a 400°C

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



7xxx: l'alligante principale è lo zinco, ma si tratta essenzialmente di leghe ternarie (alluminio-zinco-magnesio) o quaternarie (alluminio-zinco-magnesio-rame). Accanto alle leghe quaternarie, sono state sperimentate leghe ternarie nelle quali il rame non è presente, oppure impiegato in quantità molto basse assieme a manganese, cromo, titanio e zirconio. Tale caratteristica permette di migliorare la saldabilità oltre che di abbassare le temperature del trattamento termico (lega 7005, 7039 e 7020).

Il carico di snervamento può arrivare a 450 MPa e quello di rottura a 560 MPa per la 7075, mentre per la 7050 e la 7010 si hanno, rispettivamente 532 MPa e 575 MPa. La lega 7022 presenta carichi di snervamento tra 420 e 495 MPa, e carichi di rottura tra 500 e 555 MPa.

7xxx di seconda generazione: sono le leghe di alluminio che offrono in assoluto le migliori caratteristiche meccaniche: il carico di rottura può arrivare fino a circa 650 MPa. Sono leghe quaternarie, con una percentuale di zinco inferiore all'8% e di rame inferiore al 2,6%; tra queste si menziona la 7150.

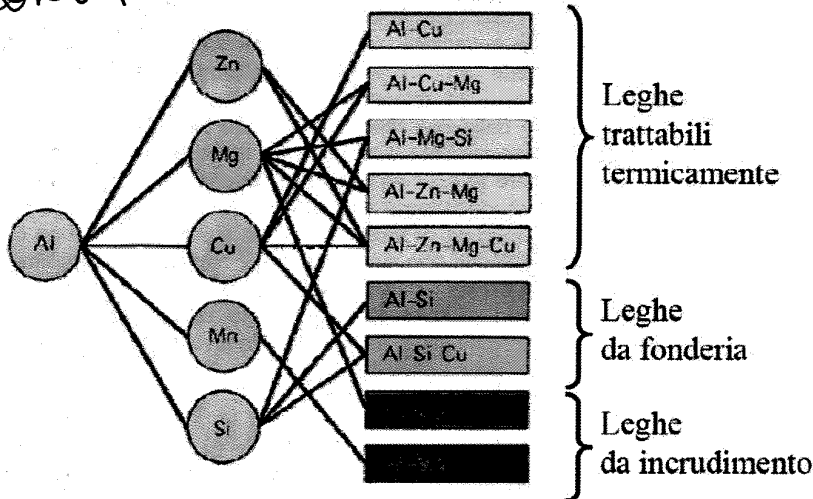
Al che si ottiene con accuratezza in medio-basso tenore di C.

Caratteristiche di tenuta particolarmente interessanti.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Schema esemplificativo delle varie condizioni:



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



**Designazione delle leghe
(II):**

NO

Material	Alphacemical composition	Former reference ENAS	Nominal designation	Current reference ENCS	Typical applications
Al-Mg alloys Series 5000	P-AlMg0.2	ENM 4014 (2009)EN40	-	-	Welded structures under stress/strain/low temperature (air, water and oil)
	P-AlMg1.5Cu	ENM 4040	-	ENM 5003.6	-
	P-AlMg0.5	ENM 4064	5030	ENM 5003.1	Slipstreaming applications, used for rivets, special tube and bolts, accessories
	P-AlMg1.1	ENM 4073	5050	ENM 5003.7	-
	P-AlMg1.5	ENM 4074	5052	ENM 5003.0	-
	P-AlMg2.7Mn	ENM 4089	4054	ENM 5003.0	-
	P-AlMg3.0Mn	ENM 4075	5154-B	ENM 5003.0	-
Al-Mg-Si alloys Series 6000	P-AlMgSi	ENM 6060	6063	ENM 6005.1	Welded structures under stress/strain and low temperature (air, water and oil)
	P-AlMgSiCu	ENM 6069	6063	ENM 6005.5	-
	P-AlMg1.5SiCu	ENM 6079	6061	ENM 6005.2	Decorative applications requiring excellent appearance and superior mechanical strength
	P-AlSi0.5Mg	ENM 6076	6160	ENM 6005.3	-
	P-AlSi1MgMn	ENM 6071	6062	ENM 6005.4	Weldable structural steels with maximum corrosion resistance
Al-Zn alloys Series 7000	P-AlZn5.8MgCu	ENM 7025	7025	ENM 6007.0	-
	P-AlZn6.2MgCuZr0.05	ENM 7026 (ENM 7040)	-	-	-
	P-AlZn7.5MgCuZr	ENM 7052 (ENM 7045)	-	-	-
	P-AlZn7.8MgCuZr0.05	ENM 7058 (ENM 7048)	-	-	-
	P-AlZn4.5Mg	ENM 7759	7020	ENM 6007.1	Highly stressed structures
	P-AlZn6MgZrCu1Zr	-	7010	ENM 6007.2	Very strong parting
	P-AlZn6.2MgSiCu1Zr	-	7010-A	ENM 6007.2	-
Special alloys Series 8000	P-AlFe0.5Si0.4	-	8005	ENM 6008.1	Exhaust components
	P-AlFe1.5Si0.2	-	8009	ENM 6008.2	Parts cast by deep drawn

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

trattamento termico.



TT delle leghe di Al

È possibile sottoporre le leghe di Al a TT per incrementarne le caratteristiche meccaniche

Tipologie di Trattamento termico (parametri variabili in funzione della lega):

- Tempra di soluzione (circa a 500°C), con raffreddamento in acqua fredda (10-30°C) o calda (60-100°C)
- Tempra di soluzione (circa a 500°C), con raffreddamento in olio
- Tempra di soluzione (circa a 500°C), con raffreddamento in aria
- Invecchiamento naturale, dopo tempra di soluzione
- Invecchiamento artificiale, a T>50°C) dopo tempra di soluzione
- Bonifica generica che comprende il trattamento di tempra ed invecchiamento
- Ricottura di addolcimento (circa 150-200°C)

anche se la vel. di raffreddamento non è così elevata per l'Al si parla di tempra anche se la vel. di raffreddamento è bassa.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



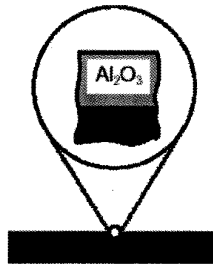
Stato	Descrizione
F (al grezzo)	nessun controllo sull'ammontare di incrudimento; nessun limite sulle proprietà meccaniche.
O (ricotto, ricristallizzato)	stato con la minor resistenza e la più alta duttilità
H1 (incrudito)	<ul style="list-style-type: none"> □ H12, H14, H16, H18: il grado di incrudimento è indicato dalla seconda cifra e varia da 1/4 (H12) fino a incrudimento pieno (H18), che si ottiene con una riduzione di sezione di circa il 75%. □ H19 uno stato extra-duro per prodotti con resistenza e incrudimento sostanzialmente superiori allo stato H18.
H2 (incrudito e parzialmente incrudito)	H22, H24, H26, H28: stati che variano da 1/4 al pieno incrudimento ottenuti con la parziale ricottura di materiali lavorati a freddo con resistenze iniziali maggiori di quanto desiderato.
H3 (incrudito e stabilizzato)	H32, H34, H36, H38: stati per addolcire le leghe Al-Mg che sono incrudite e quindi riscaldate a bassa temperatura per aumentare la duttilità e stabilizzare le proprietà meccaniche.
H112 (incrudito durante la fabbricazione)	Nessun controllo speciale sulla quantità di incrudimento ma richiede un controllo meccanico e garantisce un minimo di proprietà meccaniche.
H321 (incrudito durante la fabbricazione)	La quantità di incrudimento è controllata durante le lavorazioni a caldo e a freddo.
H323, H343	Incrudimento speciale, stati resistenti alla corrosione per le leghe Al-Mg.

Tabella A2: Sistema di designazione degli stati metallurgici delle leghe incrudibili

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



La superficie dell'alluminio



la Alluminio: metallo altamente reattivo, infatti si ha la formazione di un film di allumina al contatto con l'aria. Film di allumina (spessore 1-10 nm): azione protettiva dalla corrosione, isolamento termico ed elettrico.

ha buona res. alla corrosione

ossido di Al

AZIONE PASSIVANTE

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



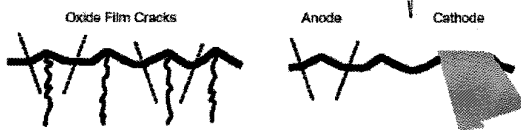
Resistenza alla corrosione

•Se esposta all'atmosfera, una superficie di alluminio genera uno strato di ossido di circa 5 nm compatto, continuo, compresso che agisce come protezione dall'ulteriore attacco (passivazione).

•Nonostante la elevata reattività (termodinamica) dell'alluminio, lo strato è responsabile del buon comportamento a corrosione dell'alluminio (entro pH da 4 a 9)

La maggior parte delle leghe possiede una buona resistenza in ambiente naturale (atmosfera rurale, industriale, marina), acqua fresca o marina, con molto agenti chimici. Fanno eccezione acidi o basi forti (es. NaOH, H₃PO₄)

In cui si può avere, la rottura dello strato passivante, in assenza di meccanismi di autoriparazione.



Forte effetto della microstruttura

Pure Aluminium
Whether corrosion attack occurs or not, depends on the type of environment
"Aggressive" species hinder re-passivation and can cause corrosion at crack sites

Commercial Aluminium (Alloys)
"Noble" equilibrium phases act as cathode and may cause corrosion attack at crack site

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



I trattamenti superficiali dell'alluminio

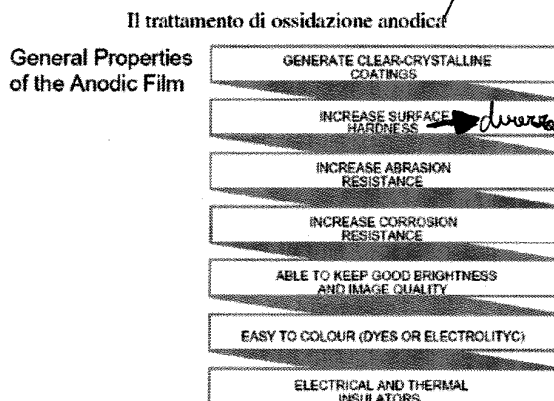
Motivazioni:

- I. Eliminare inquinamenti e "sporczia" superficiale
- II. Ottenimento di una superficie con caratteristiche fisiche, chimiche ed elettriche costanti e uniformi
- III. Eliminare difetti morfologici
- IV. Modificare l'aspetto, rendendolo "brillante"
- V. Migliorare la resistenza a corrosione
- VI. Incrementare la "durabilità" in esercizio

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



la incrementare lo spessore della strato di ossido (da nm a μm)



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il trattamento di ossidazione anodica

Principio:

Ossidazione controllata della superficie dell'alluminio per formare uno strato di allumina

Proprietà:

- Miglioramento durezza, resistenza a usura
- Protezione dalla corrosione
- Colorazione
- Isolamento elettrico
- Miglioramento dell'adesione di film organici

Applicazioni:

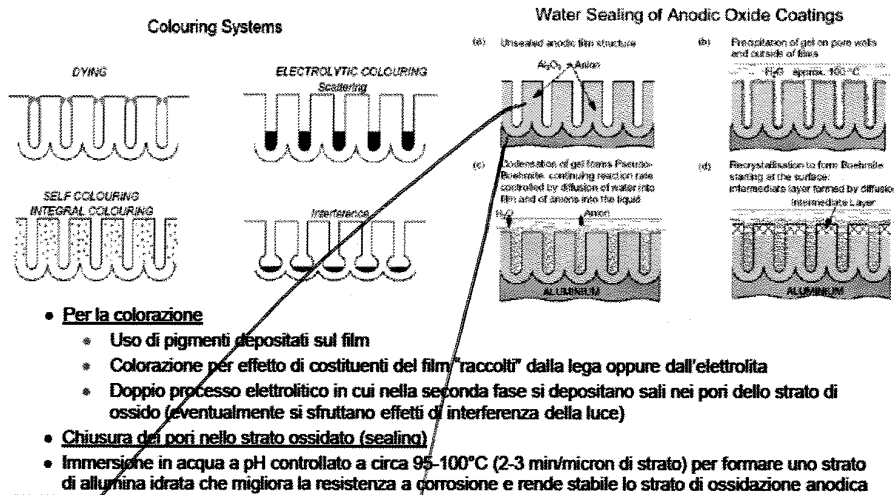
Architettura, Automotive, Aerospaziale, Arredamento, ecc.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il fatto che l'area esterna è porosa consente di poter introdurre determinati pigmenti che: colorano la struttura e chiudono le porosità.

Modificazioni dello strato di ossidazione anodica



Quindi vale a chiudere le porosità con pigmenti e sigillanti.

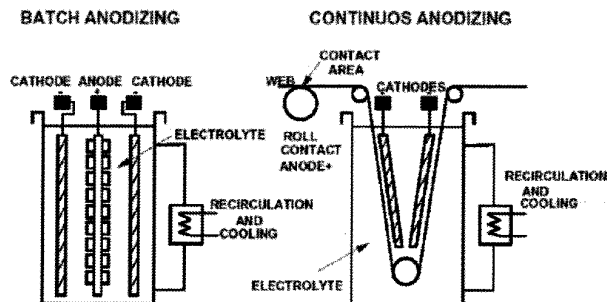
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



nella parte già densa non ci fa nulla

nella parte porosa posso fare qualcosa: introduce pigmenti (colorano la struttura e chiudono la porosità). Eventualmente c'è poi uno strato di sigillante → in circa 25 μm ho una barriera colorata, cioè una caratteristica tipica degli allumini. Chiaramente deve esserci affinità chimica tra colorante e Al.

Il trattamento di ossidazione anodica
Anodizing Cell



NO

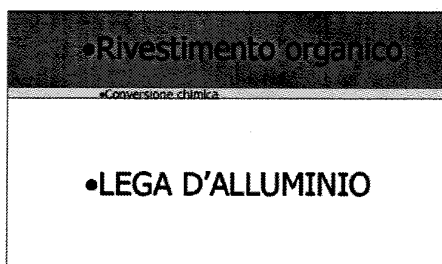
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Possono essere individuate tre principali componenti nel ciclo di verniciatura

- 1) Il supporto, in questo caso costituito dall'alluminio;
- 2) Il pretrattamento, che costituisce l'anello di congiunzione tra l'alluminio ed il film di vernice;
- 3) Il rivestimento organico.

No



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



FIRST APPLICATIONS

- **Eagles of the Napoleon III's insignia (1851-1870)**

- **Dirigible structures:
Schwartz (1897)
Zeppeling (1900)**

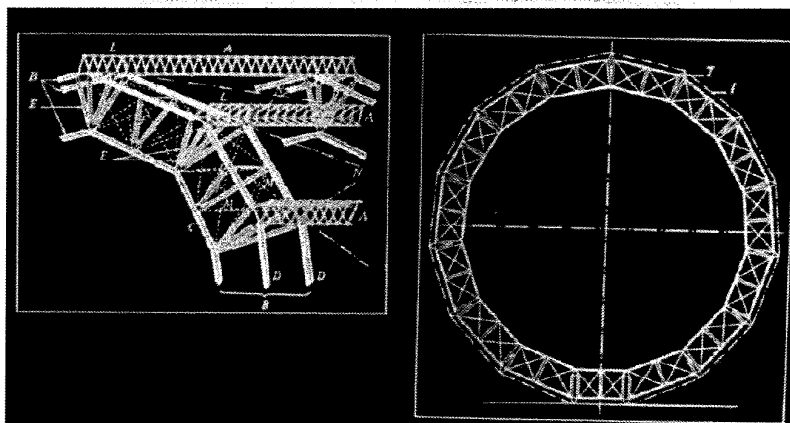
- **Armaments and equipment for the First World War (1915-1918)**

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Il è come due uscis allegorica.

■ Dirigible structures (details)



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

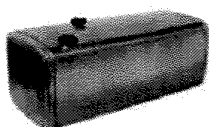


Automobilistiche

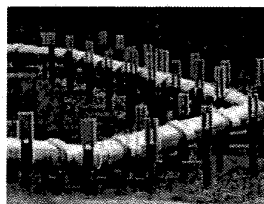


Per il trasporto dei liquidi
si ha attenzione: abbiamo a
che fare con un materiale che
di suo ha $T_{fus} = 663^{\circ}C \Rightarrow$
 \rightarrow emettere un
chilo caldo non è
così facile

Serbatoi



Acquedotti



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Raffaele Ingami, Chiesa di S. Gioacchino
in Prati a Roma, 1898

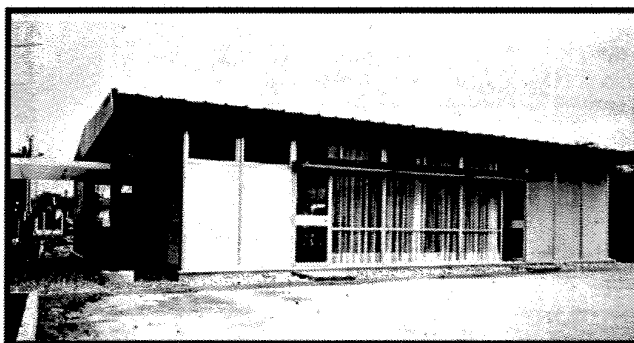
Prima cupola al mondo ad avere un
rivestimento di alluminio tuttora in opera in
buono stato di conservazione



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



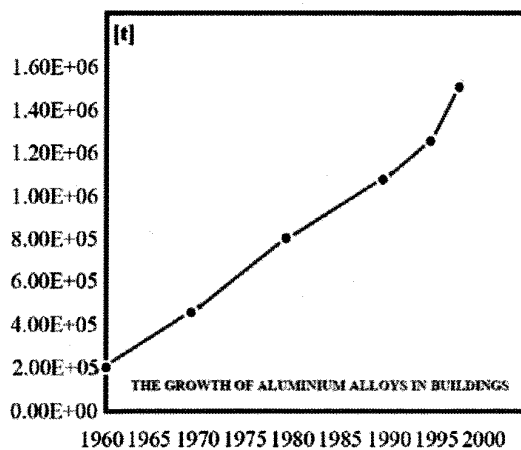
■ Housing structures



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Andamento dell'uso dell'alluminio nelle costruzioni

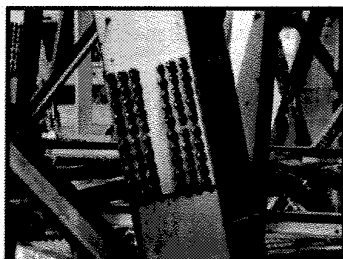


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



RES. ALLA CORROSIONE

Compromissione delle caratteristiche della struttura.



Details of steel bolted connections

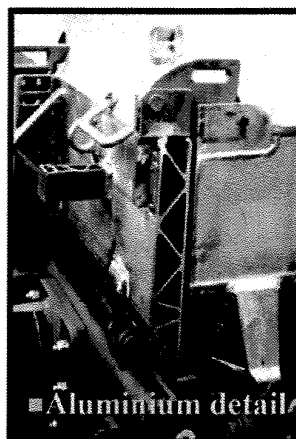


Acciaio total-
mente compromesso

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



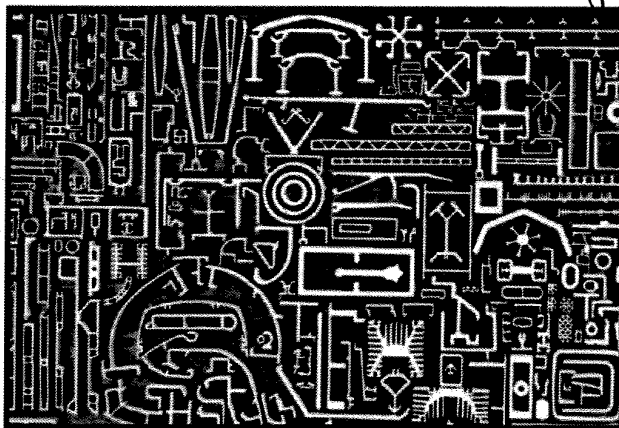
non lo mette, ma devo
luttere più la struttura!!!



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



ESTRUSIONE: AL → ottengo geometrie molto complesse!!!

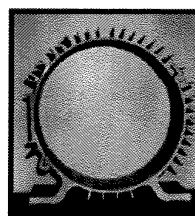
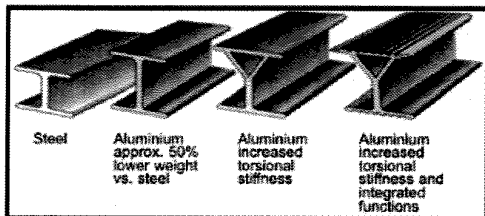
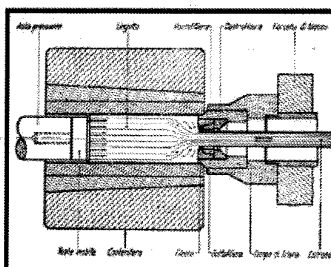
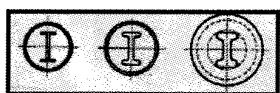


■ aluminium extruded sections

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



■ extrusion process



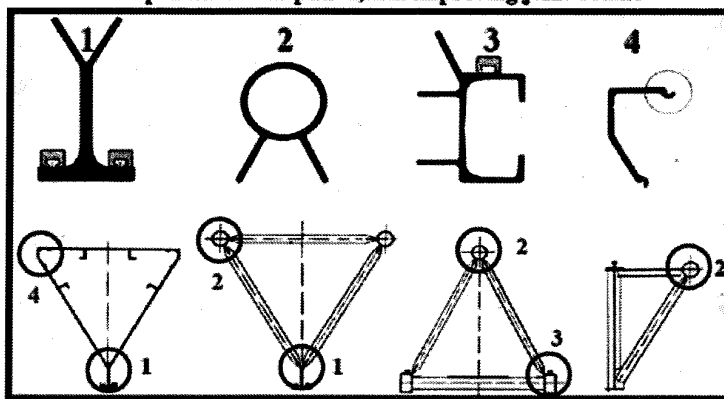
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



*Lo studio della geometria
che siano più adatte a
determinate applicazioni:*

Third pre-requisite:
Functionality of sections due to extrusion

"The connecting systems among different
component are simplified, thus improving joint details"

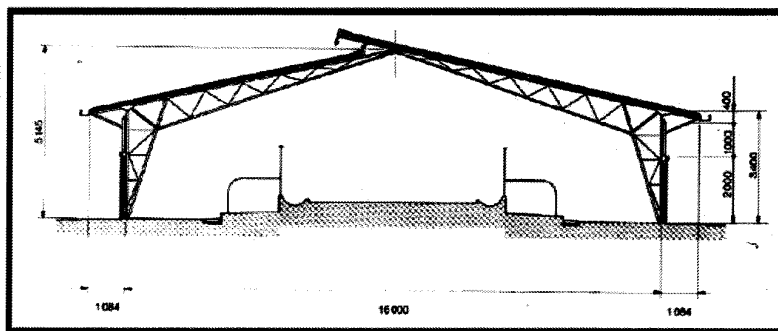


Sections for crane structures

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Third pre-requisite:
Functionality of sections due to extrusion

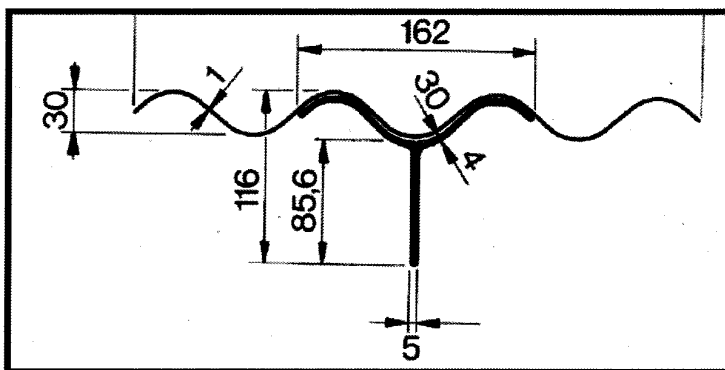


Building for agriculture

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

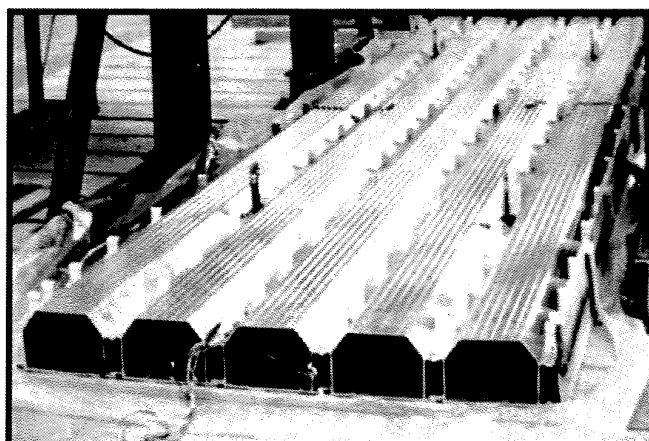


■ **Third pre-requisite:**
Functionality of sections due to extrusion



Section of the upper chord

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Section for innovative floor structure

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



paramentazioni con possibilità di
integrare una rete di
recinzione all'interno del
paramento stesso.

LEZIONE 8

ma non sono la stessa cosa

Corrosione

Di solito si tende a confondere corrosione con ossidazione. A monte dei due fenomeni va eseguita una serie di Considerazioni

MA:

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Materiali metallici: Corrosione & Ambiente

- La corrosione dei materiali metallici include tutte le interazioni fra l'ambiente e il metallo o la lega (sia se l'interazione è deliberata e benefica, sia se è accidentale e deleteria).
- La principale variabile che influenza la corrosione dei metalli è l'ambiente (ovvero il microambiente che è localmente a contatto con la superficie metallica)
- Tale ambiente è in evoluzione con il tempo e le condizioni operative

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Quali sono i parametri sensibili del processo di corrosione

3 MACROSISTEMI

- **Metallo:** composizione, struttura atomica, eterogeneità micro e macrostrutturali, tensioni applicate (trazione, compressione, azioni cicliche, ecc.)
- **Ambiente:** impurezze deleterie, pressione, temperatura, velocità di contatto, ecc. → *è diverso avere acqua stagnante o in movimento*
- **Interfaccia Metallo/ambiente:** cinetica dell'ossidazione del metallo e della sua dissoluzione, cinetica della riduzione delle specie in soluzione; natura e collocazione dei prodotti di corrosione; crescita del film e della dissoluzione del film, ecc.
- *Interazione che avviene tra METALLO e AMBIENTE*
- **Di base la corrosione è una reazione chimica eterogenea che avviene all'interfaccia metallo/non metallo e che coinvolge il metallo come uno dei reagenti**
- **Il metallo si ossida (nel senso che il numero di ossidazione aumenta) e il non metallo si riduce (nel senso che il numero di ossidazione decresce)**

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Nichel = allergogeno
Cobalto = cancerogeno

si ha quando il materiale è a contatto con qualche soluzione

Classificazione della corrosione

- Il principale ambiente con cui sono in contatto i materiali metallici è l'acqua (**corrosione umida**)
- L'altro ambiente corrosivo tipico è quello del ambiente chimicamente aggressivo, ad alta temperatura e in assenza di liquidi (**corrosione a secco**); è la tipica reazione metallo/gas o metallo/vapore con ossigeno, solfuro di idrogeno, vapori di zolfo, ecc.

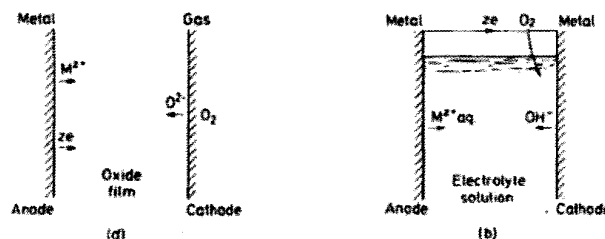


Fig.1.A1 Anodes and cathodes in corrosion processes. (a) 'Dry' corrosion and (b) 'wet' corrosion

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



116

Corrosione umida

- Pertanto, se la reazione catodica è lenta, anche la corrosione è lenta.
- La reazione catodica può essere accelerata dalla reazione dell'idrogeno con l'ossigeno disciolto (in soluzioni aerate):



- La reazione di ossidazione procede più rapidamente al crescere del quantitativo di atomi ossigeno che raggiungono la superficie: può sembrare strano ma in una struttura a contatto con l'acqua marina (es. piattaforma petrolifera) le parti parzialmente immerse si corrodono più rapidamente di quelle totalmente immerse, a causa della maggior disponibilità di ossigeno
- In ogni caso, si formano in superficie degli strati di composti di corrosione che formano depositi più o meno aderenti e quindi protettivi

Il peggio che si possa avere è ciò che si ha in prossimità delle piattaforme marine: le parti un po' immerse e un po' fuori dall' H_2O sono a contatto con del liquido e aria \Rightarrow corrosione molto veloce \Rightarrow deve

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



utilizzare materiali adeguatamente protetti o che siano in grado di autoprotettersi all'interno di quelle determinate condizioni.

Corrosione in mezzi acquosi

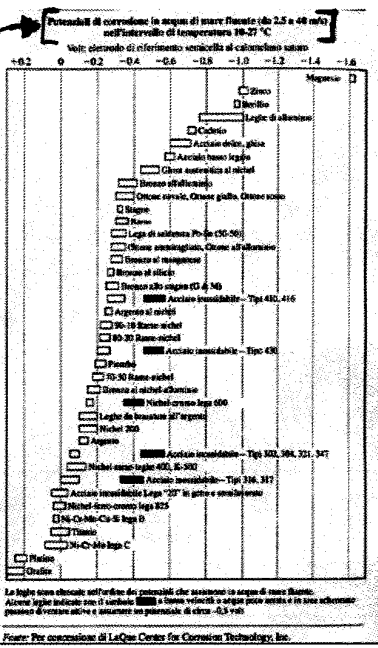
- Per la corrosione in mezzi acquosi, le variabili fondamentali sono due: il potenziale di corrosione e il pH
- Le variazioni che avvengono in altre variabili si riflettono sulle variazioni del potenziale di corrosione (es. concentrazione di ioni nella soluzione e temperatura)
- I materiali metallici si corrodono lentamente in ambienti neutri e basici, mentre si corrodono rapidamente in ambienti acidi (ci sono più ioni H^+ disponibili per la reazione catodica)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Questo grafico presenta valori variabili in funz. delle condizioni che stiamo considerando

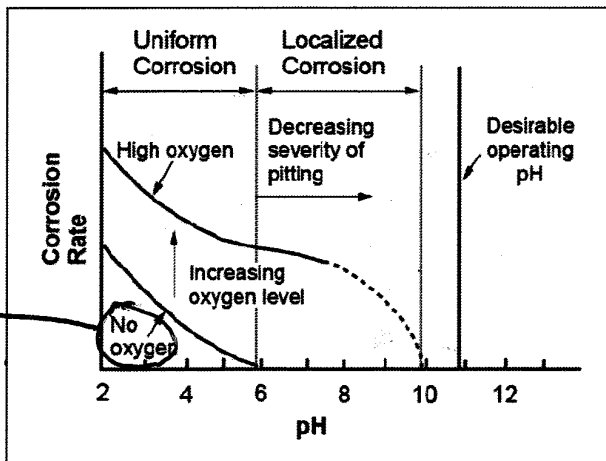
NON prendere i valori di questa tabella come oro colato, perché devono essere adattati al caso considerato.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Velocità di corrosione vs pH



se pH > 6 => non avvengono fenomeni di corrosione

In funz. del pH si hanno 3 differenti comportamenti in termini di corrosione:

- per pH basso (> 10) la corrosione non c'è
- per pH intermedio (tra debolmente acido e debolmente alcalino) => fenomeni di corrosione di tipo localizzato
- per pH acido o fortemente acido => corrosione uniforme e diffusa

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

che ambiente acido o fortemente acido

Corrosione uniforme

è "uniforme"!

- L'attacco per corrosione generalizzata è caratterizzato da una reazione elettrochimica che procede in modo uniforme o anche parzialmente disuniforme sull'intera superficie metallica esposta all'ambiente corrosivo. *È la principale causa di corrosione dei metalli e degli acciai in particolare; ma non è un problema: tuttavia essa è facilmente controllabile e può essere prevenuta tramite (i) rivestimenti protettivi; (ii) inibitori; (iii) protezione catodica.*
- I prodotti di corrosione possono formare:
 - Film protettivi spontaneamente cresciuti
 - Scaglie spontaneamente cresciute
 - Possono essere spessi strati di ossidi generati artificialmente (es. anodizzazione)

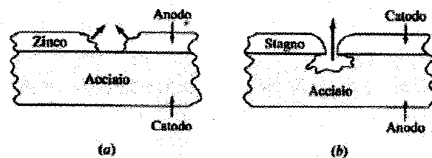
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



PROTEZIONE GALVANICA: *si modifica la natura del sistema mettendovi un glic di natura sacrificabile che si danneggia, proteggendo il substrato.*

Corrosione (o protezione) per contatto galvanico

- In due metalli diversi in contatto, la differenza del loro potenziale elettrochimico può portare alla formazione di una cella galvanica e alla dissoluzione del metallo con il potenziale di elettrodo più basso (il fenomeno si può sfruttare per proteggere un materiale)
- L'acciaio zincato (ricoperto di zinco) è un esempio di protezione in cui un metallo viene "sacrificato" per proteggerne un altro (l'acciaio). Lo zinco, depositato con un bagno caldo o elettrochimicamente sull'acciaio, è anodico rispetto all'acciaio e quindi si corrode e protegge l'acciaio, che è catodico in questo sistema (attenzione: zinco e acciaio separati in acqua si corrodono circa alla stessa velocità).



non devono esserci buchi nello zinco

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



- La reazione anodica del metallo sul fondo della vaiolatura è $M \rightarrow M^{n+} + e^-$.
- La reazione catodica, che ha luogo sulla superficie del metallo attorno alla vaiolatura, è la reazione dell'ossigeno con l'acqua e con gli elettroni che provengono dalla reazione anodica: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$.
- Quindi il metallo che circonda la vaiolatura è protetto catodicamente.
- Deve essere sottolineato che l'area anodica (pareti interne della vaiolatura) è molto più piccola dell'area catodica (superficie del metallo), determinando in questo modo l'elevato potere penetrante della corrosione per vaiolatura (più elevato di quella della corrosione generalizzata dovuta allo stesso ambiente).
- Per evitare la corrosione per vaiolatura si devono usare materiali che non siano suscettibili a questo tipo di corrosione specifica. Se questo non è possibile è comunque consigliabile impiegare un materiale resistente alla corrosione in generale.

Il processo è autoaccelerante: se sul fondo si accumula la ruggine, aumenta la sua area anodica, che accelera la corrosione.

Acciaio inossidabile di tipo AISI 304
 Acciaio inossidabile di tipo AISI 316
 Hastelloy (leghe di Ni)
 Titanio

Resistenza al pitting
 $Pt = \%Cr + 3\%Mo + 16\%N$

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Corrosione in fessura (crevice corrosion)

- E' una forma di corrosione localizzata che può avvenire nelle fessure o al di sotto di superficie schermate, dove possono esserci soluzioni stagnanti. La corrosione in fessura avviene molto spesso sotto le guarnizioni, i chiodi e i bulloni, tra le valvole a disco e la loro sede, sotto i depositi porosi e in molte altre situazioni simili.
- La corrosione in fessura interessa molte leghe, come gli acciai inossidabili, il titanio, l'alluminio e le leghe del rame.
- Perché questo tipo di corrosione avvenga, la fessura deve essere abbastanza ampia da lasciare entrare il liquido, ma allo stesso tempo sufficientemente stretta da farlo ristagnare (interstizi di pochi micron).
- Guarnizioni fibrose sono la tipica applicazione in cui si verifica corrosione in fessura.

Le fessure che sono sufficientemente grandi da far entrare liquido e sufficientemente piccole da far ristagnare il liquido. Si ha quando, ad esempio, non è stata effettuata una corretta operazione di saldatura.

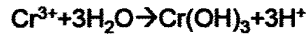
Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



Se regolo le fessure → questa corrosione non succede, ma non è facile regolarsi del tutto le fessure!!

Corrosione in fessura (crevice corrosion) –continua-

- Negli acciai inossidabili le prove sperimentali hanno portato a concludere che l'acidificazione all'interno della fessura è dovuta principalmente all'idrolisi degli ioni cromo:



- Per prevenire o minimizzare la corrosione in fessura si possono utilizzare i seguenti metodi e procedure:
 - Usare giunti ben saldati, invece dei giunti rivettati o forzati.
 - Progettare in modo da avere un drenaggio completo per impedire la formazione di soluzioni stagnanti.
 - Se possibile, usare guarnizioni non assorbenti, come il Teflon, che è idrorepellente.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

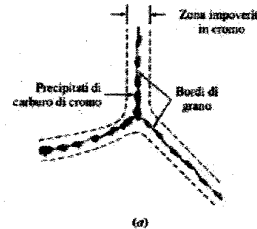
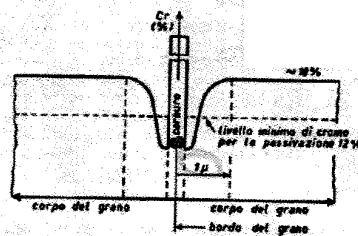


Corrosione intergranulare.

cioè tra grano e grano

- Durante i processi di saldatura o di trattamento termico degli acciai inossidabili il mantenimento o il lento raffreddamento fra 500 e 850°C, producono la precipitazione di carburi di cromo a bordo grano.
- Come conseguenza le regioni lungo i bordi grano risultano **impoverite in cromo** e sono suscettibili ad attacco corrosivo (intergranulare) quando esposti in ambiente corrosivo.
- La corrosione intergranulare si verifica oltre che negli acciai anche in leghe di rame, in bronzi all'alluminio o al silicio.

Acque di solito in acciai con medio alto % Cr in trattamenti termici a 500-850°C. Avere per natura chimica. Il Cr ha la tendenza a precipitare e a generare composti intermetallici.

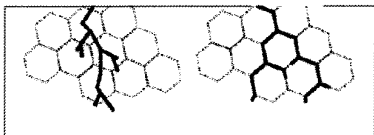


Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



precipitare e a generare composti intermetallici → modifica le caratt. chimiche del materiale → risposta chimica del materiale è differente. Ad andare è proprio il Cr, quello che poteva garantirmi una certa protezione! :D

la propagazione della
cracks può
avvenire in forma



Stress Corrosion Cracking

Transgranular o Intergranular

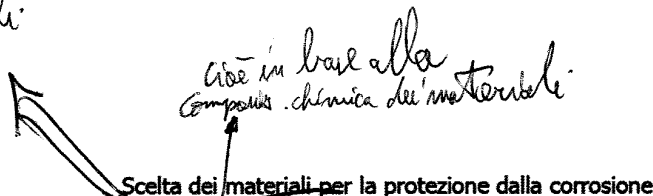
Prevenzione della corrosione sotto sforzo

- Distensione degli acciai per eliminare gli sforzi residui.
- Diminuzione degli sforzi applicati sulla lega suscettibile di SCC
- Eliminazione degli ambienti o delle specie promotrici di corrosione sotto sforzo.
- Sostituzione del metallo con uno non o meno suscettibile a SCC (esempio titanio invece di acciaio inossidabile)
- Applicazione della protezione catodica mediante anodi sacrificali
- Aggiunta per quanto possibile di adeguati inibitori

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



o utilizzare materiali
più resistenti
alla
corrosione
(da ferro
fino a oro
platinio)
oppure



Materiali metallici

- Per ambienti riducenti o non ossidanti, come acidi e in soluzioni acquose senza aria, può essere utile usare leghe di rame e di nichel;
- Per ambienti ossidanti possono essere utilizzate leghe contenenti cromo
- Per ambienti estremamente ossidanti, è meglio utilizzare il titanio e le sue leghe.

Materiali non metallici

- I materiali polimerici come le plastiche e le gomme non subiscono fenomeni di degrado in molti ambienti e pertanto possono essere utilizzati in varie situazioni corrosive. In ambienti con acidi organici forti, essi hanno scarsa resistenza.
- I materiali ceramici hanno un'eccellente resistenza alla corrosione e alle alte temperature, ma hanno lo svantaggio di essere fragili e di possedere una bassa resistenza a trazione.
- Conseguentemente spesso i materiali non metallici sono usati nel controllo della corrosione principalmente come rivestimenti o per guarnizioni, piuttosto che come materiale in forma massiva.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



NON OGGETTO D'ESAME

**Guida alla protezione anticorrosiva di strutture ed elementi di acciaio impiegati
nelle costruzioni**

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Considerazioni generali

- L'acciaio non protetto, esposto agli agenti atmosferici, è soggetto alla corrosione.
- Per evitare danneggiamenti da corrosione, le strutture di acciaio devono essere protette per resistere alle sollecitazioni corrosive per tutto il tempo di vita richiesto alla struttura, "vita nominale".
- Per realizzare un'efficace protezione dalla corrosione, è importante che siano scelte soluzioni adeguate al progetto in questione.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Vita della struttura
(Norme Tecniche per le Costruzioni/2005 e bozza aggiornata)

Vita Nominale (Utile di Progetto)	Descrizione
* 10 anni	Opere provvisorie Opere in fase costruttiva
* ≥ 50 anni	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali... di dimensioni contenute di importanza normale (Classe 1)
* ≥ 100 anni	Opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di rilevata importanza (Classe 2)

Vita nominale:
("...è intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata) dall'ultima bozza NTC aggiornata)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Classi di corrosività atmosferica
(UNI EN ISO 12944-2 vernici -UNI EN ISO 14713 zincatura-ISO 9223)

Classe di corrosività	Perdita di spessore (dopo il primo anno di esposizione)		Esempi di ambienti tipici in un clima temperato (a titolo informativo)	
	Acciaio a basso tenore di carbonio Perdita di spessore μm	Zinco Perdita di spessore μm	All'esterno	All'interno
C1 Molto bassa	$\leq 1,3$	$\leq 0,1$		Edifici riscaldati con atmosfera pulita per esempio uffici, negozi, scuole, abitazioni.
C2 Bassa	da 1,3 a 25	da 0,1 a 0,7	Ambienti con basso livello di inquinamento. Soprattutto aree rurali.	Edifici non riscaldati dove può verificarsi condensa, per esempio depositi, locali sportivi.
C3 media	da 25 a 50	da 0,7 a 2,1	Ambienti urbani e industriali, moderato inquinamento da attività sportiva. Zone costiere con bassa salinità.	Locali di produzione con alta umidità e un certo inquinamento atmosferico, per esempio industrie, sementieri, lavanderie, botteghe, caseifici.
C4 alta	da 50 a 80	da 2,1 a 4,2	Aree industriali e zone costiere con moderata salinità.	Impianti chimici, piscine, cambi di scorie per imbarcazioni.
C5-I Molto alta (industriale)	da 80 a 200	da 4,2 a 8,4	Aree industriali con alta umidità e atmosfera aggressiva.	Edifici in aree con condensa quasi permanente e con alto inquinamento.
C5-M Molto alta (marina)	da 80 a 200	da 4,2 a 8,4	Zone costiere e offshore con alta salinità.	Edifici e aree con condensa quasi permanente e con alto inquinamento.
Im2 (strutture immerse)	da 10 a 20		Strutture zincate immerse in acque salmastre o di mare.	

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Condizioni di corrosione particolari

Esistono condizioni/sollecitazioni particolari che provocano un significativo aumento della corrosione, e che richiedono cicli protettivi di maggiore efficacia.

I principali esempi sono:

- sollecitazioni chimiche;
- sollecitazioni meccaniche nell'atmosfera;
- sollecitazioni dovute alla condensa;
- sollecitazioni dovute a temperature medie o alte;
- corrosione aumentata a seguito di una combinazione di sollecitazioni.
- correnti indotte

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Progettazione adeguata

Obiettivo del progetto di una struttura è assicurare che sia idonea alla sua funzione, presenti stabilità, robustezza e durabilità adeguate.

Nella sua globalità il progetto deve facilitare la preparazione della superficie, la protezione anticorrosiva, i controlli e la manutenzione.

La forma di una struttura può influire sulla sua predisposizione alla corrosione.

Di conseguenza le strutture dovrebbero essere progettate in modo da non favorire "trappole di corrosione" dalle quali la corrosione possa diffondersi.

L'ideale sarebbe scegliere fin dall'inizio il sistema di protezione più idoneo.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Per le verniciature:

La norma UNI EN ISO 12944-1 definisce la durata di un rivestimento di verniciatura secondo tre classi:

- > bassa (L) da 2 a 5 anni
- > media (M) da 5 a 15 anni
- > alta (H) più di 15 anni

In particolare la durata di un sistema di verniciatura protettiva dipende da diversi fattori, come:

- il tipo di verniciatura;
- la progettazione della struttura;
- la condizione del supporto prima della preparazione;
- l'efficacia della preparazione della superficie;
- la qualità dell'applicazione;
- le condizioni ambientali durante l'applicazione;
- le condizioni di esposizione dopo l'applicazione.

Per identificare il trattamento che offre la durabilità richiesta:

- Individuare i cicli idonei
- Scegliere il ciclo più adatto

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Individuazione cicli idonei

Selezionare, fra i cicli di verniciatura identificati, quello ottimale tenendo presente il metodo di preparazione della superficie che sarà impiegato (UNI EN ISO 12944-4; UNI EN 13438)

Per assicurare le prestazioni ottimali del sistema di verniciatura, la maggior parte degli strati del sistema o, se possibile, il sistema completo, dovrebbero essere applicati in officina (UNI EN ISO 12944-5).

Vantaggi e svantaggi dell'applicazione in officina sono:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> a) Miglior controllo dell'applicazione b) Controllo della temperatura c) Controllo dell'umidità relativa d) Facilità di riparazione del danno e) Rendimento maggiore f) Miglior controllo dei rifiuti e dell'inquinamento 	<ul style="list-style-type: none"> a) Possibili limitazioni della dimensione dei componenti della struttura b) Danneggiamenti dovuti a movimentazione, trasporto e messa in opera c) Possibile contaminazione dell'ultimo strato

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Prove & Prestazioni

Stabilire un programma dei controlli da effettuare durante e dopo i lavori UNI EN ISO 12944-7, UNI EN ISO 12944-8:

Valutazione prestazioni della verniciatura con "Prove d'invecchiamento artificiale":

Nebbia salina neutra UNI EN ISO 9227 la corrosione del substrato ai due lati dell'incisione non deve essere maggiore di 1-5 mm

Resistenza all'umidità UNI EN ISO 6270

- Valutazione Vescicamento UNI EN ISO 4628-2 Grado 0 (S0)
- Valutazione Arrugginimento UNI EN ISO 4628-3 Grado Ri 0
- Valutazione Screpolatura UNI EN ISO 4628-4 Grado 0 (S0)
- Valutazione Sfogliamento UNI EN ISO 4628-5 Grado 0 (S0)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Durata zincatura + verniciatura

Utilizzando congiuntamente le due protezioni, la durata complessiva è significativamente superiore alla somma delle durate ottenibili dall'impiego, separato, dei singoli sistemi.

Si crea una sinergia tra le due protezioni, che ne influenza la durata complessiva, esprimibile con la seguente formula:

$$Dt = K (Dz + Dv) = 1,2+2,5 \cdot (Dz + Dv)$$

Dt rappresenta la durata del sistema ZN+VR espressa in anni

Dz e **Dv** sono le durate nel caso in cui zincatura e verniciatura siano applicate all'acciaio separatamente

K è un coefficiente che dipende dall'aggressività dell'atmosfera (1,2+2,5)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Ambiente & Sicurezza

Aspetti che richiedono attenzione particolare sono per esempio:

- nessuna prescrizione e nessun utilizzo di sostanze tossiche o cancerogene;
- riduzione delle emissioni di sostanze organiche volatili (SOV);
- precauzioni contro gli effetti nocivi di fumi, polvere, vapori e rumore, come pure contro i rischi di incendio;
- protezione del corpo, compresi gli occhi, la pelle, le orecchie e il sistema respiratorio;
- salvaguardia dell'acqua e del terreno durante i lavori di protezione dalla corrosione;
- riciclaggio dei materiali e smaltimento dei rifiuti.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Indice delle Normative

UNI EN ISO 12944-1:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Introduzione generale
UNI EN ISO 12944-2:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Classificazione degli ambienti
UNI EN ISO 12944-3:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Considerazioni sulla progettazione
UNI EN ISO 12944-4:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Tipi di superficie e loro preparazione
UNI EN ISO 12944-5:2002 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Sistemi di verniciatura protettiva
UNI EN ISO 12944-6:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Prove di laboratorio per le prestazioni
UNI EN ISO 12944-7:2001 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura
UNI EN ISO 12944-8:2002 Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione
UNI EN ISO 14713:2001 Protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi - Rivestimenti di zinco e di alluminio - Linee guida.
UNI EN ISO 1461:1999 Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



LEZIONE 9

Giunzioni

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



COLLEGAMENTI PERMANENTI

Nell'industria i procedimenti tecnologici per unire in maniera permanente due particolari sono: **4:**

- INCOLLAGGIO
- AGGRAFFATURA
- CHIODATURA
- SALDATURA

→ molto utilizzato nel campo civile, per niente nell'aerospaziale

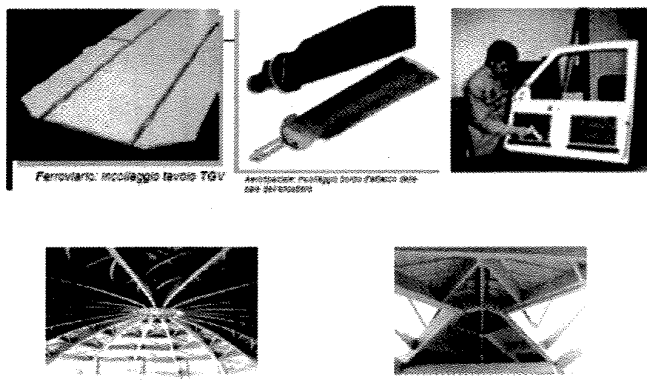
negli aerei non si fa saldatura, ma solo bullonatura e chiodatura

■ Nelle piattaforme offshore molto bullonatura (non saldature). Cio' è un problema, perché se si corrodono non riesco più a montarle!!! ⇒ dover cambiare tutta la struttura!

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



ESEMPI INCOLLAGGI



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



COME AVVIENE L'INCOLLAGGIO

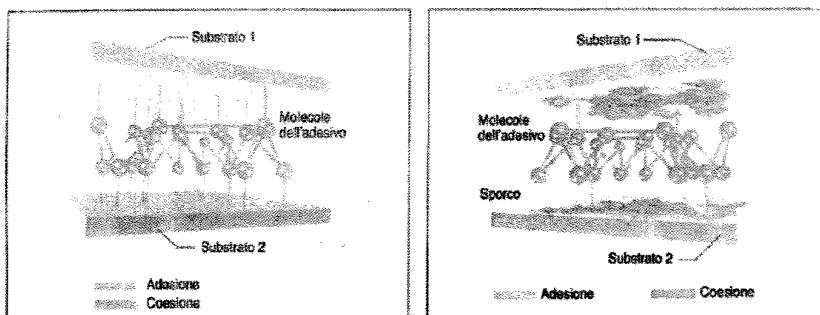


Fig. 39. L'incollaggio si basa sull'adesione fra il collante e lo strato superficiale del pezzo e sulla coesione fra le molecole del collante.

Fig. 40. La presenza di zone sporche sulle superfici riduce grandemente la "bagnabilità" e quindi l'adesione.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



IMPIEGO DELLA CHIODATURA

*pregio: non genera alterazioni termiche in
prossimità delle aree di
giunzione come invece la
saldatura e con
garanzia buona Caratt.
meccanica*

Le chiodature non vengono quasi più utilizzate perché:

- La saldatura è più conveniente e non appesantisce i giunti
- La saldatura può essere fatta più agevolmente in opera
- Le chiodature richiedono una elevata precisione nel montaggio

Le chiodature sono ancora molto utilizzate in aeronautica perché

- I materiali compositi usati non possono essere saldati
- La bulloneria crea problemi aerodinamici e di sicurezza
- La saldatura provoca alterazioni termiche nel materiale vicino ai lembi saldati

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

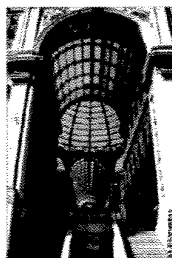


GRANDI OPERE IN ACCIAIO CHIODATO

La tour Eiffel



La Stazione di Milano



Copertura
Galleria
Umberto I
a Napoli

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



DISCORSI (altri per informare personali)

NORME UNI PER CHIODI

CHIODATURE:
Chiodi e rivetti, normativa UNI di riferimento

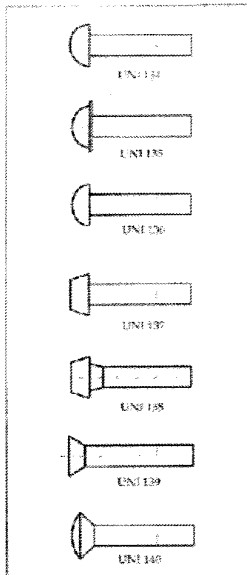


Fig. 4. Alcuni tipi di chiodi unificati.

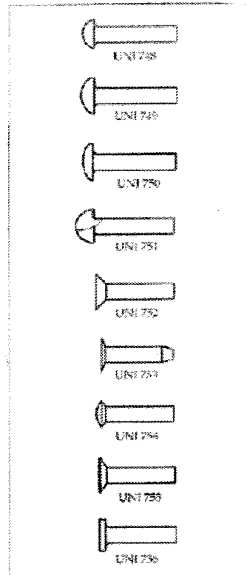
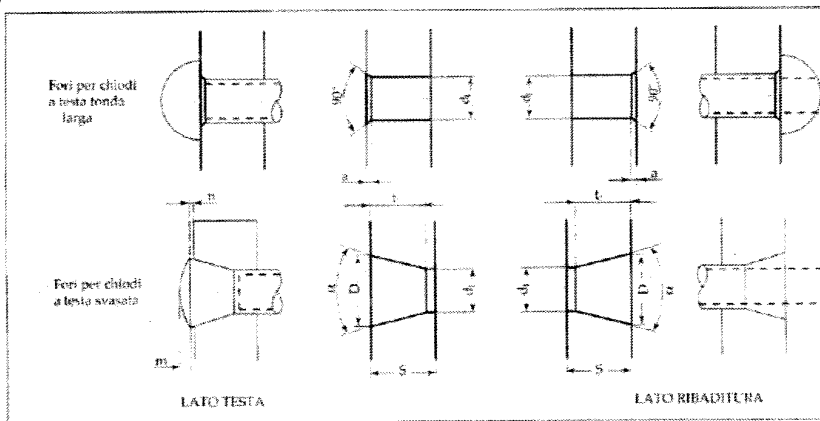


Fig. 5. Alcuni tipi di rivetti unificati.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

FORATURE PER CHIODI



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



RIVETTI PER AERONAUTICA

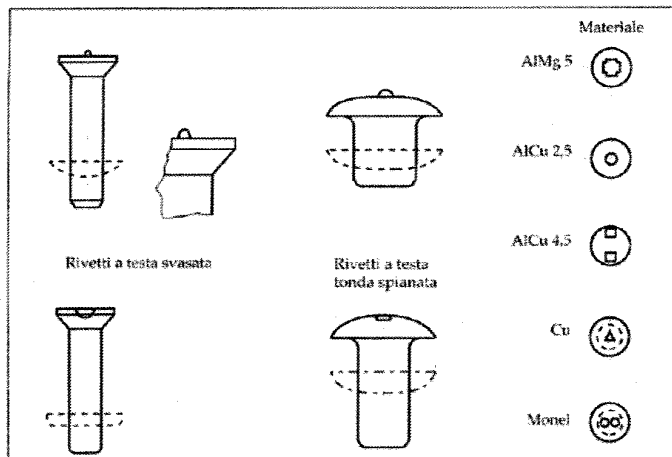


Fig. 11. Rivetti (opportune marcature della testa identificano il materiale).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

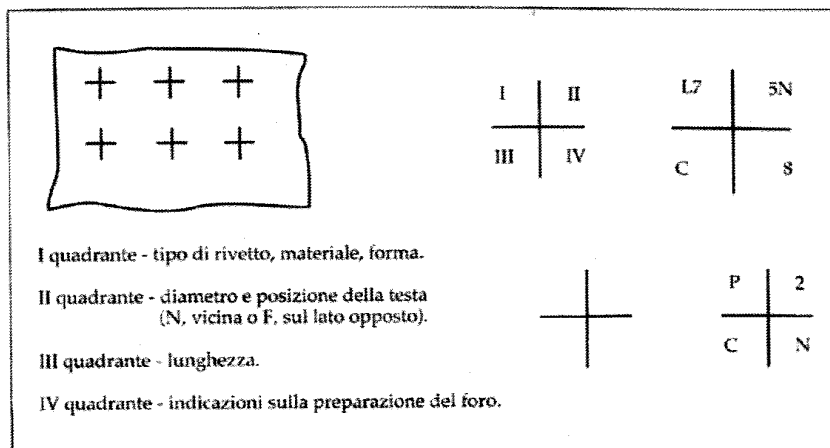


Fig. 16. Rappresentazione convenzionale dei collegamenti rivettati.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



LA SALDATURA

I giunti saldati sono di impiego molto comune per le loro caratteristiche di robustezza, economia, leggerezza, ermeticità.

La saldatura è il procedimento con cui si realizza l'unione di pezzi metallici, in modo tale da ottenere la continuità fisica delle parti da unire.

I lembi dei pezzi da saldare vengono riscaldati ad alta temperatura superiori a quella di fusione e, solidificando, danno origine a un giunto saldato. Il riscaldamento può essere realizzato con mezzi diversi.

Insieme al materiale dei pezzi da unire, chiamato anche metallo base, può essere fuso anche materiale di analoga composizione, che prende il nome di metallo d'apporto.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



TIPOLOGIE SALDATURE

Brasatura

Una sorgente termica porta a fusione solo un volume di metallo d'apporto, che risolidificando tra i lembi da unire crea il collegamento

Saldatura per fusione

Una sorgente termica concentra una potenza sufficiente per portare a fusione i lembi da unire e il metallo d'apporto. Il metallo di apporto può anche mancare

Saldatura a pressione: non c'è materiale d'apporto → rullo, fondo e applico pressione l'unione dei lembi da unire avviene sotto l'azione contemporanea di una pressione e di un riscaldamento dei lembi

Ricerca di qtc i problemi della saldatura di un materiale che ha l'elemento base e res. meccanica

è un elemento di notevole criticità del punto di vista della res. meccanica

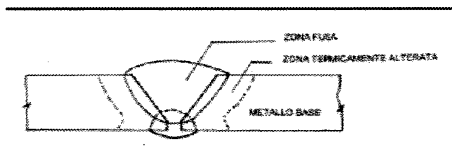
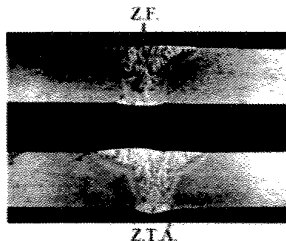
NON vanno a fusione

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



esclusivamente la differenza riguarda l'entità del calore che viene fornito

STRUTTURA DI UN GIUNTO



Zona fusa (ZF): rappresenta la porzione di lega metallica che raggiunge la temperatura di fusione; è composta dal metallo base e dall'eventuale metallo d'apporto

è una zona MOLTO importante

Zona termicamente alterata (ZTA): parte del giunto saldato che non raggiunge la fase liquida ma subisce modifiche microstrutturali per i cicli termici di saldatura

HAZ: heat affected zone

Metallo base: la rimanente porzione del giunto saldato a distanza sufficientemente elevata dalla saldatura da non subire alterazioni apprezzabili nella microstruttura e, quindi, nelle caratteristiche

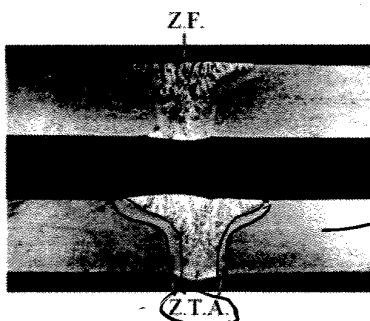
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



è la parte non influenzata dalla fornitura del calore.

RADIOGRAFIA DI UN GIUNTO SALDATO

Struttura di un giunto saldato per fusione



metallo base

sono quei 2 corredi a penna nera

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



CLASSIFICAZIONE SALDATURE

ETEROGENE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brasatura ▪ Saldobrasatura
AUTOGENE per Fusione	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elettrica ad arco (idrogeno atomico, plasma, atmosfera protettiva, ad arco sommerso, ad arco protetto) ; ▪ Gas (ossidrica, ossiacetilenica) ; ▪ Laser ; ▪ Alluminotermica ;
AUTOGENE a Pressione	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Attrito ▪ Esplosione ▪ Ultrasuoni ▪ Elettrica a resistenza (a punti o cucitura ,con scintillio , a rulli)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SALDABILITA' DELLE LEGHE

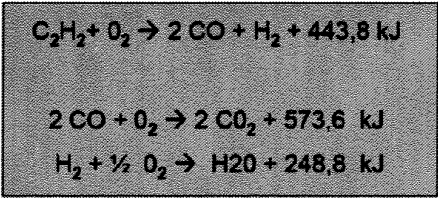
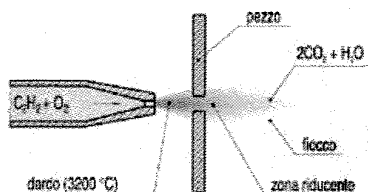
Al crescere del tenore di C diminuisce la saldabilità del materiale (così come al crescere degli elementi leganti)

Legha	Saldabilità
Acciai al carbonio	Da eccellente a scarsa, all'aumentare di %C
Acciai basso-legati	Da eccellente a scarsa, all'aumentare di %C
Acciai legati	Buona, ma sensibile alle condizioni di processo
Acciai inox	Difficile
Leghe di alluminio	Richiedono alta potenza; no leghe con Zn o Cu
Leghe di rame	Come alluminio
Leghe di magnesio	Atmosfera molto protettiva
Leghe di nichel	Come per acciai inox
Leghe di titanio	Atmosfera molto protettiva
Leghe di tungsteno	Sensibile alle condizioni di processo
Leghe di molibdeno	Sensibile alle condizioni di processo

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SALDATURA OSSIACETILENICA



Il calore necessario alla fusione dei lembi da saldare è ottenuto dalla combustione di una miscela di ossigeno O₂ e acetilene (C₂H₂).

La fiamma ossiacetilenica è composta di tre zone : il dardo, la zona riducente e il fiocco (vedi figura).

La zona di massima temperatura (circa 3200 °C) è situata alla punta del dardo (è la zona usata per la saldatura).

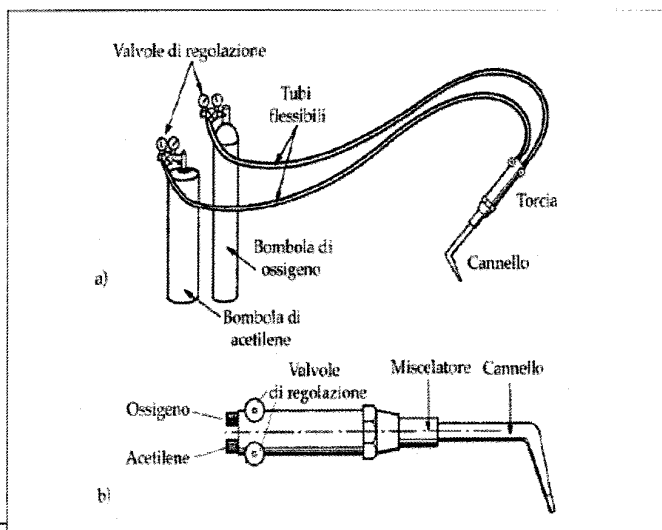
La reazione esotermica primaria avviene nel dardo e dà luogo alla formazione di monossido di carbonio e idrogeno

Nella zona riducente la temperatura è di circa 2600 °C, mentre nel fiocco (zona ossidante) si ha una temperatura media di 1200 °C.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

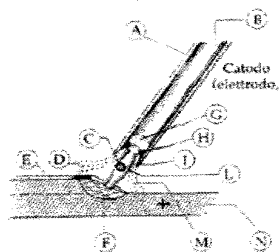


SALDATURA OSSIACETILENICA



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE





- A. Rivestimento
- B. Anima metallica
- C. Coccia di metallo
- D. Scoria fluida
- E. Scoria solidificata
- F. Cratere di metallo
- G. Metallo liquido
- H. Scoria liquida
- I. Calice
- L. Arco
- M. Gas protettivi
- N. Pezzo da saldare (anodo)

ELETTRODO RIVESTITO

Il rivestimento è composto da una miscela di sostanze che hanno lo scopo di facilitare la saldatura, eliminare le impurezze e proteggere il bagno di fusione dalle contaminazioni esterne e dall'ossidazione.

Il rivestimento può anche contenere degli elementi di lega che, combinandosi con il metallo base, possono migliorare le proprietà chimiche e meccaniche del giunto saldato.

Il materiale del rivestimento, più leggero del metallo fuso, galleggia sul bagno di fusione e dà luogo a uno strato protettivo (scoria), che viene facilmente eliminato dopo la solidificazione e il raffreddamento del cordone.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SALDATURA AD ARCO PROTETTA

Nella saldatura in atmosfera controllata la protezione del bagno di fusione è affidata a un flusso di gas (inerte o attivo). Esso ha la funzione di favorire il mantenimento dell'arco ed di proteggere il bagno di fusione da reazioni chimiche indesiderate (in particolare dall'ossidazione).

I principali procedimenti di saldatura ad arco in atmosfera controllata sono denominati:

- > TIG (Tungsten Inert Gas);
- > MIG (Metal Inert Gas);
- > MAG (Metal Active Gas).

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SALDATURA MAG

Il procedimento è analogo a quello della saldatura MIG, ma in questo caso i gas inerti sono sostituiti da un gas attivo, generalmente anidride carbonica (CO₂).

I vantaggi di questo procedimento rispetto ai sistemi TIG e MIG consistono nella maggiore penetrazione e nel minor costo del gas protettivo.

Il sistema MAG (Metal Active Gas) è utilizzabile solo per la saldatura di acciai al carbonio e di alcuni acciai inossidabili.

Elettrodo : filo acciaio ramato ;

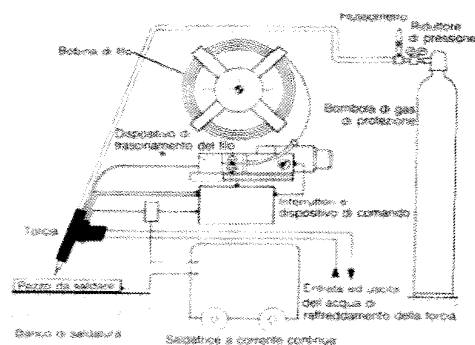
Gas di protezione : CO₂ o sue miscele

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



G.M.A.W. (Gas Metal ArcWelding)

La sigla G.M.A.W. (Gas Metal ArcWelding) ha sostituito le precedenti simbologie TIG , MIG e MAG



La saldatura MIG e MAG è anche detta a filo continuo.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SALDATURA A PUNTI

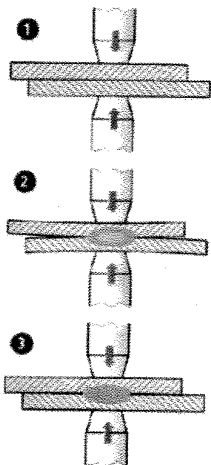


Figura 104
Saldatura per punti

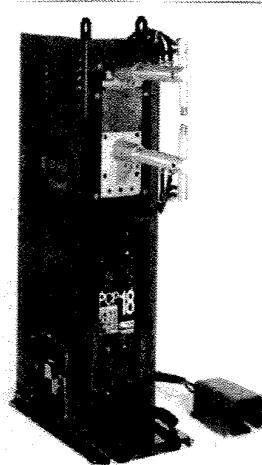


Figura 105
Puntatrice (Telwin - Vicenza)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

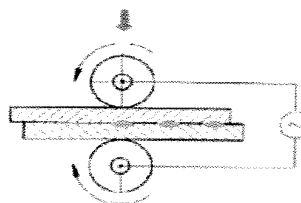


SALDATURA A RULLI

Il principio di funzionamento è analogo a quello della saldatura per punti, ma in questo caso gli elettrodi sono costituiti da rulli.

La corrente viene inviata a intervalli regolari, mentre i rulli rotolano sui pezzi esercitando contemporaneamente la pressione necessaria alla saldatura.

Le lamiere di piccolo spessore devono essere decapate prima della saldatura.



Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



TORCIA AL PLASMA

La TORCIA è dotata di un elettrodo infusibile in tungsteno e di ugello calibrato attraverso cui viene lanciato il gas ionizzato (plasma) ad elevata temperatura 30.000 °C.

Il riscaldamento del gas avviene attraverso un arco elettrico che scocca d un elettrodo infusibile di tungsteno ed il pezzo da saldare .

I gas più usati per la produzione del plasma sono costituiti da miscele di argon ed idrogeno .

Nella saldatura al plasma , la torcia è provvista anche di ugelli anulari per l'emissione di un gas inerte che circonda il getto di plasma e protegge il bagno di fusione

A causa delle elevate temperature , l'ugello deve essere raffreddato con circolazione di acqua.

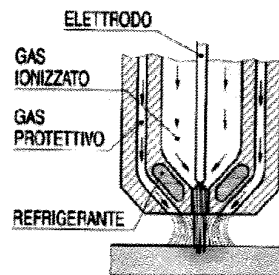


Figura 110
Torcia al plasma ad arco trasferito.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



GENERATORE LASER

Il termine Laser è un acronimo di "Light Amplification Stimulation Emission of Radiation" (Amplificazione della Luce attraverso un'Emissione Stimolata di Radiazioni):

Un generatore di luce laser è un apparecchio in cui un mezzo, gassoso o solido, viene stimolato al fine di emettere un raggio di luce coerente e monocromatico(ad onda sincronizzata, di singola lunghezza).

Il fascio luminoso può essere focalizzato concentrando un'elevata quantità di energia in un singolo punto. L'energia così concentrata permette di raggiungere, in breve tempo, temperature molto elevate, superiori alla temperatura di vaporizzare diversi materiali. Si possono eseguire sia operazioni di taglio, sia di saldatura di metalli.

I due tipi più comuni di laser industriali sono il laser a CO₂ e il laser a neodimio (Nd:YAG). Il laser a CO₂ utilizza un mezzo laserante gassoso, mentre il laser Nd:YAG impiega un materiale laserante cristallino.

I laser a CO₂ sono disponibili con potenze fino a 40 kW; mentre i Nd:YAG fino a 5 kW.

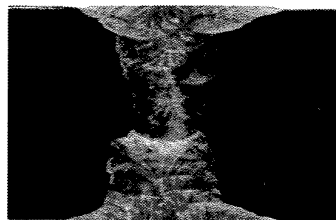
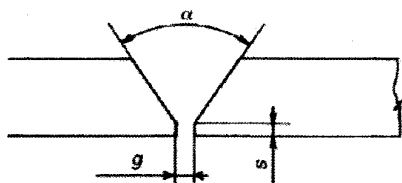
Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



NON È ESAME, MA X IL LAVORO:

• Se la saldatura deve essere fatta in pieno controllo dell'atmosfera → non fare saldatura del titanio al cannello senza le "adeguate precauzioni".
 Cioè ci sono elementi che non possono essere usati come elemento di gasazione.

GIUNTO A PIENA PENETRAZIONE



Per ottenere la massima efficienza del giunto è necessario realizzare la completa penetrazione della zona fusa

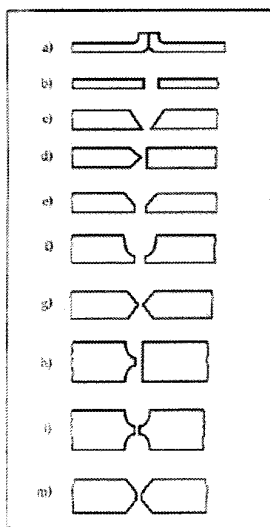
Per piccoli spessori è sufficiente la saldatura con lembi retti in una o due passate contrapposte

Per spessori maggiori si ricorre alla preparazione dei lembi (cianfrino) e alla saldatura multipassata

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



CIANFRINATURA



Per ottenere saldature di qualità, quasi sempre occorre preparare i lembi da saldare in maniera opportuna.

Tale operazione è detta cianfrinatura; la forma e le dimensioni dei cianfrini sono riportate nelle norme tecniche

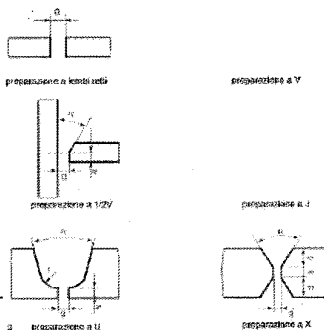


Fig. 25. Preparazione dei lembi nella saldatura. Nella testa (lo spazio fra i due lembi, che viene riempito dal cordone di saldatura, prende il nome di cianfrino).

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE





DESIGNAZIONE SALDATURE

In un disegno ,per individuare i lembi ove si deve eseguire una saldatura si usa un simbolo chiamato Linea Freccia e la doppia linea di riferimento

Doppia linea di riferimento

La doppia linea di riferimento è composta da una linea continua fine e da una linea parallela a tratti fine. Quest'ultima può essere posta indifferentemente sopra o sotto la linea continua fine (fig. 7). La posizione del segno grafico assume un significato particolare: se tale segno è posto sulla linea a tratti la saldatura deve essere eseguita sul "la-

to opposto alla linea di freccia", se è posto sulla linea continua la saldatura deve essere eseguita sul "lato di freccia" (fig. 8).

Nel caso di saldature simmetriche, viene rappresentata la sola linea continua di riferimento, con i segni grafici posti in contrapposizione (fig. 9).



Figura 7
La linea a tratti può essere posizionata indifferentemente sopra o sotto la linea continua fine.

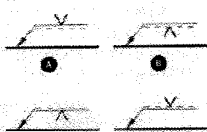


Figura 8
A) Saldatura da eseguire sul lato di freccia.
B) Saldatura da eseguire sul lato opposto alla linea di freccia.

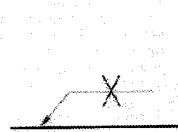


Figura 9
Saldature a V simmetriche.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE

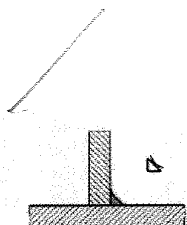


Figura 4
Esempio di applicazione del segno grafico elementare con il segno grafico supplementare.
Saldatura d'angolo con cordone convesso.

DESIGNAZIONE SALDATURE

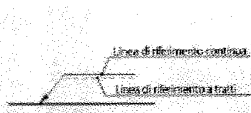


Figura 5
Elementi per completare la rappresentazione della saldatura.

Linea di freccia

Un'asetta con linea continua fine, serve per indicare i lembi su cui deve essere eseguita la saldatura. La posizione della linea di freccia rispetto al giunto identifica il "lato di freccia" e il "lato opposto alla linea di freccia" o "altro lato del giunto" (fig. 6).

La linea di freccia può essere disposta in modo qualsiasi rispetto al giunto tranne per i casi di saldatura a 45° e 135° e a 170° (fig. 2), dove deve avere posizione obbligata verso il lato preparato delle parti.

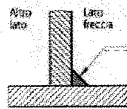
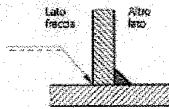


Figura 6

Saldatura dal lato della linea di freccia.



Saldatura sul lato opposto alla linea di freccia.

Tipo di saldatura	Segno grafico	Esempio di rappresentazione
Convessa		
Piana		
Concava		

Segno grafico per la superficie esterna del cordone (convessa , piana , concava)

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



Ultima cosa prima di parlare dell'esame:
 Come faccio a controllare che una saldatura venga o sia fatta bene? Mi devo fidare,
 perché non posso fare un controllo distruttivo su una saldatura!!!
 Nelle case non lo controllo, ma a caso nei casi in cui devo controllarle (con raggi X,
 con correnti indotte, con liquidi penetranti, ...).

QUOTATURA DELLE SALDATURE

Le dimensioni della saldatura vengono poste sui fianchi del segno grafico elementare, con i seguenti criteri:

- Le quote relative alla sezione S va posta alla sinistra del segno grafico;
- La quota relativa alla lunghezza L del cordone va posta alla destra



Figura 10
 Quotatura delle saldature.

Figura 11
 Quotatura delle saldature d'angolo.

Tecnologia dei materiali da costruzione
 Marco ACTIS GRANDE



QUOTATURA DELLE SALDATURE

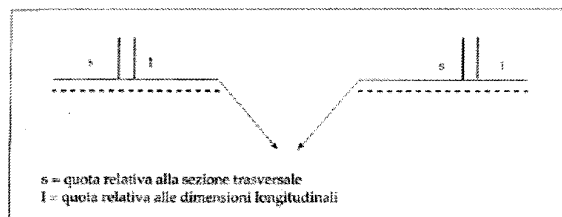


Fig. 31. Indicazione della posizione delle quote rispetto al segno grafico.

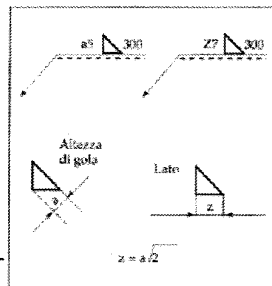


Fig. 32. Metodo di indicazione delle quote per le saldature ad angolo.

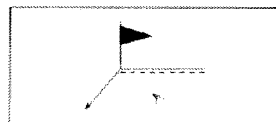


Fig. 34. Saldatura da eseguire in cantiere.

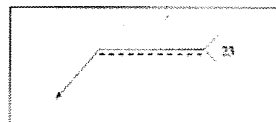


Fig. 35. Indicazione del procedimento di saldatura mediante codice numerico.

Tecnologia dei materiali
 Marco ACTIS GRANDE



CONTROLLO SALDATURE

I controlli non distruttivi si suddividono in due famiglie:

controlli non distruttivi superficiali: danno la possibilità di esaminare i particolari solo a livello superficiale ed al massimo sottopelle. Con l'applicazione di tali metodi di esame si ha solo la possibilità di localizzare l'eventuale presenza dei difetti, identificando solo la loro forma ed estensione, quindi non si riesce a quantificare in modo preciso la profondità del difetto.

controlli non distruttivi volumetrici: al contrario dei metodi superficiali con l'applicazione dei controlli volumetrici si ha la possibilità di verificare l'integrità nel materiale, purtroppo in alcuni casi specifici non si riescono ad individuare difetti superficiali.

Metodi Superficiali

esame visivo
esame con liquidi penetranti
esame con particelle magnetiche.

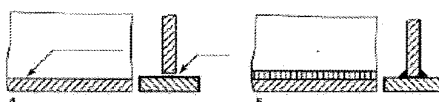
Metodi Volumetrici

esame radiografico
esame radioscopico
esame ad ultrasuoni.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SIMBOLOGIA SALDATURE



RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA

I cordoni di saldatura non vengono rappresentati nel disegno.
Le saldature vengono individuate con la linea freccia, corredata con le altre informazioni sulla forma e dimensioni del cordone e sul metodo

RAPPRESENTAZIONE COMPLETA

I cordoni di saldatura sono rappresentati in vista ed in sezione
In vista si rappresentano con due linee parallele, riempite con archetti tracciati a mano libera

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



SIMBOLOGIA SALDATURE

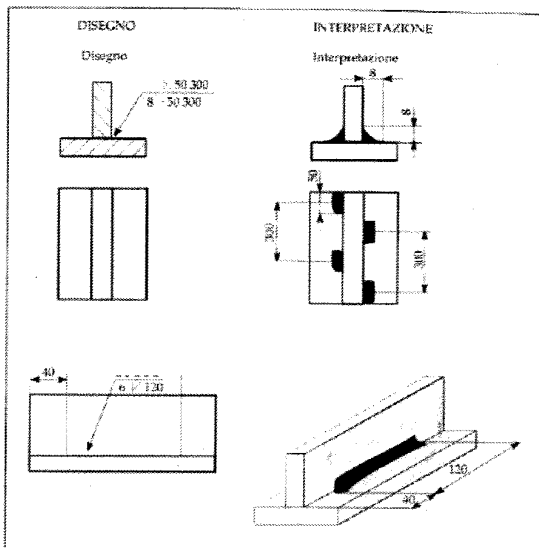


Fig. 37. Designazione di saldature continue e interrotte.

Tecnologia dei materiali di
Marco ACTIS GRANDE



SIMBOLOGIA SALDATURE

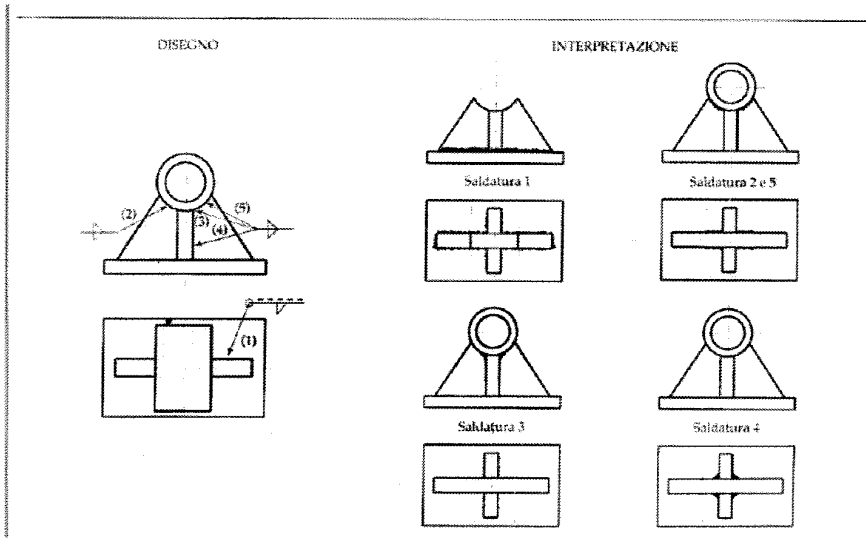


Fig. 38. Disegno di una struttura saldata; interpretazione dei segni grafici.

Tecnologia dei materiali da costruzione
Marco ACTIS GRANDE



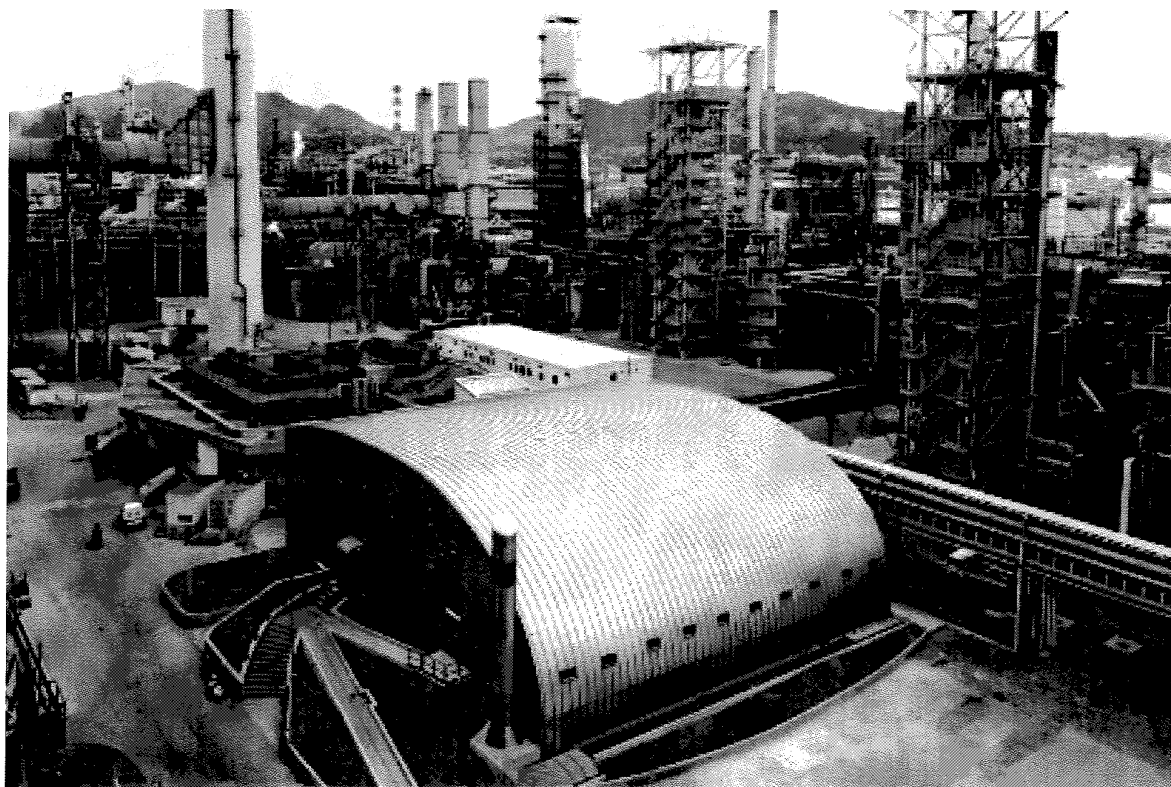


FIG 02 | L'involucro della sala controllo delle Raffinerie Sarde Saras. L'atmosfera è resa ancor più aggressiva dalle emissioni della raffineria stessa.

161
L'AMIERA
NOVEMBRE
2007

mentalmente in cinque grandi sotto-famiglie in funzione del tipo di struttura metallografica che li caratterizza a temperatura ambiente. Si hanno quindi acciai inossidabili austenitici, ferritici, martensitici, austeno-ferritici (duplex) e indurenti per precipitazione (PH – Precipitation Hardening).

Caratteristica comune a tutti questi materiali è l'inossidabilità o, più correttamente, la resistenza alla corrosione. In realtà, infatti, queste leghe sono ossidabilissime, ma il tipo di ossidazione che subiscono, definito come auto-passivazione o passivazione spontanea, è proprio quello che li rende immuni dagli attacchi degli agenti aggressivi.

In parole semplici, ciò che avviene è la formazione sulla superficie dell'inox di un invisibile film di ossido di Cromo (tecnicamente "film di passività"), estremamente sottile, adeso e compatto, che "isola e protegge" il sottostante acciaio dall'ambiente in cui è immerso. È importante sottolineare è che tale meccanismo è del tutto spontaneo, in quanto si innesca semplicemente in presenza di un ambiente ossidante (es. atmosfera) e in virtù di quella che è una caratteristica comune a tutte queste leghe, ovvero la presenza del cromo quale elemento di lega. Tale meccanismo è anche, per così dire, "intelligente", nel senso che si innesca nuovamente nel caso in cui il film di passività venga danneggiato, ripristinandolo

integralmente. Il cromo (Cr): è questo il vero segreto degli acciai inossidabili, che, per essere tali, ne devono contenere almeno il 10,5%, secondo quanto previsto dalla norma EN 10020. Senza questo tenore minimo di Cr il film di passività non potrebbe formarsi in quanto l'adsorbimento di ossigeno sulla superficie del materiale sottoforma di ossido di cromo non potrebbe avvenire.

In linea del tutto generale, si può poi dire che più Cromo è presente in lega e più è elevata la resistenza alla corrosione, tant'è che nella tipologia più diffusa e conosciuta, il 304 (EN 1.4301, X5CrNi 18-10) tale elemento è presente in tenori medi del 18%.

Oltre al cromo (e al carbonio, presente in tutti gli acciai), in lega sono poi presenti altri elementi (nichel, molibdeno, azoto, titanio...), che contribuiscono diversamente a conferire le specifiche caratteristiche ai vari tipi di acciaio inossidabile. Ai fini di quanto trattato in questo articolo, è bene velocemente inquadrare le tre famiglie di inox più impiegate in edilizia e architettura.

Quella degli austenitici è sicuramente la più importante; circa l'80% delle applicazioni che prevedano l'uso di acciaio inox sono coperte dall'impiego di una lega di questa famiglia.

Sono acciai che oltre al Cromo (18% circa), vedono come

mono quindi un rilevante ruolo in fase di scelta per qualsiasi tipo di materiale e applicazione:

a) per il materiale:

- composizione chimica;
- finitura e stato della superficie;
- struttura;
- disegno del particolare;
- modalità di messa in opera;

b) per l'agente aggressivo:

- composizione chimica;
- concentrazione;
- temperatura;
- velocità relativa rispetto al materiale.

Limitatamente al caso delle applicazioni del comparto edilizia-architettura, i fattori fondamentali divengono la composizione chimica del materiale e, aspetto troppo volte trascurato, la finitura superficiale.

Quest'ultimo meriterebbe un'approfondita analisi, anche solo in considerazione del fatto che gli inox vanno in esercizio, per così dire, "nudi", senza rivestimenti protettivi, affidando alla intrinseca risorse di auto-passivazione superficiale la propria durabilità. Si capisce quindi che, in linea del tutto generale, una superficie con finitura più "liscia" meglio resiste alle aggressioni atmosferiche, così come diverrà fondamentale, per favorire il naturale dilavamento operato dalla pioggia, la direzione di eventuali finiture per abrasione.

Tornando invece al fattore composizione chimica della lega, è ormai consolidato il fatto che, per atmosfere marine tipiche delle coste e zone limitrofe, la scelta ricade su materiali a più

alto tenore di cromo e contenenti molibdeno (Mo). Questo secondo elemento incrementa notevolmente la "resistenza" del film di passività, elevando quindi le prestazioni di durabilità dell'inox. Gli acciai austenitici al cromo-nichel-molibdeno tipo AISI 316 (EN 1.4401) e AISI 316L (EN 1.4404) sono quelli che in hanno sempre incontrato maggiore successo nelle diverse applicazioni del comparto edilizia-architettura: arredo urbano, coperture, facciate, barre per cemento armato e così via.

Nelle figg.1-2 sono riportati due esempi di impiego di AISI 316 per il rivestimento di edifici.

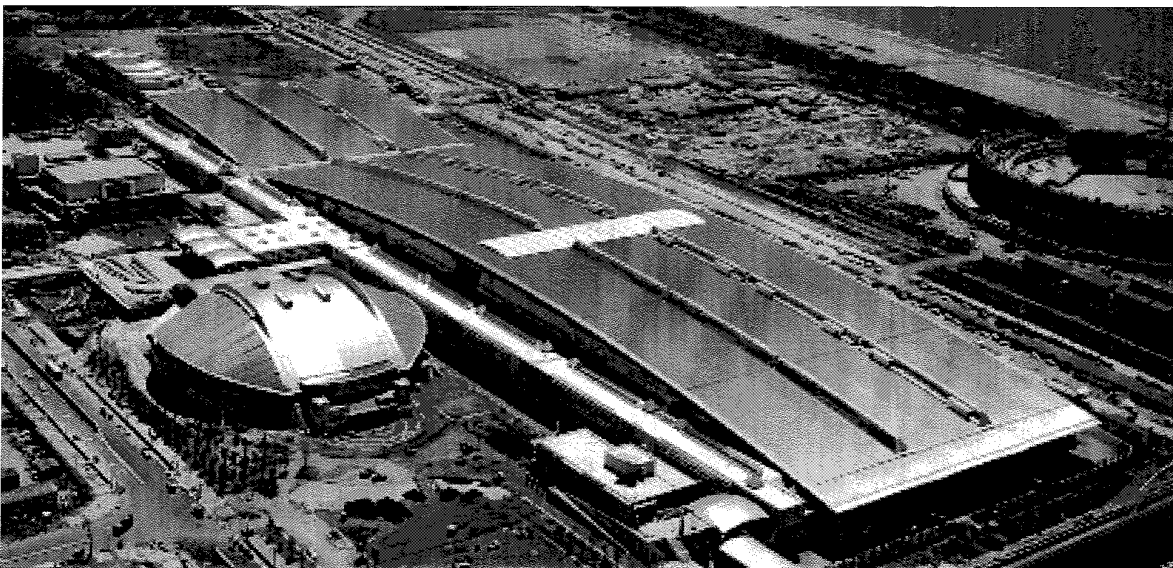
Sempre in AISI 316 è il parapetto che costeggia il lungomare di Alassio; al fine di garantire le massime prestazioni si è scelta una finitura elettrolucidata.

Accanto al più noto acciaio inossidabile austenitico 316/316L al Cr-Ni-Mo, soprattutto in altri paesi, anche gli acciai inossidabili ferritici al Molibdeno vengono impiegati per applicazioni che vedono la presenza di atmosfere marine. In particolare Giappone e Corea annoverano diverse soluzioni costruttive in cui acciai inossidabili ferritici vengono impiegate per coperture di aeroporti o grandi edifici pubblici (es. impianti sportivi), oltre che per facciate e arredo urbano. Questi materiali anche in Italia sono guardati con sempre maggiore interesse, in virtù dei vantaggi economici che questi offrono in confronto ai tradizionali austenitici, su cui pesa la continua variabilità del prezzo del nichel.

Anche gli acciai inossidabili duplex trovano sempre più spazio nel comparto dell'edilizia-architettura. In virtù delle elevate caratteristiche meccaniche e dell'eccellente resistenza

163

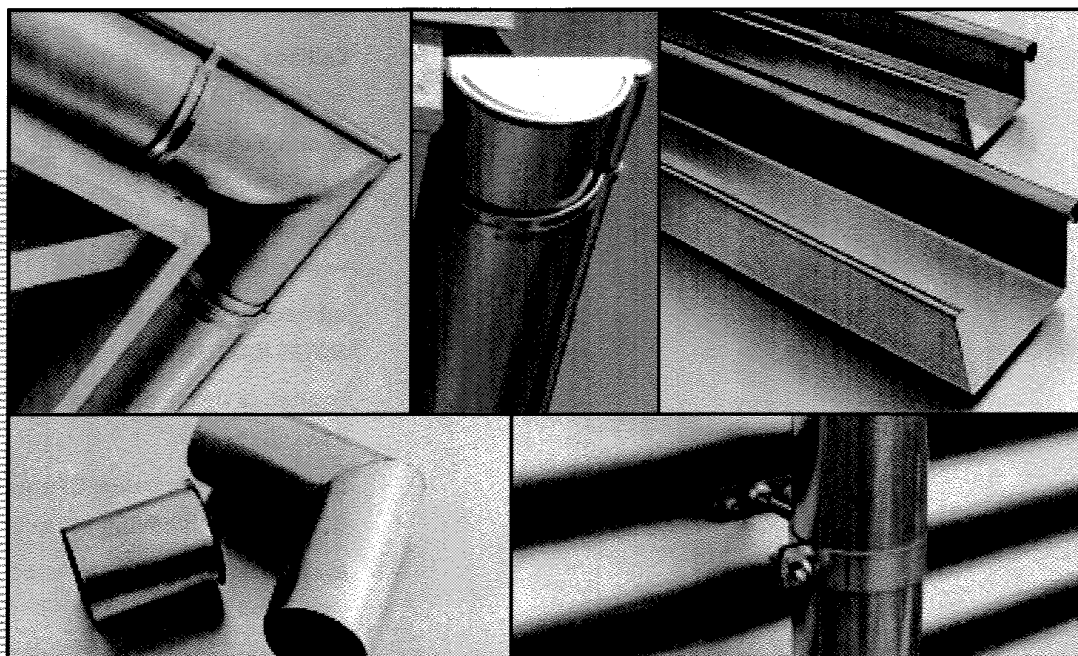
LAMIERA
NO MBRE
2007



FIG|04| Per la copertura del Japan Convention Center, in riva al mare, è stato impiegato acciaio inossidabile ferritico contenente molibdeno (da "Successful use of stainless steel building materials" n.12013, edita da Nickel Institute, www.nickel institute.org).



L'acciaio inossidabile per gronde, pluviali e relativi accessori



Serie "Edilizia", Vol. 8

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER GRONDE, PLUVIALI E RELATIVI ACCESSORI

Edizione

L'acciaio inossidabile per gronde, pluviali e relativi accessori

Prima edizione 2006 (Serie "Edilizia", Vol. 8)

ISBN 2-87997-152-7

© Euro Inox 2006

Versione ceca ISBN 2-87997-176-4

Versione finlandese ISBN 2-87997-157-8

Versione francese ISBN 2-87997-151-9

Versione inglese ISBN 2-87997-094-6

Versione olandese ISBN 2-87997-154-3

Versione polacca ISBN 2-87997-158-6

Versione spagnola ISBN 2-87997-153-5

Versione svedese ISBN 2-87997-156-X

Versione tedesca ISBN 2-87997-155-1

Editore

Euro Inox

Sede dell'associazione: 241 route d'Arlon
1150 Lussemburgo, Granducato del Lussemburgo

Tel. +352 26 10 30 50 Fax +352 26 10 30 51

Ufficio operativo: Diamant Building, Bd. A. Reyers 80,
1030 Bruxelles, Belgio

Tel. +32 2 706 82 67 Fax +32 2 706 82 69

E-mail info@euro-inox.org

Internet www.euro-inox.org

Autore

Gert Bröhl, Colonia, Germania (contenuti, testo)

circa drei, Monaco, Germania (impaginazione, disegni)

Centro Inox, Milano, Italia (traduzione)

Responsabilità

I contenuti tecnici, qui presentati, sono stati attentamente curati da Euro Inox per assicurarne la correttezza. Tuttavia si informa che il materiale contenuto in questo fascicolo è ad uso informativo generale del lettore. In modo particolare, Euro Inox, i suoi soci, il personale e i consulenti, declinano qualsiasi responsabilità per perdite, costi o danni risultanti dall'uso delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Indice

1	Introduzione	2
1.1	Aspetti funzionali dei sistemi di gronda	2
1.2	I sistemi di gronda come caratteristica architettonica	3
1.3	Aspetti ambientali	4
2	Scelta del materiale	5
2.1	Acciai inossidabili ferritici al cromo	5
2.2	Acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel	5
2.3	Acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel-molibdeno	6
3	Finiture superficiali	7
3.1	Finiture standard di acciaieria	7
3.2	Finiture opache standard di acciaieria	8
3.3	Finiture spazzolate e lucide	8
3.4	Rivestimento con stagno	9
3.5	Finiture lucida "per ricottura in atmosfera controllata" (Bright Annealing)	10
3.6	Finitura verniciata	10
4	Ambiti di applicazione	11
4.1	Geometrie dei tetti	11
4.2	Sistemi di gronda su tetti con membrane bituminose	12
4.3	L'acciaio inossidabile e i beni monumentali	13
5	Raccomandazioni per lavorare l'acciaio inossidabile	14
5.1	Attrezzi e macchine	15
5.2	La formatura	15
5.3	La brasatura dolce	16
5.4	Le unioni con adesivi	17
5.5	I fissaggi	17
6	Accessori speciali	18
7	Note finali	20

Foto in copertina:

Kent Lindström/Fotografen i Avesta AB, Avesta (in alto, a sinistra e al centro), Brandt Edeltahldach GmbH, Colonia (in alto a destra, in basso a sinistra), Spengler Direkt, Ermatingen (in basso a destra)

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER GRONDE, PLUVIALI E RELATIVI ACCESSORI

Le cause di questi danni possono essere ampiamente rimosse usando materiali di qualità superiore, unitamente a manodopera professionale. Grazie alla sua elevata durabilità, l'acciaio inossidabile è particolarmente indicato per i sistemi di gronda. Negli ambienti con atmosfera aggressiva, i costi-benefici dell'acciaio inossidabile risultano particolarmente evidenti, in quanto il materiale è molto resistente all'invecchiamento.

Nelle ristrutturazioni dei tetti, gli acciai inossidabili hanno il vantaggio aggiuntivo di poter essere impiegati indipendentemente dai materiali già installati. Ad esempio, i componenti bituminosi, come gli strati impermeabilizzanti, non causano corrosione all'acciaio inossidabile né per contatto diretto, né attraverso l'acqua piovana – cosa che altri materiali non possono garantire.

1.2 I sistemi di gronda come caratteristica architettonica

I sistemi di gronda hanno ben più che il solo scopo funzionale: infatti, sono spesso considerati come parti integranti dell'aspetto architettonico. In termini di scelta dei materiali e di stile del sistema, l'acciaio inox è in grado di soddisfare sia le esigenze del cliente che quelle dell'architetto.

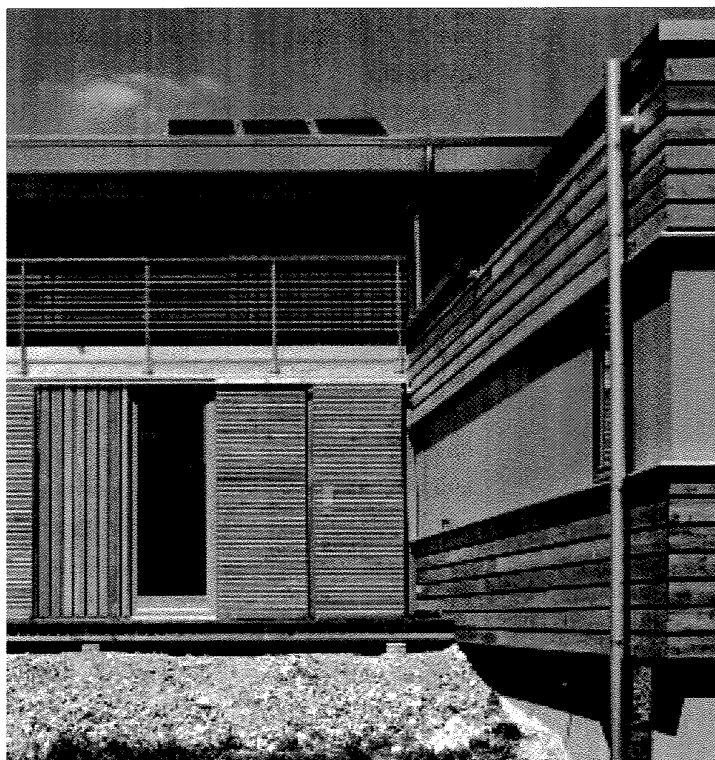
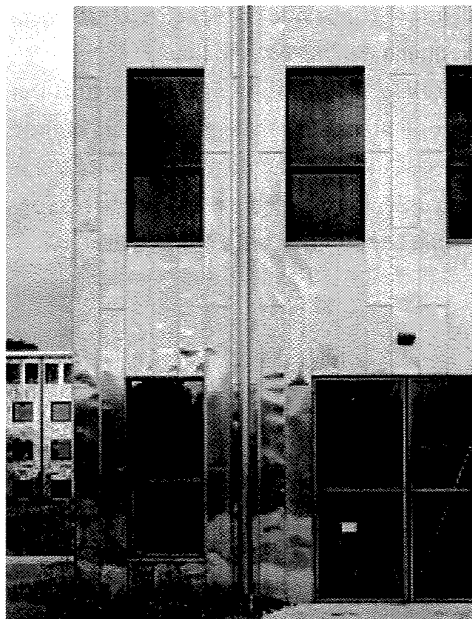


Foto: Binder und Sohn GmbH, Ingolstadt (in alto),
ULG – Facultés des Sciences Appliquées, Bureau d'études
Greisch, Liegi, Jean-Luc Deru, DAYLIGHT s.p.a., Liegi (a sinistra)

*Le nette linee verticali
dei pluviali contrastano
e completano l'aspetto
liscio del rivestimento
aggraffato.*

*Gronda e pluviali inox si
addicono alle tipicità di
aspetto dei materiali
classici delle facciate,
come il legno o i mattoni.*

2 Scelta del materiale

L'acciaio inossidabile è disponibile in oltre un centinaio di tipi⁴⁾. Tuttavia, per i normali sistemi di gronda, se ne utilizza solo un ristretto numero. La scelta è determinata

dalle condizioni atmosferiche del luogo di installazione ma anche le tradizioni costruttive, tipiche di ogni paese, hanno la loro influenza.

2.1 Acciai inossidabili ferritici al cromo

L'acciaio inossidabile al cromo è utilizzato per i tetti. Il tipo 1.4510 è un acciaio ferritico con il 17% di cromo, al quale è stata aggiunta una piccola quantità di titanio. Per l'utilizzo nei tetti, a volte, viene poi ricoperto con uno strato di stagno. Gli acciai inossidabili ferritici, essendo magnetici, si distinguono facilmente da quelli austenitici. Studi protratti nel tempo sulle prestazioni degli acciai al cromo, hanno indicato una buona resistenza alla corrosione nelle aree con basso inquinamento atmosferico, come possono essere quelle rurali o quelle delle piccole città.

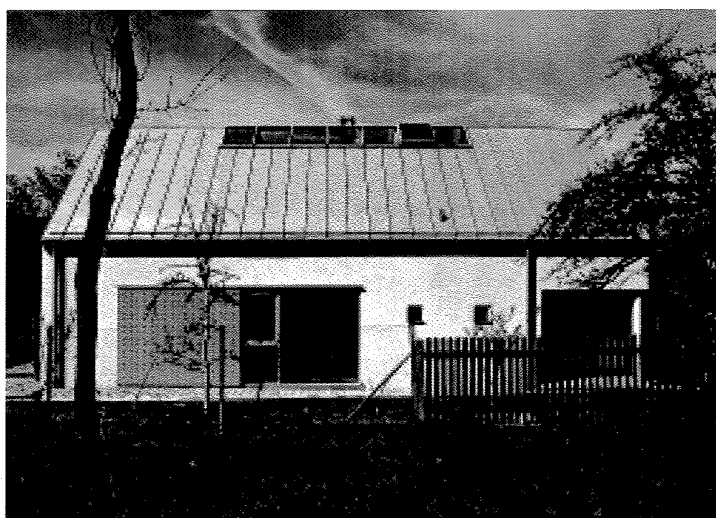


Foto: Marianne Heil, Monaco

Acciaio inossidabile 1.4510 ricoperto di stagno in ubicazione rurale.

2.2 Acciai inossidabili austenitici al cromo-nichel

Un tipo comune di acciaio inossidabile al cromo-nichel è l'1.4301. Questo acciaio ha in lega percentuali di cromo e nichel, ha una struttura austenitica e non è magnetico. Comunemente chiamato 18/8, 18/10⁵⁾ o 304, questo tipo è di gran lunga l'acciaio

inossidabile più utilizzato. E' impiegato in una grande varietà di applicazioni e ciò è confermato dal fatto che costituisce circa il 70% del mercato mondiale dell'acciaio inossidabile. Il contenuto di nichel rende gli acciai al cromo-nichel più resistenti alla corrosione di

⁴⁾ Vedere Tables of Technical Properties, Lussemburgo: Euro Inox 2004 (Serie Materiali e applicazioni, Vol. 5), ugualmente disponibile sul sito www.euro-inox.org come database online.

⁵⁾ Il comune acciaio inossidabile 1.4301 è spesso chiamato "18/8" o "18/10" perché la lega contiene da 18 a 19,5% di cromo e da 8 a 10,5% di nichel. Tuttavia, in questa gamma di tenori di cromo e di nichel, sono compresi molti tipi di acciai inox che possono differire tra loro non solo per il contenuto di altri elementi di lega e di carbonio, ma anche per le loro proprietà tecniche. Questa terminologia corrente non è però adeguata a identificare correttamente un tipo particolare. Per evitare malintesi e reclami è opportuno utilizzare i numeri o i nomi dei materiali stabiliti nella norma EN 10088.

3 Finiture superficiali

La gamma di finiture superficiali disponibili per l'acciaio inossidabile è tutt'altro che ristretta. Al contrario, la scelta è estremamente ampia: da quella lucida, quasi speculare, a quella opaca, da quella satinata a quella colorata⁷⁾. Le finiture superficiali che seguono sono quelle più comunemente reperibili tra

gli accessori prefabbricati per lattoneria e sul mercato.

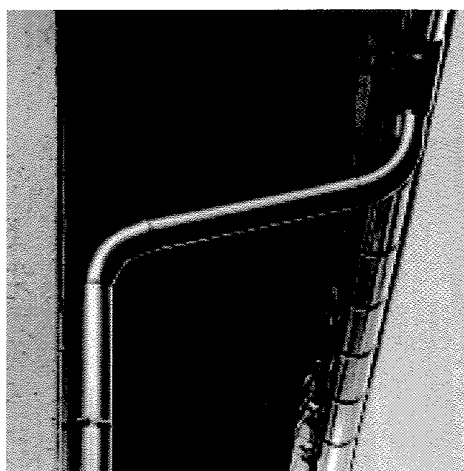
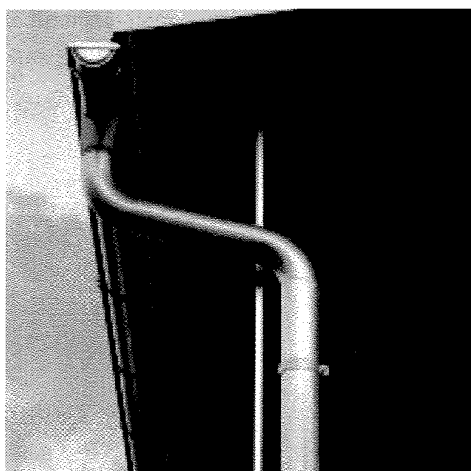
Di norma, le superfici più lisce e brillanti aiutano a ridurre la possibilità che le particelle di sporco vi aderiscano e quindi rimangono più facilmente pulite.

3.1 Finiture standard di acciaieria

La finitura lucida standard di acciaieria è generalmente conosciuta come finitura 2B ed è spesso usata per la costruzione di sistemi di gronda. L'aspetto visivo di questa superficie può essere descritto come una leggera lucentezza opalescente, che ben si armonizza con gli edifici moderni. La sua equivalente opaca è chiamata 2D.

Nell'architettura moderna, un sistema di gronda in acciaio inossidabile, con una finitura lucida standard di acciaieria, costituisce un interessante contrasto visivo se è accostato a un tetto con tegole o vetrate colorate. Questa lucentezza è caratteristica dell'acciaio inossi-

dabile e non può essere ottenuta con nessun altro materiale. Inoltre, dato che l'acciaio con una finitura lucida standard di acciaieria non necessita di nessun altro trattamento dopo la laminazione, questa soluzione si dimostra anche particolarmente economica.



Sistemi di gronda in acciaio inossidabile con finitura standard di acciaieria: 2B lucida (a destra) e 2D opaca (a sinistra).

Foto: Spengler Direkt AG, Ermatingen (a sinistra), Gert Bröhl, Colonia (a destra)

⁷⁾ Per una definizione delle finiture unificate secondo la norma EN 10088, si faccia riferimento alla Guida alle finiture superficiali degli acciai inossidabili, Lussemburgo: Euro Inox 2000 (Serie Edilizia, vol. 1), disponibile anche sul sito web di Euro Inox.

3.4 Rivestimento con stagno

Premettiamo che tale finitura è scarsamente impiegata in Italia, mentre trova più ampia applicazione in altri paesi europei, come, per esempio, la Francia.

I tipi 1.4510 e 1.4404 sono prodotti, da molti anni, anche con una ricopertura di stagno. Questa finitura reagisce in un modo molto diverso dall'acciaio non rivestito, nel senso che cambia, col passare del tempo, in modo simile alla superficie dei classici metalli da costruzione (es. lo zinco o il rame) con finitura di acciaieria. Di solito avviene un parziale mutamento di colore che si trasforma poi gradualmente in una patina grigio-opaca.

I tempi per lo sviluppo di questa patina sono diversi. Nel caso di componenti frequente-



Sviluppo di una patina su di un acciaio stagnato di tipo 1.4404. A sinistra: nuovo; a destra: dopo circa due anni di esposizione alle intemperie.

mente bagnati dalla pioggia, il processo di trasformazione è notevolmente più veloce di quello dei componenti meno esposti.

Le superfici stagnate sono spesso richieste per gli edifici più antichi e sono di uso generalizzato per quelli monumentali. L'acciaio inossidabile stagnato è il materiale prescelto per le costruzioni di interesse storico nelle quali l'impermeabilità all'acqua deve essere garantita per un lungo periodo di tempo e dove si richiede l'armonizzazione con altri materiali tradizionali più antichi (vedere il capitolo 4.3).



Impiego di acciaio ferritico stagnato, tipo 1.4510, sui pluviali di una chiesa storica.

Foto: Gert Bröhl, Colonia

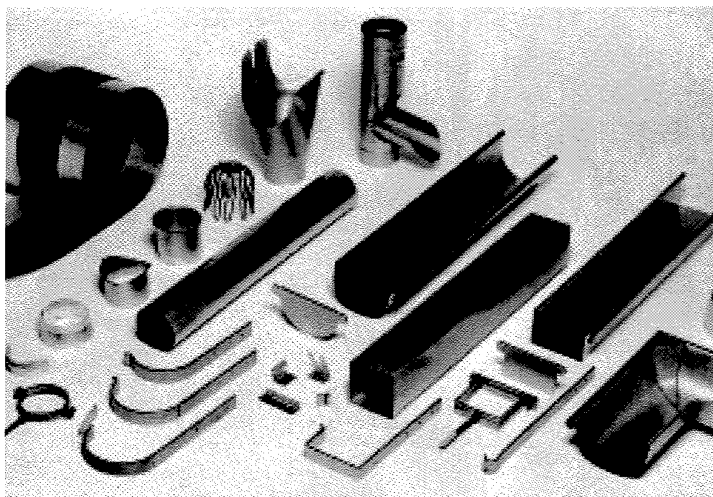
4 Ambiti di applicazione

L'acciaio inossidabile, di fatto, può essere utilizzato in tutti i tipi di sistemi di smaltimento acque dei tetti.

4.1 Geometrie dei tetti

Se il progetto globale richiede profilati con sezione tonda o scatolata, esiste un'ampia gamma di grondaie e accessori di qualità disponibili come componenti standard. Quasi tutti i formati proposti in altri materiali sono forniti anche in acciaio inossidabile – compresi quelli per i tetti che richiedono sistemi di gronda particolarmente grandi oppure piccoli.

Anche nel caso di grondaie nascoste, che spesso devono essere costruite appositamente, è possibile reperire facilmente componenti in versione inox. Questi tipi sono utilizzati negli edifici residenziali in cui la grondaia deve rimanere nascosta oppure quando il bordo del tetto rappresenta una



Accessori per tetti in dimensioni standard e speciali.

caratteristica architettonica particolare. Negli edifici commerciali, le grondaie nascoste sono spesso un'esigenza imposta dalla forma del tetto. Così anche per le costruzioni di forma più arrotondata, le grondaie possono essere costruite con segmenti di corrispondente curvatura.

Le grondaie nascoste sono preferibili quando il bordo del tetto rappresenta una caratteristica architettonica.

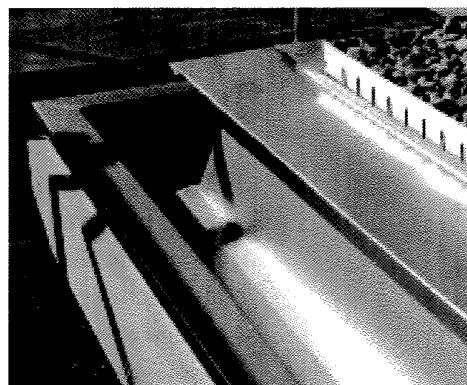
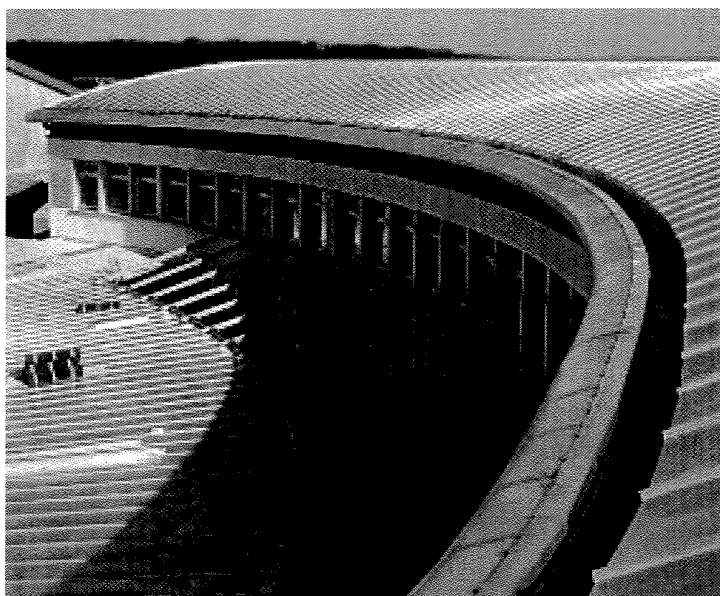


Foto: Brandt Edelmetall GmbH, Colonia (in alto), UGINE & ALZ, La Défense (in basso a sinistra), Binder & Sohn, Ingolstadt (in basso a destra)

Grondaie nascoste in un edificio scolastico ad Allonnes, Francia.

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER GRONDE, PLUVIALI E RELATIVI ACCESSORI

In questi casi l'acciaio inossidabile è la soluzione migliore, infatti molti anni di esperienza hanno dimostrato che è resistente alla "corrosione da bitume". Inoltre, il suo impiego consente di risparmiare il tempo e il denaro

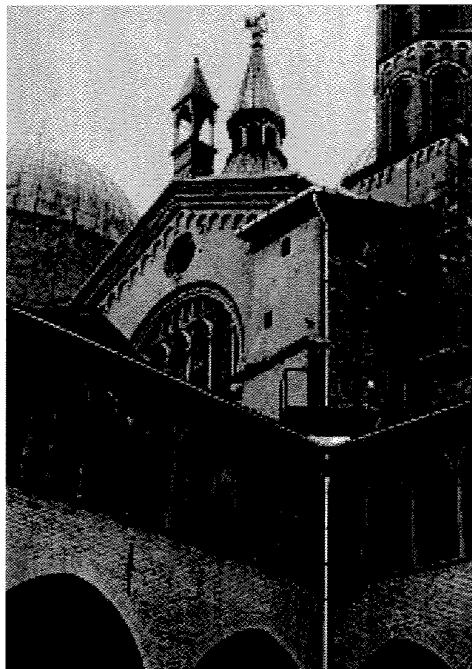
che sarebbero necessari per applicare e mantenere un rivestimento protettivo. In questo modo, un materiale di qualità superiore dimostra di essere la soluzione più economica in un'analisi del ciclo di vita⁹⁾.

4.3 L'acciaio inossidabile e i beni monumentali

L'acciaio inossidabile è anche disponibile con finiture che si prestano molto bene per l'impiego sui beni monumentali. Contrariamente a ciò che si crede abitualmente, il materiale non deve necessariamente avere sempre una superficie brillante o lucida. Una tale finitura contrasterebbe certamente con l'aspetto di un edificio storico.

Una finitura opaca (stagnata o laminata opaca) crea un effetto molto simile a quello dei materiali più tradizionali. Grazie alla sua resistenza intrinseca alla corrosione l'acciaio inox aiuta a proteggere gli edifici per generazioni contro i rischi di infiltrazioni d'acqua proveniente dalle grondaie.

Foto: Fausto Capelli, Centro Inox, Milano (in basso), UGINE & ALZ. La Défense (a destra)



L'acciaio inox opaco utilizzato per edifici monumentali e altri beni storici richiama l'aspetto dei tradizionali materiali metallici usati per le coperture. (Basilica di Sant'Antonio, Padova, Italia).

La durabilità superiore dell'acciaio inossidabile è un importante vantaggio supplementare. (Basilica di St. Martin-de-Tours, Francia).

⁹⁾ Il software del Life Cycle Costing (LCC) di Euro Inox è uno strumento per calcolare il costo del ciclo di vita dell'acciaio inossidabile comparato con quello di altri materiali. Il programma può essere scaricato liberamente dal sito web www.euro-inox.org, oppure è possibile ordinarne gratuitamente una copia su CD-ROM.

5.1 Attrezzi e macchine

Le cesoie per lamiera sono lo strumento migliore per tagliare l'acciaio inossidabile. Come tutti gli strumenti, anche le cesoie devono essere libere da particelle di ruggine. Dischi da taglio o abrasivi e seghe circolari sono impiegati limitatamente. Il forte calore prodotto durante l'operazione di taglio causa, infatti, uno scolorimento e l'insita resistenza alla corrosione del materiale non può più essere garantita in queste zone. Quando l'acciaio inossidabile stagnato viene tagliato con questo metodo, lo stagno diminuisce, riducendo così l'attitudine alla brasatura del materiale in quel punto. Le aree scolorite per l'azione del calore, devono essere tagliate manualmente e facendo attenzione alla pulizia. Se si impiegano dischi da taglio, questi devono essere adatti

all'impiego con acciai inossidabili e non possono contenere o rilasciare alcuna particella estranea ferrosa. A parte ciò, si possono utilizzare utensili e macchine di uso comune, comprese, ad esempio, presse manuali e meccaniche per piegatura e cesoie a ghigliottina.

E' comunque necessario ribadire che la superficie di tutti gli attrezzi e i macchinari deve essere esente da particelle di ferro o di ruggine. Questo perché, a causa della reazione galvanica tra il ferro e l'acciaio inossidabile, queste particelle sarebbero soggette a una corrosione accelerata. I prodotti di corrosione risultanti non solo sono antiestetici, ma possono anche compromettere lo strato "passivo", che normalmente si autorigenera, e danneggiare l'acciaio inossidabile stesso.

5.2 La formatura

L'acciaio inossidabile ha proprietà meccaniche superiori ad altri metalli per edilizia. Eppure, la tipica lamiera inox per la lattineria dei tetti ha spessori da 0,4 a 0,5 mm soltanto e quindi significativamente più sottili di quelli di altri metalli. Le operazioni di formatura possono essere svolte, manualmente o automaticamente, con strumenti e procedure normali. E' necessario fare attenzione a evitare la contaminazione ferrosa, per esempio riservando un gruppo di utensili manuali esclusivamente per l'uso con l'acciaio inossidabile, oppure avendo cura di pulirli accuratamente prima di utilizzarli su di esso.

Formatura in cantiere di gronde nascoste in acciaio inossidabile di spessore 0,4 mm.



Foto: UGINE & ALZ, La Défense

5.4 Le unioni con adesivi

L'incollaggio è stato recentemente accettato come metodo di giunzione ed è ora inserito nei codici di buona pratica delle associazioni professionali. Nei sistemi di gronda il tipo più comune di adesivo impiegato è quello poliuretanico, applicato usando beccucci triangolari in spessori specificati dal produttore. Le superfici da unire devono essere pulite, asciutte e prive di grasso. Generalmente l'incollaggio richiede una temperatura ambiente di circa 5°C. Durante la fase di indurimento, la giunzione non deve essere soggetta ad alcuna forza.

L'incollaggio non è affatto meno impegnativo della brasatura. Richiede la stessa cura nella progettazione e nella fabbricazione. Dato che le giunzioni con adesivi sono meno resistenti alle sollecitazioni da taglio delle corrispondenti brasate, è necessario evitare le



Foto: Willem De Roover, Ghent

Speciali attrezzi sono disponibili per mantenere in posizione le giunzioni incollate durante il tempo di polimerizzazione.

tensioni dovute alle unioni imperfette e tenere in considerazione la dilatazione termica. Potrebbe essere consigliabile applicare dei rivetti per rinforzare la giunzione. Speciali dispositivi sono reperibili per rinforzare i giunti finché la polimerizzazione non sia completata. Esperienze pratiche su lungo termine con l'incollaggio su sistemi di gronda metallici sono, per ora, limitate.

Per evitare il rischio di corrosione galvanica, anche i fermatubo devono essere di acciaio inossidabile.

5.5 I fissaggi

Per evitare il rischio di corrosione galvanica¹²⁾, staffe, viti, chiodi, rivetti, ecc. usati per fissare i componenti dei sistemi di gronda devono anch'essi essere di acciaio inossidabile. Scegliere anche qui lo stesso materiale aiuta ad assicurare che tutte le parti del sistema di deflusso delle acque dal tetto – gronde, accessori e fissaggi – abbiano la stessa durata di vita utile.

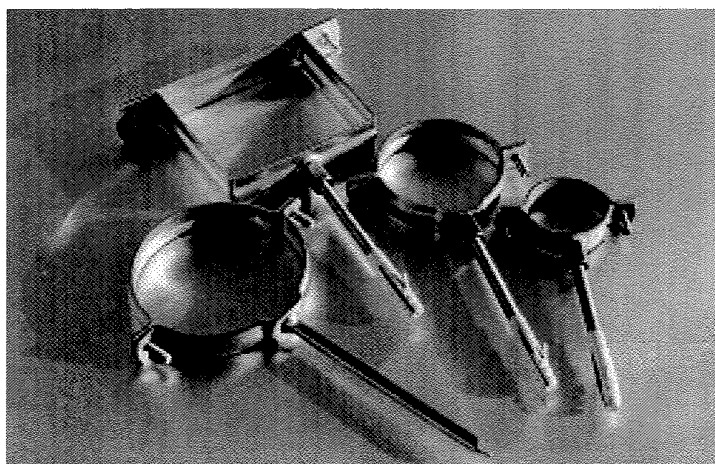
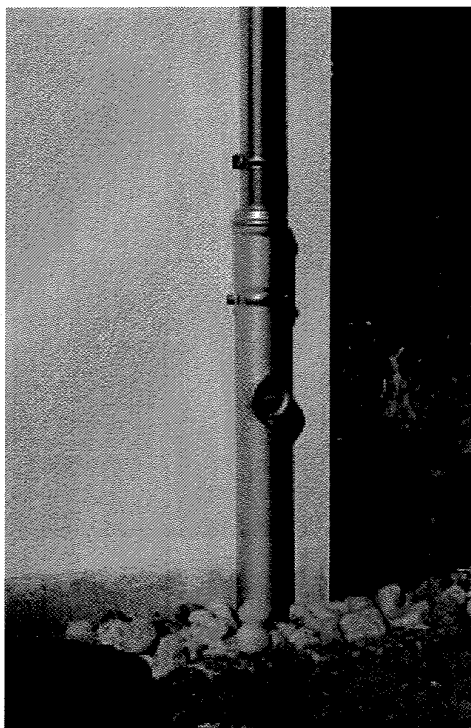


Foto:
Brandt Edelstahl Dach GmbH,
Colonia

¹²⁾ Vedere anche: L'acciaio inossidabile per le coperture – Guida tecnica, Lussemburgo: Euro Inox 2003 (Serie Edilizia, Vol. 5), p. 13

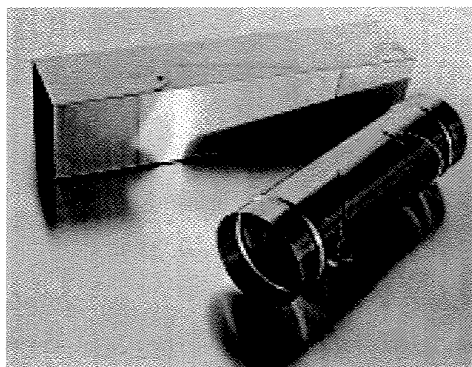
L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER GRONDE, PLUVIALI E RELATIVI ACCESSORI



Pluviale con sportello d'ispezione.

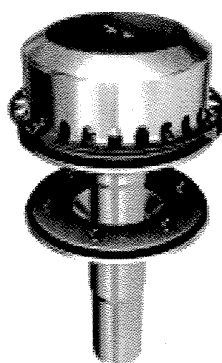
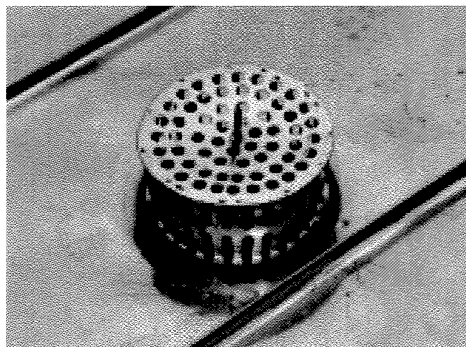
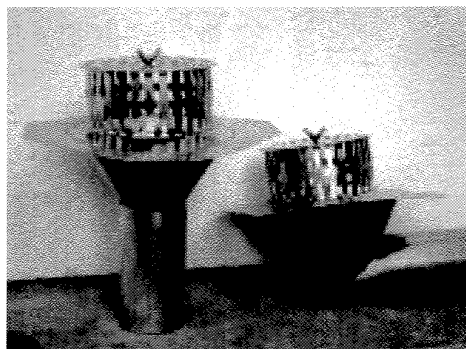
Foto: Wilmes GmbH, Winterberg-Silbach (in alto a sinistra), Lorowerk, Bad Gandersheim (al centro), Willem de Roover, Ghent (in alto a destra), Binder und Sohn, Ingolstadt (a metà sulla destra, in basso), Gert Bröhl, Colonia (in basso a sinistra)

Elementi d'accesso per pluviali a sezione quadra e tonda.

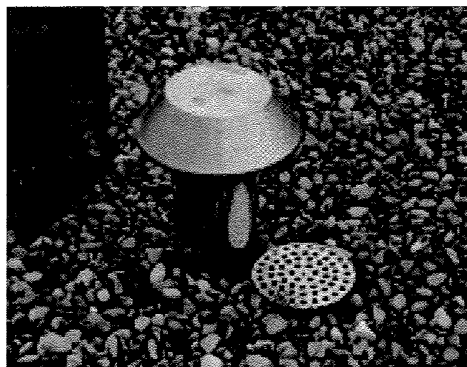


componenti di dimensioni ridotte, comprendenti canali di scolo, tubature, gomiti e manicotti. Sono inoltre disponibili, in acciaio inossidabile, raccordi per convogliare insieme più canali di scolo di dimensioni inferiori, così come pluviali con saracinesche d'ispezione e di deviazione per far defluire le acque in contenitori, in canali di scolo o in pozzetti di smaltimento interrati.

Bocchelli di scolo in acciaio inox prima e dopo il posizionamento nella lamiera del tetto.



Sistema di scarico a depressione in acciaio inossidabile.



Bocchello di acciaio inossidabile su un tetto a terrazza zavorrato, vicino a una bocchetta di ventilazione e a un rivestimento per camino del medesimo materiale.

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Musei e gallerie d'arte

Museo, Henley-on-Thames, Inghilterra

Cliente:

River and Rowing Foundation,
Henley-on-Thames

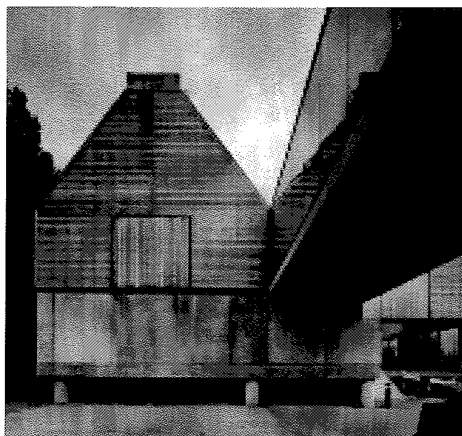
Architetti:

David Chipperfield Architects, Londra

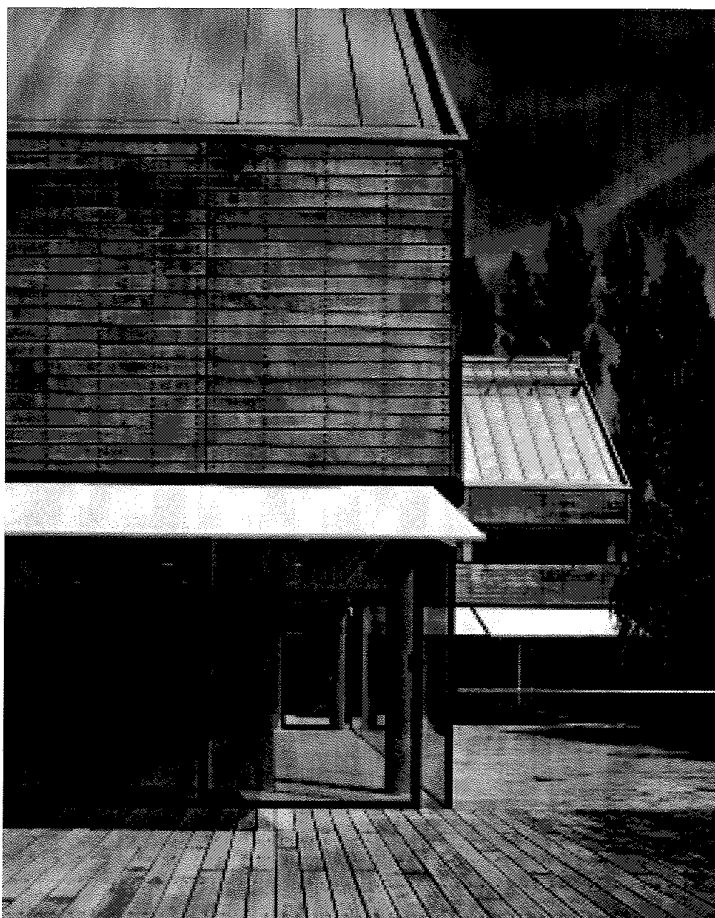
Con il tempo, sia il rivestimento in quercia della facciata, che la lamiera inox del tetto, ricoperta di stagno, assumeranno una patina che contrasta e al tempo stesso si armonizza con l'ambiente circostante.

Lo stile progettuale di questo museo del canottaggio, della storia locale e del Tamigi, riprende e reinterpreta elementi presi dalle tradizioni architettoniche dei granai e delle case galleggianti del luogo.

L'ampio uso del cemento, del legno, del vetro



Le forme e i materiali di questo museo lungo il Tamigi traggono ispirazione dall'eredità architettonica locale.



e dell'acciaio inossidabile, sottolinea le lineari semplici forme degli edifici che ospitano il museo – due volumi, uno leggermente arretrato rispetto all'altro, collegati per mezzo di un lungo ponte.

L'area al piano terra, dotata di ampie vetrate, ospita la reception e gli spazi pubblici, mentre le zone che accolgono le esposizioni sono situate nelle parti chiuse, rivolte verso l'interno dell'edificio.

I ripidi tetti, rivestiti di una lamiera di acciaio inossidabile ricoperta di stagno, terminano a filo dei bordi delle pareti laterali. Anche all'altezza dei cornicioni, grazie ai pluviali nascosti, la superficie del tetto sembra confluire senza giunzioni nella facciata rivestita di legno.

Foto: Richard Bryant / Arcaid, Londra

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Arts Centre, Salford, Inghilterra

Cliente:

The Lowry Trust, Salford

Architetti:

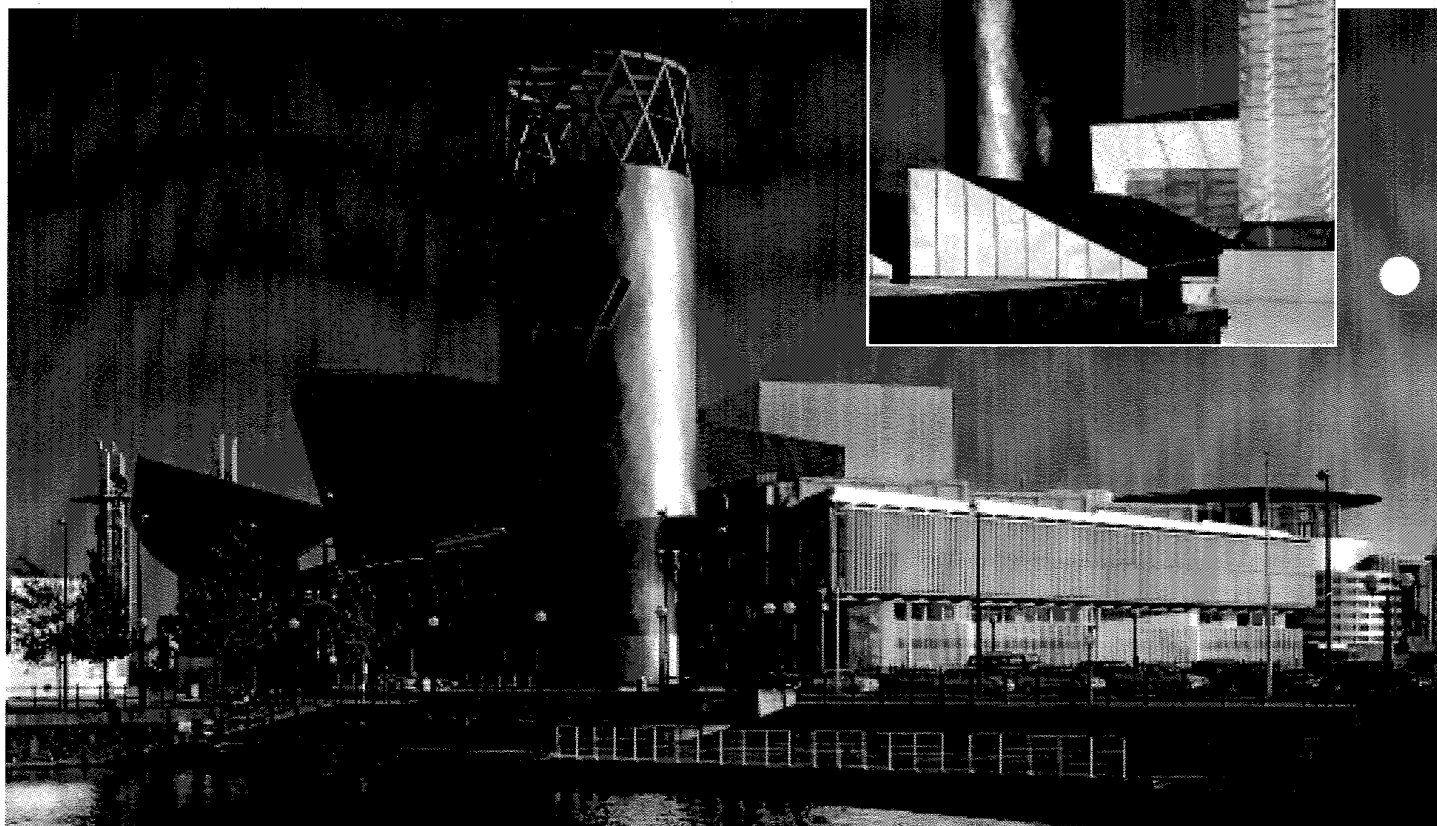
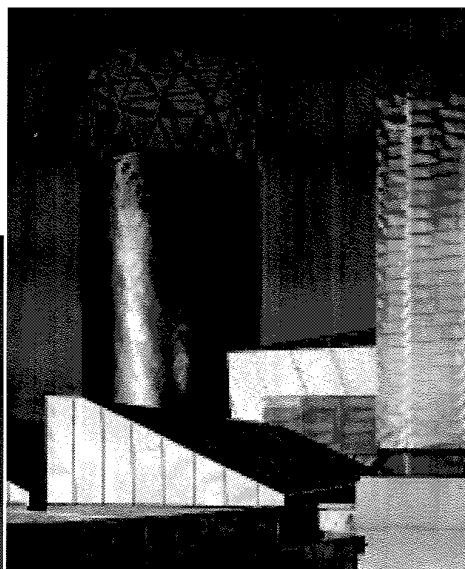
Michael Wilford and Partners, Londra

Questo centro per le arti visive e sceniche è situato in posizione prominente, all'estremità di un molo, nell'area in rapido sviluppo di Salford Quays. Il complesso edilizio, di per sé simile a una gigantesca scultura di acciaio inossidabile e vetro, ospita due teatri, gallerie espositive, bar, caffè e un ristorante.

Il gioco di riflessi sulle differenti superfici inox, lucide e opache, fa sì che l'edificio costituisca già di per se stesso un'attrattiva.

Foto: Richard Bryant / Arcaid, Londra

Alle diverse geometrie dei fabbricati corrispondono i diversi tipi di leghe inox, di superfici e di tecniche di fissaggio usate per le facciate e per i tetti. Per le coperture verticali con giunzioni aggraffate, è stato usato acciaio inossidabile (del tipo EN 1.4401) con finitura opaca di acciaieria, mentre per le superfici piane sono stati utilizzati pannelli autoportanti in acciaio inox duplex EN 1.4362 ad alta resistenza.



L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

**Universum® Science Centre, Brema,
Germania**

Cliente:
Stiftung Universum GmbH, Brema
Architetto:
Thomas Klumpp, Brema

*Simile alla bocca di un
pesce, la striscia fine-
strata divide la struttura
in due parti uguali.*

Il nuovo Universum® Science Centre dell'Università di Brema, sede di presentazioni e mostre scientifiche, con la sua forma ricurva, sembra un gigantesco pesce uscito dall'acqua. Per la sua forma originale ed espressiva, il centro, situato all'ingresso del campus universitario nell'ambito del complesso congressuale, si caratterizza come un edificio adibito ad eventi speciali. Il rivestimento di acciaio inox, luccicante e argenteo come squame, rafforza la somiglianza

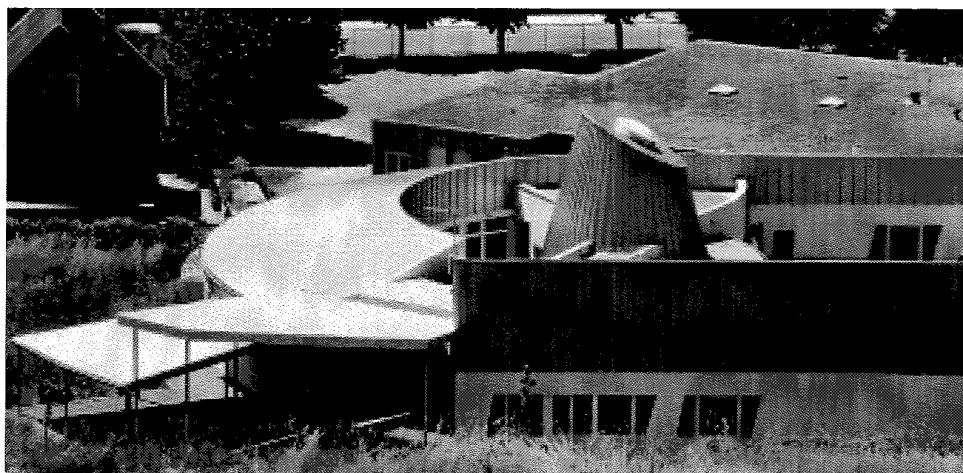


Foto: Universum® Science Centre, Brema



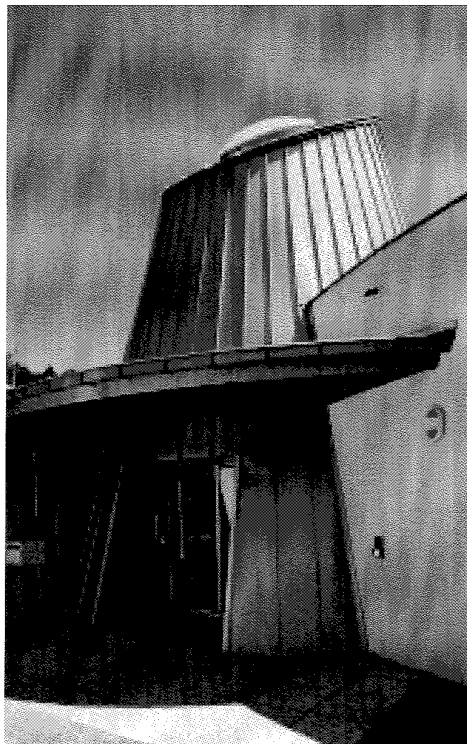
*La luccicante superficie,
simile alle squame di
pesce, di questo stupe-
facente edificio, ricopre
una struttura di calce-
struzzo armato che
racchiude gli spazi espo-
sitivi.*

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE



Sia i tetti che gli alti parapetti delle facciate sono stati rivestiti con lo stesso materiale – acciaio inossidabile grigio opaco.

Foto: Eric Avenel, Parigi



Le forme geometriche conferiscono un aspetto singolare a questo complesso situato su di un unico piano.

Centro per disabili, Montbard, Francia

Cliente:

Mutualité de la Côte d'Or, Digione

Architetto:

François Brandon, Digione

La forma e la struttura di questo centro sono pensate in funzione delle persone cui è destinato: i bambini disabili. Una struttura troncoconica, sede della reception e degli uffici, indica il centro del complesso. La luce qui entra attraverso il lucernario situato nella parte angolare tronca del cono. Corridoi luminosi e aree ausiliarie si dipartono da questa zona curvando a semi-cerchio e affacciandosi verso l'esterno o verso la terrazza-giardino interna.

Sia le tettoie spioventi verso l'interno che quelle verso l'esterno, come pure la zona parapetto e il cono sopra l'ingresso, sono completate con coperture o rivestimenti aggraffati di acciaio inossidabile grigio opaco.

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Scuola secondaria, Mössingen, Germania

Cliente:

Comune di Mössingen

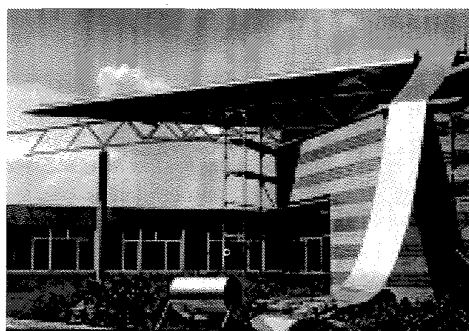
Architetti:

Denzer + Jaschke, Fellbach

La nuova ala a due piani della "Grammar School" di Mössingen, edificio risalente agli anni '70, contiene 23 classi, una sala per la musica e una sala riunioni. La geometria triangolare del nuovo edificio si armonizza bene con le costruzioni preesistenti, pur conservando una sua precisa identità.

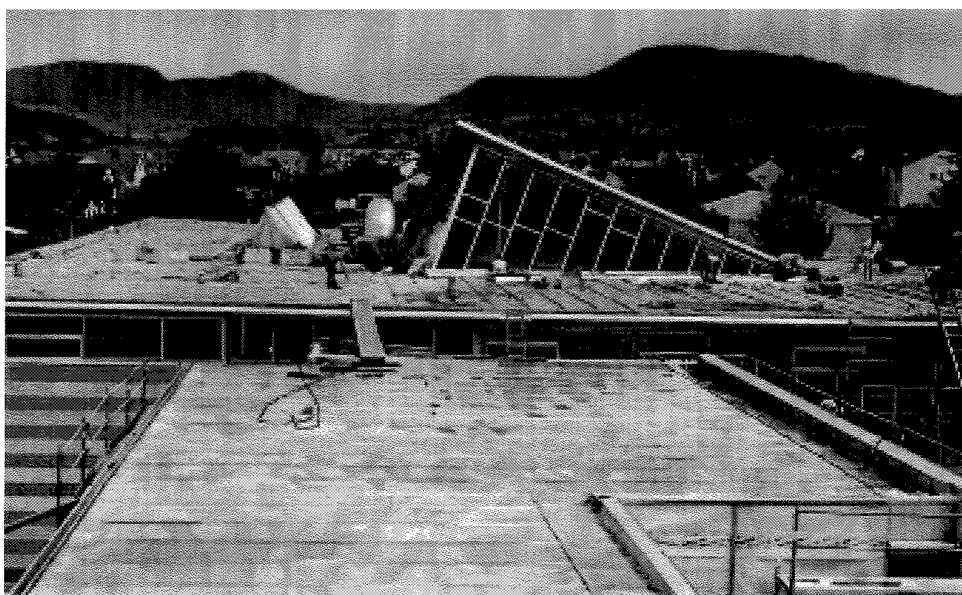
Il tetto, a forma appiattita, sostenuto da travi in acciaio e da un insieme di arcarecci in acciaio e legno, aggetta ben oltre i limiti del triangolo. La superficie superiore di questo tetto piano, non ventilato, è rivestita con elementi di acciaio inossidabile saldati in continuo.

Questo rivestimento, perfettamente impermeabile, è la base ideale per un ampio tetto a prato, in grado di trattenere la maggior parte delle acque meteoriche. Una copertura



I nastri di acciaio inossidabile mentre vengono tagliati a misura in cantiere.

Foto: Denzer + Jaschke, Fellbach



Il tetto di acciaio inossidabile saldato in continuo prima della piantumazione (destra) e dopo (pag. 11).

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Chiese

Chiesa Luterana, Holzkirchen, Germania

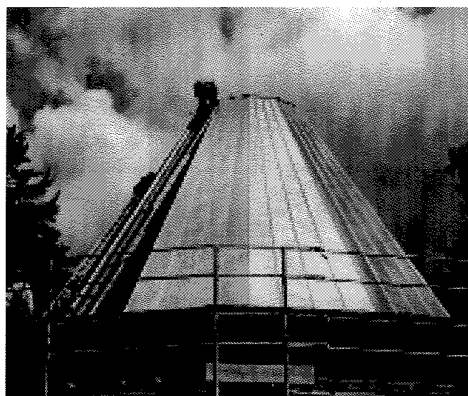
Cliente:

Evang.-Luth. Kirchengemeinde, Holzkirchen

Architetti :

Lichtblau + Bauer + Lichtblau, Monaco

La struttura in legno a dodici facce è il nuovo cuore del centro parrocchiale. L'aspetto accogliente e l'atmosfera invitante della chiesa nascono dallo sfruttamento della luce naturale del giorno, dall'alto grado di trasparenza e, non ultimo, dalla scelta dei materiali impiegati. Legno e vetro predominano nella sala centrale principale e nelle stanze ausiliarie che la circondano. Per il tetto si è utilizzato acciaio inossidabile ricoperto di stagno sia perché riduce l'impatto visivo della costruzione sia perché conferisce un tocco di leggerezza all'edificio se, come in questo caso, è accoppiato con fasce continue di finestre poste al di sotto dei tetti variamente inclinati. La lamiera del tetto, di acciaio inossidabile, spessa 0,5 mm, è stata installata in strisce sia parallele che rastremate, unite da una aggraffatura a doppio bloccaggio.



La lamiera inox ricoperta di stagno, che è all'inizio leggermente riflettente, presto diverrà di un grigio opaco, per effetto dell'ossidazione.

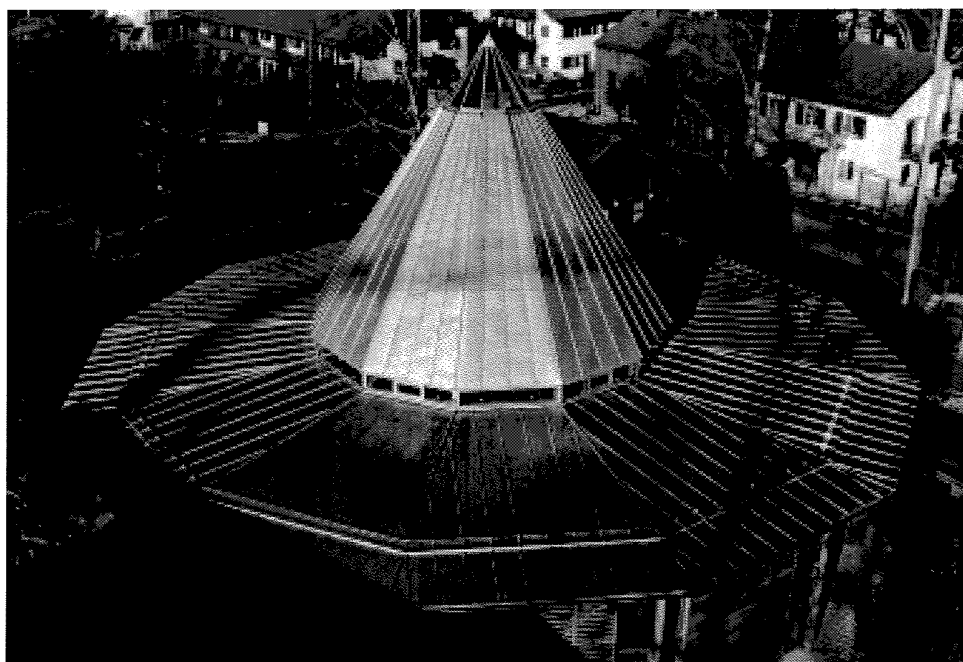


Foto: Spengler & Soyter,
Bad Reichenhall

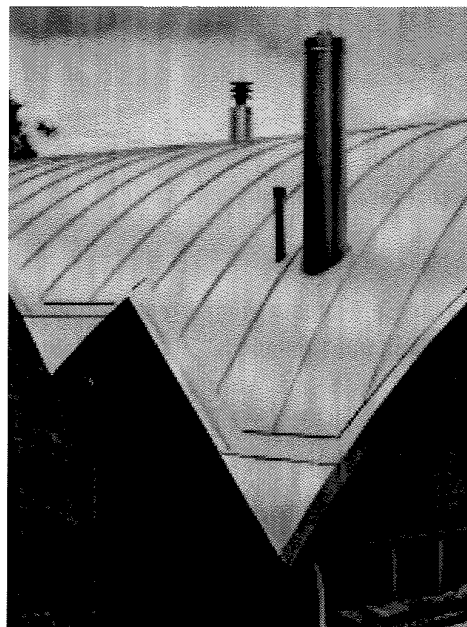
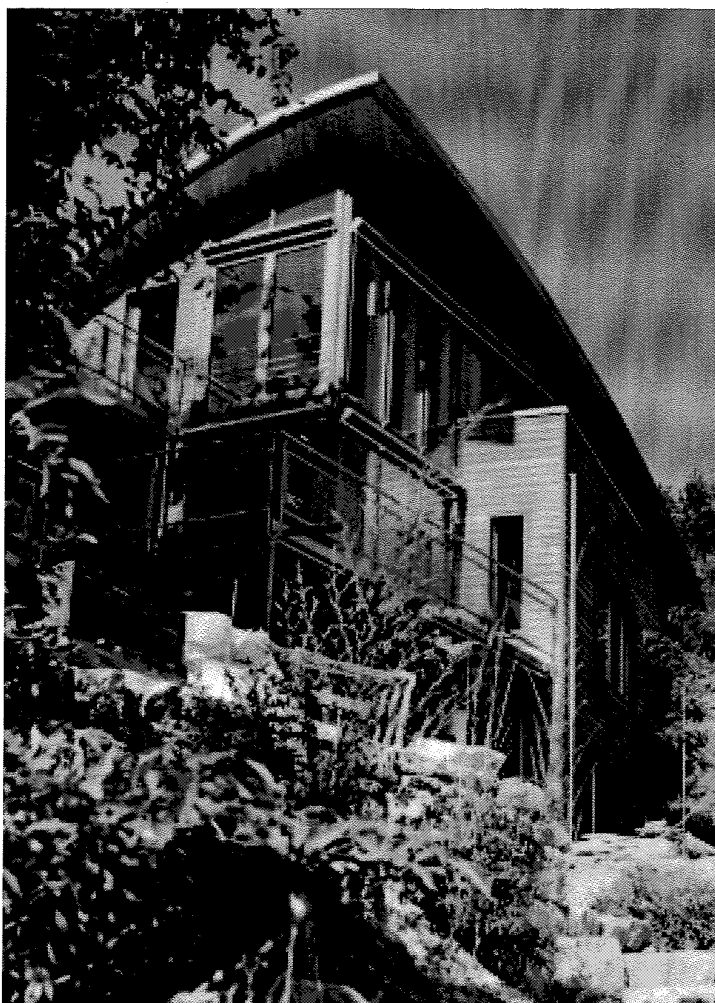
L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Edifici residenziali

Casa, Reinach, Svizzera

Cliente:
Thomas Nichele, Reinach
Architetto:
Markus Lussmann, Dornach

*La diagonale del tetto
crea interessanti angoli
di segmentazione sulla
facciata.*



Questa casa, dalle geometrie inusuali, è costruita su di un ripido pendio un tempo coltivato a vigneto. Nella costruzione si è utilizzata la soletta nervata preesistente, appartenente alla casa che vi sorgeva in precedenza, poi spazzata via da una frana. La nuova costruzione ha una cornice in legno e segue la linea di un alto muro di sostegno posto nella parte alta dell'appezzamento. Un tetto a forma di volta a botte copre la volumetria lineare dell'edificio, mentre la linea delle gronde segue l'andamento irregolare del terreno. Questa curvatura non solo crea interessanti spazi interni, ma anche un tetto dalla forma insolita. Il rivestimento per i 150 m² di tetto è ottenuto con lamiere aggraffate di acciaio inossidabile, spesse 0,5 mm, laminate opache.

Foto: Markus Lussmann, Dornach (sinistra)
Battisti GmbH, Sulz (in alto)

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Ekonologia House, Malmö, Svezia

Cliente:

Midroc Construction AB, Helsingborg

Architetti:

SWECO FFNS Arkitekter, Helsingborg

Questa casa, contributo svedese al Villaggio Europeo situato a nord di Malmö, è stata costruita secondo i severi criteri richiesti dal committente: tutti i sistemi e i materiali dovevano avere un'aspettativa di vita utile superiore ai 50 anni, la manutenzione doveva essere minima, dovevano essere impiegati materiali riciclabili, ma senza l'uso di adesivi, di composti sigillanti o di rivestimenti superficiali e, inoltre, doveva essere a risparmio energetico. La struttura che ne è risultata è una moderna casa a tre piani, dall'aspetto leggero, che offre 180 m² di spazio abitativo dotato di ampie vetrate, terrazze e balconi. Per la copertura è stato scelto l'acciaio inox per ben due motivi: la manutenzione in atmosfera marina aggressiva non dà problemi e il materiale può sempre essere riciclato.



Una casa moderna costruita nel rispetto di severi criteri ecologici: il tetto di acciaio inossidabile gioca il suo ruolo nel soddisfare queste esigenze.



Foto:
SWECO FFNS Arkitekter,
Helsingborg

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Impianti sportivi

Stadio ciclistico e piscine coperte, Berlino, Germania

Cliente:

OSB Sportstättenbau, Berlino

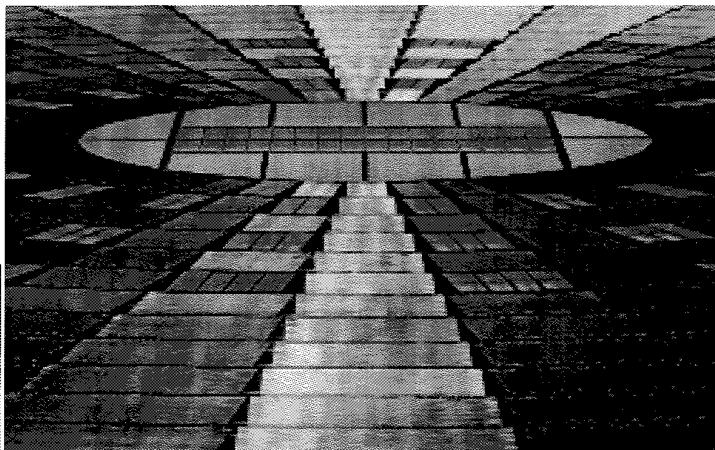
Architetti:

Dominique Perrault, Parigi

Reichert, Pranschke, Maluche, Monaco

Schmidt-Schicketanz & Partner, Monaco

Grazie ad un nuovo tipo di rete di acciaio inossidabile, sviluppata recentemente, i tetti di questi due padiglioni sportivi sembrano laghi luccicanti, inseriti in un parco urbano, abbellito con 450 piante di melo. Gli edifici sono interrati per 17 metri e fuoriescono dal terreno di un solo metro. Una cintura di scale, rampe e corridoi circonda il perimetro di ciascun padiglione.



La rete di acciaio sul tetto riflette la luce in modi differenti, a seconda del periodo dell'anno e dell'ora del giorno.

Foto: Werner Huthmacher, Berlino
E.J. Ouwkerk, Berlino (in alto a destra)



L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

**Centro sportivo e piscine coperte,
Ilanz, Svizzera**

Cliente:
Città di Ilanz
Architetti:
Curschellas & Gasser, Ilanz

Un esteso progetto di ristrutturazione di un centro sportivo con piscina, datato 1968, ha comportato la costruzione di un nuovo

edificio, la modernizzazione delle vasche e l'installazione di un nuovo sistema di riscaldamento ecologicamente compatibile. La risposta al fabbisogno energetico è stata trovata in un impianto termico solare con collettori di acciaio inossidabile collocati sul tetto dell'edificio che ospita gli spogliatoi e le installazioni tecniche. Grazie a uno speciale rivestimento selettivo, la lamiera dei collettori non necessita di vetro di copertura, e raggiunge oltre l'80% di efficienza. I moduli di assorbimento, con una superficie totale di 453 m², forniscono il 95% del fabbisogno energetico del centro, sia per il riscaldamento che per l'acqua calda. Questo progetto associa i vantaggi di un tetto in acciaio inossidabile, resistente alle intemperie e che richiede poca manutenzione, a quelli di un collettore solare di alta qualità.

Il profilo ondulato del tetto indica la sua doppia funzione.



I collettori solari in acciaio inossidabile di colore nero soddisfano la maggior parte del fabbisogno energetico del centro e, nello stesso tempo, lo proteggono dalla pioggia.

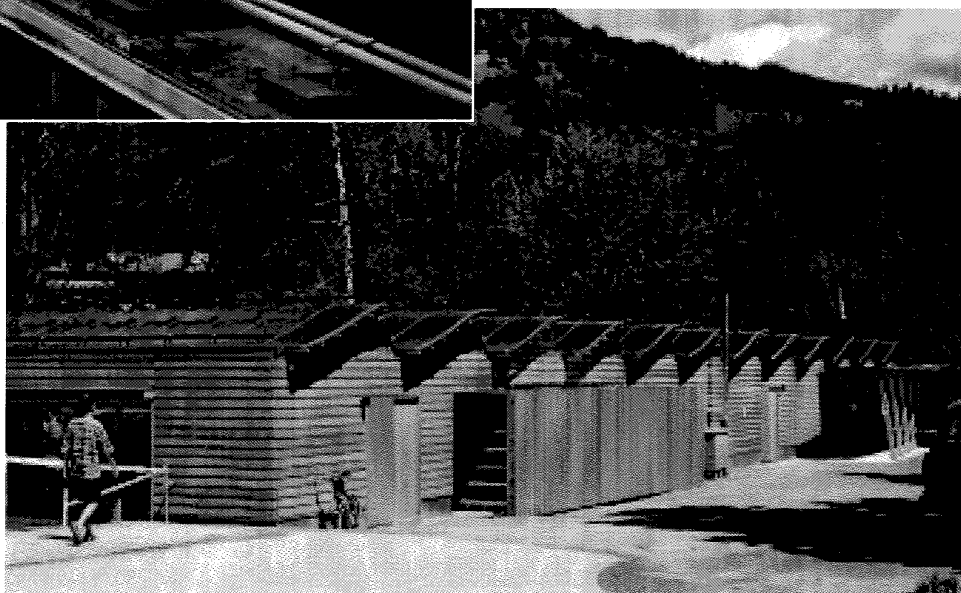
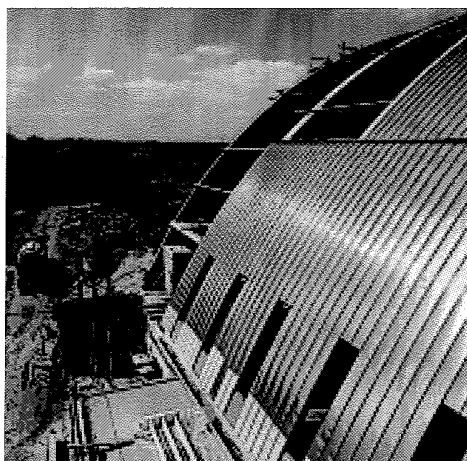


Foto:
Energie Solaire SA, Sierre

L'ACCIAIO INOSSIDABILE PER LE COPERTURE

Strutture per manifestazioni e ristorazione collettiva



Il tetto in acciaio inossidabile con giunzioni aggraffate è disposto in sezioni orizzontali per comodità di movimentazione dei nastri di acciaio e per consentire un'adeguata circolazione dell'aria nel tetto ventilato.

Ventidue archi in cemento armato, che si estendono per 63 m e raggiungono un'altezza di 21 m all'apice, formano la struttura portante per questo padiglione. Ciascun arco è composto da cinque componenti prefabbricati, assemblati in cantiere. L'area coperta, priva di colonne, misura 10.450 m² ed è usata per mostre, fiere, eventi culturali e sportivi. È stata prevista la possibilità di dividere lo spazio interno in tre parti, mettendo in grado ciascuna parte, con le sue infrastrutture, di essere usata separatamente.

La base interrata del fabbricato è utilizzata come magazzino per gli archivi nazionali, perciò l'intero edificio ha dovuto rispondere a severi requisiti in termini di durata di ermeticità all'acqua nel tempo. Questo ha anche guidato alla scelta dell'acciaio inossidabile per il rivestimento del tetto e del frontale. Un ulteriore aspetto della progettazione è stata la bassa riflettività superficiale dell'acciaio.

Padiglione multiuso, Mons, Belgio

Cliente:

Dexia Banque, Bruxelles

Architetto:

beg. Bureau d'études Greisch, Liegi

Un edificio a due piani, realizzato lungo un lato del padiglione con il tetto ad arco, contiene il foyer, la caffetteria, la sala convegni e gli uffici.

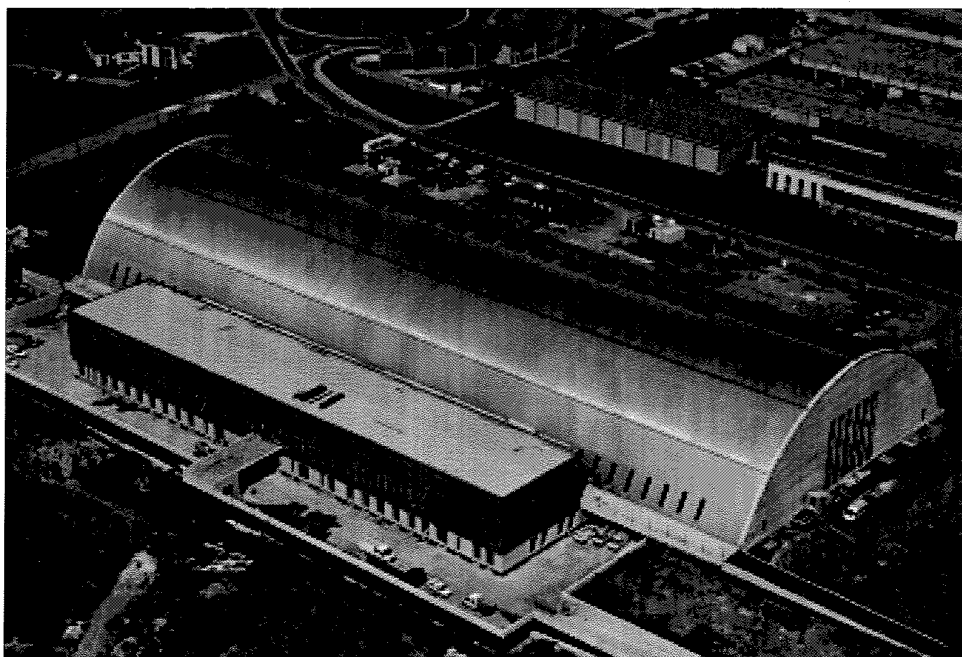


Foto: Jean-Luc Deru,
DAYLIGHT s.p.a., Liegi