



Acciaio

*Siderurgia, designazione, trattamenti e caratteristiche.
Con una scheda sulle tecniche di saldatura.*



Generatore di vapore in costruzione (Ferrolì Industrialboilers - S. Bonifacio di VR)

Indice:

Introduzione	2
Produzione dell'acciaio	2
- processo siderurgico integrale (affinazione pag. 5)	2
- fusione del rottame	6
Acciaio ghisa: cosa sono?	7
Elementi di lega	7
Trattamenti termici	8
La designazione degli acciai	9
Classi di bulloneria	9
Le sollecitazioni, le prove meccaniche ed il dimensionamento	10
Scheda: le tecniche di saldatura – protezione operatori e controlli .	14
Appendice: Landschaftspark-Industriepark Duisburg D	20

La presente dispensa si propone di offrire solo una panoramica riassuntiva degli argomenti, rimandando, per una trattazione approfondita ed esaustiva, a testi specifici.

ACCIAIO

Introduzione

In uso da secoli, ha trovato vera ed ampia diffusione con la rivoluzione industriale a partire dalla fine del XVIII secolo. Nel mondo moderno, l'acciaio, e' un materiale diffusissimo, relativamente economico e facile da lavorare, ed offre ottime caratteristiche di durata ed una eccellente resistenza meccanica. Sono realizzati in acciaio le posate, le navi, i ponti piu' grandi, le auto, i componenti meccanici piu' sollecitati, ed innumerevoli altri piccoli e grandi oggetti della nostra vita e del nostro tempo.



Da sinistra: la Tour Eiffel (Paris-F), carro armato Sherman (dead man corner Normandie -F),
albero motore (Technik Museum Sinsheim - D)

Alcune caratteristiche

Fonde a circa 1500 °C

Pesa quasi 8 kg/dm³

Si dilata

...cioe' di circa 1/100 di mm per ogni metro di lunghezza per ogni °C di aumento della temperatura

Temperatura di fusione: $t_{fusione}$ compresa tra 1370 e 1530 °C

Densita' "rho" $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$

Coefficiente di dilatazione lineare "lambda" $\lambda = 0,0123 \text{ mm / m K}$

Produzione dell'acciaio

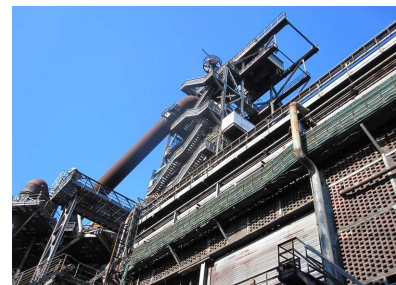
L'acciaio si ottiene tramite due tipi di processo:

1) da affinazione della ghisa.

2) da fusione del rottame.

1) Processo siderurgico integrale: dal minerale all'acciaio.

Minerale -> Fusione (Altoforno) -> **Ghisa** -> Affinazione (Convertitore) -> **Acciaio** -> Laminazione



Altoforno dismesso

Altoforno: la ghisa si produce con l'altoforno.

Cosa entra nell'altoforno.

Minerale -> E' costituito da rocce ricche di ferro..... Apporta la materia prima: il ferro.

Fondente -> Carbonato di calcio..... Favorisce la separazione del ferro dal resto

Coke -> Combustibile per fondere..... Apporta l'energia ed il carbonio

Nota: minerale, fondente e coke vengono introdotti dalla "bocca" posta sulla sommita', tritati e preriscaldati in "cariche". Un sistema a doppia campana (vedi foto piccola) permette l'introduzione delle cariche senza fuoriuscite di fumi.

Aria -> Comburente..... Apporta l'ossigeno per la combustione

Nota: l'aria viene introdotta preriscaldata nella parte bassa dell'altoforno con ugelli in ottone raffreddati ad acqua, alimentati tramite un condotto toroidale.

Cosa esce dall'altoforno.

Ghisa: una lega di ferro e carbonio – Parte utile che viene avviata all'affinazione.

Scoria: fondente e rocce – Scoria (o loppa) riutilizzata -> cemento -> costruzione strade.

Fumi: anidride carbonica ed altri gas, in parte combustibili – Data l'alta temperatura - Energia termica (calore)

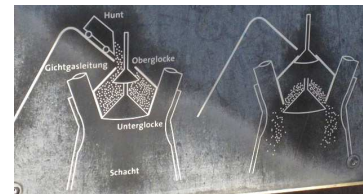
A fianco, un carro funicolare per il trasporto delle cariche alla bocca dell'altoforno.



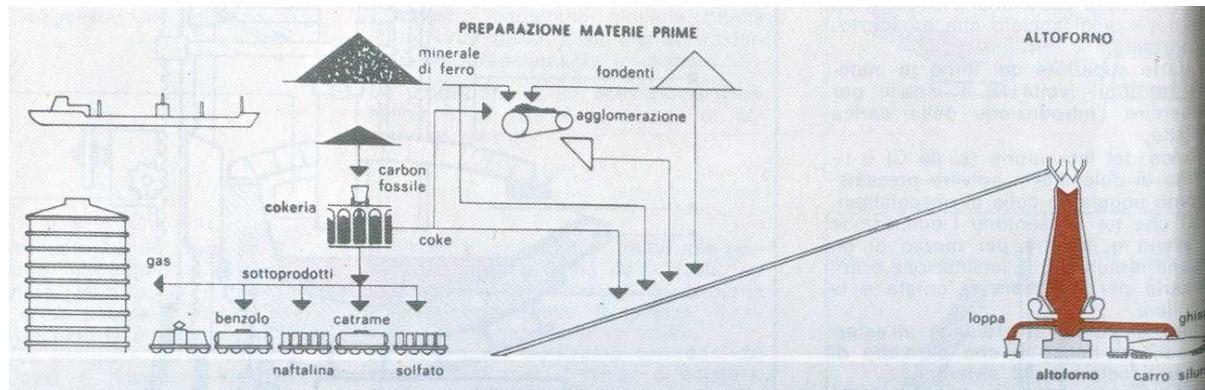
Minerale: ematite, limonite, pirite -> proviene da cave e miniere.

Carbone: antracite, litantrace -> proviene da cave e miniere.

A fianco, uno schema del funzionamento del sistema a doppia campana.



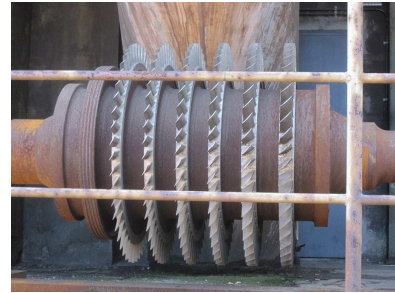
Qui sotto: cokeria e cariche altoforno.



Il **carbone**, costituito principalmente da carbonio, ma che contiene anche gas (costituiti anche da idrogeno), passa prima nella cokeria, dove viene riscaldato (non bruciato!) in assenza di aria (e quindi di ossigeno) per fargli emettere la frazione gassosa (ed altro, vedi schema sopra). La frazione gassosa, a causa dell'idrogeno contenuto, se immessa nell'altoforno, richiederebbe molta aria per la sua combustione, abbassando la temperatura di combustione. Il gas estratto dal carbone viene immagazzinato nel gasometro dell'acciaieria (grande serbatoio di gas a pressione costante. Vedi qui a destra), e questo gas viene poi utilizzato, bruciandolo, per produrre calore in altri processi,



ad esempio in generatori di vapore (caldaie a vapore), il cui vapore, aziona poi turbine (vedi qui a destra) che mettono in rotazione alternatori per la produzione di corrente per i fabbisogni dell'acciaieria. Dunque, nella cokeria, dal carbone si ricava il **carbone coke** che, minimizzando l'aria necessaria per la combustione, permette il raggiungimento di maggiori temperature di combustione, ottenendosi così nel ventre dell'altoforno temperature elevatissime (2000 °C).



L'**aria** di combustione viene preriscaldata nei cowpers (scambiatori entalpici) recuperando il calore contenuto nei fumi e contribuendo anche in questo modo ad un recupero energetico ed all'elevazione della temperatura di combustione.



I **cowpers** sono recuperatori di calore. Sono enormi torri (vedi qui a destra), per esempio sei, che lavorano alternativamente accumulando e poi restituendo calore. Il calore proviene da due fonti. La prima è il calore contenuto nei fumi (gas di scarico) dell'altoforno e la seconda è il calore ottenuto dalla post-combustione di questi fumi, ancora ricchi di monossido di carbonio che può bruciare generando calore. La post-combustione è supportata anche dall'aggiunta di metano o altri gas. Un cowper internamente ha grandi masse di laterizio refrattario in grado di accumulare calore. Per circa 60 min. viene riscaldato, e quando ha raggiunto la temperatura prevista, il fumo viene inviato ad un altro cowper, mentre in quello caldo viene fatta passare l'aria diretta all'altoforno, che si riscalda anche fino a 1300 °C. Questa seconda fase dura 20 min. Una volta scesa la temperatura nel cowper, il ciclo ricomincia con una nuova fase di riscaldamento.

Nell'altoforno avviene dunque la fusione delle cariche.

La **ghisa** fusa si raccoglie sul fondo del forno, nel crogiolo, e sopra di essa si raccoglie la scoria, più leggera, che quindi galleggia sulla ghisa stessa. La ghisa viene spillata con aperture periodiche dei fori di colata e trasferita lungo appositi canali di colata (vedi qui a destra) in carri siluro e trasportata al convertitore.



La **scoria**, viene spillata anch'essa, ma da altri fori di colata, posti a diverse opportune altezze, ed incanalata ai carri siviera.

I carri siluro ed i carri siviera sono carri ferroviari che possono essere ruotati per travasare facilmente il contenuto nei convertitori o in altri recipienti.



Carro siluro e carro siviera

L'affinazione.

La trasformazione della ghisa in acciaio si chiama affinazione ed avviene per sottrazione di carbonio, in appositi convertitori. Per affinare la ghisa e trasformarla in acciaio, si soffia sulla o nella ghisa aria/ossigeno che, facendo bruciare una parte del carbonio in essa contenuto ne riduce la quantità rimanente nel metallo liquido, e, durante questa fase, si produce anche molto calore.

Per contenere le temperature del processo di affinazione si prepara il convertitore introducendo preventivamente del rottame freddo allo stato solido, la cui fusione sottrae parte del calore generato.

Ricapitolando: nell'altoforno entra il minerale ed esce ghisa, che chimicamente è ferro con molto carbonio. La ghisa viene poi trasformata in acciaio nel convertitore per affinazione: riduzione della quantità di carbonio presente per combustione dello stesso tramite il soffiaggio di aria.

Prima di effettuare la colata, dall'acciaio fuso (analoga procedura si segue anche per la ghisa liquida) vengono prelevati dei campioni, rapidamente trasformati in provette solide ed avviati al laboratorio dell'acciaieria. Il laboratorio analizza i campioni e definisce le aggiunte da fare all'acciaio liquido che è in attesa di essere colato, per ottenere le caratteristiche previste per il tipo di acciaio desiderato.

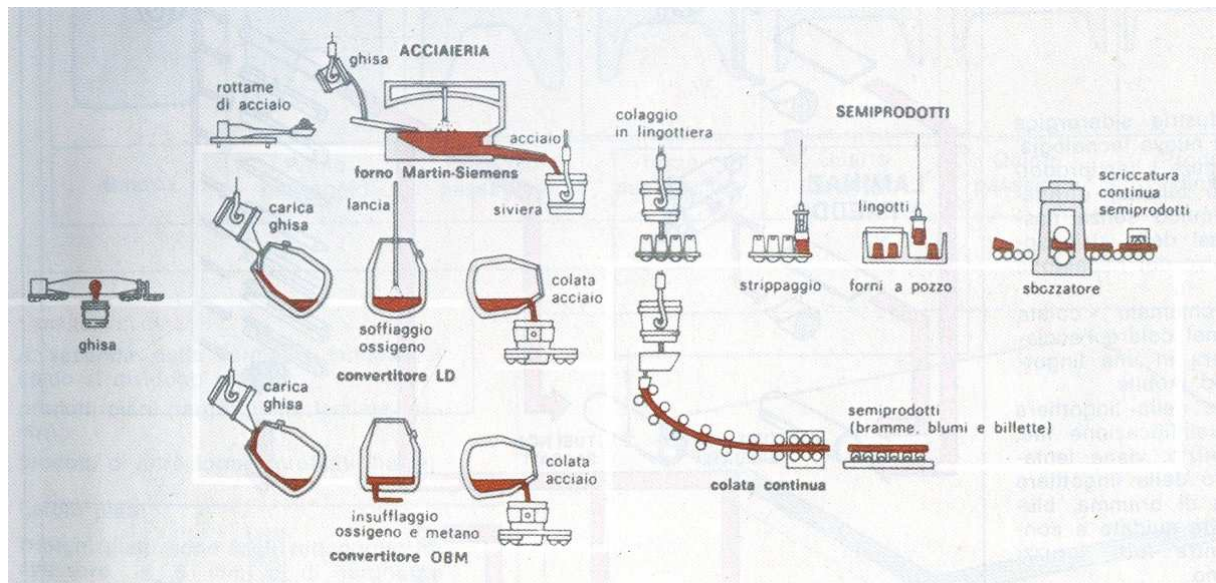
Il trasferimento delle provette al laboratorio avviene solitamente tramite posta pneumatica.

Solo dopo aver operato le aggiunte necessarie si procede alla colata.

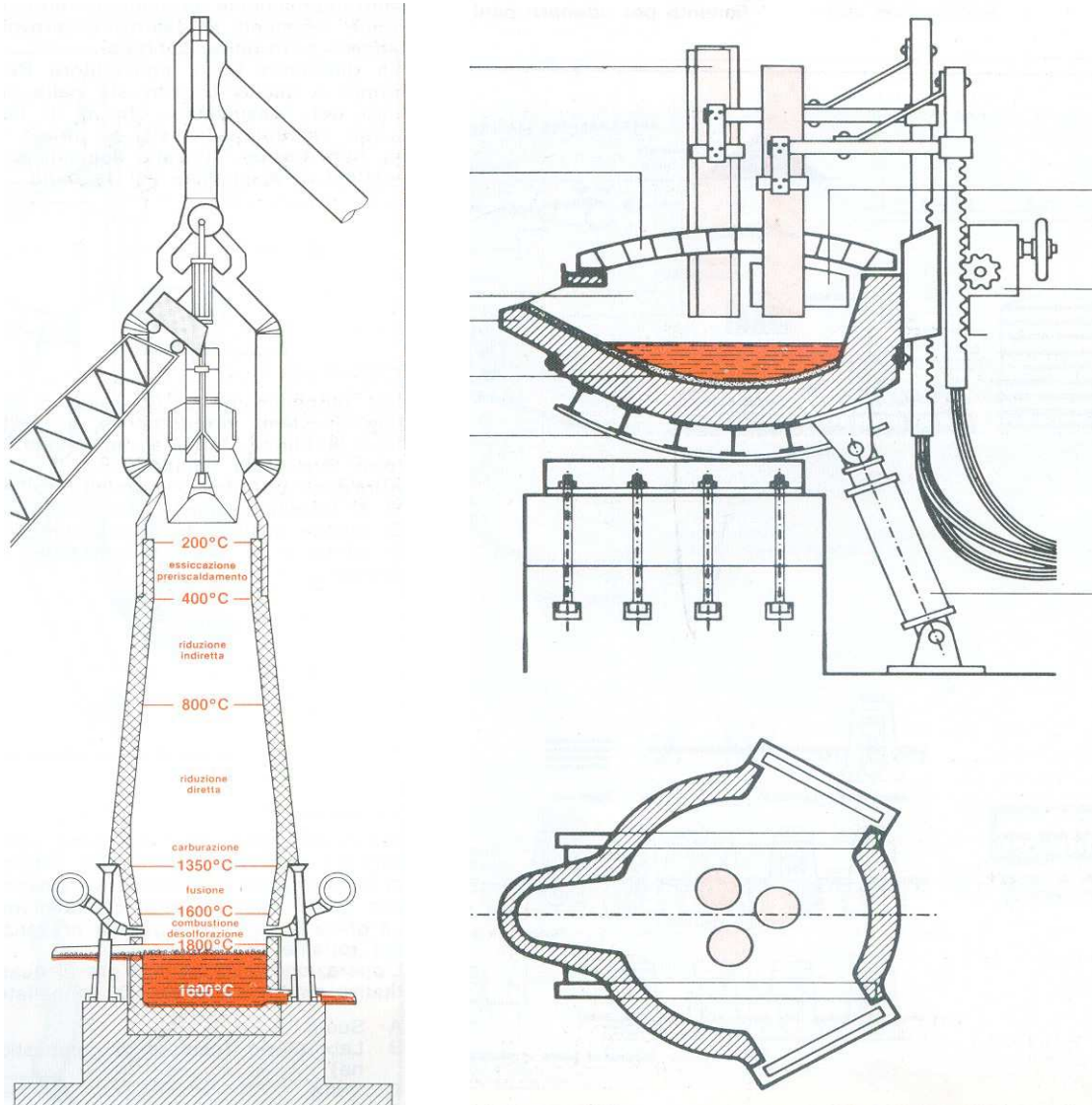
A destra gli attrezzi per il prelievo dei campioni.



L'acciaieria: dalla siviera alla laminazione.



Una volta ottenuto l'acciaio, esso viene trasferito dal convertitore alla secchia (o siviera) e colato in lingotti (in cascata, se uno per volta, o in sorgente, se a gruppi), o avviato alla colata continua, come descritto in figura. I lingotti vengono mantenuti a temperatura ottimale in appositi forni a pozzo (o se erano stati raffreddati e stoccati, vengono riscaldati alla temperatura prevista) per la laminazione – 1400 °C circa – e, dopo varie ore di permanenza nel forno, avviati prima al laminatoio sbozzatore reversibile, dal quale, dopo alcuni passaggi con progressiva riduzione della sezione, escono i blumi (semilavorati grezzi), e poi al treno di laminazione, dal quale escono i vari semilavorati, come ad esempio le billette ed anche prodotti finiti come tondi, barre, fili lamiere ed altro.



A sinistra l'altoforno (sezione verticale), ed a destra il forno elettrico (sezione verticale ed in pianta).

2) Produzione acciaio da fusione del rottame.

Rottame -> Fusione (forno elettrico) -> **Acciaio** (ad esempio l'acciaiera di Bolzano).

Questo processo e' molto piu' semplice: il rottame proviene dal recupero, e (ad esempio nel caso dell'inox), si cerca di partire da una selezione del rottame che contenga soprattutto acciaio simile a quello che si deve produrre.

L'acciaio viene fuso in forni nel cui coperchio sono alloggiati gli elettrodi. In questi forni si innescano e si mantengono archi elettrici, come se si trattasse di enorme saldatura elettrica. Esistono anche forni ad induzione (il fenomeno dell'induzione e' brevemente spiegato a pag. 8).

L'acciaio deve avere determinate caratteristiche, in base alle specifiche di quello che si vuole produrre, e quindi, analogamente a quanto visto precedentemente a pag. 5, qualunque sia il processo, quando l'acciaio e' fuso, vengono fatti dei prelievi, preparate rapidamente delle provette ed inviate al laboratorio dell'acciaiera, dove vengono misurate le percentuali dei vari elementi presenti. I risultati vengono comunicati al reparto in attesa che puo' cosi' provvedere alla correzione tramite aggiunta di vari elementi nelle giuste quantita', quali carbonio, nichel, cromo, molibdeno, solo per citarne alcuni, al fine di ottenere l'acciaio con la composizione corretta per il tipo di acciaio da produrre. Segue poi la colata con le modalita' gia' descritte alla pagina precedente.

Acciaio e ghisa: cosa sono?

L' acciaio e la ghisa sono leghe di ferro e carbonio, quello che cambia sono le percentuali di carbonio. Il carbonio e' presente negli acciai come carburo di ferro (cementite) Fe_3C , mentre nelle ghise in forma di grafite.

$$0,008 \% < \text{Acciaio} < 2,08 \% < \text{Ghisa} < 4,3 \% - \text{max } 6,67 \%$$

Sia gli acciai che le ghise, sono fortemente caratterizzati dalla percentuale di carbonio contenuto, elemento che e' sempre presente. Qui' ci occupiamo ora dell'acciaio, nel quale la percentuale di carbonio va dallo 0,008 al 2,08 %.

All'aumentare della percentuale di carbonio...

<i>diminuiscono:</i>	<i>aumentano:</i>
la lavorabilita'	la durezza
la saldabilita'	la resistenza meccanica
la tenacita'	la temprabilita'
la plasticita' a freddo	la colabilita'
	la resistenza all'usura

Gli elementi di lega

Gli acciai possono inoltre contenere in lega altri elementi, che conferiscono le varie caratteristiche che sono qui' riassunte:

Cromo (Cr)	durezza – contenendone oltre il 10% l'acciaio diventa inox
Cromo-Nickel (Cr-Ni)	con la loro presenza aumentano la resistenza sia meccanica che alla corrosione, e diminuiscono la saldabilita' e la dilatazione
Nickel-Cromo-Molibdeno delle (Ni-Cr-Mo)	aumentano la profondita' degli effetti della tempra ed il mantenimento caratteristiche meccaniche anche ad alta temperatura. Gli acciai Ni-Cr-Mo sono i migliori in assoluto per le caratteristiche meccaniche, con un carico di rottura di 1200 N/mm^2
Silicio (Si)	aumento elasticita' (acciaio per molle, detto anche acciaio armonico)
Manganese (Mn)	aumento resistenza usura e durezza
Tungsteno (W)	aumento della resistenza a caldo (acciai per utensili SS)
Tungsteno-Cobalto (W-Co)	aumento della resistenza a caldo (acciai per utensili HSS)
Piombo-zolfo (Pb-S)	aumento della truciolabilita' (acciai automatici)

Zolfo, fosforo, idrogeno, ossigeno e azoto, sono invece inquinanti, e peggiorano alcune caratteristiche. La presenza di zolfo, ad esempio, tende a creare sfogliature nelle fasi di laminazione.

I trattamenti termici

L'acciaio, e' un solido aggregato in una forma cristallina che subisce trasformazioni al variare della temperatura. Le percentuali di carbonio presenti negli acciai influiscono sui valori ai quali avvengono queste trasformazioni, e ci si limita quindi ad una trattazione per sommi capi, rimandando precisazioni ed approfondimenti a testi specifici. Per ottenere/migliorare alcune caratteristiche dell'acciaio, si possono eseguire dei trattamenti termici. Si tratta di **fasi di riscaldamento** a temperature precise mantenute per un certo tempo e **seguite da raffreddamento** lento controllato o rapido se non addirittura rapidissimo. I trattamenti termici possono lasciare tensioni nel materiale, tensioni che possono essere eliminate o ridotte con ulteriori fasi di riscaldamento e lento raffreddamento.

Esistono trattamenti che si effettuano in forni convenzionali, altri in forni stagni a campana in cui si introducono particolari gas, o altri trattamenti che si effettuano tramite il riscaldamento di limitate porzioni dei pezzi grazie all'induzione elettromagnetica (si creano nel pezzo correnti elettriche che lo riscaldano, soprattutto sulle superfici, proprio quindi dove e' piu' utile per temprare).

Oltre agli effetti ottenibili con fasi esclusivamente termiche, si possono arricchire superfici e zone precise dei pezzi **con sostanze chimiche** (carbonio ed altro). Un ulteriore tecnica di indurimento delle superfici avviene a freddo, meccanicamente, si tratta della pallinatura e della rullatura, che determinano una rottura/deformazione meccanica dei grani (segue spiegazione sui grani), con effetti del tipo di quelli ottenuti con la tempra.

L'acciaio ha una struttura cristallina che varia (per il ferro puro - reticolo cubico corpo centrato fino a 912 °C, reticolo cubico facce centrate oltre i 912 °C) fino a scomparire al crescere della temperatura. Durante il raffreddamento, i cristalli formano grani di cristalli ordinati, grani che sono tanto piu' grandi quanto piu' lento e' il raffreddamento. Grani grandi migliorano la tenacita' degli acciai, mentre grani piccoli accrescono la durezza (resistenza all'usura).

Quasi sempre si richiedono pezzi duri in superficie e tenaci nel cuore e, per ottenere questo scopo, il sistema piu' vecchio, piu' semplice e piu' utilizzato e' la tempra. Si procede ad un riscaldamento ad una temperatura superiore a 727 °C e ad un successivo rapido raffreddamento che proprio in virtua' della sua rapidita' permette un limitatissimo accrescimento dei nuovi grani che si vanno formando, con conseguente ottenimento di una elevata durezza superficiale. Il raffreddamento puo' avvenire in aria, in acqua od in particolare olio da tempra. La tempra, se i pezzi hanno un certo spessore, interessa principalmente le zone superficiali dei pezzi, mentre il cuore dei pezzi tende a restare tenace, in virtua' del suo piu' lento raffreddamento ed il conseguente maggiore accrescimento dei grani.

Vediamo con ordine:

Tempra: riscaldamento oltre i 727 °C, mantenimento temperatura e successivo rapido raffreddamento.
- Aumento della durezza.

Rinvenimento: riscaldamento a temperatura inferiore a quella di tempra e raffreddamento piu' lento
- Eliminazione delle tensioni post tempra.

Bonifica: Tempra seguita da rinvenimento.

Cementazione: Riscaldamento e mantenimento a temperatura elevata in polvere di carbonio che, venendo "assorbito" dall'acciaio, aumenta la percentuale di carbonio nelle zone superficiali del pezzo, e quindi la durezza delle superfici stesse.
- Indurimento delle superfici.

Cianurazione e nitrurazione: mantenimento del pezzo ad alta temperatura in ambiente con ammoniaca o cianuro di potassio.
- Indurimento delle superfici.

La designazione degli acciai

E' il sistema di sigle per identificare i tipi di acciaio. E' chiaro che tanti e tali sono i tipi di acciaio che e' essenziale una designazione molto precisa per poterne identificarne ogni specifico tipo con le rispettive caratteristiche adatte ai diversi usi.

La modalita' unificata di designazione degli acciai e' la seguente:

Acciai del I gruppo

-> Acciai **NON trattabili termicamente**

-> Designazione in base alle caratteristiche fisiche

<i>Acciai designati con il carico unitario di rottura</i>	<i>Acciai designati con il carico unitario di snervamento</i>	<i>Designati in base all'impiego particolare</i>
Fe 42 (se kg _f /mm ²)	Fe E 36 (se kg _f /mm ²)	Fe G 440 (acciaio per getti)
Fe 420 (se N/mm ²)	Fe E 360 (se N/mm ²)	

Acciai del II gruppo

-> Acciai **trattabili termicamente**

-> Designazione in base alle caratteristiche chimiche

<i>Acciai non legati</i> Designati in base alla destinazione al trattamento termico o all'uso	<i>Acciai debolmente legati</i> Ogni elemento di lega sotto il 5%	<i>Acciai legati</i> Almeno 1 elemento di lega 5% o piu'
C 40 (0,4 % di C destinato a trattam. term.)	18 Ni Cr 16 (0,18 % di C e 4 % di Ni)	X10 Ni Cr 18 8 (0,1% di C e 18 % di Ni e 8 % di Cr)
CB 40 (uso bulloneria)	Nota: il primo numero e' la percentuale di carbonio moltiplicata per 100	Caratterizzati dalla lettera X
Nota: il primo numero e' la percentuale di carbonio moltiplicata per 100 – Nota: il carbonio e' sempre presente negli acciai.	Nota: dal secondo numero e' la percentuale dei principali elementi di lega moltiplicata secondo una tabella qui' non riportata. Per il Ni il fattore di moltiplicaz. e' quattro. Es.: 4 x 4 = 16	Per il resto come i debolmente legati ma senza fattori di moltiplicazione delle percentuali degli elementi di lega contenuti.

Ricapitolando: **se c'e' scritto...**

- **Fe** il riferimento e' alla resistenza alla trazione.

- **C** il riferimento e' alla percentuale di carbonio contenuta (moltiplicata per 100)

- **X** si tratta di acciaio legato, ed il nr. indicato e' la percentuale tal quale degli elementi di lega

Se non sono indicati ne Fe, ne C e nemmeno X, si tratta di acciai debolmente legati.

La soglia che distingue un acciaio debolmente legato da uno legato e' la presenza di almeno un elemento di lega in percentuale superiore al 5%.

Classi di bulloneria

I numeri che appaiono sulla bulloneria di qualita', hanno il seguente significato:

Il primo numero indica il carico unitario di rottura dell'acciaio che costituisce la vite.

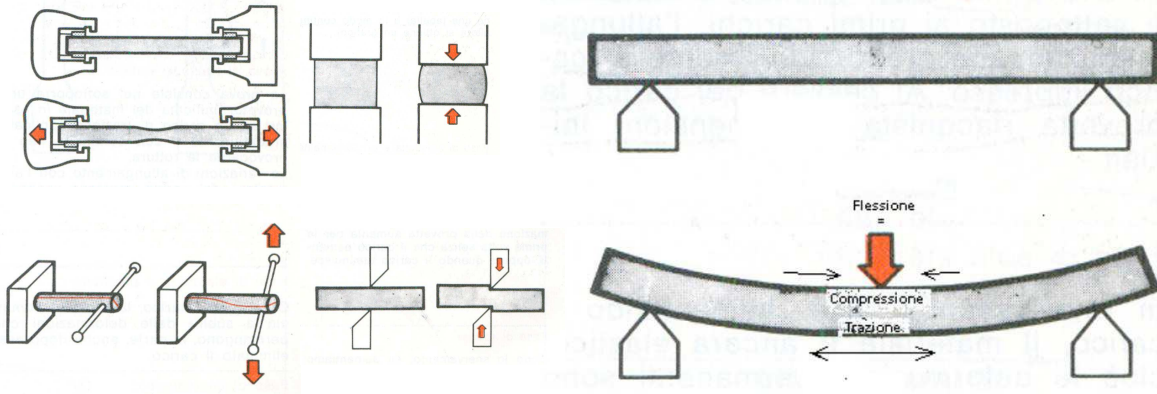
Il secondo numero indica la percentuale (divisa per 10) rispetto al carico unitario di rottura alla quale avviene lo snervamento.

Esempio:

8.8 significa: carico unitario di rottura 800 N/mm², carico unitario di snervamento l'80% del carico di rottura. In questo caso $800 \times 80 / 100 = 640 \text{ N/mm}^2$

Le classi di bulloneria piu' diffuse sono la 8.8, 10.9 e 12.10. Quest'ultima e' relativa alla bulloneria piu' resistente, in acciaio Ni Cr Mo, con rottura fragile contestuale allo snervamento.

Le sollecitazioni e le prove meccaniche



In figura: trazione, compressione, flessione, torsione, taglio.

Le sollecitazioni sono gli effetti delle forze che i particolari subiscono nel loro funzionamento.

Le prove meccaniche sono forze applicate in laboratorio per misurare la resistenza.

Nelle costruzioni meccaniche, l'acciaio viene variamente sollecitato: si possono avere trazione, compressione, flessione, torsione, taglio, da sole o in forma variamente composta, raramente nelle strutture meccaniche vi sono pure sollecitazioni singole. Ci sono poi gli urti, la resistenza ai quali si chiama resilienza, ed un discorso a parte merita l'usura, che chiama in gioco la durezza delle superfici. Esiste poi la fatica, che è una sollecitazione inferiore ai valori massimi ammessi, ma che viene ripetuta con elevata frequenza (come nel caso delle vibrazioni) e può portare anche alla rottura dei particolari senza che si sia mai superato il carico di rottura: questo tipo di rottura è complessa da prevedere, e, se avviene, ha solitamente effetti gravi sui meccanismi e dispositivi. A seguito di questo tipo di rottura si sono verificati anche diversi gravi incidenti aerei. Il nome tecnico di questo tipo di rottura è "rottura a fatica".

Le sollecitazioni sono, però, riconducibili a pochi tipi di effetti.

La trazione, la compressione, e la flessione causano due soli tipi di effetti.

La flessione è infatti una sollecitazione che origina una particolare forma di trazione e compressione che si manifestano contemporaneamente ma in distinte zone del pezzo (vedi figura sopra a destra). Nella flessione i valori di trazione e di compressione, diminuiscono avvicinandosi alla zona neutra (asse neutro) che separa le due zone, quella sollecitata a trazione e quella sollecitata a compressione.

Nella trazione gli atomi vengono sollecitati ad allontanarsi gli uni dagli altri, mentre nella compressione gli atomi vengono spinti gli uni contro gli altri.

La torsione ed il taglio sono due sollecitazioni diverse, ma causano sostanzialmente lo stesso effetto.

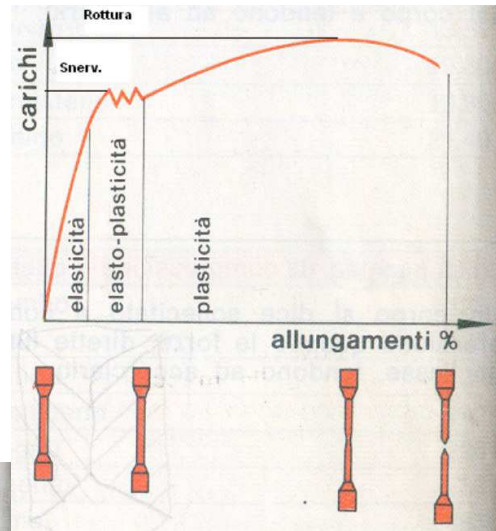
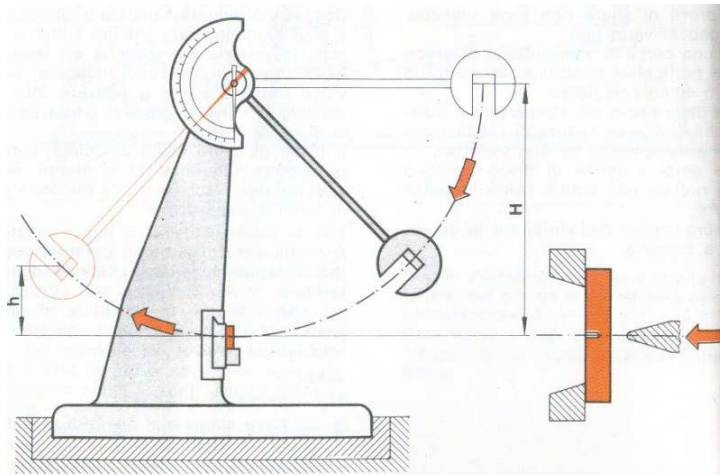
Gli atomi, infatti, in entrambi i casi (torsione e taglio) non vengono allontanati o avvicinati tra loro, ma sollecitati a scorrere (scivolare) gli uni rispetto agli altri.

Per queste tipologie di sollecitazione (trazione, compressione torsione e taglio), esistono diverse prove eseguibili in laboratorio per misurarne i valori di resistenza.

Esse sono principalmente:

- Prova di trazione
- Prova di compressione
- Prova di torsione
- Prova di resilienza
- Ev. prove composte

La prova di trazione serve per misurare/determinare il comportamento e la resistenza a trazione di un acciaio. E' la prova principale che misura caratteristiche spesso presenti anche nella designazione degli acciai: il carico unitario di rottura e di snervamento. Si sollecita a trazione una provetta unificata, solitamente cilindrica, fino a causarne la rottura. Durante la prova viene tracciata su un piano cartesiano la relazione tra forza applicata ed allungamento della provetta stessa. Il rapporto fra forza applicata e sezione della provetta permette di rilevare i carichi unitari, oltre che il comportamento nelle varie fasi di cui in figura. Questa linea il cui andamento e' ormai ben noto si chiama legge di Hooke.



Sopra: diagramma prova di trazione.

A sinistra: pendolo di Charpy – prova di resilienza.

La prova di resilienza e' la prova che misura la resistenza agli urti. Si lascia cadere il pendolo da un'altezza nota "H", misurando poi la quota raggiunta dopo l'urto "h". La differenza di quota tra il punto di partenza e di arrivo del pendolo H-h, moltiplicata per il peso del pendolo stesso, indica l'energia

potenziale perduta, che e' stata assorbita dalla provetta nella sua rottura. L'energia si calcola con $L = P \times (H - h)$ dove P e' il peso del pendolo. Controllo dimensionale: $[N] \times [m] = [J]$

K e' l'indice di resilienza: $K = L / S_0$ - Dove S_0 e' la sezione netta della provetta espressa in mm^2 .

Da ricordare:

Trazione: zona di allungamento elastico, carico di snervamento, zona elastoplastica, deformazione plastica, strizione (riduzione di diametro in un tratto della provetta), carico di rottura e rottura della provetta.

Compressione: la rottura avviene lungo un piano a 45°, ed i valori sono gli stessi che per la trazione.

Unita' di misura per entrambe: kg_f/mm^2 , N/mm^2 , Pa

Urti -> resilienza. Pendolo di Charpy.

Tutte le prove si svolgono con modalita' normate e provette unificate.

La durezza: questa e' un'altra caratteristica importante dell'acciaio e dipende dal tipo di acciaio e dagli eventuali trattamenti termici subiti. Viene misurata con apposite prove strumentali: le prove di durezza. La durezza e' anche correlata alla resistenza a trazione del materiale analizzato.

Esistono vari tipi di prove di durezza. I risultati ottenuti, con qualche eccezione, possono essere convertiti da un sistema all'altro. In generale le prove di durezza consistono nel forzare un penetratore con punta di varie forme (semisferica, conica, piramidale), a seconda dei tipi di prova, contro la superficie della quale si vuole misurare la durezza. Conoscendo la forza applicata si misura l'impronta lasciata o la corsa di penetrazione, ricavando il valore della durezza della superficie.

I valori della durezza vengono espressi principalmente secondo le scale Brinell HB, Vickers HV e Rockwell HRB (materiali teneri) o Rockwell HRC (materiali duri).

Il dimensionamento a trazione

Il dimensionamento, in generale, e' il calcolo della dimensione minima di un organo necessaria affinché esso assolva la sua funzione rispettando i parametri previsti.

Il dimensionamento degli organi meccanici si fa tenendo conto della forza applicata alla quale devono resistere, della resistenza dell'acciaio da utilizzare e del grado di sicurezza necessario (2,5 – 4 o da 5 in su se entra in gioco la sicurezza delle persone).

Il dimensionamento puo' avvenire prendendo a riferimento il carico di rottura o, come avviene sempre piu' frequentemente, il carico di snervamento.

Il dimensionamento serve per costruire, ad esempio, tiranti della dimensione giusta che resistano con certezza alle forze applicate, rimanendo entro i limiti di carico unitario ammissibili calcolati a seconda del grado di sicurezza previsto e del tipo di acciaio impiegato.

La σ "sigma" e' in generale il carico unitario, cioe' la sollecitazione a trazione (o carico) riferita al singolo millimetro quadrato.

σ_s di snervamento: carico unitario che determina lo snervamento dell'acciaio considerato.

σ_r di rottura: carico unitario che determina la rottura dell'acciaio considerato.

Nota: questi due valori sono caratteristiche note e ben precise che dipendono dal tipo di acciaio utilizzato.

σ_{amm} ammissibile: carico unitario massimo ammesso. Lo calcola il progettista in base al grado di sicurezza adottato (a volte imposto dalle normative).

n grado di sicurezza: numero di volte che il carico unitario di riferimento (rottura o snervamento) deve contenere quello massimo ammissibile.

"n" e' il rapporto tra σ_s o σ_r e σ_{amm} .

$$\text{Es.: } n = \sigma_s / \sigma_{amm}$$

Da questa formula, si ricava quella inversa, che, noti σ_s o σ_r ed n , ci permette di determinare la σ_{amm}

$$\sigma_{amm} = \sigma_s / n$$

σ_{eff} effettiva: carico unitario effettivamente applicato.

Segue, alla pagina seguente, un esempio di dimensionamento del diametro minimo necessario per un tirante sollecitato a trazione.

Esempio di dimensionamento

Si deve sostenere con un tirante in acciaio, avente sezione circolare, il peso originato da una massa $m = 10.000 \text{ kg}$ in quiete.

Sapendo che l'acciaio del tirante ha un carico di rottura di 500 N/mm^2 , e che lo snervamento avviene all'80 % del carico di rottura, determinare il diametro minimo del tirante con grado di sicurezza 5 rispetto allo snervamento.

Dati:

$$\bar{\sigma}_r = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_s = 80 \% \bar{\sigma}_r$$

$$n_s = 5$$

$$m = 10.000 \text{ kg}$$

Trovare:

$$\bar{\sigma}_s$$

$$\bar{\sigma}_{amm}$$

$$F$$

$$D_{\text{tirante}}$$

Soluzione:

Trovo il carico unitario di snervamento $\bar{\sigma}_s$

$$\bar{\sigma}_s = 80 \% \bar{\sigma}_r$$

$$\bar{\sigma}_s = 500 \times 80 / 100 = 400$$

$$\bar{\sigma}_s = 400 \text{ N/mm}^2$$

Trovo il carico unitario ammissibile $\bar{\sigma}_{amm}$

$$\bar{\sigma}_{amm} = \bar{\sigma}_s / n$$

$$\bar{\sigma}_{amm} = 400 / 5 = 80$$

$$\bar{\sigma}_{amm} = 80 \text{ N/mm}^2$$

Trovo la forza peso F

$$F = m g$$

$$F = 10.000 \times 9,81 = 98.100$$

$$\text{Controllo dimensionale: } [\text{kg}] \times [\text{m} / \text{s}^2] = [\text{N}]$$

$$F = 98.100 \text{ N}$$

Trovo la sezione del tirante minima necessaria A_{\min}

$$A_{\min} = F / \bar{\sigma}_{amm}$$

$$A_{\min} = 98.100 / 80 = 1226,25$$

$$\text{Controllo dimensionale: } [\text{N}] / [\text{N} / \text{mm}^2] = [\text{mm}^2]$$

$$A_{\min} = 1226 \text{ mm}^2$$

Trovata l'area trovo il corrispondente diametro minimo del tirante

$$\text{Formula dell'area del cerchio partendo dal diametro: } A = \pi d^2 / 4$$

$$\text{Formula inversa per risalire al diametro nota l'area: } d = \text{radice quadrata di } 4A / \pi$$

$$d = \text{radice quadrata di } 4A / \pi$$

$$d = \text{radice quadrata di } 4 \times 1226 / 3,14$$

$$d = \text{radice quadrata di } 1562$$

$$d = 39,5 \rightarrow 40 \text{ mm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

Scheda: le tecniche di saldatura

- protezione degli operatori
- controlli sulle saldature

Premessa

Da sempre, oltre che costruire particolari, uno dei problemi che ha dovuto affrontare il mondo della tecnica e' stato quello non da poco di doverli assemblare, per costituire complessivi finiti.

I tipi di collegamento sono tre.

- Collegamenti smontabili: classicamente in meccanica tramite bulloneria.
- Collegamenti articolati: cerniere.
- Collegamenti permanenti: chiodatura, mandrinatura, aggraffatura e, soprattutto, saldatura.

(Le immagini a colori sono tratte da materiali FRO)

La chiodatura e' ormai quasi in disuso, superata dalla piu' efficace saldatura, ma e' stata lungamente protagonista dell'assemblaggio di strutture in acciaio quali ponti, caldaie, navi, i grattacieli e la stessa Tour Eiffel. La chiodatura si realizza sovrapponendo due lamiere ed infilando in un foro coincidente un chiodo rovente in acciaio che viene "ribadito" (ribattuto, deformato a martellate). Il chiodo, raffreddandosi, si accorcia, fissando efficacemente i due pezzi, come farebbe una vite. Della chiodatura ci resta pero' una eredita', che sono i rivetti, tanto semplici, pratici ed efficaci sia nel bricolage che nell'industria. I rivetti, che si mettono a freddo, sono la tecnica di assemblaggio dei piccoli e grandi aerei che solcano quotidianamente i nostri cieli.

La mandrinatura e' una tecnica di uso limitato a specifici settori industriali, quali la caldareria. Serve per fissare l'estremita' di un tubo ad una piastra. Si fora la piastra, vi si infila perpendicolarmente l'estremita' del tubo e lo si deforma a freddo nel tratto in cui esso e' nel foro della piastra. Il tubo viene rullato dal suo interno verso l'esterno e si deforma allargandosi ed aderendo perfettamente al foro della piastra, a garanzia di un'ottima tenuta meccanica ed anche idraulica.

L'aggraffatura consiste nel ripiegare alcune volte su se stessi i lembi di due lamierini, la giunzione viene poi pressata e si garantisce cosi' un buon assemblaggio stabile ed a tenuta idraulica. Sono aggraffate le lattine delle bibite, gli spray, le bombolette del gas, e tante altre costruzioni in lamiera.

La saldatura. Dapprima il gas acetilene e poi l'evoluzione, diffusione e disponibilita' dell'energia elettrica, hanno consentito un notevolissimo sviluppo delle tecniche di saldatura, che rappresentano oggi una fondamentale/preponderante fetta delle tecniche di assemblaggio e costruzione.

Cos'e' una saldatura

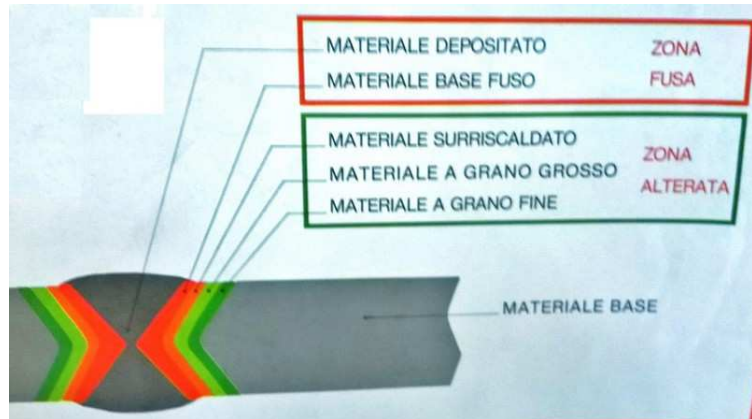
Anche se puo' sembrare banale, di fatto la saldatura e' la trasformazione di due pezzi in un pezzo solo.

Non si tratta cioe' di una forma di incollaggio, ma del fatto di fondere, rendere liquide, porzioni di sostanza solida vicine tra loro, ma appartenenti a due pezzi diversi, e di unire le due parti liquide in un unico bagno, detto **bagno di fusione** e di lasciarlo raffreddare e quindi solidificare. Una volta solidificato, il bagno si sara' trasformato in un cordone che apparterra' ad entrambi i pezzi, che saranno cosi' diventati un pezzo unico. Nell'operazione, salvo rari casi e' necessaria l'aggiunta al bagno di fusione di ulteriore metallo fuso, detto "apporto". Anche



sezionando il pezzo saldato, non sono più identificabili i lembi originari dei pezzi, ma si riconosce “diversa”, una zona comune esito del raffreddamento e solidificazione del bagno di fusione.

La zona termicamente alterata: la saldatura causa un riscaldamento notevole, ma che coinvolge solo zone variamente limitate. Al forte riscaldamento segue un rapido raffreddamento che lascia tensioni nel materiale ed effetti simili a quelli della tempra. Questi effetti infragilenti, sono limitati a fasce di metallo adiacenti alla saldatura. Difficilmente si rompono le saldature vere e proprie, ma a rischio sono le zone immediatamente adiacenti.



ABC...

Materiale base: è quello da saldare

Materiale d'apporto: è quello aggiunto in fase di fusione (filo o bacchetta).

Saldatura autogena: materiale base e d'apporto sono dello stesso tipo.

Cianfrino, cianfrinatura: smussi dei lembi da saldare per permettere la saldatura di materiale base di grosso spessore



Protezione gassosa: l'aria contiene ossigeno, che se entra in contatto con il metallo in fase di trasferimento, fuso o ad elevata temperatura nelle prime fasi della solidificazione crea ossidazioni nella saldatura. Per evitare questo dannoso fenomeno, la fusione deve essere protetta tramite una campana di gas. Il gas protettivo è il prodotto della combustione (cannello), proviene dalla sublimazione del rivestimento degli elettrodi o da gas in bombola (MIG-MAG-TIG). Il gas, nei processi che utilizzano corrente, ha anche la funzione, ionizzandosi, di consentire il passaggio della corrente.

Gas inerte: è quel gas che non reagisce chimicamente con il bagno di fusione, tipicamente argon od elio. Maggiore costo e maggiore qualità rispetto ai gas attivi.

Gas attivo: è quel gas che interagisce chimicamente con il bagno: tipicamente la CO₂. La funzione disossidante viene operata da magnesio e silicio che devono essere presenti nel filo.

Tipi di saldatura e caratteristiche

Saldatura autogena

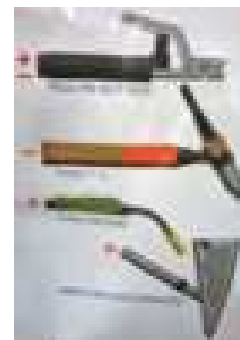
- Saldatura ossiacetilenica, detta anche “a cannello”
- Saldatura ad elettrodo fusibile
- Saldatura a filo continuo (MIG – MAG)
- Saldatura ad arco sommerso, detta anche “sotto flusso”.
- Saldatura TIG

Taglio al plasma, laser, ad acqua.

Saldatura per pressione (per punti)

Saldatura per attrito.

Brasatura dolce e forte, detta anche saldobrasatura, anche se queste non sono esattamente delle saldature ma una particolare forma di “incollaggio a caldo”



Si sono inoltre sviluppate negli ultimi anni tecniche sempre piu' evolute di saldatura anche delle materie plastiche. La saldatura delle materie plastiche non e' pero' oggetto della presente dispensa.

La saldatura autogena.

Ossiacetilenica: detta anche “a cannello”.

Il riscaldamento viene operato tramite una combustione (3500°C), ed i prodotti della combustione svolgono anche la funzione di gas protettivo. Non adatta a spessori elevati (oltre i 5 mm).la potenza termica dipende dalla portata nominale dell'ugello (25, 40, 80, 160, 350, 500 l/min). Con particolari cannelli “da taglio”, un ulteriore getto di ossigeno permette di tagliare spessori di vari centimetri.

La saldatura ad elettrodo fusibile

E' la tecnica piu' diffusa, per la sua relativa semplicita': per l'hobbistica una piccola saldatrice da collegare ad una normale presa ed una scatola di elettrodi, mascherina e martellina consentono gia' piccole realizzazioni. In campo professionale le saldatrici ed i tipi di corrente fanno la differenza.

Per sommi capi:

Corrente alternata a frequenza di rete: hobbistica.

Corrente continua: migliore deposizione del materiale.

Corrente alternata a frequenza specifica (macchine professionali ad inverter: la corrente viene raddrizzata e nuovamente trasformata in alternata ma a frequenze piu' alte e piu' adatte alla saldatura ad elettrodo fusibile. Costi elevati, uso professionale.

Polarita' diretta: collegamento classico - negativo all'elettrodo e positivo al pezzo.

Polarita' inversa: positivo all'elettrodo e negativo al pezzo. Riduzione della temperatura dell'arco dal lato del pezzo. Piccoli spessori ed altri casi specifici, normalmente suggeriti anche sulla scatola.

Gli elettrodi sono di vari tipi, i piu' diffusi sono:

- rutile: per usi generali senza particolari esigenze di resistenza meccanica,
- basico: offre ottime caratteristiche meccaniche; e' adatto ad usi professionali ma richiede esperienza.
- cellulosico, sviluppa molto calore e limitata quantita' di scoria; adatto per saldature in posizione verticale e su grossi spessori.

Esistono inoltre elettrodi specifici anche per inox ed alluminio.

Funzione del rivestimento:

- protegge da contatti accidentali l'elettrodo
- sublima (fonde e vaporizza) creando un gas che ionizzandosi permette il trasferimento degli elettroni.
- forma una campana protettiva di gas che separa il materiale in trasferimento dall'aria atmosferica
- apporta elementi nobili e disossidanti nel bagno
- solidifica formando una scoria che raccoglie le impurita' e protegge il metallo nelle prime fasi della solidificazione ad altissima temperatura.



Le saldature possono essere effettuate in una passata od a volte, su spessori maggiori sono richieste piu' passate.

E' possibile saldare in qualunque posizione, ma non tutti gli elettrodi permettono tutte le posizioni di saldatura. I tipi e le posizioni possibili sono normalmente riassunti sulla scatola degli elettrodi o scheda prodotto.

Anche le normative di riferimento e di designazione degli elettrodi sono la EN 499 e la americana AWS sono riportate sulle scatole.

Una grandezza importante nella scelta degli elettrodi e' il loro diametro: piccolo per piccoli spessori e grande per spessori maggiori.

Gli amperaggi delle correnti di saldatura vanno dai 40-70 A per un elettrodo rutilo da 2,00 mm di diametro ai 140-200 per un basico da 4,00. La temperatura e la posizione di saldatura influenzano l'amperaggio richiesto, che deve essere regolato con grande sensibilita' da parte dell'operatore.

Saldatura a filo continuo (MIG – MAG)

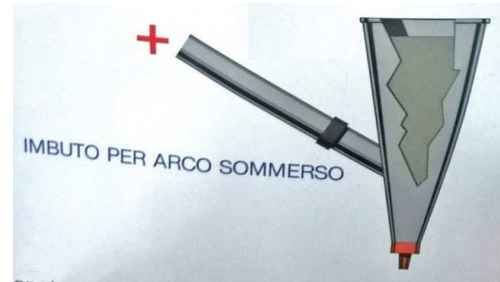
Tecnica "pulita", adatta ad ambienti chiusi, elevata produttivita'. Si definisce semiautomatica, in quanto il filo, avvolto su una bobina, esce dalla torcia automaticamente, spinto da una coppia di rulli, e semplifica le operazioni rispetto all'elettrodo fusibile in quanto non e' necessario "seguire" l'elettrodo che si accorcia.

MIG – Metal Inert Gas, MAG Metal Active Gas.



Saldatura ad arco sommerso, detta anche "sotto flusso"

Processo utilizzato su macchine automatiche per la saldatura rettilinea o circonferenziale. Tipica per saldature di elementi di grandi dimensioni. E' una forma di saldatura simile a quella a filo continuo, ma al posto della miscela gassosa protettiva, utilizza una graniglia che fa la funzione del rivestimento dell'elettrodo. A seguire la torcia che salda c'e' un aspiratore che recupera la parte di graniglia non coinvolta dalla fusione. Resta una scoria molto regolare che si stacca da sola o con minima azione meccanica. Causa la presenza della graniglia non e' possibile vedere il bagno di fusione. Una telecamera in vicinanza della torcia consente di seguire la regolarita' del deposito.



https://www.youtube.com/watch?v=cD29mKrF_0E (Su youtube, saldatura sotto flusso)

Saldatura TIG

Il TIG (Transfert Inert Gas) e' una forma di "cannello elettronico" che ha trovato grande evoluzione in tempi recenti. La saldatura avviene con elettrodo infusibile appuntito e, salvo eccezioni, con aggiunta di materiale tramite bacchetta di apporto. E' una saldatura di ottima estetica, precisa e pulita che consente di saldare anche piccoli spessori e materiali nobili quali l'acciaio inox e l'alluminio. Limita fortemente il riscaldamento delle parti adiacenti. La saldatura avviene tramite una torcia che oltre a contenere l'elettrodo provvede all'emissione di gas inerte (argon), che svolge la funzione di campana protettiva del metallo fuso e, ionizzandosi, permette il trasferimento degli elettroni.



Nel TIG, l'innesco dell'arco a differenza che nel caso della saldatura ad elettrodo o filo, non puo' avvenire per contatto dell'elettrodo con il pezzo, poiche', data la sua forma finemente appuntita, l'elettrodo si rovinerebbe immediatamente, costringendo a nuove affilature. La macchina origina quindi una corrente ad alta frequenza che puo' facilmente attraversare anche vari millimetri di aria, corrente che al comando dell'operatore fa da tramite per l'innesco dell'arco con la corrente di saldatura. Non potendo allontanare la torcia dal pezzo come invece si fa con il cannello, se durante la

saldatura si deve ridurre l'apporto di calore, per ridurre la corrente di saldatura quando necessario l'operatore dispone di una modalita' (un tasto) che permette di ridurre temporaneamente l'ampereaggio.

Taglio al plasma, taglio e saldatura laser, taglio ad acqua

Si tratta di tecnologie di nicchia, che rientrano comunque in generale nel campo allargato della saldatura.

Il taglio al plasma prevede la creazione di un arco elettrico, con elettrodo infusibile, e la proiezione di aria compressa sulla superficie riscaldata del metallo, che, bruciando, viene tagliato. Manuale od automatico consente di tagliare spessori anche di alcuni centimetri. Lascia lembi abbastanza regolari e determina un limitato riscaldamento delle zone adiacenti.

Il taglio e la saldatura laser, solitamente in uso su macchine cnc, consentono di tagliare e saldare in modo precisissimo anche piccoli spessori riducendo a valori quasi nulli l'alterazione termica delle zone adiacenti.

Il taglio ad acqua e' una tecnica solitamente in uso su macchine automatiche cnc che consente di tagliare le piu' svariate tipologie di materiali (moquette, marmo, vetro, metalli solo per fare degli esempi). Consiste nel proiettare un sottile getto di acqua che trascina con se polveri abrasive. La velocita' di uscita del getto di acqua e' elevatissima, originata a monte da pressioni anche fino a 4000 bar. Gli abrasivi sono di vario tipo e vanno scelti in funzione del materiale da tagliare. Gli ugelli sono soggetti a notevole usura.

Saldatura per pressione (per punti)

Questa tecnica si utilizza prevalentemente nell'assemblaggio di lamiere sottili. Si realizza premendo sui due lati un punto di due lamiere sovrapposte. Una corrente, attraversando il punto compresso lo riscalda, fondendolo e realizzando cosi' la saldatura. Esempio: le carrozzerie delle automobili.

Saldatura per attrito.

Utilizzata in ambito industriale prevede di far ruotare due pezzi cilindrici o tubolari in senso opposto tenendoli premuti l'uno contro l'altro e causando un forte riscaldamento per attrito. Una volta raggiunta la temperatura prevista si arresta la rotazione e si premono fortemente i pezzi l'uno contro l'altro, ottenendone la saldatura. Ottima la precisione ed assialita'. Esempio: assemblaggio di scatole ponte per veicoli industriali.

Brasatura dolce e brasatura forte, quest'ultima detta anche saldobrasatura.

La saldobrasatura e' una saldatura **eterogena** (quasi una forma di incollaggio a caldo) dove il materiale base e quello d'apporto sono diversi ed hanno diversi punti di fusione. La saldobrasatura prevede di riscaldare il giunto ad una temperatura superiore al punto di fusione del materiale d'apporto, ma inferiore a quella di fusione del materiale base, che infatti non viene fuso. Nel caso del rame Cu, la temperatura di fusione e' di 1083 °C, e si utilizza quale apporto l'argentana, che ha un punto di fusione prossimo ai 600 °C. Il metallo d'apporto penetra per capillarita' tra i pezzi da unire. L'argentana e' conosciuta con il nome commerciale di "Castolin". Altro materiale d'apporto molto utilizzato, soprattutto per l'unione di particolari in acciaio e' l'ottone. Il riscaldamento avviene con fiamma ossiacetilenica sbilanciata con regolazione carburante, cioe' in difetto di ossigeno rispetto alle consuete regolazioni. La fiamma deve presentare un "fiocco" molto pronunciato.

Le superfici da unire devono essere pulite e disossidate, tramite appositi prodotti in polvere (in barattolo) od in forma compatta quale rivestimento delle bacchette di argentana.

Sezionando il giunto restano perfettamente visibili i lembi originari integri. Questa tecnica consente di assemblare ad esempio i materiali sottili quali tubi e raccordi in rame per impianti di riscaldamento o tubi in acciaio come nel caso dei telai delle biciclette, oggi peraltro generalmente costruiti in alluminio saldato TIG.

La *brasatura dolce* si differenzia da quella forte per il punto di fusione piu' basso del materiale d'apporto. Tipicamente nella brasatura dolce si usa lo stagno, che fonde a 230 °C.

La protezione degli operatori.

I processi di saldatura sviluppano fumi ed intense radiazioni elettromagnetiche in un ampio spettro di frequenze, dall'infrarosso (calore), alla luce di forte intensità, all'ultravioletto; e' quindi essenziale curare la protezione degli operatori con sistemi di aspirazione, abbigliamento protettivo adeguato, ed una protezione degli occhi con lenti specifiche. Relativamente alle lenti o

schermi, un numero "DIN" tra 4 e 13 identifica il grado di filtrazione della radiazione luminosa ed UV da parte delle lenti: maggiore e' il numero e piu' scure e protettive sono le lenti. Valori tra DIN-4 e DIN-6 sono adatti alla saldatura a cannello, mentre per gli altri processi si va da DIN-9 per la saldatura ad elettrodo con piccoli elettrodi rivestiti ed amperaggi modesti, a valori superiori salendo con gli amperaggi, passando per il MIG-MAG fino al per il TIG con amperaggi elevati fino a DIN-13.

Come indicato in figura, la varie tipologie di saldatura richiedono tensioni diverse. A parità di potenza richiesta, al diminuire delle tensioni salgono gli amperaggi, e la maschere devono essere piu' scure. $P [W] = V [V] I [A]$

Esistono confortevoli maschere elettroniche con celle fotovoltaiche che si oscurano rapidissimamente in automatico non appena si innesca l'arco elettrico.

Tensioni a carico secondo Istituto Internazionale della Saldatura	
ELETTRODI	$V = 20 + 0,04 I_2$
TIG	$V = 10 + 0,04 I_2$
MAG (CO ₂)	$V = 14 + 0,05 I_2$
ARCO SOMMERSO	$V = 25 + 0,02 I_2$

Controlli delle saldature.

Con liquidi penetranti. (A fianco: Ferrolì –Industrialboilers)

Dopo pulizia della superficie si deposita a pennello o spray un liquido penetrante colorato di rosso (una sorta di soluzione di benzina ed inchiostro). Trascorsi 20 – 40 minuti si pulisce la superficie e si stende un rivelatore assorbente bianco. Se presenti cricche il liquido penetrante viene assorbito dal rivelatore ed appare una linea rossa.

Difetti superficiali, controllo semplice,



Magnetoscopico difetti superficiali o poco profondi.

Soluzione di *limatura di ferro, olio e colore fosforescente* vengono stesi a pennello sul pezzo da esaminare che e' attraversato da modeste correnti. I difetti deviano le linee del campo magnetico e la limatura si accumula cosi' in prossimita' dei difetti superficiali o poco profondi trattenendo l'inchiostro che viene evidenziato da apposita lampada di Wood (a luce nera).

Con ultrasuoni rileva difetti nell'intero spessore del materiale.

Proiezione di ultrasuoni nel pezzo (trasmettitore) e rilevazione degli echi con apposito microfono (ricevitore). I difetti riflettono le onde e vengono visualizzati su oscilloscopio o monitor.

Radiografico – (A fianco: Ferrolì –Industrialboilers)

Funzionamento: la sorgente emette raggi che vengono diversamente assorbiti dai materiali attraversati: metallo, aria (bolle d'aria), impurita' od altro. Sul lato opposto, una pellicola fotografica viene impressionata e permette di individuare e riconoscere i difetti.

Raggi X: per spessori fino a 30 mm, i raggi vengono originati nel momento dell'utilizzo, e non richiedono una sorgente da materia radioattiva.

Raggi γ (gamma) per spessori maggiori, e' necessaria una materia radioattiva come sorgente.

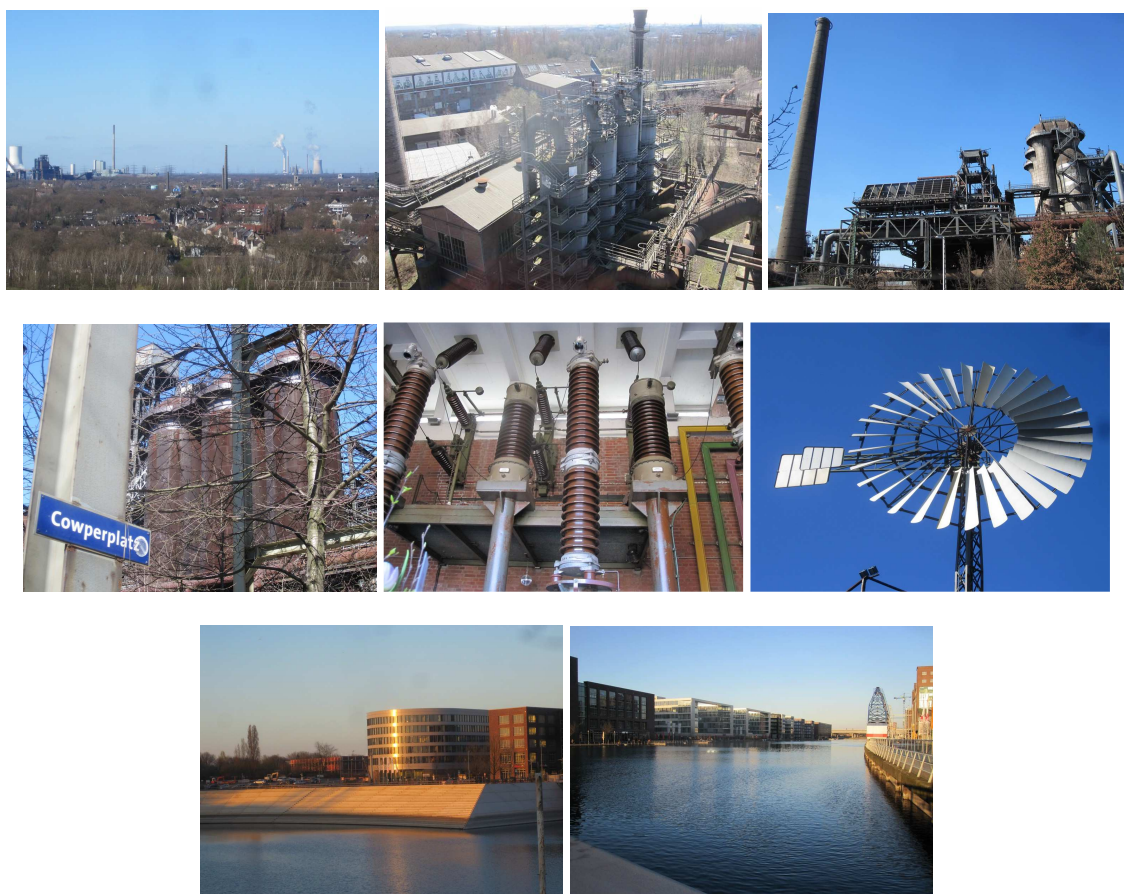


Appendice: Landschaftspark-Industriepark Duisburg (D)
Stazione ERIH – European Route of Industrial Heritage. www.erih.net



Il parco consiste in un'acciaiera dismessa, che è stata donata alla città e convertita in parco per il tempo libero ed attività culturali. La sala compressori è diventata una sala per concerti, la cabina elettrica un ristorante e l'altoforno 5 è diventato una torre panoramica alta 70 metri aperta, come il parco stesso, h 24, mentre il gasometro è ora una splendida piscina a disposizione della locale scuola di sub. Il sito ha mantenuto anche parte degli impianti e le interessantissime strutture originali dell'acciaiera adattandoli a finalità espositive e consentendone l'accesso con limitazione per le zone pericolose. Il parco offre scenografiche illuminazioni notturne e visite guidate.

Impressioni: Landschaftspark-Industriepark e Duisburg



Hafen / Innenhafen - Duisburg D

*Schemi ed immagini non diversamente indicati sono tratti dal libro di testo
"Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico" – Giunti editore.
Le fotografie, salvo diversa specificazione sono dell'autore Beniamino Muscatello e sono state scattate al
"Landschaftspark-Industriepark Nord" di Duisburg – D.
www.landschaftspark.de*

Grazie a chi ha contribuito permettendomi di raccogliere informazioni e materiali per questa realizzazione.