

LEGHE FERROSE: PRODUZIONE, PROPRIETÀ, DESIGNAZIONI.

(Distillazione verticale)

OBIETTIVI:

- *conoscenza a livello descrittivo dei procedimenti di fabbricazione di ghisa e acciaio;*
- *conoscenza delle proprietà meccaniche e tecnologiche di ghise e acciai;*
- *sapere leggere e risalire alle designazioni di ghise e acciai.*

- Leghe ferrose (def.)
 - Ghisa (def.)
 - Acciaio (def.)
- PRODUZIONE DELLA GHISA
 - Minerali di ferro (descr.)
 - Loro trattamenti (descr.)
 - Carbone coke (descr.)
 - Fondente (descr.)
 - Altoforno (descr.)
 - Suo funzionamento (descr.)
 - Principali reazioni chimiche (descr.)
- Proprietà meccaniche e tecnologiche delle ghise (descr.)
- Designazione unificata delle ghise (descr. + appl.)
- PRODUZIONE DELL'ACCIAIO
 - Convertitori Bessemer e Thomas (descr.)
 - Convertitore a ossigeno (descr.)
 - Forno elettrico (descr.)
- Proprietà meccaniche e tecnologiche degli acciai (descr.)
- Classificazione degli acciai (descr.)
- Influenza di elementi leganti (descr.)
- Designazione unificata degli acciai (descr. + appl.)

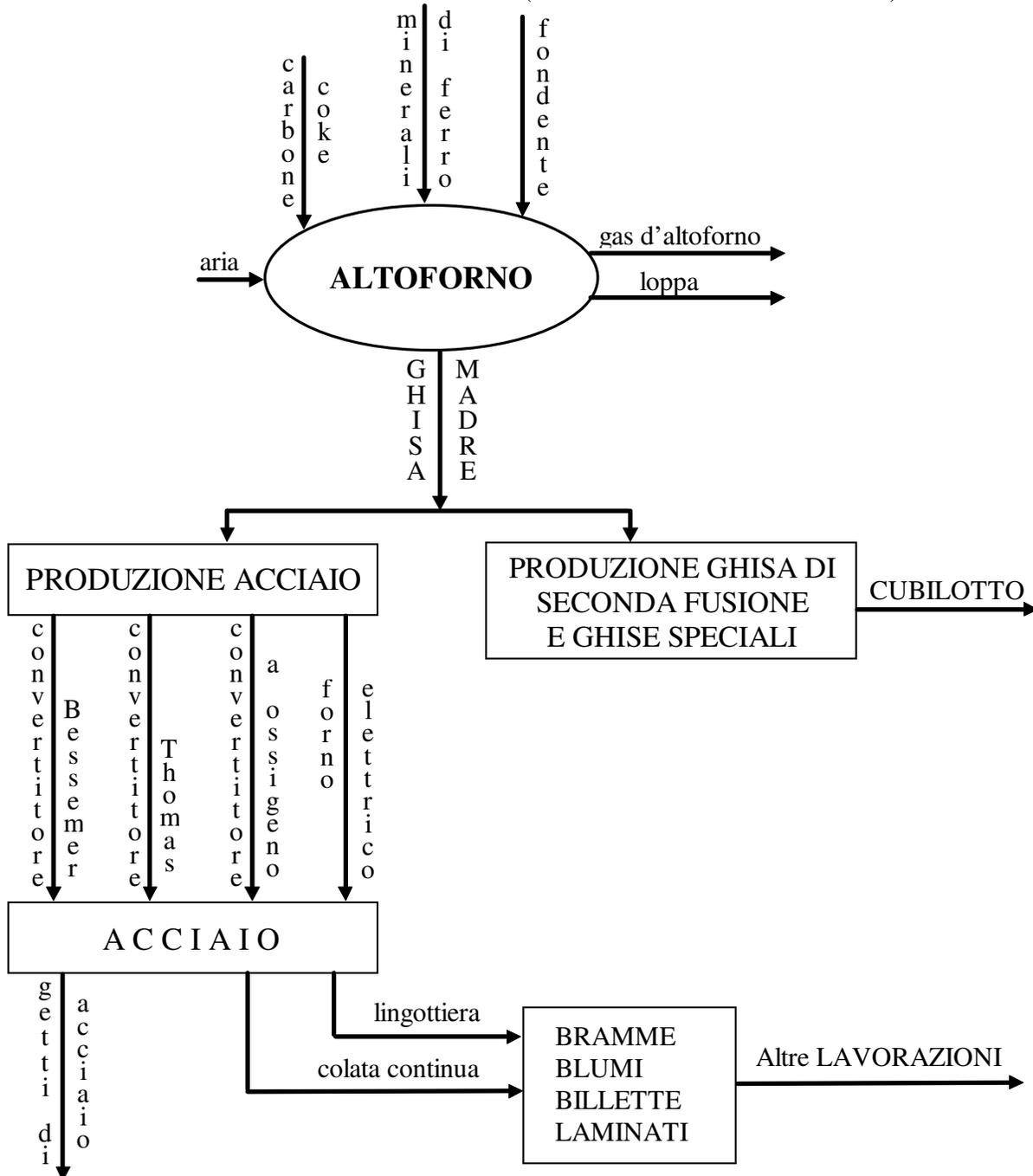
LEGHE FERROSE: PRODUZIONE, PROPRIETÀ, DESIGNAZIONI. (SCHEDA DI LEZIONE)

METALLURGIA: studia il complesso delle tecniche e delle operazioni necessarie per estrarre i metalli dai loro minerali e prepararli per la lavorazione industriale.

LEGHE FERROSE: sono un insieme di elementi in cui la parte preponderante è costituita dal ferro; nell'industria metalmeccanica sono utilizzate le leghe ferrose GHISA e ACCIAIO che vengono prodotte negli stabilimenti siderurgici.

SIDERURGIA: settore della metallurgia che si occupa della produzione e della lavorazione industriale della ghisa e dell'acciaio a partire da minerali di ferro o rottami ferrosi.

FABBRICAZIONE DI GHISA E ACCIAIO (SCHEMA DI IMPIANTO SIDERURGICO)



Le denominazioni correnti o commerciali dei materiali siderurgici sono spesso imprecise e possono generare confusione. A stretto rigore, il termine "ferro" indica il metallo puro, cioè l'elemento chimico contrassegnato dal simbolo Fe, ma viene usato anche per indicare il metallo quasi puro, in cui la presenza di carbonio, che deve essere inferiore allo 0,15%, è considerata un'impurezza che non ne altera sensibilmente le caratteristiche. Spesso inoltre il termine si riferisce a un acciaio a bassissimo tenore di carbonio (meno dello 0,2%), come il ferro omogeneo, o ferro colato, oppure più genericamente a un acciaio dolce (con tenore di carbonio inferiore allo 0,25%), in espressioni come filo di ferro, ferro zincato, ferro smaltato ecc. Le leghe ferro-carbonio sono gli acciai (con tenore di carbonio variabile dallo 0,15 al 2%) e le ghise (con tenore di carbonio variabile dal 2 al 5,5%). Le ferroleghie invece sono leghe particolari, usate nella produzione di acciai e ghise speciali, con bassissima percentuale di carbonio (dallo 0,10 all'8%) e massiccia presenza (che può superare l'80%) di altri elementi: leghe di ferro-manganese, ferro-silicio, ferro-cromo, silico-cromo, silico-manganese-alluminio ecc.

PRODUZIONE DELLA GHISA

La ghisa è una lega ferro-carbonio (Fe-C) contenente una percentuale di carbonio maggiore del 2% e minore del 6,67%, in simboli $2\% < C < 6,67\%$; viene fabbricata nell'altoforno a partire dai minerali di ferro (generalmente ossidi di ferro) che contengono differenti percentuali di ferro.

Minerali di ferro	{	magnetite Fe_3O_4 (ossido di ferro) contenente il 45 ÷ 70% di ferro
		ematite Fe_2O_3 (ossido di ferro) contenente il 45 ÷ 60% di ferro
		limonite $2\text{Fe}_2\text{O}_3$ (ossido idrato di ferro) contenente il 30 ÷ 50% di ferro
		siderite FeCO_3 (carbonato di ferro) contenente il 30 ÷ 40% di ferro

I minerali di ferro provenienti dalle miniere in grosse pezzature, prima di essere immessi nell'altoforno subiscono dei trattamenti tendenti a favorirne l'utilizzo:

Trattamenti minerali di ferro	{	frantumazione
		cernita
		agglomerazione

Le materie prime per la produzione di ghisa d'altoforno sono i minerali di ferro, il carbon coke e il fondente. Il carbon coke, oltre a fornire il calore necessario al processo di fusione, libera durante la combustione monossido di carbonio che, combinandosi con gli ossidi di ferro che costituiscono il minerale, li riduce a ferro metallico. L'equazione che descrive questa reazione chimica è $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 3\text{CO}_2 + 2\text{Fe}$. Il calcare viene usato come fonte addizionale di monossido di carbonio e come fondente, dal momento che combinandosi con la silice, un materiale di difficile fusione, esso forma silicato di calcio fusibile. In assenza di calcare si formerebbe silicato di ferro con una conseguente perdita di ferro metallico. Il silicato di calcio e le altre impurità formano una scoria galleggiante sul metallo fuso. La comune ghisa d'altoforno è composta da ferro (circa il 92%); da carbonio (il 3 o 4%); da silicio (in percentuale variabile tra lo 0,5 e il 3%); da manganese (tra lo 0,25 e il 2,5%); da fosforo (tra lo 0,03 e il 2%); spesso sono presenti anche tracce zolfo.

I minerali di ferro trattati vengono disposti a strati con carbone coke e fondente all'interno dell'altoforno e attraverso una serie di reazioni chimiche si ottiene la ghisa madre fusa.

CARBONE COKE: viene ottenuto per distillazione del carbone fossile in impianti chiamati cokerie; è composto per circa il 90% da carbonio, ha una elevata resistenza alla compressione e una pezzatura dopo frantumazione di $20 \div 60$ mm. La sua funzione nell'altoforno è triplice:

- come combustibile porta il forno alla temperatura necessaria per fare avvenire le diverse reazioni chimiche;
- produce la riduzione diretta dei minerali di ferro;
- effettua la carburazione del ferro.

FONDENTE: è un materiale roccioso calcareo che ha la funzione di agglomerare, mediante reazioni chimiche, le impurità del minerale di ferro (ganga) e le ceneri del carbone coke che andranno a formare le loppe.

PICCOLO GLOSSARIO DI CHIMICA

COMBUSTIONE: è la reazione chimica tra un combustibile (coke) e un comburente (ossigeno).

OSSIDAZIONE: è la reazione chimica tra l'ossigeno e un metallo.

RIDUZIONE: è la reazione chimica attraverso la quale si toglie ossigeno da un composto chimico.

CARBURAZIONE: è la reazione chimica tra il carbonio o un suo composto e un altro elemento.

DECARBURAZIONE: è la reazione chimica attraverso la quale si toglie carbonio da una lega ferrosa.

REAZIONE CHIMICA ESOTERMICA: reazione che avviene con sviluppo di calore, quindi fa aumentare la temperatura dell'ambiente dove avviene.

REAZIONE CHIMICA ENDOTERMICA: reazione che avviene con assorbimento di calore, quindi fa diminuire la temperatura dell'ambiente dove avviene.

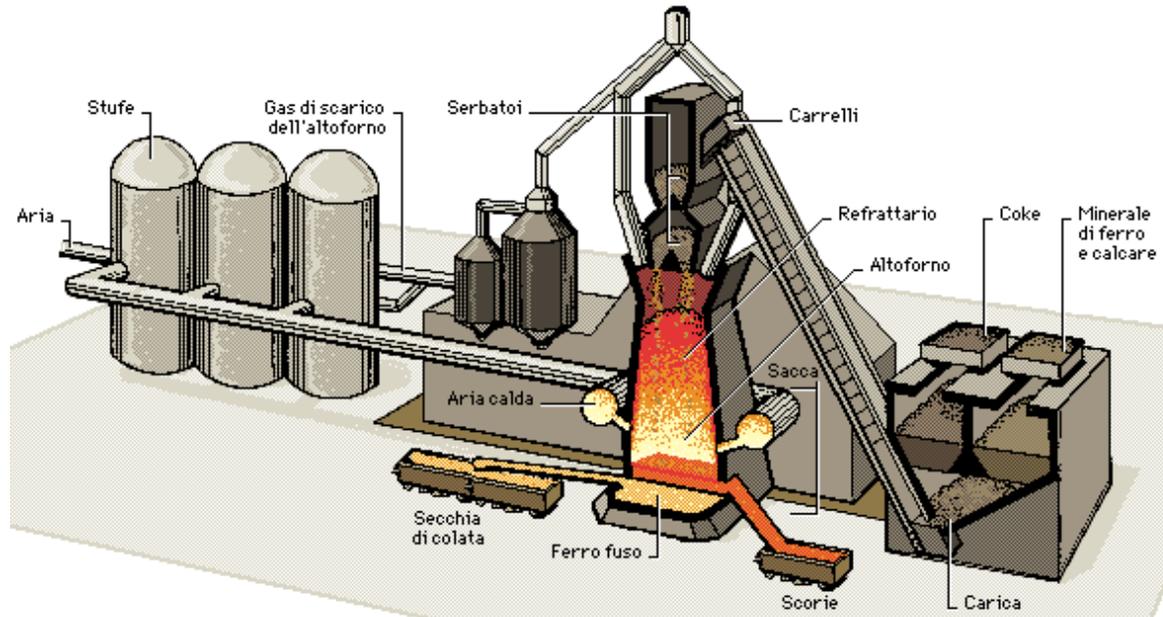
ALTOFORNO E PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE

Un tipico altoforno consiste in una torre d'acciaio alta circa 27 m, rivestita internamente di materiale refrattario, formata di due parti a profilo tronco conico unite per il diametro maggiore, che è situato a circa un quarto di distanza dal fondo. La parte inferiore del forno, detta sacca, è munita lateralmente di un gran numero di aperture tubolari, dette ugelli, attraverso le quali viene insufflata aria calda in pressione per mantenere attiva la reazione di combustione. In prossimità dell'estremità inferiore della sacca è situato il foro di colata da cui fluisce la ghisa fusa e sopra di esso, ma al di sotto degli ugelli, si trova un altro foro per lo spurgo delle scorie. Alla sommità del forno sono situate le tramogge, attraverso le quali viene introdotta la carica, e le ventole che prelevano i gas caldi di combustione; il calore dei gas viene ceduto ai forni di preriscaldamento dell'aria che, a temperature oscillanti fra $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $870\text{ }^{\circ}\text{C}$, alimenta l'altoforno.

Gli altiforni operano a ciclo continuo, infatti se la combustione si arrestasse, la massa parzialmente fusa si solidificherebbe e il forno dovrebbe essere demolito. Le materie prime che lo alimentano sono frazionate in piccole cariche e introdotte a intervalli di 10-15 minuti. Le scorie vengono estratte ogni due ore circa, mentre la ghisa viene colata cinque volte al giorno. Il prelievo della ghisa si effettua rimuovendo il tappo di argilla che chiude il foro di colata, facendo defluire il metallo, attraverso un canale di colata rivestito di argilla, in un ampio contenitore di acciaio rivestito internamente con materiali refrattari, che può essere sia una siviera sia un vagoncino in grado di contenere oltre 100 t di metallo. Eventuali scorie ancora presenti vengono eliminate prima di raggiungere il contenitore, entro il quale la ghisa fusa viene trasportata ai forni di affinazione per essere convertita in acciaio.

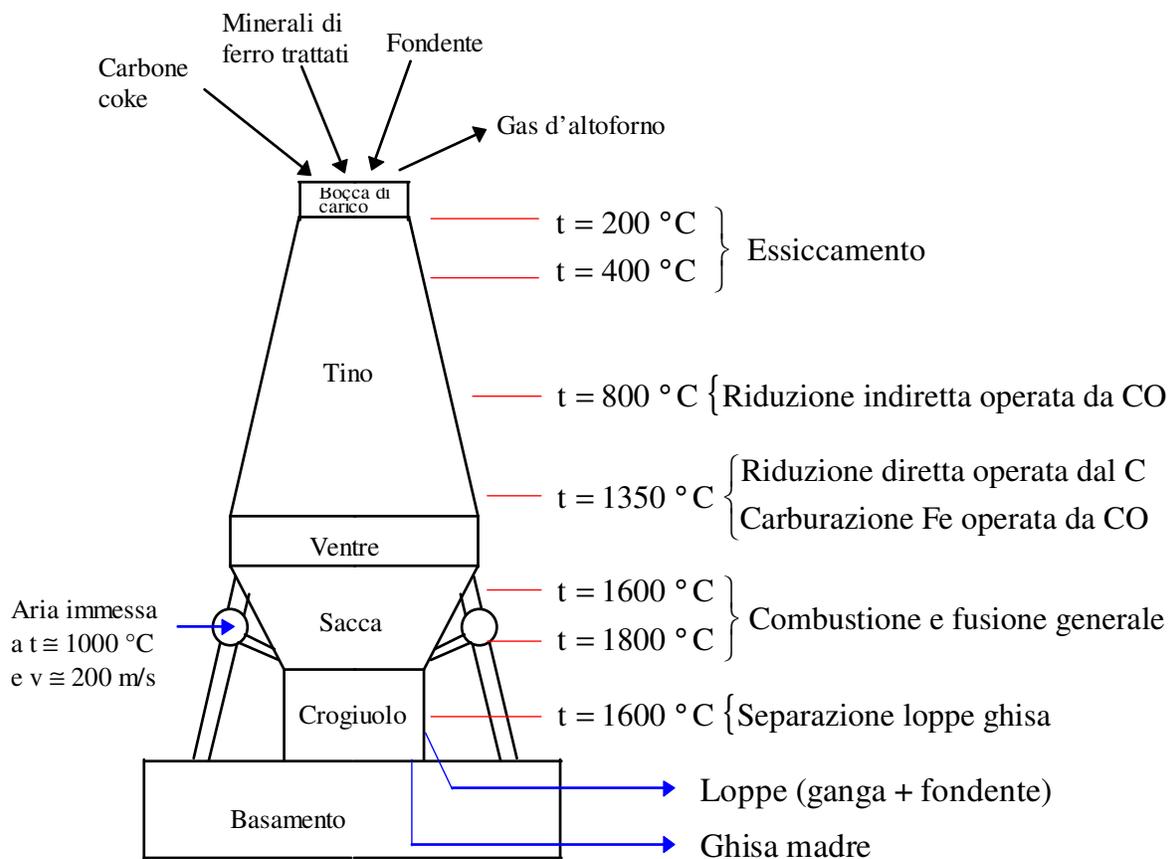
ALTOFORNO

L'eliminazione delle impurità del ferro grezzo proveniente dalle miniere viene realizzata in altoforno. Nella fornace rivestita di materiale refrattario la miscela di minerale di ferro, coke e carbone, detta carica, viene bombardata da un getto di aria calda alla temperatura di circa 870 °C e, mentre il metallo fuso si deposita sul fondo, le scorie emergono in superficie. Per ottenere una ghisa più pura, il materiale viene più volte filtrato e sottoposto allo stesso trattamento.



I moderni altiforni operano generalmente in congiunzione con forni a ossigeno formando con essi un unico impianto siderurgico in cui la ghisa fusa viene usata come carica per i forni per la produzione di acciaio. Il metallo fuso proveniente da più altiforni può essere raccolto e misciato in una siviera di grandi dimensioni prima di essere convertito in acciaio, per ridurre le irregolarità nella composizione del materiale prodotto dai singoli altiforni. Raramente, e solo in impianti antiquati, la ghisa d'altoforno viene colata in lingotti da inviare in un secondo tempo ai forni d'affinazione.

SCHEMA D'ALTOFORNO E PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE



PRINCIPALI REAZIONI CHIMICHE: l'ossigeno dell'aria immessa attraverso la tubiera a temperatura elevata e ad alta velocità, provoca la combustione (fa bruciare) del coke formando dapprima anidride carbonica (CO_2) e successivamente ossido di carbonio (CO). L'ossido di carbonio salendo ha la funzione di carburare il ferro e di operare la riduzione indiretta del minerale di ferro, mentre il carbonio contenuto nel coke opera la riduzione diretta del minerale di ferro.

PROPRIETÀ DELLE GHISE

- RESISTENZA A TRAZIONE: $100 \div 400\text{ N/mm}^2$
- RESISTENZA A COMPRESIONE: $400 \div 900\text{ N/mm}^2$
- ALLUNGAMENTO BASSISSIMO
- DUREZZA ELEVATA
- RESILIENZA BASSISSIMA
- FUSIBILITÀ BUONA
- COLABILITÀ BUONA
- RESISTENZA ALLA CORROSIONE BUONA
- SALDABILITÀ SCARSA
- TRUCIOLABILITÀ SCARSA

Le ghise vengono lavorate solo per fusione con l'eccezione delle ghise grigie che possono essere lavorate anche alle macchine utensili.

I difetti della ghisa sono: la FRAGILITÀ e la BASSA RESISTENZA A TRAZIONE.

CLASSIFICAZIONE E DESIGNAZIONE DELLE GHISE

- GHISA GRIGIA PER GETTI ORDINARI: vengono impiegate per la costruzione di parti meccaniche; la designazione prevede la lettera G seguita da un numero che rappresenta la resistenza unitaria a rottura a trazione espressa in N/mm^2 .

Esempi:

G 140 è la designazione unificata di una ghisa grigia per getti ordinari avente carico unitario di rottura a trazione di 140 N/mm^2 .

G 120 è la designazione unificata di una ghisa grigia per getti ordinari avente carico unitario di rottura a trazione di 120 N/mm^2 .

- GHISA GRIGIA SFEROIDALE: si ottengono aggiungendo in fase di colata nichel-magnesio e ferro-silicio, vengono utilizzate per la costruzione di parti meccaniche alle quali occorre massima tenacità e resistenza all'usura; la designazione prevede le due lettere GS seguite da due numeri che rappresentano la resistenza unitaria a rottura a trazione (N/mm^2) e l'allungamento percentuale a rottura.

Esempi:

GS 600-12 è la designazione unificata di una ghisa sferoidale avente carico unitario di rottura a trazione di 600 N/mm^2 e allungamento percentuale a rottura del 12%.

GS 550-11 è la designazione unificata di una ghisa sferoidale avente carico unitario di rottura a trazione di 550 N/mm^2 e allungamento percentuale a rottura dell'11%.

- GHISA GRIGIA NON LEGATA PER GETTI COLATI IN SABBIA PER USO AUTOMOBILISTICO: viene usata per organi meccanici resistenti all'usura a caldo; la designazione prevede le due lettere Gh seguite da un numero che rappresenta l'indice di durezza Brinell.

Esempi:

Gh 140 è la designazione unificata di una ghisa grigia per getti colati in sabbia per uso automobilistico avente indice di durezza Brinell 140 HB.

Gh 160 è la designazione unificata di una ghisa grigia per getti colati in sabbia per uso automobilistico avente indice di durezza Brinell 160 HB

- GHISA MALLEABILE IN GETTI: viene impiegata per la costruzione di organi meccanici soggetti a flessione a torsione e a ripetuti urti; la loro designazione prevede l'impiego di due o tre lettere GM, GMB, GMN seguite da un numero che rappresenta il valore minimo della resistenza unitaria a rottura a trazione (N/mm^2).

GM oppure GMB ghisa malleabile in getti corrente o a cuore bianco

GMN ghisa malleabile in getti a cuore nero

Esempi:

GM 340 è la designazione unificata di una ghisa malleabile a cuore bianco avente carico unitario minimo di rottura a trazione di 340 N/mm^2 .

GMB 340 è la designazione unificata di una ghisa malleabile a cuore bianco avente carico unitario minimo di rottura a trazione di 340 N/mm^2 .

GMN 320 è la designazione unificata di una ghisa malleabile a cuore nero avente carico unitario minimo di rottura a trazione di 320 N/mm^2 .

PRODUZIONE DELL'ACCIAIO

L'acciaio è una lega ferro-carbonio (fe-C) in cui la percentuale di carbonio è maggiore dello 0,02% e minore del 2%, in simboli $0,02 < C < 2\%$. L'acciaio viene prodotto per decarburazione o affinazione della ghisa, cioè togliendo carbonio dalla ghisa.

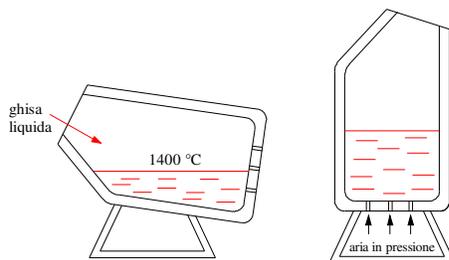
Il più antico procedimento per la produzione di acciaio in grandi quantità utilizza un forno molto alto, noto come convertitore Bessemer, che può essere inclinato lateralmente per il caricamento della ghisa d'altoforno e per la colata dell'acciaio. Vengono soffiati grandi quantità di aria attraverso la massa fusa, in modo che l'ossigeno in essa contenuto riduca il carbonio della ghisa e si combini con le impurità, trasformandole in scorie solide galleggianti, facilmente eliminabili. Nel processo all'ossigeno (detto anche processo LD, dalle iniziali di Linz e Donawitz, le due città tedesche sedi delle acciaierie in cui fu applicato per la prima volta), la ghisa viene affinata, cioè trasformata in acciaio, in un forno simile al convertitore Bessemer in cui all'aria si sostituisce un getto di ossigeno puro insufflato dall'alto, ad alta pressione, mediante una lancia raffreddata ad acqua posta a circa 2 m sopra il livello del metallo fuso. L'ossigeno, iniettato a grande velocità nella massa fusa, si combina con il carbonio e gli altri elementi indesiderati molto più rapidamente che nel processo Bessemer: in meno di cinquanta minuti il ciclo è terminato, con la produzione di oltre 200 t di acciaio.

CONVERTITORI BESSEMER E THOMAS

I due tipi di convertitori sono uguali con l'unica differenza nel rivestimento refrattario

Bessemer → rivestimento acido (mattoni siliciosi)

Thomas → rivestimento basico (mattoni di magnesia)



Fori N° 100 ÷ 200 con diametro di 13 ÷ 15 mm

Diametro convertitore circa 4 m

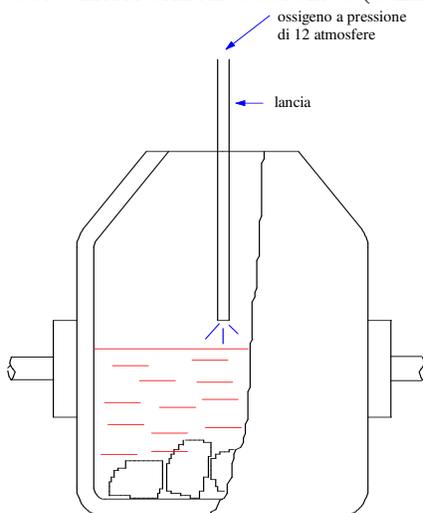
Altezza convertitore circa 8 m

La decarburazione della ghisa è fatta dall'ossigeno contenuto nell'aria insufflata dai fori, che brucia parte del carbonio della ghisa trasformandola in acciaio.

L'operazione dura circa 20 ÷ 25 minuti.

Produzione giornaliera di 20 ÷ 30 tonnellate.

CONVERTITORE AD OSSIGENO (O LINZ E DONAWITZ)



La carica del convertitore è costituita per il 70% da ghisa liquida e per il 30% da rottami di ferro.

La decarburazione della ghisa avviene ad opera dell'ossigeno insufflato tramite la lancia che brucia parte del carbonio contenuto nella ghisa ed è aiutata dalla presenza dei rottami di ferro.

L'operazione dura circa 20 ÷ 30 minuti.

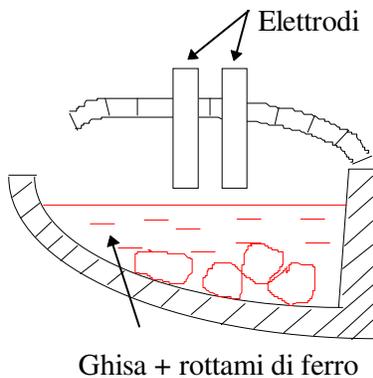
Produzione giornaliera di 130 ÷ 250 tonnellate.

FORNO AD ARCO ELETTRICO

In questi forni il calore per la fusione e l'affinazione dell'acciaio viene prodotto per mezzo di energia elettrica. I forni elettrici permettono un'alta precisione di controllo delle condizioni di affinazione e sono quindi particolarmente indicati nella produzione di acciaio inossidabile e di altri acciai fortemente legati. L'affinazione avviene in una camera chiusa in cui la temperatura e in generale le condizioni dell'ambiente vengono tenute sotto stretto controllo da dispositivi automatici. Durante i primi stadi del processo di affinazione un getto di ossigeno di elevata purezza, iniettato mediante una lancia, permette di innalzare la temperatura e di diminuire il tempo necessario alla produzione dell'acciaio. La quantità di ossigeno immesso nel forno viene strettamente controllata per limitare al minimo le reazioni di ossidazione indesiderate.

Molto spesso la carica è quasi completamente composta da rottami, che prima dell'uso vengono analizzati e separati in funzione del loro contenuto, dal momento che questo influenzerà la composizione del metallo affinato. Altri materiali, tra cui piccole quantità di minerale di ferro e calce viva, vengono aggiunti alla carica o nel momento in cui l'acciaio viene colato nella siviera, per favorire la rimozione del carbonio e delle altre impurità presenti.

Una volta caricato il forno, gli elettrodi vengono abbassati in prossimità della superficie del metallo. La corrente fluisce sotto forma di arco elettrico da un elettrodo alla carica metallica, scorre nel metallo, e ancora come arco rientra nell'altro elettrodo. La resistenza al flusso di corrente presentata dal metallo e il forte calore generato dall'arco elettrico determinano il riscaldamento della carica e la conseguente rapida fusione del metallo.



Fra gli elettrodi di grafite, sottoposti ad una differenza di potenziale, scocca l'arco che mantiene una temperatura elevata all'interno del forno.

La decarburazione della ghisa avviene ad opera dei rottami di ferro in quanto si scioglie la stessa quantità di carbonio in una maggiore quantità di ferro.

Con i forni elettrici si producono acciai di elevata purezza e acciai speciali aggiungendo elementi leganti.

Produzione di semilavorati

L'acciaio viene commercializzato in un'ampia varietà di semilavorati, in modo particolare lamiere, travi, tubi, barre e profilati diversi che vengono prodotti nelle acciaierie laminando e foggando i lingotti nella forma desiderata. La lavorazione dell'acciaio inoltre migliora la qualità del metallo affinandone la struttura cristallina e aumentandone la tenacità.

Il processo base nella lavorazione dell'acciaio è la laminazione a caldo, in cui i lingotti vengono prima riscaldati al calore rosso (1000 °C ca.) in un forno detto fossa di permanenza, e quindi fatti passare attraverso una serie di laminatoi, grosse macchine costituite essenzialmente da una robusta "gabbia" che sostiene due cilindri d'acciaio controrotanti e dal relativo motore. I cilindri sono sovrapposti e distanziati l'uno dall'altro da uno spazio che corrisponde allo spessore che avrà il semilavorato all'uscita del laminatoio. Due o più gabbie affiancate costituiscono un "treno di lavorazione" e ogni gabbia, o più treni successivi, opera una riduzione di spessore del semilavorato e gli conferisce gradualmente la forma desiderata. Il lingotto viene lavorato nel laminatoio comunemente detto "blooming" (o laminato per "blumi") perché trasforma il lingotto stesso in un "blumo", cioè in un semilavorato a sezione quadrata avente lato di circa 13 cm e lunghezza variabile fra 3 m e 9 m, adatto alle fasi successive; la lavorazione prosegue con un

"treno sbozzatore" prima di passare al cosiddetto "treno finitore". I cilindri dei laminatoi per lamiere e nastri sono lisci, quelli per profilati sono scanalati secondo la sezione desiderata.

I laminatoi per nastri e lamiere sono detti continui perché sono costituiti da più treni posti in serie; essi producono lamiere e nastri larghi fino a 2,4 m, lavorando le sottili lastre di acciaio quando sono ancora calde. Una lastra di acciaio spessa oltre 11 cm e lunga 4 m può essere lavorata fino a ottenere fogli di appena 1 mm di spessore e oltre 370 m di lunghezza. I laminatoi continui comprendono i treni rifinitori dei bordi, apparecchi per la decalaminazione e per l'avvolgimento automatico dei nastri all'uscita dal laminatoio. Questi treni sono composti da gruppi di rulli verticali e vengono impiegati per garantire uno spessore uniforme del nastro. La decalaminazione consiste nell'eliminazione delle scaglie di lavorazione che si formano sulla superficie del nastro e si attua attraverso martellamento meccanico, scioglimento con getti d'aria, o flettendo in modo accentuato lo stesso nastro d'acciaio. I nastri avvolti in bobine vengono posti su un trasportatore per essere ricotti e quindi tagliati.

Tubi

I tubi di qualità più corrente vengono prodotti curvando a caldo un nastro d'acciaio, nel senso della lunghezza, fino a fargli assumere la forma tubolare e saldando i lembi affrontati. Nei tubi di piccole dimensioni i lembi del nastro vengono sovrapposti a caldo e fatti passare attraverso una coppia di cilindri che esercita su di essi una pressione tale da saldarli. I tubi senza saldatura possono essere ottenuti per mezzo di due procedimenti diversi. Il più recente, e molto più rapido, è il processo di estrusione, che consiste nel pressare a caldo un massello d'acciaio entro una filiera sagomata come la sezione del tubo; si usano presse di grande potenza, per cui il tubo finito viene letteralmente "sparato" attraverso la filiera.

Il più antico è il processo Mannesmann, che viene realizzato in due fasi, con due diversi laminatoi speciali: uno, il laminatoio foratore, agisce su un semilavorato a sezione circolare pressandolo fra due cilindri ad assi sghembi che lo costringono ad avanzare contro la punta di una barra fissa (il mandrino) coassiale. La torsione impressa dai cilindri al semilavorato favorisce la creazione del foro longitudinale nel quale penetra il mandrino. Il tubo così sbozzato passa al laminatoio finitore, detto "a passo di pellegrino", che agisce in due tempi alternati, mediante una spina calibrata che regolarizza il diametro interno e una coppia di cilindri scanalati che regolarizza il diametro esterno.

Lamiera stagnata

La lamiera sottile stagnata, nota come latta, rappresenta una delle produzioni più importanti per un'acciaieria. Dopo il processo di laminazione, i fogli d'acciaio vengono stagnati per immersione in un bagno di stagno fuso. Il metodo più diffuso di rivestimento si ottiene per via elettrolitica: i fogli vengono srotolati lentamente dalle bobine e immersi in una soluzione chimica attraversata da corrente elettrica e contenente stagno puro che si deposita sull'acciaio. Circa mezzo chilogrammo di stagno è sufficiente per rivestire circa venti metri quadri d'acciaio. Nella produzione di latta sottile, i nastri vengono sottoposti a una seconda laminazione a freddo che li rende più resistenti e sottili. I recipienti prodotti con latta sottile sono resistenti quanto quelli di latta normale, ma contengono meno acciaio con conseguente risparmio in termini di peso e costo. Altri procedimenti di fabbricazione dell'acciaio includono la **fucinatura**, la **fusione** e l'imbutitura dell'acciaio in stampi.

Ferro battuto

Il più antico procedimento di produzione della lega malleabile e tenace conosciuta come ferro battuto differisce in modo marcato dagli altri metodi di produzione dell'acciaio. Questo procedimento, noto come puddellaggio, richiedeva una gran mole di lavoro manuale che rendeva pressoché impossibile la produzione di ferro battuto in grandi quantità.

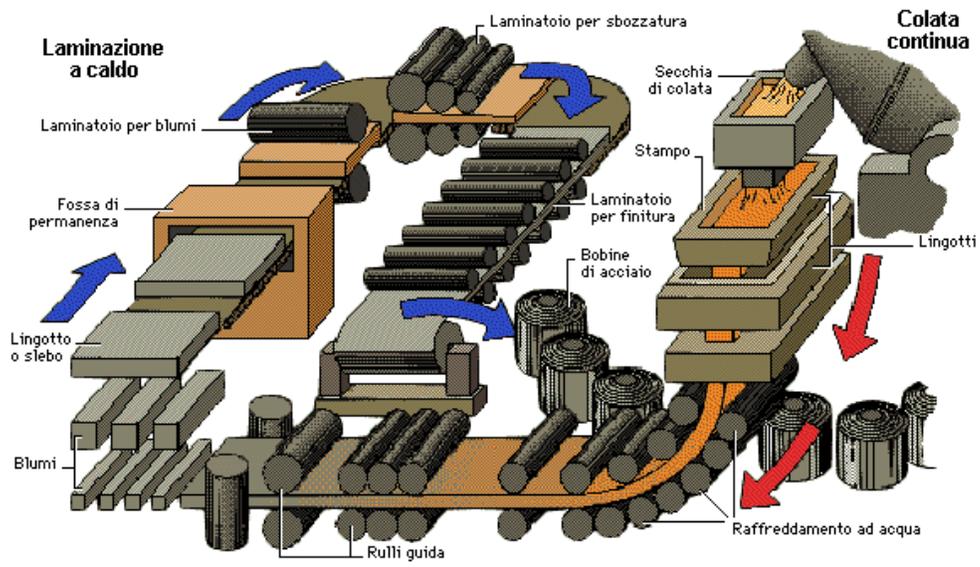
Il ferro battuto oggi può essere sostituito praticamente in tutte le applicazioni da acciaio a basso contenuto di carbonio, che è meno costoso da produrre e di qualità più uniforme.

Il forno di puddellaggio presenta un soffitto basso ad arco e un letto di fusione in cui viene posto il metallo grezzo, separato con un muro dalla camera di combustione in cui viene bruciato carbone bituminoso. Le fiamme che si sviluppano nella camera di combustione superano in altezza il muro, colpiscono il soffitto ad arco e si "riverberano" sul letto di fusione (per questo motivo il forno di puddellaggio è anche detto forno a riverbero). Quando il forno è sufficientemente caldo si spalma sulle pareti e sul letto un impasto di ossido di ferro, generalmente in forma di **ematite** polverizzata, quindi si carica con ghisa d'altoforno e si chiude la bocca di caricamento. Quando la ghisa è fusa, dopo circa 30 minuti, si aggiungono alla carica altri ossidi di ferro o scorie di laminazione, mescolando il tutto con l'aiuto di una barra curva. Il silicio e la maggior parte del manganese presenti nella ghisa vengono ossidati, e parte dello zolfo e del fosforo si volatilizza. La temperatura del forno viene quindi leggermente alzata e il carbonio gassifica in monossido di carbonio. Man mano che il gas si sviluppa, il volume dello strato galleggiante di scorie aumenta e il livello della carica sale. La combustione del carbonio innalza la temperatura di fusione del metallo, che perde lo stato liquido divenendo pastoso e spugnoso. La massa finale viene quindi estratta dal forno, suddivisa in masselli di circa 80-90 kg, usando apposite tenaglie e battuti al maglio per eliminare la maggior parte delle scorie incluse e omogeneizzare il metallo che, al termine di questa fase diviene ferro quasi puro o, più precisamente, acciaio dolcissimo. Il ferro viene tagliato in lastre piatte che vengono impilate, riscaldate al calor rosso e laminate in un unico pezzo. La laminazione può essere eseguita più volte per migliorare la qualità del prodotto.

La moderna produzione di ferro battuto utilizza acciaio fuso proveniente da un convertitore Bessemer e scorie fuse preparate in un forno Martin-Siemens con minerale di ferro, scorie di laminazione e sabbia. Le scorie fuse vengono colate in una siviera e mantenute a una temperatura di parecchie centinaia di gradi inferiore a quella dell'acciaio fuso, il quale viene colato nella stessa siviera dove solidifica immediatamente, sviluppando grandi quantità di gas. La pressione interna esercitata dai gas frantuma il metallo in minuscole particelle che, pesando più delle scorie, si accumulano sul fondo della siviera agglomerandosi in una massa spugnosa simile ai masselli prodotti nel forno di puddellaggio. Le scorie in superficie vengono estratte e la massa di ferro risultante viene lavorata come quella ottenuta dal forno di puddellaggio.

Sagomatura dell'acciaio

Mediante il procedimento a colata continua (a destra) l'acciaio fuso viene trasformato in blumi, lingotti e slebi. Il metallo al calor bianco viene versato in stampi e raffreddato ad acqua mentre viene plasmato nella forma desiderata da una serie di rulli guida. Il processo di laminazione a caldo (a sinistra), che è il più diffuso, inizia con il riscaldamento degli slebi preformati nella fossa di permanenza. I laminatoi infine eseguono la sbazzatura e la finitura, assottigliando ulteriormente le lamine.



PROPRIETÀ DEGLI ACCIAI

Prendono il nome di acciai tutte le leghe del ferro con il carbonio, nelle quali il ferro è predominante e la percentuale di carbonio risulta inferiore al 2 %. Tuttavia negli acciai più comuni il carbonio di solito non supera l'1 %. Inoltre nelle varie leghe possono essere presenti anche altri elementi speciali, allo scopo di migliorarne le proprietà.

Le proprietà degli acciai dipendono principalmente dalla percentuale di carbonio, dalla presenza nella lega di altri elementi, dal trattamento termico cui sono stati sottoposti.

Comunemente essi presentano:

- BUONA RESISTENZA MECCANICA $R_m = 400 \div 1000 \text{ N/mm}^2$
- BUON ALLUNGAMENTO $A = 5 \div 25 \%$
- BUONA RESILIENZA $K = 40 \div 100 \text{ J}$
- BUONA SALDABILITÀ
- BUONA PLASTICITÀ A CALDO (PER GLI ACCIAI DOLCI ANCHE A FREDDO)
- SCARSA FUSIBILITÀ E COLABILITÀ

Ecco in sintesi come variano le proprietà degli acciai all'aumentare della percentuale di carbonio:

aumentano	diminuiscono
<ul style="list-style-type: none"> • LA RESISTENZA MECCANICA • LA DUREZZA • LA TEMPRABILITÀ • LA FUSIBILITÀ • LA RESISTENZA ALL'USURA 	<ul style="list-style-type: none"> • L'ALLUNGAMENTO • LA RESILIENZA • LA PLASTICITÀ A FREDDO • LA SALDABILITÀ

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI IN BASE ALLA PERCENTUALE DI CARBONIO

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| • ACCIAI DOLCI (TENERI) | $C < 0,2 \%$ |
| • ACCIAI DI MEDIA DUREZZA | $C = 0,2 \div 0,6 \%$ |
| • ACCIAI MOLTO DURI | $C > 0,6 \%$ |

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI IN BASE ALLA PRESENZA DI ALTRI ELEMENTI IN LEGA

ACCIAI NON LEGATI: quando eventuali altri elementi sono presenti in percentuali minime.

ACCIAI DEBOLMENTE LEGATI: quando **ciascuno** degli elementi speciali è presente in quantità inferiore al 5 %.

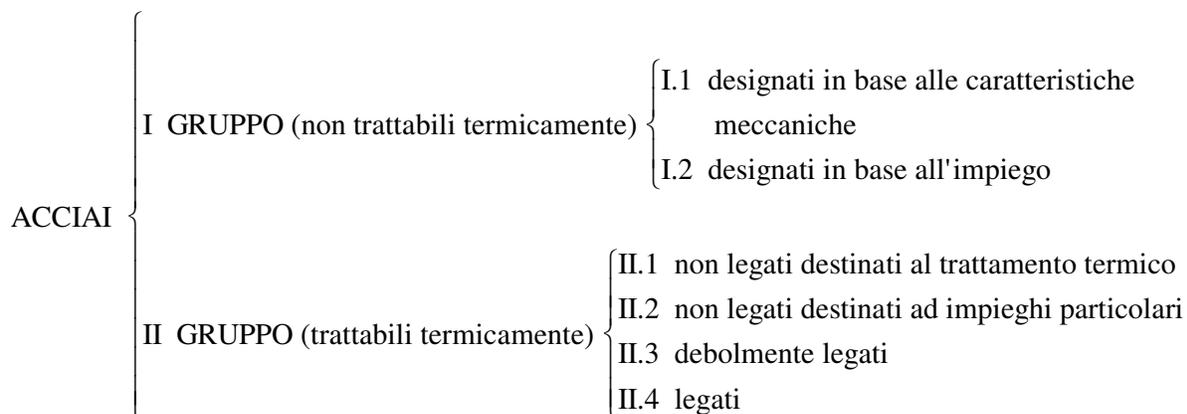
ACCIAI LEGATI: quando **almeno uno** degli elementi speciali è presente in quantità uguale o superiore al 5 %.

INFLUENZA DEGLI ELEMENTI LEGANTI

Di solito durante la fabbricazione degli acciai vengono aggiunti alla lega alcuni elementi speciali, per migliorarne le proprietà meccaniche e/o tecnologiche. Qui di seguito sono elencati quelli più comuni e per ciascuno di essi vengono indicati brevemente gli effetti provocati nell'acciaio.

ELEMENTO	Simbolo chimico	Effetti sull'ACCIAIO
Alluminio	Al	Contribuisce con il cromo e il molibdeno a conferire all'acciaio una notevole durezza superficiale
Boro	B	In quantità minima aumenta l'attitudine dell'acciaio a subire trattamenti termici
Cobalto	Co	Favoriscono la stabilità della durezza a temperature elevate.
Vanadio	V	
Cromo	Cr	Aumenta la resistenza meccanica, la durezza e l'elasticità. Quando è presente in quantità superiore al 10÷12% rende l'acciaio inossidabile.
Nichel	Ni	Di solito è presente insieme al cromo. Aumenta la tenacità e la resistenza alla corrosione.
Manganese	Mn	Aumenta la durezza e la resistenza ad usura, senza far diminuire la resilienza.
Molibdeno	Mo	Di solito è presente insieme al cromo e al nichel. Migliora ancora di più le proprietà meccaniche. Gli acciai che contengono Ni, Cr e Mo hanno la più alta resistenza meccanica ($R_m = 1000 \div 1500 \text{ N/mm}^2$).
Silicio	Si	Aumenta l'elasticità. È usato quindi negli acciai per molle.
Wolframio o tungsteno	W	Si trova solo negli acciai per utensili, perché mantiene stabile la durezza anche alle alte temperature (ACCIAI RAPIDI).
Piombo	P	Sono presenti in piccole percentuali, sempre inferiori allo 0,3 %. Aumentano la truciolabilità degli acciai, senza nuocere alla loro resistenza. (ACCIAI PER LAVORAZIONI AD ALTA VELOCITÀ)
Zolfo	S	

DESIGNAZIONE UNI DEGLI ACCIAI



I GRUPPO

- Simbolo iniziale: Fe Fe E Fe G
- Numero che indica la resistenza meccanica.

ESEMPI:

Fe 510	Acciaio con resistenza minima a trazione $R_m = 510 \text{ N/mm}^2$
Fe E 390	Acciaio con carico unitario di snervamento minimo $R_s = 390 \text{ N/mm}^2$
Fe 60	Acciaio con resistenza minima a trazione $R_m = 590 \text{ N/mm}^2$
Fe G 70	Acciaio per getti con resistenza minima a trazione $R_m = 690 \text{ N/mm}^2$

II GRUPPO

- II.1 ACCIAI NON LEGATI
- Simbolo iniziale: C
 - Numero che indica la percentuale di carbonio $\times 100$.

ESEMPI:

C 45	Acciaio con 0,45 % di carbonio.
C 100	Acciaio con 1 % di carbonio.

- II.3 ACCIAI DEBOLMENTE LEGATI
- Nessun simbolo iniziale (o G negli acciai per getti)
 - Numero che indica la percentuale di carbonio $\times 100$.
 - Uno o più simboli chimici degli elementi in lega.
 - Uno o più numeri che indicano la percentuale di ciascun elemento, moltiplicata per un opportuno coefficiente, come indicato nella tabella a fianco.

ESEMPI:

41 Cr 4	Acciaio con 0,41 % di carbonio e 1 % di cromo.
18 Ni Cr 16	Acciaio con 0,18 % di carbonio, 4 % di nichel e presenza di cromo.
30 Cr Al Mo 5 10	Acciaio con 0,3 % di carbonio, 1,25 % di cromo, 1 % di alluminio e presenza di molibdeno.
10 S 20	Acciaio con 0,1 % di carbonio e 0,2 % di zolfo.
G 90 Cr 4	Acciaio per getti con 0,9 % di carbonio e 1 % di cromo.

$\times 4$
Co
Cr
Mn
Ni
Si
W
$\times 10$
Al
Mo
Pb
Ti
V
$\times 100$
N
P
S
$\times 1000$
B

- II.4 ACCIAI LEGATI
- Simbolo iniziale X
 - Numero che indica la percentuale di carbonio $\times 100$.
 - Uno o più simboli chimici degli elementi in lega.
 - Uno o più numeri che indicano la percentuale reale di ciascun elemento.

ESEMPI:

X 20 Cr 13	Acciaio con 0,2 % di carbonio e 13 % di cromo.
X 10 Cr Ni 18 09	Acciaio con 0,1 % di carbonio, 18 % di cromo e 9 % di nichel.
X 100 Cr Mo V 5 1	Acciaio con 1 % di carbonio, 5 % di cromo, 1 % di molibdeno e presenza di vanadio.

DESIGNAZIONE UNIFICATA DEGLI ACCIAI

Esempi

Leggere le seguenti designazioni unificate:

FeG600 : è la designazione unificata di un acciaio, non trattabile termicamente, per getti, avente carico unitario di rottura a trazione di 600 N/mm².

FeE325 : è la designazione unificata di un acciaio, non trattabile termicamente, avente carico unitario di snervamento di 325 N/mm².

FeP01 : è la designazione unificata di un acciaio, non trattabile termicamente, avente attitudine all'imbutitura di grado 01.

C40 : è la designazione unificata di un acciaio, non legato, trattabile termicamente, contenente lo 0,4% di carbonio.

2C10 : è la designazione unificata di un acciaio, non legato, trattabile termicamente, di qualità 2 contenente lo 0,1% di carbonio.

GC125 : è la designazione unificata di un acciaio, non legato, per getti, trattabile termicamente, contenente l'1,25% di carbonio.

C40 : è la designazione unificata di un acciaio, non legato, trattabile termicamente, contenente lo 0,4% di carbonio.

1CD20Cr1 : è la designazione unificata di un acciaio, trattabile termicamente, con attitudine alla deformazione a freddo, di qualità 1, contenente lo 0,2% di carbonio e cromo al livello 1.

20NiCr 12 8 : è la designazione unificata di un acciaio, debolmente legato, trattabile termicamente, contenente lo 0,2% di carbonio, il 3% di nichel e il 2% di cromo.

G100Cr 4 : è la designazione unificata di un acciaio, debolmente legato, trattabile termicamente, per getti, contenente l'1% di carbonio, e l'1% di cromo.

A20Mn 6 : è la designazione unificata di un acciaio, debolmente legato, trattabile termicamente, di qualità A, contenente lo 0,2% di carbonio e l'1,5% di manganese.

AX127CoWMoV 10 10 4 3 : è la designazione unificata di un acciaio, legato, trattabile termicamente, di qualità A, contenente l'1,27% di carbonio, il 10% di cobalto, il 10% di wolframio, il 4% di molibdeno, il 3% di vanadio.

BX20Cr 14 : è la designazione unificata di un acciaio, legato, trattabile termicamente, di qualità B, contenente lo 0,2% di carbonio, il 14% di cromo.

GX60Cr 12 : è la designazione unificata di un acciaio, legato, trattabile termicamente, per getti, contenente lo 0,6% di carbonio e il 12% di cromo.

X78MoW 18 1 : è la designazione unificata di un acciaio, legato, trattabile termicamente, contenente lo 0,78% di carbonio, il 18% di molibdeno, l'1% di wolframio (tungsteno).

CENNI SUI PRINCIPALI TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI

I trattamenti termici consistono nel sottoporre il materiale, allo stato solido, ad uno o più cicli termici (riscaldamento e raffreddamento), allo scopo di modificarne la struttura e quindi le proprietà meccaniche e tecnologiche. I principali trattamenti termici sono la ricottura, la bonifica (tempra + rinvenimento), la carbocementazione, la nitrurazione.

◇ RICOTTURA

Il trattamento consiste nel riscaldare l'acciaio in un forno alla temperatura di $700 \div 900$ °C, lasciandolo a quella temperatura per un tempo opportuno, che dipende dalle dimensioni del pezzo, e quindi raffreddandolo molto lentamente, di solito all'interno del forno stesso. La ricottura viene eseguita allo scopo di migliorare la lavorabilità dell'acciaio, riducendone al minimo la durezza e la resistenza; con tale trattamento viene eliminato il fenomeno negativo dell'**incrudimento**, cioè l'indurimento provocato dalle lavorazioni plastiche a freddo. La ricottura inoltre rende la struttura omogenea ed annulla gli effetti di eventuali trattamenti precedenti.

Quando la sosta nel forno è poco prolungata ed il raffreddamento viene eseguito fuori dal forno in aria calma, il trattamento prende il nome di **normalizzazione**: questa ha lo scopo di rendere "normale" una struttura alterata da precedenti operazioni (fusione, fucinatura, saldatura, ecc.).

◇ BONIFICA

Il trattamento di bonifica è costituito dalla successione di due trattamenti termici: la **tempra** e il **rinvenimento**. La tempra si esegue riscaldando l'acciaio ad una temperatura di $750 \div 850$ °C, lasciandolo a quella temperatura per un tempo opportuno e quindi raffreddandolo velocemente in acqua o in olio. Essa fa aumentare la durezza e la resistenza dell'acciaio, che però risulta troppo fragile e perciò viene sottoposto al trattamento di rinvenimento. Quest'ultimo consiste in un riscaldamento ad una temperatura più bassa di quella di tempra (di solito $500 \div 650$ °C), una sosta per un tempo opportuno e infine un raffreddamento in aria o in olio. Con il rinvenimento l'acciaio perde una parte della durezza che aveva acquisito con la tempra, ma aumenta la sua resilienza e l'allungamento. Pertanto il trattamento di bonifica conferisce all'acciaio il massimo della tenacità. Viene eseguito normalmente su acciai con una percentuale media di carbonio ($C = 0,2 \div 0,6$ %).

◇ CARBOCEMENTAZIONE

È un trattamento di indurimento superficiale, che si esegue in un forno a circa 900 °C in presenza di carbonio. A questa temperatura il carbonio penetra nello strato superficiale del pezzo, per una profondità che dipende dalla durata del trattamento ma che di solito non supera il millimetro. Quindi il pezzo viene temprato, ottenendo così l'indurimento dello strato superficiale che si è appena arricchito di carbonio. Tale trattamento viene eseguito su acciai a basso contenuto di carbonio ($C < 0,2$ %), allo scopo di aumentare la resistenza ad usura, mantenendo inalterata la tenacità all'interno del pezzo e quindi la sua resistenza alle sollecitazioni dinamiche.

◇ NITRURAZIONE

È un altro trattamento di indurimento superficiale, che viene eseguito in un forno a circa $500 \div 550$ °C in presenza di ammoniaca (NH_3). Questa si decompone producendo idrogeno e azoto (N), il quale viene assorbito dallo strato superficiale del pezzo, che in tal modo si indurisce. Lo strato indurito dalla nitrurazione di solito è meno profondo di quello che si ottiene con la carbocementazione, ma è caratterizzato da una durezza maggiore. Questo trattamento si esegue su acciai a medio contenuto di carbonio ($C = 0,3 \div 0,4$ %), con la presenza nella lega di alcuni elementi speciali, come il cromo e l'alluminio, che favoriscono l'assorbimento dell'azoto. La nitrurazione viene sempre eseguita dopo una bonifica e conferisce all'acciaio una notevole resistenza ad usura e a fatica, mentre il cuore conserva la tenacità acquisita con la bonifica.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI IN BASE ALL'IMPIEGO

Gli acciai usati nelle costruzioni meccaniche vengono classificati di solito in tre gruppi:

- A - ACCIAI PER USI GENERALI
- B - ACCIAI SPECIALI DA COSTRUZIONE
- C - ACCIAI SPECIALI PER UTENSILI

A - ACCIAI PER USI GENERALI

Sono acciai comuni a resistenza medio-bassa, usati per la fabbricazione di pezzi che devono sopportare modeste sollecitazioni di tipo statico (carpenteria metallica, strutture portanti, ecc.). Non contengono elementi speciali aggiunti in lega e non vengono sottoposti a trattamenti termici, fatta eccezione per la ricottura o la normalizzazione. Generalmente sono caratterizzati da una buona Saldabilità. Di essi viene garantita solo la resistenza meccanica. Vengono posti in commercio sotto forma di barre, lamiere, profilati, ecc., prodotti di solito mediante laminazione a caldo.

Esempi: Fe 510 Fe 60 Fe E 390

B - ACCIAI SPECIALI DA COSTRUZIONE

Sono acciai di qualità e resistenza più elevata, ottenuti mediante un processo di fabbricazione più accurato e usati per costruire particolari meccanici che devono resistere a forti sollecitazioni di tipo dinamico o alternato (alberi, bielle, giunti, ruote dentate, ecc.). Di solito contengono degli elementi speciali aggiunti alla lega (acciai legati), ma possono anche esserne privi (acciai non legati). Le loro proprietà vengono esaltate con appropriati trattamenti termici.

Gli acciai da costruzione vengono suddivisi nelle seguenti categorie:

- ACCIAI DA BONIFICA

Contengono il carbonio in quantità superiore allo 0,2 %: più comunemente $C = 0,3 \div 0,5 \%$. Questi acciai acquistano elevata tenacità dopo il trattamento di bonifica. Vengono utilizzati per la costruzione di organi meccanici particolarmente sollecitati, come alberi di trasmissione, bielle, giunti, ecc.

Esempi: C 45 41 Cr 4 30 Cr Mo 4 34 Ni Cr Mo 16

- ACCIAI DA CEMENTAZIONE

Contengono il carbonio in quantità inferiore allo 0,2 %. Dopo il trattamento di cementazione seguito dalla tempra presentano una notevole durezza superficiale e quindi resistenza ad usura, associata ad una buona tenacità all'interno del pezzo. Vengono utilizzati per la costruzione di organi meccanici sollecitati da forze di attrito e da carichi dinamici, come ruote dentate, perni, ecc.

Esempi: C 15 16 Cr Ni 4 16 Ni Cr Mo 12

- ACCIAI PER LAVORAZIONI AD ALTA VELOCITÀ

Sono acciai da bonifica o da cementazione con piccole aggiunte di zolfo ($S \leq 0,25 \%$) e piombo ($Pb \leq 0,15 \%$), allo scopo di migliorarne la lavorabilità alle macchine utensili: con essi la velocità di taglio può essere aumentata anche del 50 %. Dopo la lavorazione possono subire un appropriato trattamento termico.

Esempi: 10 S 20 35 S Mn Pb 10

- ACCIAI DA NITRURAZIONE

Sono dei particolari acciai da bonifica ($C = 0,3 \div 0,4 \%$) legati al Cr - Mo o al Cr - Al - Mo (non devono però contenere il nichel). La nitrurazione, eseguita sempre dopo il trattamento di bonifica, conferisce all'acciaio notevole durezza superficiale, resistenza ad usura e a fatica. Vengono usati per alberi a gomito, spinotti, ingranaggi, ecc.

Esempi: 31 Cr Mo 12 41 Cr Al Mo 7

- ACCIAI PER MOLLE

Sono caratterizzati da una notevole elasticità, dovuta all'alto tenore di carbonio ($C > 0,5 \%$) e di solito anche alla presenza di silicio e cromo. Usati per molle di ogni tipo, spine elastiche, ecc.

Esempi: C 60 55 Si 7 60 Si Cr 8

- ACCIAI PER CUSCINETTI VOLVENTI

Hanno una percentuale di carbonio molto alta (di solito $C = 1 \%$) e contengono cromo e manganese. Dopo la tempra, seguita da un rinvenimento a bassa temperatura ($150 \div 220 \text{ }^\circ\text{C}$), presentano un'elevata durezza e resistenza ad usura. Vengono usati per cuscinetti a sfere e a rulli.

Esempi: 100 Cr 6 100 Cr Mn 4

- ACCIAI INOSSIDABILI

Contengono di solito più del 12% di cromo e possono essere presenti anche nichel e molibdeno. Sono caratterizzati da una notevole resistenza alla corrosione e al calore. Alcuni di essi sono temprabili (acciai martensitici), altri non lo sono (acciai ferritici e austenitici). Usati per valvole, palette di turbine, ferri chirurgici, stoviglie da cucina, ecc.

Esempi: X 20 Cr 13 X 5 Cr Ni 18 10 X 8 Cr Ni Mo 17 12

C - ACCIAI SPECIALI PER UTENSILI

Presentano notevole durezza, tenacità e resistenza all'usura, in modo da poter lavorare altri materiali mediante taglio o deformazione plastica. Contengono un elevato tenore di carbonio ed elementi speciali come wolframio, cromo, vanadio, molibdeno. Questi elementi, combinandosi con il carbonio, formano dei carburi durissimi, che mantengono inalterata la durezza dell'acciaio anche a temperature elevate, consentendo quindi di lavorare ad alta velocità (acciai rapidi). La presenza in lega del cobalto, insieme agli altri elementi, stabilizza la durezza fino a temperature ancora più elevate ($500 \div 600 \text{ }^\circ\text{C}$).

Gli acciai per utensili sono suddivisi in quattro categorie:

- Acciai non legati per lavorazioni a freddo. Es. C 100 KU C 120 KU
- Acciai legati per lavorazioni a freddo. Es. 90 MnVCr 8 KU X 100 CrMoV 5 1 KU
- Acciai legati per lavorazioni a caldo. Es. 55 NiCrMoV 7 KU X 40 CrMoV 5 1 1 KU
- Acciai rapidi. Es. X 75 W 18 KU (HS 18-0-1) X 78 WCo 18 05 KU (HS 18-1-1-5)

Vengono usati per lime, scalpelli, strumenti di misura, stampi, utensili da tornio, punte elicoidali, alesatori, maschi, frese, creatori, brocche, ecc.