

# I MATERIALI

## INTRODUZIONE

La scelta, da parte dell'ufficio produzione, del tipo di materiale da utilizzare per fabbricare un prodotto viene effettuata in base a criteri puramente economici. Nel rispetto delle necessità funzionali dell'elemento da costruire: caratteristiche meccaniche, fisiche, strutturali, la scelta deve essere oculata fra diverse possibilità.

Per esempio il **costo in peso** dei getti:

costo getti in acciaio =  $2 \times$  (costo getti in ghisa)

costo getti in ottone, bronzo, leghe leggere =  $4 \times$  (costo getti in ghisa)

mentre il **costo in volume** dei getti risulta pressappoco invariato rispetto al costo in peso per acciai, ottone, bronzo; invece per le leghe di alluminio (leghe leggere) il costo dei getti in volume è di poco superiore rispetto alla ghisa.

Da qui la sempre maggiore importanza delle leghe leggere nelle costruzioni meccaniche, anche perché esiste l'ulteriore possibilità di utilizzo sia come

- MATERIALI DEFINITI: getti in terra, getti in conchiglia, stampati a caldo e a freddo;
- MATERIALI INDEFINITI: laminati, trafilati, estrusi (più economici essendo caratterizzati dalla loro produzione di massa)

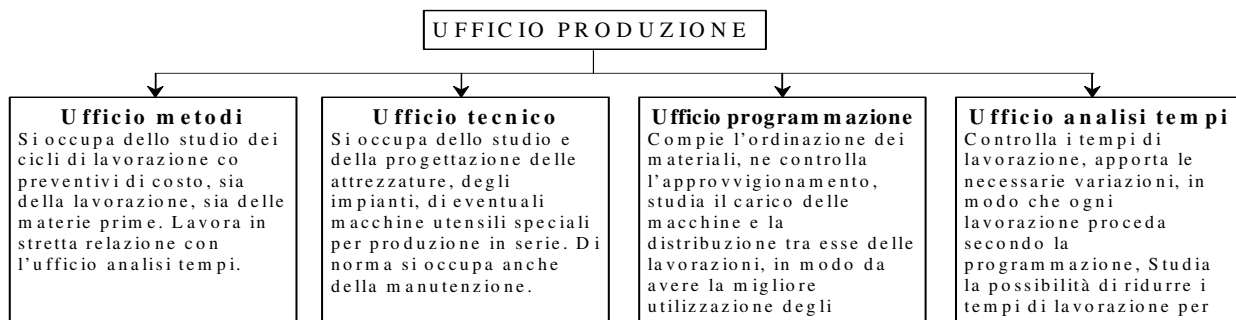
Il costo di fabbricazione è legato ad un altro importante fattore: la *lavorabilità*, intesa (da alcuni autori) come il *tempo necessario per asportare, sotto forma di truciolo, un certo volume di sovrametallo*. Per esempio:

- la lavorazione delle leghe leggere è la meno costosa;
- la lavorazione di bronzo e ottone costa circa il doppio;
- la lavorazione della ghisa costa circa il quadruplo;
- la lavorazione dell'acciaio costa circa cinque volte di più.

Possiamo concludere che, ove le necessità funzionali lo consentano, ai getti in ghisa (i più economici) sono da preferire quelli in lega leggera quando si debba asportare un discreto sovrametallo; i getti in acciaio hanno costo elevato e bassa lavorabilità, per cui si usano quando sono richiesti contemporaneamente dimensioni ridotte e elevata resistenza meccanica.

Comunque il metodo di fabbricazione del greggio è influenzato dal numero di pezzi da produrre. Così un elemento in acciaio che può essere realizzato in getto o per stampaggio a caldo sarà realizzato nel primo modo per produzione di pochi esemplari, nel secondo modo per produzione di grande serie.

L'UFFICIO PRODUZIONE studia la fabbricazione dei prodotti richiesti, eseguendone la progettazione, analizzandone i costi e organizzandone la produzione. Nelle grandi aziende può essere strutturato secondo il seguente schema.



## GHISE

Si chiamano ghise tutte le leghe Fe-C nelle quali la percentuale di carbonio varia tra il 2% e il 6,67%; le ghise più comuni ne contengono il 3 ÷ 4 %. Inoltre sono sempre presenti delle quantità variabili di silicio e manganese che influiscono sulle strutture e quindi sulle proprietà della ghisa ed altri elementi speciali aggiunti per migliorarne le proprietà.

Rispetto agli acciai le ghise presentano:

MAGGIORE FUSIBILITÀ E COLABILITÀ ma MINORE SALDABILITÀ

MAGGIORE RESISTENZA ALLA CORROSIONE

DIVERSA RESISTENZA A TRAZIONE E A COMPRESSIONE  $(R_m)_{\text{compressione}} = (2 \div 5) \times (R_m)_{\text{trazione}}$

Le altre proprietà dipendono dalla loro composizione chimica, dalla struttura cristallina, cioè dallo stato in cui si trova il carbonio e gli altri costituenti strutturali (ferrite, perlite, cementite, steadite) e quindi dal trattamento termico cui sono state sottoposte.

Il carbonio presente nelle ghise si può trovare in due forme diverse:

**CARBONIO LIBERO** allo stato di grafite: la sua formazione è favorita dalla presenza di molto silicio (1÷3)% e poco manganese (0,6÷1,2)% e da un raffreddamento lento dopo la colata effettuata in forme di terra eventualmente riscaldate. Tali ghise vengono chiamate GHISE GRIGIE.

**CARBONIO COMBINATO con il ferro – cementite-**: la sua formazione è favorita dalla presenza del manganese e da un raffreddamento rapido come quello che si può ottenere da una colata in conchiglia. Tali ghise vengono chiamate GHISE BIANCHE.

Ghise grigie e bianche vengono classificate come ghise comuni.

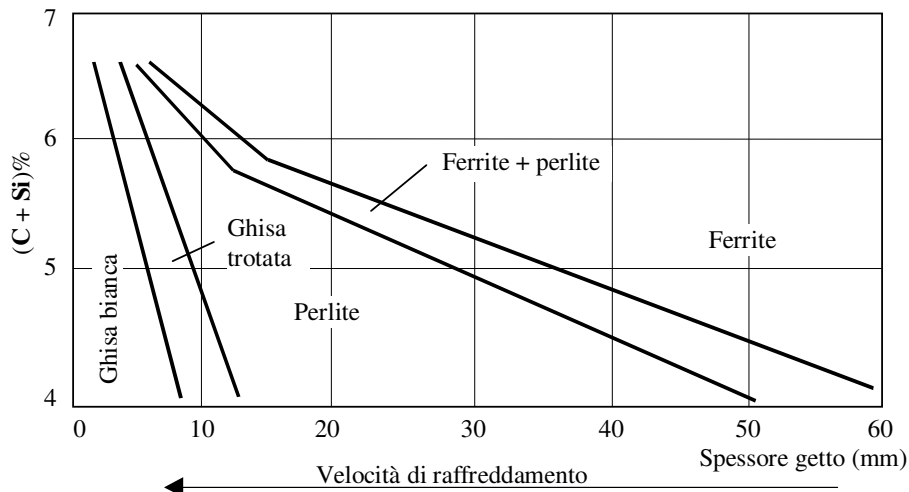
## COSTITUENTI STRUTTURALI DELLE GHISE

Le strutture cristalline finali ottenute in un getto di ghisa dipendono:

⇒ dagli elementi presenti, soprattutto carbonio e silicio;

⇒ dalla velocità di raffreddamento e quindi indirettamente dalla dimensione dei getti.

Il diagramma di GREINER e KLINGENSTEIN indica le strutture ottenute in conseguenza sia della percentuale globale di C + Si sia del variare della velocità di raffreddamento.



Ogni costituente strutturale ha diverse proprietà (durezza, resistenza meccanica e all'usura, elasticità) per cui la loro presenza influisce sulle caratteristiche meccaniche medie del getto.

**FERRITE** – è ferro quasi puro; è il costituente tenero (HB = 95), poco resistente ma duttile ( $R_m = 343 \text{ N/mm}^2$ ,  $A = 40\%$ ), poco resistente all'usura. La sua presenza nella ghisa è causata da elementi grafitizzanti (silicio, nichel). È un costituente non gradito per alcune applicazioni (ghise resistenti all'usura) o provocato ad arte per altre applicazioni (ghisa malleabile).

**PERLITE** – è una fine struttura composta di ferrite e cementite alternata a strati sottili. La forma naturale della perlite è quella lamellare, ma attraverso trattamenti termici o con elementi di alligazione si può ottenere anche in forma globulare fine; in tal caso viene chiamata sorbite. Presenta buone proprietà elastiche, si lavora facilmente pur

presentando buona resistenza all'abrasione. La perlite è il costituente che ha la principale influenza nelle caratteristiche meccaniche. È la migliore tra le strutture di una ghisa.  $R_m = 823 \text{ N/mm}^2$ ,  $A = 25\%$ ,  $HB = 197$ .

CEMENTITE – è un composto di ferro e carbonio (carburo di ferro  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) presente totalmente nella ghisa bianca e parzialmente nella trotata. È causata da elementi antigrafitizzanti (manganese, cromo, alluminio) o da elevate velocità di raffreddamento. È un costituente duro, fragile, difficilmente lavorabile  $R_m = 34 \text{ N/mm}^2$ ,  $A = 0\%$ ,  $HB = 550$ .

STEADITE – è un composto di fosforo e ferro. È dura, fragile e ha bassissima resistenza a trazione.  $HB = 400$ . Talvolta è gradita per organi non fortemente sollecitati che devono avere buona resistenza all'usura.

Ad esempio una ghisa con 2,9% di carbonio ha una resistenza a trazione  $R_m = 315 \text{ N/mm}^2$  con matrice perlitica e una resistenza a trazione  $R_m = 160 \text{ N/mm}^2$  con matrice ferritica.

#### GHISE BIANCHE

In queste ghise il carbonio si trova prevalentemente combinato sotto forma di cementite immerse in una matrice metallica perlitica. A causa della notevole presenza di cementite, risultano molto dure e fragili e pertanto la loro utilizzazione risulta limitata alla fabbricazione di componenti per i quali si richieda un'elevata resistenza all'usura. Alcuni tipi di getti vengono ottenuti in ghisa bianca per essere successivamente sottoposti al trattamento di malleabilizzazione.

Le loro PROPRIETÀ CARATTERISTICHE sono:

- $R_m$  a trazione non identificabile per la dispersione dei risultati
- Elevata durezza  $HB > 370$
- $A \approx 0\%$
- Elevata resistenza all'usura
- Notevole fragilità
- Scarsa lavorabilità alle macchine utensili

#### GHISE GRIGIE PER GETTI (UNI ISO 185)

In queste ghise il carbonio si trova prevalentemente allo stato di grafite a forma di lamelle (struttura lamellare) immerse in una matrice metallica normalmente perlitica. Le lamelle di grafite, interrompendo la continuità della matrice metallica, determinano una bassa resistenza a trazione e una notevole fragilità, non alterano la resistenza a compressione, favoriscono le lavorazioni per asportazione di truciolo. La lunghezza delle lamelle influisce sulla resistenza a trazione: lamelle più lunghe  $\Rightarrow$  minore resistenza a trazione.

Le loro PROPRIETÀ CARATTERISTICHE sono:

- Bassa resistenza a trazione  $R_m = 100 \div 350 \text{ N/mm}^2$
- Buona resistenza a compressione  $R_m = 400 \div 800 \text{ N/mm}^2$
- Media durezza  $HB = 150 \div 250$
- Buona lavorabilità alle macchine utensili

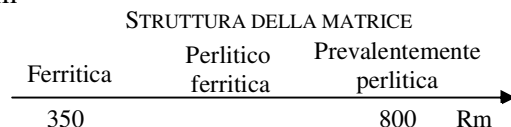
Le ghise trattate nel seguito vengono chiamate speciali.

#### GHISE A GRAFITE SFEROIDALE (UNI ISO 1083)

In queste ghise il carbonio si trova prevalentemente allo stato di grafite a forma di sferule (struttura sferoidale). L'agglomerazione del carbonio in sferule è determinata aggiungendo nella siviera, al momento della colata, delle leghe Fe-Si (favoriscono la formazione di grafite) e Ni-Mg (provocano la disposizione sferoidale). In questo caso le discontinuità della matrice metallica che risultano più concentrate, non influiscono negativamente sulle proprietà meccaniche. Queste ghise risultano più resistenti, meno fragili e manifestano un certo allungamento prima della rottura. La matrice strutturale può essere ferritica (ghise meno resistenti) o perlitica (ghisa più resistente, ma più fragile).

Le loro PROPRIETÀ CARATTERISTICHE sono:

- Buona resistenza a trazione  $R_m = 350 \div 900 \text{ N/mm}^2$
- Discreto allungamento  $A = 2 \div 22 \%$
- Media durezza  $HB = 150 \div 350$
- Discreta lavorabilità alle macchine utensili



### GHISE SPECIALI MALLEABILI (UNI ISO 5922)

Sono ghise che possono subire deformazioni e apprezzabili allungamenti senza criccarsi, ma non sono malleabili nel significato tecnologico della parola. Si fabbricano in due fasi:

1. produzione del getto in ghisa bianca, quindi con struttura cementitica;
2. trattamento termico di ricottura di malleabilizzazione che trasforma la struttura cementitica originale.

Tali ghise possono essere di due tipi:

- A. a CUORE BIANCO (ghisa malleabile europea) – Viene fabbricata con getti di ghisa colata in forme nelle quali avviene un raffreddamento da 1400 °C a 800 °C in 15 min. Quindi si effettua meccanicamente la distaffatura facendolo raffreddare in aria calma. Successivamente il getto viene immerso in polvere di ossido di ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e riscaldato lentamente fino a circa 980 °C con permanenza a questa temperatura per 5÷7 giorni; segue un raffreddamento lento (qualche giorno). Durante questo tempo avviene la decomposizione della cementite in grafite e ferrite, soprattutto nelle zone superficiali, mentre il cuore ha come costituenti strutturali perlite + ferrite.

Le loro PROPRIETÀ CARATTERISTICHE sono:

- Discreta resistenza a trazione  $R_m = 300 \div 450 \text{ N/mm}^2$
- Medio allungamento  $A = 4 \div 10 \%$
- Media durezza  $HB = 150 \div 210$
- Discreta lavorabilità alle macchine utensili

- B. a CUORE NERO (ghisa malleabile americana) – Viene fabbricata con ghisa bianca sottoposta a ricottura ( $t = 900 \text{ °C}$ ) in un ambiente neutro (sabbia silicea) per il tempo sufficiente perché il carbonio contenuto nella cementite e nella perlite si scinda in piccoli fiocchi tondeggianti di grafite in una matrice del tutto ferritica in superficie, mentre il cuore ha una struttura perlitica.

Le loro PROPRIETÀ CARATTERISTICHE sono:

- Discreta resistenza a trazione  $R_m = 300 \div 350 \text{ N/mm}^2$
- Medio allungamento  $A = 6 \div 12 \%$
- Bassa durezza  $HB = 110 \div 150$
- Discreta lavorabilità alle macchine utensili

### GHISA MEEHANITE

È una ghisa grigia di qualità i cui costituenti strutturali sono perlite (circa 90%) e grafite in forma di lamelle o globuli molto fini e uniformemente dispersi. Per tale costituzione strutturale, le sue proprietà si avvicinano a quelle di un acciaio eutettoide.

Per la sua produzione occorre un procedimento di fabbricazione ben regolato:

- la materia prima è costituita da ghisa e rottami di acciaio puliti e con poco zolfo e fosforo;
- nel canale di colata del cubilite si aggiunge una piccola percentuale di siliciuro di calcio ( $\text{CaS}_2$ );
- si aggiunge nella secchia di colata una lega Fe-Si ricca di silicio (50 ÷ 75%).

Viene utilizzata per basamenti di macchine utensili, alberi a gomiti per compressori e motori a combustione interna, bruciatori a gas e nafta, camicie per motori, camme, ingranaggi di fusione.

## DESIGNAZIONE GHISE (UNI EN 1560)

Le norme EN sono norme redatte dal CEN (Comitato Europeo di Normazione)

Si riportano, di seguito, nella colonna di sinistra, le vecchie norme perché ancora utilizzate nei libri di testo e nelle riviste.

### *Vecchie designazioni*

GRIGIE (UNI ISO 185)

**G 250** → ( $R_m = 250 \text{ N/mm}^2$ )

**Gh 235** → (HB = 235)

BIANCHE (UNI 8845)

**Getto di ghisa GBCr 12** (12% cromo)

SFEROIDALI (UNI ISO 1083)

**GS 400-12** → ( $R_m = 250 \text{ N/mm}^2$ , A = 12%)

MALLEABILI (UNI ISO 5922)

Bianca (W = white)

**W 400-05** → ( $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$ , A = 5%)

Nera (B = black)

**B 325-12** → ( $R_m = 325 \text{ N/mm}^2$ , A = 12%)

MALLEABILI (UNI 3779)

Bianca

**GMB 400** → ( $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$ )

Nera

**GMN 350** → ( $R_m = 350 \text{ N/mm}^2$ )

### *Nuove designazioni*

La designazione delle ghise da fonderia prevede

- il prefisso EN
- le lettere GJ (G = getti, J = ghisa)
- una lettera che indica la struttura della grafite contenuta nella ghisa
  - L = lamellare
  - S = sferoidale
  - M = ghisa malleabile
  - V = vermiculare
- un numero che indica la resistenza minima a trazione

Esempio: **EN-GJL-250**

Per la GHISA SFEROIDALE è previsto pure l'indicazione dell'allungamento percentuale a rottura a trazione minimo.

Esempio: **EN-GJS-400-18**

Per le GHISE MALLEABILI è previsto pure l'indicazione dell'allungamento percentuale a rottura a trazione minimo; inoltre si utilizzano le lettere

W (white = bianco) per le ghise malleabili a cuore bianco

Esempio: **EN-GJMW-400-5**

B (black = nero) per le ghise malleabili a cuore nero

Esempio: **EN-GJMB-350-10**

## LAVORABILITÀ DELLE GHISE MEDIANTE ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

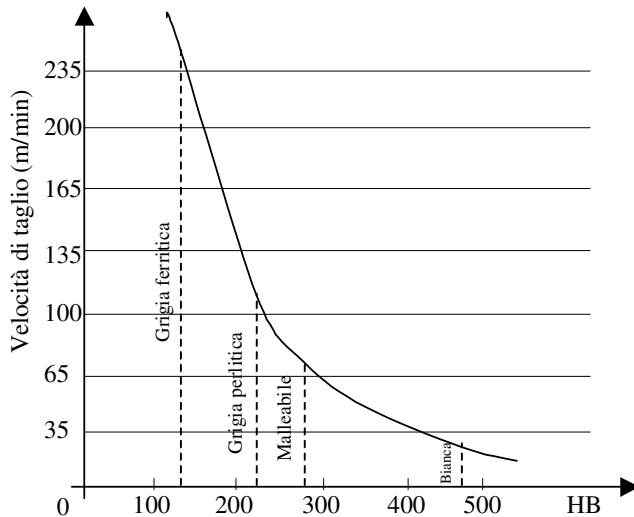
Le caratteristiche di lavorabilità della ghisa dipendono principalmente dalla sua microstruttura.

La GHISA GRIGIA ha una struttura ferritica o perlitica ed è facilmente lavorabile perché non contiene carburi liberi (composti chimici molto duri). La presenza di carburi riduce la lavorabilità e, se presenti in grande quantità danneggiano l'utensile, come pure le zone indurite che si riscontrano in superficie o sugli spigoli dei particolari a piccole sezioni dove la velocità di raffreddamento è più elevata. La tendenza all'indurimento aumenta con l'aumentare del contenuto di magnesio e di silicio. Una **distribuzione fine e irregolare della grafite** è essenziale quando sia richiesta una **buona finitura superficiale**.

Le GHISE SFEROIDALI e MALLEABILI sono ghise ad alta resistenza con strutture ferritiche e perlitiche che hanno una discreta lavorabilità grazie alla loro microstruttura controllata. La grafite nodulare conferisce a queste ghise caratteristiche paragonabili a quelle dell'acciaio. Tuttavia la loro **lavorabilità è, a volte, migliore di quella di uno stesso particolare in acciaio avente la stessa durezza Brinell**.

Esiste un rapporto diretto tra la lavorabilità e la durezza della ghisa. Nel campo di durezza della ghisa grigia  $HB = 130 \div 240$ , la variazione di pochi punti di durezza ha una grande influenza sulla velocità di taglio. Generalmente **la lavorazione diviene difficoltosa per  $HB > 240$**  in quanto la

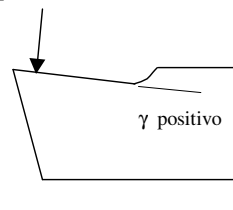
struttura contiene carburi liberi e la durata dell'utensile viene di molto ridotta.



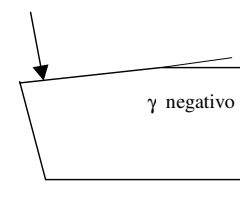
Viene riportata, in modo grafico orientativo, la variazione della velocità di taglio in funzione della durezza Brinell, nel caso di **utensile in metallo duro**.

Per la lavorazione delle ghise sono raccomandati utensili in ceramica per la loro elevata durezza e resistenza all'usura, meglio se con angoli di spoglia negativi ( $\gamma = -4^\circ \div -6^\circ$ ) per sfruttare l'elevata resistenza a compressione della ceramica e limitare inconvenienti derivanti dalla bassa resistenza alla rottura trasversale per taglio. Ricordare che gli utensili con angoli di spoglia negativi sono più robusti.

Utensile con **angolo di spoglia superiore positivo** (piccola sezione resistente a taglio della punta dell'utensile)



Utensile con **angolo di spoglia superiore negativo** (grande sezione resistente a taglio della punta dell'utensile)



## GUIDA PER L'UTILIZZO DELLE GHISE

In generale si può dire che per la scelta del materiale metallico per una determinata applicazione, occorre tenere presente i seguenti quattro punti fondamentali:

1. forma e dimensioni del pezzo;
2. sollecitazioni prevedibili per il pezzo in opera;
3. caratteristiche chimico-fisiche del materiale;
4. eventuali trattamenti termici.

GHISA	TENDENZE PER L'UTILIZZO	
BIANCA	Organi per i quali è richiesta durezza, elevata resistenza all'usura, non soggetti a urti e per la fabbricazione di ghise malleabili: cilindri per laminatoi, parti di frantoi, corone esterne per ruote di carrelli, sfere di macinazione per mulini.	
GRIGIA	Organi meccanici vari poco sollecitati: basamenti, incastellature, carcasse di motoriduttori, flange, gusci di bronzine, dischi di frizione, volani, volantini di manovra.	
SFEROIDALE	Ferritica	Organi meccanici che devono presentare massima tenacità e per cui non è richiesta molta resistenza, soprattutto all'usura: parti di macchine tessili e macchine utensili, attrezzature.
	Perlitica	Organi meccanici che devono presentare notevole resistenza, ma non resilienti: alberi a gomito, monoblocchi di auto e compressori.
MALLEABILE	A cuore nero	Organi meccanici piccoli soggetti a flessione, torsione, urti ripetuti. Spessore dei getti 5÷40 mm. Adatta per organi di macchine elettriche e valvole nelle condotte d'acqua.
	A cuore bianco	Morse, scatole per cambio, parti varie di macchine agricole, ceppi per freni, raccorderie idrauliche, pedaliera, piccole leve. Si salda facilmente perché in superficie è molto decarburata.

### ESERCIZI

Leggere le seguenti designazioni, indicando proprietà, costituenti strutturali e possibili utilizzi del materiale.

**EN-GJL-150**

**EN-GJL-300**

**EN-GS-400-18**

**EN-GJS-700-2**

**EN-GJMB-320-12**

**EN-GJMW-450-7**

## 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 .....  $KU = 20 \div 60 \text{ J}$
- BUONA SALDABILITÀ
- BUONA PLASTICITÀ A CALDO (PER GLI ACCIAI DOLCI ANCHE A FREDDO)
- SCARSA FUSIBILITÀ E COLABILITÀ

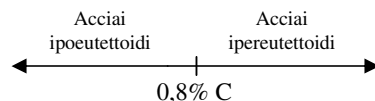
Ecco in sintesi come variano le proprietà degli acciai all'aumentare della percentuale di carbonio:

aumentano	diminuiscono
• LA RESISTENZA MECCANICA	• L'ALLUNGAMENTO
• LA DUREZZA	• LA RESILIENZA
• LA LAVORABILITÀ ALLE M.U.	• LA PLASTICITÀ A FREDDO
• LA TEMPRABILITÀ	• LA SALDABILITÀ
• LA FUSIBILITÀ	
• LA RESISTENZA ALL'USURA	La lavorabilità aumenta perché negli acciai teneri il truciolo tende a saldarsi al tagliente. In tal modo l'utensile più di tagliare tende a strappare il truciolo.

## CLASSIFICAZIONE PRATICA DEGLI ACCIAI

*Classificazione degli acciai in base alla percentuale di carbonio*

		Struttura dopo ricottura
• ACCIAI DOLCI (TENERI)	$C < 0,2 \%$	<i>ferrite + poca perlite</i>
• ACCIAI DI MEDIA DUREZZA	$C = 0,2 \div 0,6 \%$	<i>ferrite + perlite</i>
• ACCIAI MOLTO DURI	$C > 0,6 \%$	<i>perlite + poca ferrite</i>



*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. L'influenza degli elementi in lega dipende sia dalla presenza dell'elemento, sia dalla quantità presente nella lega. 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 in seguito a trattamento termico di nitrurazione. Consente di regolare lo spessore dello strato nitrurato.
BORO	B	In quantità minima aumenta l'attitudine dell'acciaio a subire particolari trattamenti termici
COBALTO	Co	Il cobalto migliora la durezza a caldo, mentre il vanadio migliora la resistenza all'usura. Entrambi gli elementi favoriscono la stabilità della durezza a temperature elevate, proprietà tipica dei materiali per utensili. Negli acciai superapidi per utensili il cobalto è presente in percentuale da 3 ÷ 10%. Il cobalto non dà luogo alla formazione di carburi, mentre il vanadio forma carburi.
VANADIO	V	
CROMO	Cr	Aumenta la resistenza meccanica, la durezza, la resistenza all'usura, l'elasticità e la temprabilità. Quando è presente in quantità superiore al 10,5% in massa rende l'acciaio inossidabile (se C ≤ 1,2% in massa). Forma carburi.
NICHEL	Ni	Di solito è presente insieme al cromo. Aumenta la tenacità senza alterare la lavorabilità. Migliora la resistenza alla corrosione e la temprabilità. Non forma carburi, si trova sempre disciolto nel ferro a qualsiasi temperatura.
MANGANESE	Mn	Si trova in tutti gli acciai in piccole quantità per la sua azione disossidante. In percentuali maggiori (fino al 10%) aumenta la durezza e la resistenza ad usura, senza far diminuire la resilienza. Il manganese in parte si scioglie nel ferro e in parte forma carburi.
MOLIBDENO	Mo	Di solito è presente insieme al cromo e al nichel. Migliora ancora di più le proprietà meccaniche. Migliora la temprabilità ed elimina la fragilità da rinvenimento. Gli acciai che contengono Ni, Cr e Mo hanno la più alta resistenza meccanica ( $R_m = 1000 \div 1500 \text{ N/mm}^2$ ). Forma carburi.
SILICIO	Si	Si trova in tutti gli acciai in piccole percentuali (< 0,5%) per la sua azione disossidante. In percentuale pari a 1 ÷ 2% aumenta il carico unitario di rottura a trazione, ma soprattutto l'elasticità. È usato quindi negli acciai per molle. Non forma carburi, ma entra in soluzione solida con il ferro.
WOLFRAMIO (TUNGSTENO)	W	Si trova solo negli acciai per utensili in percentuale da 10 ÷ 25%, perché mantiene stabile la durezza anche alle alte temperature (ACCIAI RAPIDI). Forma carburi.
TITANIO	Ti	Viene aggiunto in alcuni acciai inossidabili; elimina il pericolo di fenomeni di corrosione intergranulare. Affina il grano ed ha una forte azione disossidante. Forma carburi.
PIOMBO	Pb	Il piombo in percentuale pari a 0,15 ÷ 0,35% aumenta la lavorabilità alle macchine utensili. È insolubile nel ferro e non si combina con nessuno dei componenti dell'acciaio. Lo zolfo in piccole percentuali pari a 0,1 ÷ 0,3% facilita la lavorabilità alle macchine utensili, ma fa peggiorare le proprietà meccaniche. Entrambi aumentano la truciolabilità degli acciai, senza nuocere in modo deciso alla loro resistenza. (ACCIAI PER LAVORAZIONI AD ALTA VELOCITÀ)
ZOLFO	S	

### NOTE

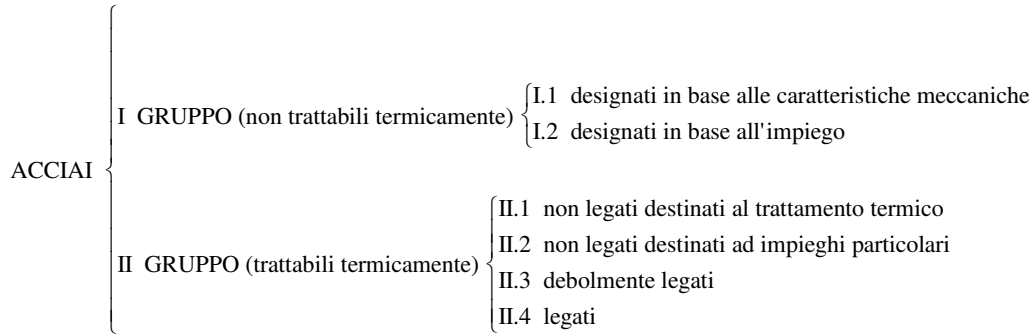
I CARBURI sono composti formati dal carbonio con un metallo. Hanno sempre una durezza molto elevata.

La TENACITÀ è una proprietà globale del materiale; essa non è esprimibile numericamente perché dipende da proprietà diverse che contemporaneamente il materiale deve possedere. Un materiale si dice tenace quando ha una buona resistenza meccanica, un discreto allungamento percentuale e in più è resiliente.

La FRAGILITÀ DA RINVENIMENTO è un fenomeno che si manifesta negli acciai al Cr e al Cr Ni, se sono raffreddati lentamente dopo il rinvenimento.

CORROSIONE INTERGRANULARE: è una corrosione profonda che avviene ai bordi dei cristalli della matrice metallica senza che l'interno dei grani venga attaccato. Le microfessure che si formano pregiudicano enormemente la resistenza del materiale.

## DESIGNAZIONE CONVENZIONALE DEGLI ACCIAI (UNI EU 27)



### I GRUPPO

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

ESEMPI:

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

<b>C 45</b>	Acciaio con 0,45 % di carbonio.
<b>C 100</b>	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 separati da un trattino che indicano la percentuale di ciascun elemento, moltiplicata per un opportuno coefficiente, come indicato nella tabella a fianco.

ESEMPI:

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

<b><math>\times 4</math></b>
Co
Cr
Mn
Ni
Si
W
<b><math>\times 10</math></b>
Al
Mo
Pb
Ti
V
<b><math>\times 100</math></b>
N
P
S
<b><math>\times 1000</math></b>
B

#### II.4 ACCIAI

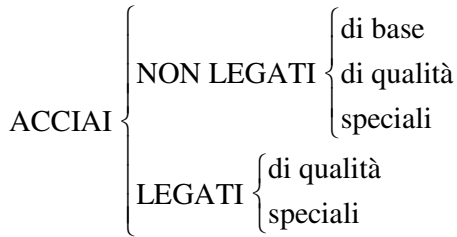
##### LEGATI

- Simbolo iniziale X (o GX 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 separati da un trattino che indicano la percentuale reale di ciascun elemento.

ESEMPI:

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

## CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI (UNI EN 10020)



Limiti in % in massa degli elementi in lega									
<b>Cr</b>	Co	<b>Cu</b>	Mn	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	Pb	Si	W	<b>V</b>
0,3	0,1	0,4	1,65	0,08	0,3	0,4	0,5	0,1	0,1

Gli ACCIAI NON LEGATI sono quelli in cui la percentuale degli elementi in lega non raggiunge nessuna delle quantità indicate in tabella.

Se nell'acciaio sono presenti contemporaneamente più elementi fra quelli segnati in grassetto, bisogna verificare:

1. che i tenori limite per ciascuno degli elementi sia inferiore ai limiti in tabella; inoltre
2. che la somma delle percentuali degli elementi in lega sia inferiore al 70% della somma dei tenori limiti di quegli elementi.

Esempio: un acciaio contiene 0,2% Cr e 0,1% Ni  
 $0,2 < 0,3$  e  $0,1 < 0,3$  ma non basta, bisogna verificare che  
 $(0,2 + 0,1) < (0,3 + 0,3) \times 0,7$ ;  $0,3 < 0,42$  vera  $\Rightarrow$  acciaio non legato

Gli ACCIAI LEGATI sono quelli in cui la percentuale di almeno uno degli elementi in lega raggiunge o supera il valore limite indicato in tabella.

Acciai non legati di base: non vi sono prescrizioni di trattamento termico, né di particolari attitudini, né degli elementi in lega. Hanno caratteristiche meccaniche entro limiti specificati dalle norme.

Acciai non legati di qualità: non sono richieste regolarità di risposta ai trattamenti termici o prescrizioni di purezza per le inclusioni non metalliche. Sono adatti ad uno specifico impiego.

Acciai non legati speciali: presentano purezza elevata e composizione chimica molto precisa. Hanno le più diverse proprietà di lavorabilità e attitudini all'impiego. Sono in genere destinati ai trattamenti termici.

Acciai legati di qualità: contengono elementi in lega con tenori limiti percentuali seguenti

Limiti in % in massa degli elementi in lega									
<b>Cr</b>	Co	<b>Cu</b>	Mn	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	Pb	Si	W	<b>V</b>
0,5	0,1	0,5	1,8	0,1	0,5	0,4	0,5	0,1	0,12

La loro utilizzazione è simile agli acciai non legati di qualità. Normalmente non sono destinati a trattamenti termici.

Acciai legati speciali: hanno una precisa composizione chimica che gli conferiscono le più diverse attitudini all'impiego. Fanno parte di questi acciai: quelli per costruzioni meccaniche, gli acciai inossidabili, gli acciai da cementazione, gli acciai per cuscinetti, gli acciai per utensili.

## 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, ma possono anche esserne privi. 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 ÷ 0,5 %. Questi acciai acquistano elevata tenacità dopo il trattamento di bonifica.

ACCIAI DA BONIFICA			
Tipi	Impieghi	Proprietà	Esempi
<i>Non legati di qualità</i>	Produzione di parti di macchine geometricamente semplici, di modeste dimensioni, limitatamente sollecitate.	$R_m = 600 \div 900 \text{ N/mm}^2$ $A = 11 \div 20 \%$ $KU = 15 \div 40 \text{ J}$ Bassa temprabilità	C22, C25, C30, C35, C40, C45, C50, C55, C60
<i>Non legati speciali</i>	Produzione di parti di macchine geometricamente semplici, di modeste dimensioni, limitatamente sollecitate.	$R_m = 850 \div 1100 \text{ N/mm}^2$ $A = 11 \div 20 \%$ $KU = 15 \div 40 \text{ J}$ Bassa temprabilità	C22E → C60E  C22R → C60R
<i>Speciale legato al Mn</i>  <i>Speciali legati al Cr</i>	Produzione di parti di macchine geometricamente complessi, di medie dimensioni. Pezzi saldati per la bassa percentuale di carbonio.	$R_m = 600 \div 900 \text{ N/mm}^2$ $KU = 20 \div 40 \text{ J}$ Moderata temprabilità	28Mn6  38Cr2, 46Cr2, 34Cr4, 37Cr4, 41Cr4
<i>Speciali legati al Cr-Mo</i>  <i>Speciali legati al Cr-Ni-Mo</i>	Produzione di parti di macchine di grandi dimensioni, molto sollecitate.	$R_m = 1100 \div 1300 \text{ N/mm}^2$ $KU > 30 \text{ J}$ Elevata temprabilità	25CrMo4, 34CrMo4, 42CrMo4, 50CrMo4  36CrNiMo4, 34CrNiMo6, 30CrNiMo8 36NiCrMo16 (autotemprante)

NOTA: gli acciai C22E contengono  $S \leq 0,035\%$   
gli acciai C22R contengono  $S = 0,02 \div 0,04\%$

#### 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.

ACCIAI DA CEMENTAZIONE			
Tipi	Impieghi	Proprietà	Esempi
<i>Al carbonio</i>	Parti di macchine di modeste dimensioni, geometricamente semplici, senza intagli e brusche variazioni di sezione, per i quali si richiede solo la durezza in superficie.	$R_m = 500 \div 600 \text{ N/mm}^2$ $KU > 40 \text{ J}$ Bassa temprabilità	C10, C55
<i>Al Cr-Mn Cr-Mo Ni-Mo Ni-Cr</i>	Parti di macchine di modeste dimensioni, geometricamente semplici, senza intagli e brusche variazioni di sezione, per i quali si richiede solo la durezza in superficie.	$R_m = 900 \div 1000 \text{ N/mm}^2$ $KU = 30 \div 40 \text{ J}$ Bassa temprabilità	16MnCr5  16CrNi4, 12NiCr3
<i>Al Ni-Cr-Mo</i>	Particolari di notevole dimensione con elevate resistenze al nucleo.	$R_m = 1100 \div 1400 \text{ N/mm}^2$ $KU = 35 \div 40 \text{ J}$ Elevata temprabilità	18NiCrMo5

#### 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 ( $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$ )

#### 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, calibri di controllo, ecc.

Esempi: 31 Cr Mo 12 41 Cr Al Mo 7 (spessore nitrurato  $HV > 1050$ )

#### 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.

ACCIAI PER MOLLE			
Tipi	Impieghi	Proprietà	Esempi
<i>Al carbonio</i>	Molle di piccole dimensioni e poco sollecitate, spine elastiche.	$R_m = 700 \div 800 \text{ N/mm}^2$	C75
<i>A bassa temprabilità</i>	Molle a balestra, molle per applicazioni ferroviarie, valvole per motori.	$R_m = 1300 \div 1700 \text{ N/mm}^2$ $A = 8\%$	48Si7, 55Si7, 50CrV4
<i>Ad alta temprabilità</i>	Molle a balestra, molle per applicazioni ferroviarie, valvole per motori molto sollecitati, anche a fatica.	$R_m = 1500 \div 1800 \text{ N/mm}^2$ $A = 6\%$	51CrMoV4

#### 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 (HRC = 63 ÷ 64)

#### ACCIAI INOSSIDABILI

Contengono di solito più del 12 % di cromo e possono essere presenti anche nichel, molibdeno, titanio. Sono caratterizzati da una notevole resistenza alla corrosione e al calore.

ACCIAI INOSSIDABILI			
Tipi	Impieghi	Proprietà	Esempi
<i>Martensitici</i> $C = 0,2 \div 1\%$ $Cr = 13 \div 18\%$	Coltelleria, strumenti chirurgici, palette di turbine, cuscinetti a rulli, bulloneria.	Buona resistenza, resilienza e durezza. <b>Temprabili</b> (per lo più autotemperanti). Soddisfacente inossidabilità. $R_m = 750 \div 900\text{ N/mm}^2$ $A = 14\%$	X10Cr13  X30Cr13
<i>Ferritici</i> $C < 0,2\%$ $Cr = 14 \div 30\%$	Parti d'impianti petroliferi, palette di turbine.	Buone caratteristiche meccaniche. <b>Non temprabili</b> . Buona inossidabilità anche ad elevate temperature. Buona lavorabilità all'utensile e per deformazione plastica. $R_m = 450 \div 600\text{ N/mm}^2$ $A = 20 \div 25\%$	X6CrAl13 X2CrNi2 X2CrMoTi29-4 X2CrAlTi18-2
<i>Austenitici</i> $Cr = 16 \div 28\%$ $Ni = 6 \div 22\%$	Posateria, parti d'impianti chimici e alimentari, parti di forni e scambiatori di calore.	Buona resistenza ad urti e usura. <b>Non temprabili</b> . Massima resistenza alla corrosione. Non sono magnetici. $R_m = 550 \div 750\text{ N/mm}^2$ $A = 40\%$	X2CrNi18-9 X5CrNiMo17-12-2 X6CrNiTi18-10 X22CrNi25-20

#### 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 (HRC<sub>min</sub> = 62)

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)  
(HRC = 65) (HRC = 66)

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

DESIGNAZIONE AISI (USA) DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI

La designazione è ottenuta con numeri di riferimento secondo la seguente tabella

DESIGNAZIONE <b>AISI</b> DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI		
Tipi	Numero base	Esempi
<i>Martensitici e Ferritici</i> al cromo	<b>4 xx</b> i simboli xx devono essere sostituiti con la percentuale media di carbonio moltiplicata per 100.	410 martensitico 406 ferritico
<i>Austenitici</i> al cromo-nichel	<b>3 xx</b> i simboli xx devono essere sostituiti con la percentuale media di carbonio moltiplicata per 100.	302 306 316
<i>Austenitici</i> al Cr-Ni-Mo	<b>2 xx</b> i simboli xx devono essere sostituiti con la percentuale media di carbonio moltiplicata per 100.	208 202