



Università degli Studi di Genova
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale



Corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche

FONDAMENTI DI TECNOLOGIE CHIMICHE PER L'INDUSTRIA E PER L'AMBIENTE
(modulo II)

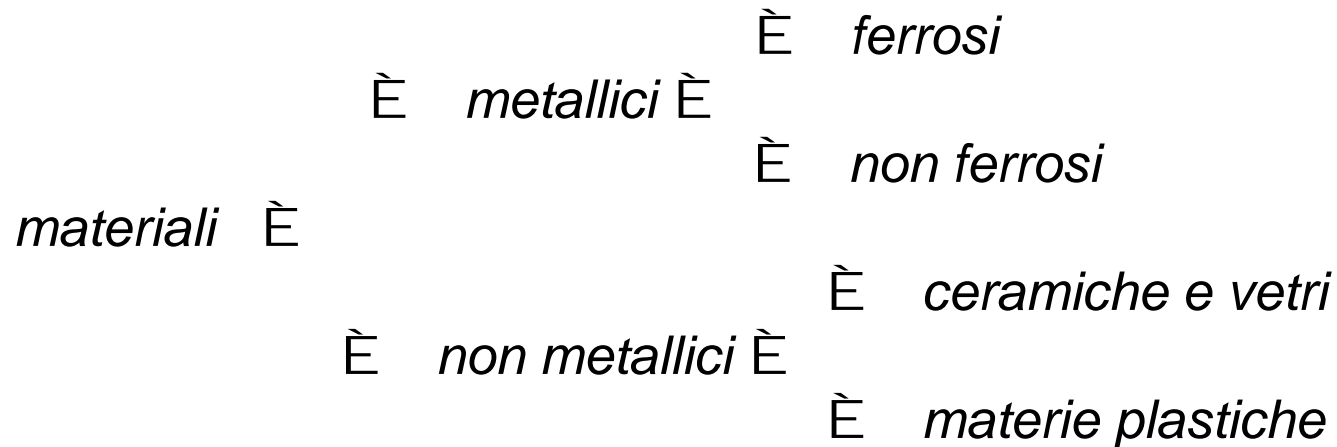
MATERIALI DEGLI IMPIANTI (metallici e non metallici)

Aldo Bottino
e-mail : bottino@chimica.unige.it
Tel. : 010 3538724 - 3538719

Materiali degli impianti

Classificazione dei materiali

Sebbene sia difficile definire uno schema panoramico che comprenda tutto l'enorme numero di materiali che si impiegano negli impianti, si può tentare una *classificazione* di tali materiali in base alla *loro natura*:



Tra i vari tipi di materiali quelli più *usati* negli impianti chimici sono i *materiali metallici ferrosi*.

Materiali metallici ferrosi

Leghe Ferro - Carbonio

I materiali metallici ferrosi impiegati negli impianti sono *leghe Ferro-Carbonio* dette comunemente (secondo il contenuto di C):

- *acciai* ($C < 1.7 \%$)
- *ghise* ($1.7 \% < C < 6.7 \%$)

Gli *acciai* sono i materiali principalmente *usati*.

Produzione degli acciai

Gli acciai vengono prodotti attraverso due operazioni principali

- trasformazione *nell'altoforno* della parte attiva del minerale (ossido, carbonato, solfuro) in ghisa (detta appunto d'altoforno).

(questa operazione, che si svolge con l'impiego di *coke* quale riducente e combustibile, e di altri correttivi, consta essenzialmente di una complessa serie di *processi di riduzione*, diretti a sottrarre ossigeno dal minerale)

- trasformazione della ghisa d'altoforno allo stato liquido in acciaio mediante *ossidazione degli elementi* contenuti nella ghisa

(questa operazione, detta *affinazione*, che si svolge in *forni o convertitori* mediante aggiunta di rottame e di aria o ossigeno puro porta alla *eliminazione* parziale o quasi totale di elementi quali il carbonio, silicio, manganese, zolfo)



La *disossidazione* finale serve a diminuire il tenore di ossigeno che favorisce la tendenza alla fragilità dell'acciaio.

A seconda delle condizioni di disossidazione gli acciai si distinguono in:

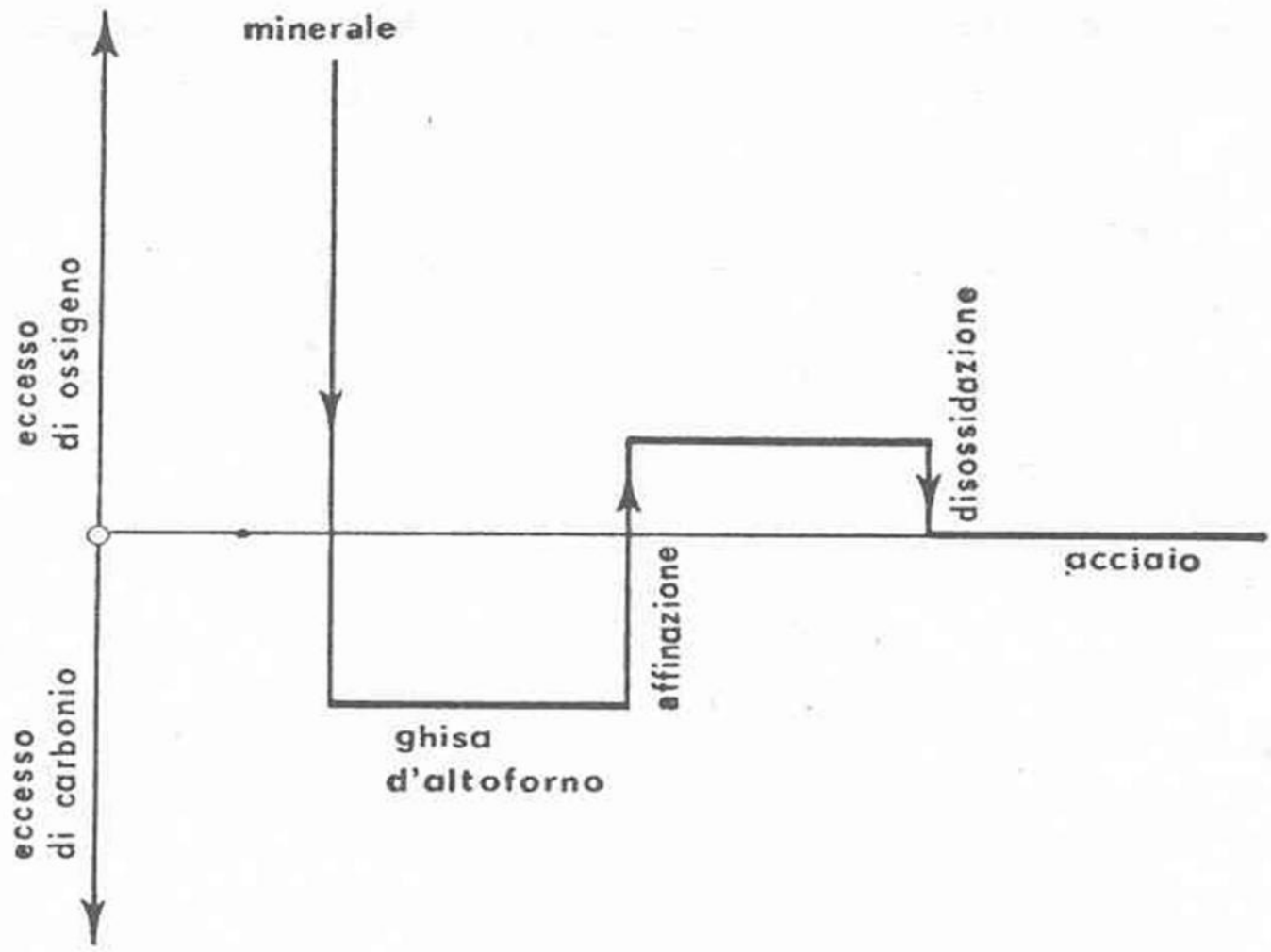
- *effervescenti*. Sono acciai che non sono stati sottoposti ad una *energica disossidazione*, con forti disossidanti quali il silicio o l'alluminio.

(in tal caso nel corso della solidificazione in lingottiera si manifesta una reazione tra carbonio e ossigeno con sviluppo di ossido di carbonio che determina una struttura del lingotto ricca di *soffiature*).

- *calmati*. Sono acciai *disossidati a fondo* e non presentano soffiature.



La seguente Figura illustra la variazione del tenore di ossigeno e carbonio durante le lavorazioni siderurgiche fino all'ottenimento dell'acciaio.



Altri elementi contenuti negli acciai

Oltre al Fe ed al C gli acciai contengono altri elementi che possono essere in prima approssimazione suddivisi in:

- *elementi dannosi*
- *elementi utili*

Elementi dannosi

Sono posseduti dal materiale di partenza (minerale di Fe e coke) e non sono eliminati nelle successive lavorazioni.

I principali elementi dannosi sono:

- *zolfo e fosforo*: accrescono la fragilità dell'acciaio riducendone la saldabilità.
(il contenuto massimo consentito è dell'ordine di 0.03-0.05%).
- *azoto e ossigeno*: aumentano la tendenza alla rottura fragile

Elementi utili

Vengono *appositamente aggiunti* per conferire all'acciaio determinate caratteristiche.

I principali elementi utili sono:

Cromo: aumenta la resistenza alla corrosione ed in particolare all'ossidazione grazie alla formazione di uno strato protettivo di ossido.

Gli acciai al Cr presentano l'inconveniente che quando vengono saldati o sottoposti a trattamenti termici o comunque portati per un certo tempo tra 450 e 900°C possono dare luogo al cosiddetto fenomeno di *corrosione intercristallina*.

(il fenomeno è dovuto alla formazione lungo il margine dei cristalli che costituiscono l'acciaio di *carburi* di cromo che impoveriscono la lega)

L'entità della formazione di carburi viene limitata ricorrendo ad acciai a basso contenuto di C ($C < 0.03\%$) oppure aggiungendo *piccole quantità di Ti* che ha una maggiore tendenza rispetto al Cr a combinarsi con il C.

Oltre al Cr altri elementi utili sono rappresentati dal:

Nichel : aumenta la resistenza alla corrosione ed in particolare all'ossidazione.

Aumenta anche la resistenza all'impatto e migliora le caratteristiche di tenacità e duttilità dell'acciaio.

Non ha tendenza a formare carburi.

Molibdeno : migliora la resistenza alla corrosione degli acciai al Cr, al Ni e al Cr-Ni.

Vanadio : migliora le proprietà meccaniche e la saldabilità dell'acciaio.

Classificazione degli acciai

Gli acciai si suddividono in tre classi:

- *ordinari al carbonio*
- *speciali al carbonio*
- *debolmente o fortemente legati*

Gli *acciai ordinari al carbonio*, detti anche semplicemente *acciai al carbonio*, sono quelli non contenenti in lega aggiunte volute di elementi chimici, oltre la quantità che vi comporta necessariamente il processo siderurgico di produzione.

Gli acciai speciali al carbonio sono una classe intermedia tra gli ordinari ed i legati.

Gli *acciai debolmente legati* sono quelli che *non contengono* alcun elemento diverso dal ferro o dal carbonio *in percentuale superiore al 5%*.

Gli acciai fortemente legati contengono almeno un elemento estraneo *in quantità superiore al 5%*.

Acciai al carbonio

Gli acciai al carbonio si sottodistinguono in tre classi e sono designati secondo norme emesse dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)

- *commerciali* : detti anche ferri omogenei, sono designati con il simbolo A00. Non hanno prescrizioni di limiti di composizione chimica ed alcuna specificazione delle caratteristiche meccaniche
- *comuni* : sono designati con il simbolo costituito dalla lettera A seguita da un numero di due cifre che rappresenta il valore minimo in kg/mm^2 della resistenza a trazione (esempio: A37). Non hanno prescrizione di composizione chimica ma viene prescritto un valore minimo della resistenza a trazione.
- *di qualità* : sono designati con il simbolo costituito dalle lettere Aq seguite da un numero di due cifre che rappresenta il valore minimo in Kg/mm^2 della resistenza a trazione (esempio: Aq 34). Hanno una limitazione nelle impurezze di zolfo e fosforo ($< 0.05\%$ ciascuno) e per certi impieghi (esempio, caldaie) anche di altri elementi.

Acciai al carbonio

Gli acciai al carbonio si sottodistinguono anche in base alla percentuale di carbonio come riportato nella seguente Tabella.

Suddivisione degli acciai ordinari al carbonio		
Denominazione	Contenuto % totale di carbonio	Carico di rottura (kg/mm ²)
Acciai extradolci	< 0.15 %	< 38
Acciai dolci	0.10 % ÷ 0.30 %	≈ 45
Acciai semiduri	0.30 % ÷ 0.45 %	60 ÷ 70
Acciai duri	0.45 % ÷ 0.60 %	70 ÷ 80
Acciai extraduri	0.65 % ÷ 2 %	> 80

Acciai al carbonio

La Tabella seguente mostra le principali applicazioni degli acciai al carbonio.

Principali applicazioni degli acciai ordinari al carbonio		
Tipo di acciaio	% Carbonio	Usi
Extradolce	0.05 ÷ 0.15	Catene, pezzi stampati, ribattini, chiodi, latta, tubi saldati, acciaio per carrozzerie d'automobile e materiale soggetto a trafilatura e pressatura
Dolce	0.10 ÷ 0.20 0.20 ÷ 0.30	Acciai strutturali, travi universali, fucinati a gravità, viti, acciai per cementazione Lavoro strutturale e con macchine, ingranaggi, acciai per taglio libero, alberi e fucinati
A medio tenore di carbonio	0.30 ÷ 0.40 0.40 ÷ 0.50 0.50 ÷ 0.60	Bielle, alberi, assi, ganci di gru, fucinati Alberi a gomiti, assi ingranaggi, alberi, blocchi per stampi, rotor, cerchioni Rotaie, cerchioni di locomotive, corde di treccia
Ad alto tenore di carbonio	0.60 ÷ 0.70 0.70 ÷ 0.80 0.80 ÷ 0.90	Stampi per martelli a gravità, seghe, cacciaviti Seghe a nastro, facce d'incudine, chiavi, martelli, molle laminate, fili di cavi, grandi stampi per presse a freddo Scalpelli a freddo, lame di cesoie, punzoni, perforatrici per roccia
Acciai per utensili	0.90 ÷ 1.10 1.10 ÷ 1.40	Asce, coltelli, trapani, picconi, stampi filettati Cuscinetti a sfere, lime, scalpelli, rasoi, utensili per perforare e per finitura, parti di macchine in cui sia essenziale la resistenza all'usura

Acciai speciali al carbonio

Vengono designati con il simbolo costituito dalla lettera C (simbolo chimico del carbonio) seguito da un numero indicante il contenuto medio di carbonio espresso in centesimi.

Dividendo tale numero per cento si ottiene la percentuale di carbonio contenuta nell'acciaio.

Ad esempio la sigla C10 indica un acciaio al carbonio speciale contenente mediamente lo 0.10% di carbonio

Acciai debolmente legati

Vengono designati con un simbolo costituito da *lettere* racchiuse tra *due numeri*.

Ad esempio: 25NiCr88.

Le *lettere* indicano il simbolo chimico degli elementi speciali di lega contenuti nell'acciaio.

La sequenza delle lettere è determinata dal maggiore contenuto che hanno gli elementi di lega.

Il *numero davanti al simbolo* rappresenta il contenuto del carbonio espresso in centesimi.

Il *numero dopo il simbolo* si riferisce al contenuto degli elementi di lega ed è composto da una o più cifre affiancate.

Il contenuto (%) degli elementi di lega negli acciai debolmente legati viene ottenuto *dividendo* ciascuna cifra per il numero riportato nell'ultima colonna della Tabella.

Ad esempio la sigla UNI 25CrNi88 indica un acciaio al cromo - nichel con: 0.25% di C, 2% di Cr, 2% di Ni.

Infatti:

- il numero 25 davanti alle lettere è legato alla % di C, che in base al fattore (100) riportato in Tabella, risulta essere:
 $\% C = 25 / 100 = 0.25 \%$.
- i numeri 8 e 8 dopo le lettere sono legati alle % dei due metalli, che in base al fattore (4 per entrambi) riportato in Tabella risultano essere:
 $\% Cr = 8 / 4 = 2 \%$, $\% Ni = 8 / 4 = 2 \%$

Interpretazione delle designazioni degli acciai		
Elemento	Simbolo chimico	Passaggio dal simbolo all'analisi
Carbonio	C	diviso 100
Cromo	Cr	diviso 4
Manganese	Mn	diviso 4
Nichel	Ni	diviso 4
Silicio	Si	diviso 4
Molibdeno	Mo	diviso 10
Vanadio	V	diviso 10
Alluminio	Al	diviso 10
Zolfo	S	diviso 10
Fosforo	F	diviso 10
Cobalto	Co	diviso 4
Tungsteno	W	diviso 10
Rame	Cu	diviso 10
Piombo	Pb	diviso 10
Tantalio	Ta	diviso 10
Titanio	Ti	diviso 10
Zirconio	Zr	diviso 10

Acciai fortemente legati

Sono designati come i precedenti con l'unica differenza che il *numero dopo il simbolo* indica il contenuto percentuale reale degli elementi fondamentali presenti (fattore di moltiplicazione = 1).

Per segnalare questa particolarità figura davanti al simbolo la lettera X.

Ad esempio la sigla UNI X 12CrNi188 si riferisce ad un acciaio con:
0.12% C, 18% Cr, 8% Ni.

Designazione statunitense degli acciai

Negli USA per la designazione degli acciai vengono adottati due sistemi proposti rispettivamente da:

- *ASTM (American Society for Testing Materials)*
- *AISI (American Iron and Steel Institute).*

La designazione proposta dalla ASTM è impiegata per tutti gli acciai al carbonio e legati, compresi gli *acciai inossidabili*, anche se per questi ultimi *si preferisce la designazione* proposta dalla *AISI*.

Designazione ASTM

L'acciaio viene designato indicando :

- *la sigla ASTM*
- *il numero della norma di unificazione*
- *il grado*, cioè il particolare tipo di acciaio tra quelli previsti nella norma ASTM

Ad esempio la designazione ASTM A 106 grado B indica un acciaio unificato dall'ASTM nella norma A 106 con grado B.

Per ottenere informazioni sulla composizione chimica, sulla resistenza meccanica e sull'impiego di questo tipo di acciaio è necessario *consultare* le norme ASTM.

Queste norme indicano che l'acciaio ASTM A 106 grado B è un acciaio al carbonio destinato alla fabbricazione di tubi saldati o senza saldatura ed ha le seguenti caratteristiche principali :

- composizione chimica: C \approx 0.30%, Mn = 0.29-1.06 %, Si \approx 0.10 %, S \approx 0.058 %, P \approx 0.048 %
- resistenza a trazione 42 kg/mm² (minimo).

Designazione AISI

E' la *più adottata* per gli acciai inossidabili ed è composta da un numero di tre cifre preceduto dalla sigla AISI.

A seconda della loro struttura gli acciai inossidabili sono raggruppati in due serie :

serie 400 È acciai inox al Cr a struttura martensitica

È acciai inox al Cr a struttura ferritica

serie 300 È acciai inox al Ni-Cr a struttura austenitica

Serie AISI 400

Negli acciai della serie 400 il contenuto in Cr varia dall'11.5% al 27% mentre il Ni è presente in quantità minime o manca del tutto.

I principali inconvenienti degli acciai della serie 400 sono rappresentati la fragilità delle strutture saldate.

Serie AISI 300

Gli acciai della serie 300 e sono quelli *maggiormente impiegati* e sono caratterizzati da contenuti in Cr e Ni rispettivamente variabili attorno a valori medi del 18% e dell'8%.

Gli acciai della serie 300 sono designati con numeri compresi tra 300 e 399.

La Tabella seguente riporta la composizione chimica e degli acciai AISI *più impiegati*, cioè i tipi 304, 316, 304 L, 316 L, 321.

Composizione chimica degli acciai AISI più usati				
Tipo AISI N°	Analisi %			
	C	Cr	Ni	Altri elementi principali
304	0.08 max	18 -20	8 – 12	Mn 2 max
304 L	0.03 max	18 - 20	8 – 12	Mn 2 max
316	0.08 max	16 - 18	10 – 14	Mn 2 max, Mo 2-3
316 L	0.03 max	16 - 18	10 – 14	Mn 2 max, Mo 2-3
321	0.08 max	17 - 19	9 – 12	Mn 2 max, Ti 5xC <u>min</u>

Si noti:

- il basso tenore di carbonio negli acciai della serie L per ridurre l'entità della formazione di carburi
- la presenza di Ti, sempre per lo stesso scopo, nell'acciaio 321.

Materiali metallici non ferrosi

I materiali metallici non ferrosi più comunemente impiegati negli impianti sono:

- *alluminio e leghe*
- *nichel e leghe*
- *piombo*
- *rame e leghe*

Alluminio e leghe

I principali vantaggi dell'alluminio sono:

- *leggerezza*
- *buona conduttività termica*
- *elevata resistenza chimica*

Quest'ultima proprietà è legata alla formazione di uno *strato di ossido* che impedisce l'ulteriore attacco.

Questa pellicola può essere ottenuta preventivamente con un processo di *ossidazione anodica* ed in questo caso presenta caratteristiche migliori rispetto a quella formata spontaneamente.

L' alluminio possiede bassi valori di resistenza a trazione e durezza.

Queste proprietà vengono migliorate legandolo con altri elementi in particolare il Si, Mn, Cu.

Queste leghe sono però meno chimicamente resistenti del metallo puro.

Nichel e leghe

Il prezzo del nichel è *troppo elevato* perchè si possano sfruttare su larga scala le sue *ottime proprietà di resistenza alla corrosione*.

Il Ni viene comunemente impiegato in lega con il Cu (*leghe cupronichel e Monel*) oppure con altri elementi.

Ad esempio con Si, Mo, Cr, Fe forma leghe commercialmente conosciute come *Hastelloy* ed *Inconel* che sono caratterizzate da un'ottima resistenza alla corrosione.

La percentuale di Ni presente in queste leghe varia dal 50 al 85 %.

Piombo

Non viene più praticamente usato.

Ha scarsa resistenza meccanica ma buona resistenza chimica perchè è in grado di passivarsi in molti ambienti.

Così viene passivato dall'acqua per azione combinata dell'ossigeno e della CO_2 disciolti.

Si forma una patina superficiale di carbonato basico che protegge dalla corrosione il metallo.

Con l'acido solforico (fino al 60%) si ricopre di uno strato di solfato che protegge il metallo, sempre dalla corrosione.

Rame e leghe

Il rame ha diffuse applicazioni industriali, principalmente a causa della sua elevata conduttività elettrica, alta conduttività termica, resistenza alla corrosione.

Il rame può essere legato con altri elementi (Zn, Sn, Ni) per dare gruppi di leghe di importanza industriale, quali gli:

- *ottoni* leghe Cu-Zn al 50-70% di Cu
- *bronzi* leghe Cu-Sn al 80-95 % Cu
- *cupronichel* leghe Cu-Ni al 55-75 % Cu
- *metallo Monel* lega Cu-Ni al 30 % di Cu

Le leghe Cu-Ni possono invece essere lavorate a caldo o a freddo abbastanza facilmente rispetto a quello Cu-Zn o Cu-Sn.

Leghe Rame - Nichel .

Due leghe Cu-Ni di rilievo sono:

- *leghe cupronichel* (argento di nichel o argento tedesco)

Queste leghe sono estremamente malleabili e duttili e vengono adoperate per tubi condensatori e altri impieghi in cui si richiede *un'estrema resistenza alla corrosione dell'acqua salata* (leghe 70/30 e 80/20).

- *metallo Monel*.

E' una lega essenzialmente composta dal 70 % di nichel e il 30% di rame, insieme con piccole quantità di ferro e di altri elementi.

Questa lega ha alta resistenza meccanica e resistenza alla corrosione e la si usa ampiamente negli stabilimenti chimici, negli stabilimenti alimentari, per valvole, pale di turbina, e bulloni, viti e chiodi *resistenti alla corrosione*.

Materie plastiche

I principali vantaggi delle materie plastiche sono: *leggerezza, facilità di lavorazione ed installazione, flessibilità.*

Sono usate in condizioni di modesta pressione (10-20 bar) e temperatura per fluidi altamente aggressivi.

Nel campo delle tubazioni e degli accessori di linea le materie plastiche più usate sono il:

- *cloruro di polivinile (PVC)* (max 50 - 60 °C)
- *polietilene (PE)* (max 60 °C)
- *polipropilene (PP)* (max 90 - 100 °C)
- *fluoruro di polivinilidene (PVDF)* (max 130 - 140 °C)

Altre materie plastiche come il *politetrafluoroetilene (PTFE)* sono molto usati per la realizzazione di guarnizioni per flange al posto della gomma tradizionale soprattutto per migliore resistenza agli aggressivi chimici.

Per esempio il PTFE è *praticamente inattaccabile* da quasi tutti gli agenti chimici e può essere utilizzato fino a 250 °C.

La Figura seguente riporta ad esempio i limiti di applicazione di differenti tipi di valvole costruite in diversi materiali (PVC, PP, PVDF).

Il limite massimo di temperatura è legato alla pressione di esercizio ed alle caratteristiche di aggressività del fluido.

La Figura mostra il campo di impiego di una valvola (a sede inclinata) in PVC.

Come mostra la Figura, *umentando* la temperatura di esercizio *diminuisce* la pressione alla quale può essere utilizzata la valvola.

Oltre i 60°C la valvola non può essere utilizzata.

