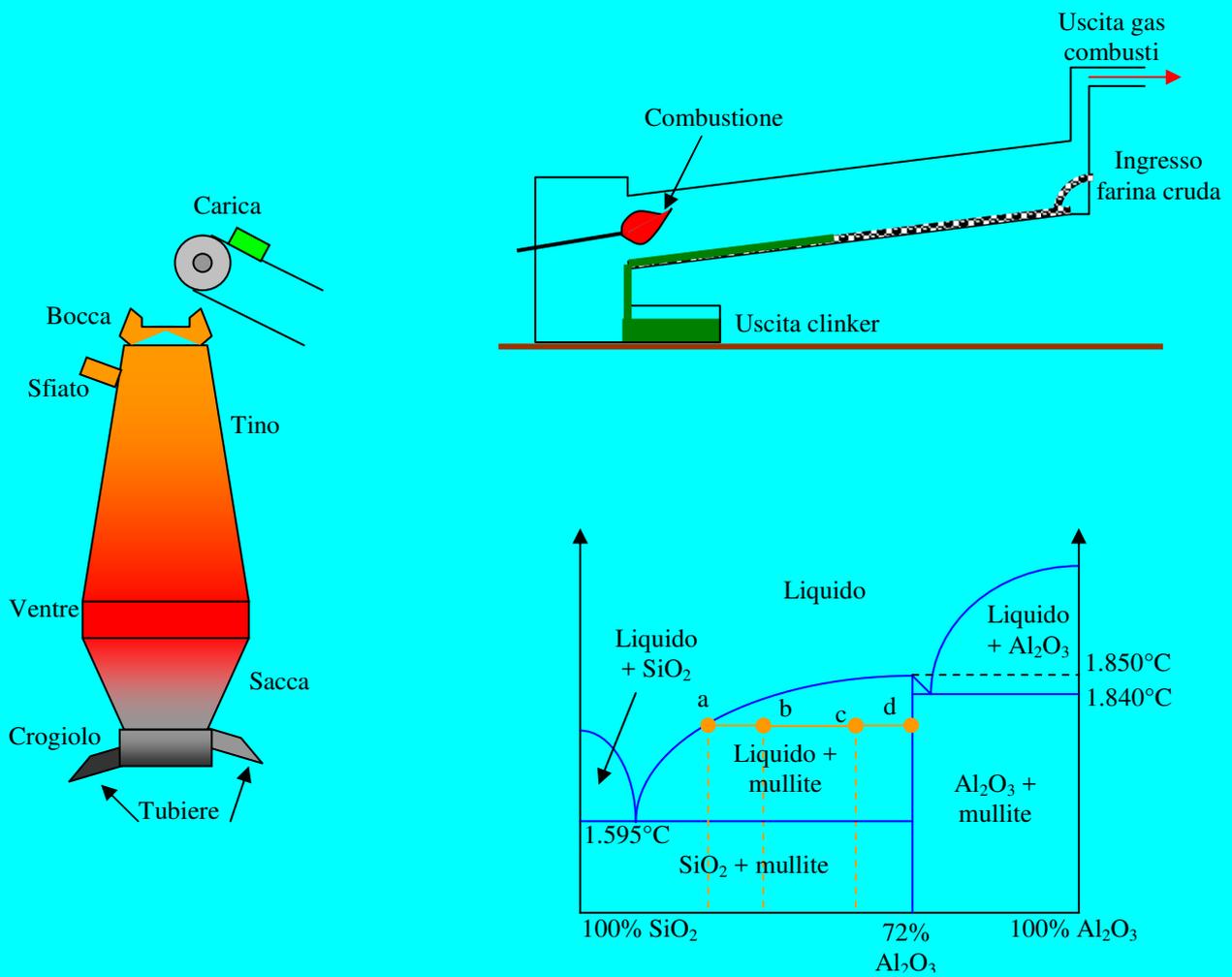


Dott. Ing. Gaspare Pero

# Appunti di Tecnologia dei materiali e Chimica applicata



**Seconda edizione: ottobre 2017**  
**© Gaspare Pero – <http://studiotecnico75.altervista.org>**  
**Le immagini del presente volume sono realizzate dall'autore, salvo diversa indicazione.**

<http://studiotecnico75.altervista.org>

## Indice

<i>Introduzione</i> .....	7
1. Materiali .....	9
2. Struttura della materia .....	11
3. Struttura allo stato solido .....	12
4. Polimorfismo o allotropia .....	13
5. Analisi diffrattometrica a raggi X .....	14
6. Imperfezioni dei materiali .....	14
7. Diffusione atomica nei solidi .....	17
8. Soluzioni solide metalliche .....	17
9. Deformazione plastica, meccanismo di scorrimento .....	18
10. Legge di Schmid .....	19
11. Deformazione plastica dei metalli policristallini .....	20
12. Proprietà chimiche e fisiche dei metalli .....	20
13. Proprietà meccaniche dei metalli, moduli d'elasticità e di Poisson .....	21
14. Prove di trazione .....	23
15. Sforzo reale .....	25
16. Durezza .....	26
17. Rottura.....	27
18. Tenacità.....	28
19. Diagrammi di rottura.....	29
20. Rottura per fatica e per creep .....	30
21. Diagrammi di stato.....	32
22. La regola delle fasi (o di Gibbs).....	33
23. Sistemi a due componenti .....	34
24. Punti particolari di un diagramma di stato .....	35
25. Curve di raffreddamento e regola della leva .....	36
26. Cenno ai processi di liquefazione .....	37
27. Analisi delle composizioni eutettiche .....	37
28. Diagramma di stato a due componenti con miscibilità completa .....	38
29. Diagramma di stato a due componenti miscibili completamente allo stato liquido e parzialmente allo stato solido (con formazione di eutettico) .....	39
30. Diagramma di stato a due componenti miscibili solo allo stato liquido, con formazione di un composto .....	41
31. Cenno ai diagrammi a tre componenti (o ternari) .....	43
32. Generalità sui combustibili .....	43
33. Calorimetro di Berthelot-Mahler .....	45
34. Calorimetro di Junkers .....	47
35. Aria teorica di combustione, volume e composizione dei fumi.....	48
36. Temperatura teorica di combustione.....	51
37. Preriscaldamento .....	53
38. Temperatura di ignizione .....	53
39. Temperatura di infiammabilità.....	53
40. Limite di infiammabilità .....	54
41. Potenziale termico.....	55
42. Controllo tecnico della combustione mediante l'analisi dei fumi.....	56
43. Introduzione allo studio dei metalli .....	58
44. L'altoforno .....	59
45. Reazioni chimiche all'interno dell'altoforno .....	60

46. Prodotti d'altoforno.....	63
47. Preriscaldamento dell'aria di combustione.....	64
48. Diagramma di stato ferro-carbonio.....	65
49. Affinazione della ghisa.....	68
50. Convertitore ad aria Bessemer.....	68
51. Convertitore ad aria Thomas.....	70
52. Convertitore ad ossigeno.....	71
53. Forno Martin-Siemens.....	72
54. Forno elettrico.....	73
55. Colata dell'acciaio.....	74
56. Caratteristiche meccaniche dell'acciaio.....	75
57. Introduzione ai trattamenti termici dell'acciaio.....	76
58. Curve di Bain.....	77
59. Curve di raffreddamento continuo.....	78
60. Trattamenti termici.....	79
61. Trattamenti superficiali d'indurimento.....	81
62. Costruzione sperimentale delle curve di Bain.....	82
63. Trattamenti meccanici.....	83
64. Tipi di ghise.....	84
65. Classificazione U.N.I. degli acciai.....	85
66. Introduzione alla corrosione dei metalli.....	85
67. Corrosione a secco.....	86
68. Corrosione elettrochimica.....	87
69. Corrosione causata dal metallo.....	89
70. Corrosione causata dalla fase liquida a contatto.....	91
71. Corrosione causata dall'atmosfera.....	96
72. Corrosione causata dal suolo.....	96
73. Protezione dalla corrosione.....	97
74. Introduzione allo studio dei materiali ceramici.....	99
75. Classificazione dei materiali refrattari.....	100
76. Refrattari acidi.....	101
77. Refrattari basici.....	104
78. Refrattari neutri.....	106
79. Prove di laboratorio sui refrattari.....	107
80. Il vetro.....	109
81. Materiali ceramici tradizionali, laterizi.....	114
82. Materiali ceramici speciali, vetroceramiche.....	116
83. Leganti aerei.....	117
84. Introduzione allo studio dei leganti idraulici.....	121
85. Il cemento.....	122
86. Prove di laboratorio su paste e malte di cemento.....	129
87. Norma Europea Sperimentale U.N.I. Env. 197/1.....	132
88. Il calcestruzzo.....	134

**APPUNTI DI TECNOLOGIA DEI MATERIALI  
E DI CHIMICA APPLICATA**

<http://studiotecnico75.altervista.org>

<http://studiotecnico75.altervista.org>

## Introduzione

*Volendo scrivere un sottotitolo per questo malloppo di argomenti, si potrebbe pensare a “Un affascinante viaggio didattico volto all’esplorazione della materia”. Di certo l’argomento è affascinante se interessa scoprire, a livello fisico e chimico, perché si forma un cristallo, perché un combustibile brucia, o cosa avviene in un altoforno; inoltre, siccome il testo è stato redatto con l’intenzione di fornire una “dispensa integrativa” per gli studenti in Ingegneria, va da sé che l’interesse del lettore è quanto meno presunto, se non pari o superiore a quello dell’autore.*

*L’uso del termine “dispensa integrativa” non è casuale: il presente testo, infatti, non ambisce a essere, per forma e dialettica, un libro di testo universitario, quanto più un compendio a quello che è il materiale didattico necessario a seguire un corso che affronta argomenti di Tecnologia dei materiali e di Chimica applicata, e sostenerne con successo i relativi esami. Ogni capitolo costituisce idealmente il carteggio che il docente legge prima di tenere la relativa lezione, oppure che consulta direttamente in aula; all’occorrenza, i capitoli iniziano come autentiche voci enciclopediche, definendo immediatamente l’oggetto del titolo, per poi proseguire con una trattazione esaustiva, ma non troppo convenzionale, dell’argomento, coadiuvata dalle necessarie figure che, volutamente, cercano di riprodurre, per stile e dettagli, gli schemi che il docente stesso traccia sulla lavagna, o per lo meno somigliano a quelli che sono stati disegnati (colorazione a parte) quando mi trovavo dall’altra parte della cattedra, come si usa dire.*

*Una caratteristica che contraddistingue questa “dispensa integrativa” dai vari testi universitari è l’utilizzo, laddove l’ho ritenuto utile, delle cosiddette “parole povere”: oltre a definizioni rigorose accompagnate da passaggi matematici e figure esplicative, ho talvolta aggiunto alcuni termini, opportunamente virgolettati, che conducono lo studente in maniera più immediata alla comprensione del passo che sta leggendo, consentendogli di apprendere di conseguenza con maggiore rapidità il resto della trattazione. Si tratta di un linguaggio più frequente nella lingua parlata che in quella scritta, ma che tuttavia sconsiglio di utilizzare in sede di esame orale.*

*La “dispensa integrativa” adotta alcuni ulteriori accorgimenti per rendere più immediata la comprensione degli argomenti:*

- *i termini tecnici, i nomi degli studiosi, le parole chiave del discorso sono opportunamente **evidenziate in grassetto**, in modo da risaltare all’occhio dello studente sia in fase di prima lettura che di ripasso della lezione;*
- *nomi relativi a figure, o comunque inseriti all’interno della trattazione, e costituiti da una sola lettera o da una sillaba comunque minuscola (per esempio un incremento differenziale), sono riportati in corsivo, al fine di distinguere immediatamente un punto su un grafico da una congiunzione, dettaglio spesso trascurato dagli autori dei libri di testo universitari, coi quali la presente “dispensa integrativa” non intende riconoscersi;*
- *numerosi rimandi, racchiusi tra parentesi quadre, indicano tempestivamente in quale capitolo della “dispensa integrativa” si è già affrontato l’argomento che si sta richiamando, ottenendo una maggiore scorrevolezza della trattazione del capitolo, senza trascurare la comodità di indicare, a chi ne fosse interessato, dove trovare le “puntate precedenti”;*
- *il testo fornisce un percorso quanto più completo possibile attraverso la disciplina, iniziando dall’analisi della struttura della materia, per poi passare alle sue proprietà, fino ad affrontare lo studio di combustibili, metalli (in particolar modo acciaio e ghisa), leganti (soprattutto il cemento) e vetro.*

*La suddivisione in ben 88 capitoli, infine, mira a fornire allo studente un pacchetto di nozioni pronte da consultare in maniera mirata sull’argomento, dando per scontati solamente i concetti che dovrebbero essere già noti allo studente che si cimenta nello studio della Chimica e della Tecnologia applicate ai materiali.*

*Lasciando lo studente alla lettura o allo studio dei capitoli dei miei “Appunti di Tecnologia dei materiali e Chimica applicata”, auguro un “in bocca al lupo!” per l'esame relativo, nonché per il proprio percorso accademico e professionale.*

*Gaspare Pero  
Dottore in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio.*

<http://studiotecnico75.altervista.org>

## 1. Materiali

La Tecnologia dei materiali e la Chimica applicata studiano i **materiali tecnologici**. Tutto ciò che esiste, infatti, è costituito da materiali, e questi possono essere naturali, come il legno od il caucciù non trattato, oppure lavorati e trasformati per sfruttarne al meglio le rispettive proprietà, come la grafite od il cemento.

Esattamente si dovrebbe parlare di **Scienza e tecnologia dei materiali**, giacché sono distinguibili due rami distinti:

- La scienza dei materiali, che pone l'attenzione sulle proprietà e la struttura degli stessi, analizzando anche i criteri di lavorazione; in pratica è l'insieme delle **conoscenze di base**.
- La tecnologia dei materiali, che studia i processi di conversione dei prodotti "trasformati" dalla suddetta lavorazione nei prodotti finiti e direttamente utilizzati in ambiti tecnologici; si parla, in questo caso, di **conoscenze applicate**.

I materiali sono classificabili in cinque importanti categorie, delle quali le ultime due sono senz'altro di recente ingresso nell'ambito conoscitivo e quindi applicativo, sebbene in continuo sviluppo.

La prima categoria è quella dei **materiali metallici**, costituiti esclusivamente da **sostanze inorganiche** contenenti elementi interni generalmente metallici ( $\text{Fe}^1$ , Cu, Ni, ...) ma anche non metallici (C, O, N, ...). La loro struttura è esclusivamente cristallina, così come il loro "comportamento" rispecchia le proprietà dei cristalli. Proprietà fisiche che caratterizzano i materiali metallici sono l'ottima conducibilità termica ed elettrica, la buona resistenza meccanica, la duttilità (vale a dire la possibilità di deformarli senza romperli) anche a temperatura ambiente, e la resistenza alle alte temperature senza subire processi d'alterazione. S'individuano inoltre due sotto categorie per metalli e leghe:

- **Ferrosi**, quali l'acciaio e la ghisa (leghe di Fe e C)<sup>2</sup>;
- **Non ferrosi**, quali le leghe di Al, Cu, Zn, nelle quali il Fe è assente oppure presente soltanto in piccole quantità.

Seconda categoria della classificazione è quella dei **materiali ceramici**, costituiti da **sostanze inorganiche** inglobanti elementi metallici e non, legati chimicamente tra loro (ossidi, ...). Possiedono una struttura che può essere tanto cristallina quanto amorfa, e sono caratterizzati dall'elevata durezza (resistenza all'urto), dalla resistenza alle alte temperature, dalla fragilità (è certamente trascurabile la loro malleabilità), e dal fatto di essere buoni isolanti termici. Anche in questo caso si evidenziano alcune sotto categorie:

- **Leganti**, come la calce idraulica e, soprattutto (per la vastità d'utilizzo), il cemento;
- **Materiali ceramici tradizionali**, caratterizzati dall'essere costituiti prevalentemente di argilla, come la porcellana ed il vetro;
- **Refrattari**, che possiedono una spiccata resistenza alle elevate temperature, oltre ad essere eccellenti isolanti termici.

È doveroso un cenno ai materiali così detti **ceramici avanzati**, dotati delle suddette caratteristiche della categoria, in particolare modo dell'indefornabilità, oltre che da una superiore resistenza all'urto (nitruro di silicio), quasi paragonabile a quella dei materiali metallici.



Figura 1.1 – Prelevata dal web.

<sup>1</sup> D'ora in poi, gli elementi chimici saranno visualizzati con il loro simbolo di nomenclatura, a meno di eventuali casi nei quali il nome commerciale risulti di più facile memorizzazione.

<sup>2</sup> La distinzione dipende dal contenuto percentuale di C.

Tra gli impieghi di quest'ultima classe di materiali ceramici si segnalano le valvole dei motori a scoppio ed il rivestimento esterno delle navicelle Shuttle (figura 1.1), realizzato con piastre refrattarie indeformabili in grado di dissipare il surriscaldamento causato dall'urto con l'atmosfera durante la fase di rientro a terra.

La terza categoria comprende i **materiali polimerici**, costituiti da **sostanze organiche**, vale a dire da catene o reticoli di atomi di C, O, N, H. La struttura è generalmente non cristallina, ma non sono rare delle eccezioni. Caratteristiche peculiari sono le loro capacità d'isolamento termico ed elettrico, oltre al peso relativamente contenuto, mentre risultano ampiamente variabili da un materiale all'altro la resistenza meccanica e la duttilità: sono esempi di questa contrapposizione di comportamento la gomma<sup>3</sup> e il teflon<sup>4</sup>. Sotto categorie dei materiali polimerici sono:

- **Termoplastici**, in grado di fondersi nuovamente dopo aver subito un processo di raffreddamento (resine viniliche, ...);
- **Termoindurenti**, che dopo un raffreddamento non possono più essere fusi poiché si forma un reticolo che irrigidisce la struttura (resine fenoliche, ...);
- **Gomme naturali**, vale a dire non prodotte dall'uomo ma ricavate in natura (caucciù, ...).

Tra gli utilizzi dei materiali polimerici si segnalano: la fabbricazione delle schede madri dei PC, la realizzazione di gran parte della struttura dei satelliti orbitanti.

Passando ai **materiali compositi**, quarta categoria della classificazione, va detto che sono formati dall'unione di più materiali al fine di conservare od aumentare le proprietà "utili" di ciascuno di essi. Non si tratta, in ogni caso, della formazione di leghe metalliche, ma nello sfruttamento di un **effetto sinergico**, per mezzo del quale il materiale di rinforzo è presente in pagliuzze (materiali **fibrosi**) o polveri (materiali **particellari**) ben visibili nella matrice, che può essere tanto polimerica quanto ceramica. Tra le applicazioni si segnala l'impiego per l'alleggerimento di velivoli.

Chiudono la classificazione i **materiali per l'elettronica**, costituiti fondamentalmente da silicio (Si), e dai suoi vari composti derivati. La caratteristica fondamentale della categoria è l'elevata conducibilità che permette il trasferimento di dati attraverso impulsi elettrici, rendendoli elementi fondamentali nella realizzazione di computer, macchine automatiche (robot) e quant'altro necessiti di informazioni elettroniche per funzionare.

Se alcuni materiali sono gli unici idonei ad un determinato scopo, in altri casi v'è la possibilità di adottare un materiale od un altro per la realizzazione di un'opera tecnologica, edile, automobilistica, eccetera. Ad incidere decisamente sulla scelta del materiale vi sono il suo **costo** e lo **sviluppo dei materiali medesimi**; quest'ultimo fattore fa sì che si preferisca un materiale con alle spalle un processo di produzione conveniente a parità di caratteristiche tecniche. È questo uno degli obiettivi della ricerca tecnologica.

Si segnala un altro parametro importante cioè il rapporto prestazioni/peso, che ha subito un'evoluzione notevole: nel 1950 era pari a 5, mentre nel 1990 aveva raggiunto il valore 20. Vale a dire che, a parità di peso, le prestazioni dei materiali si sono quadruplicate.

<sup>3</sup> Da intendersi gomma naturale lavorata.

<sup>4</sup> Nome commerciale del politetrafluoroetilene.

## 2. Struttura della materia

Alla base dell'esistenza di un materiale, nello specifico di una sostanza solida, vi è un **legame chimico**, cioè un'interazione elettrica tra gli atomi, la quale si realizza per via della tendenza spontanea di un qualsiasi sistema a raggiungere una condizione più stabile possibile, vale a dire con una minore energia potenziale possibile. Un livello energetico elevato, infatti, rende gli atomi, costituenti base della materia, reattivi.

I legami chimici si suddividono in **forti** (o **primari**) e **deboli** (o **secondari**). I legami forti interessano gli atomi e possono essere di tipo:

- **Ionico**, quando vi è un vero e proprio trasferimento di uno o più elettroni di valenza<sup>5</sup> dall'orbitale più esterno di un atomo a quello più esterno dell'altro, dovuto ad una forte differenza di **elettronegatività** tra i due (esempio:  $\text{Na} \cdot \rightarrow \text{Cl} \Rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- \Rightarrow \text{NaCl}$ )<sup>6</sup>; tale legame non è direzionale, giacché non vi è una zona vicina alla molecola formatasi ove sia più probabile individuare elettroni.
- **Covalente**, quando la differenza di elettronegatività tra i due atomi è minima; in tal caso gli elettroni di valenza sono condivisi dai due atomi in modo da chiudere i rispettivi orbitali esterni (esempio:  $\text{H} \cdot + \cdot \text{H} \Rightarrow \text{H}-\text{H}$ )<sup>7</sup>; in questo caso il legame è direzionale, poiché è molto più probabile trovare elettroni nello spazio tra i due nuclei piuttosto che all'esterno di essi.
- **Metallico** dove, sotto il presupposto di una struttura cristallina, gli elettroni di valenza sono delocalizzati, costituendo una nube elettronica che avvolge il reticolo di atomi ionizzati ed è responsabile della conducibilità [cap. 1]; si tratta di un legame evidentemente non direzionale, che a differenza dei precedenti, non richiede particolari condizioni per la sua formazione. Per quanto riguarda la proprietà di duttilità, questa è dovuta allo scorrimento tra i piani degli atomi, reso agevole dalla presenza di **impurità**.

I legami deboli, di tipica pertinenza delle molecole, si distinguono in:

- **Dipolo permanente**, quando le molecole interessate possiedono una polarizzazione permanente dovuta ad un'asimmetria elettronica (ad esempio la molecola  $\text{H}_2\text{O}$ ), che produce un'**attrazione elettrostatica**.
- **Dipolo fluttuante**, quando vi è una distribuzione asimmetrica degli elettroni attorno al "centro" della molecola in modo da generare un dipolo variabile come il moto caotico degli elettroni medesimi. Si tratta, in ogni caso, del legame chimico più debole.

È importante a questo punto osservare che nella realtà esistono esclusivamente **legami misti**, e che i suddetti tipi costituiscono dei modelli limite di riferimento. Esempi nei quali i legami possono ritenersi non misti sono quelli di Li (100% metallico),  $\text{F}_2$  (100% covalente)  $\text{CsF}$  (100% ionico).

<sup>5</sup> Si tratta, generalmente, di quelli che gli consentono di stabilire un legame con atomi di H.

<sup>6</sup> Con il simbolo " $\cdot$ " si sta indicando un elettrone. Il simbolo " $\rightarrow$ ", in questo caso, indica il trasferimento dell'elettrone.

<sup>7</sup> Si è adottato il formalismo di Lewis, ove il simbolo " $-$ " rappresenta un doppietto di legame.