

3



Modulo di **T**ecnologia dei **M**ateriali

Docente: Dr. Giorgio Pia

I Metalli

Frattura fragile

I metalli

La Frattura Fragile

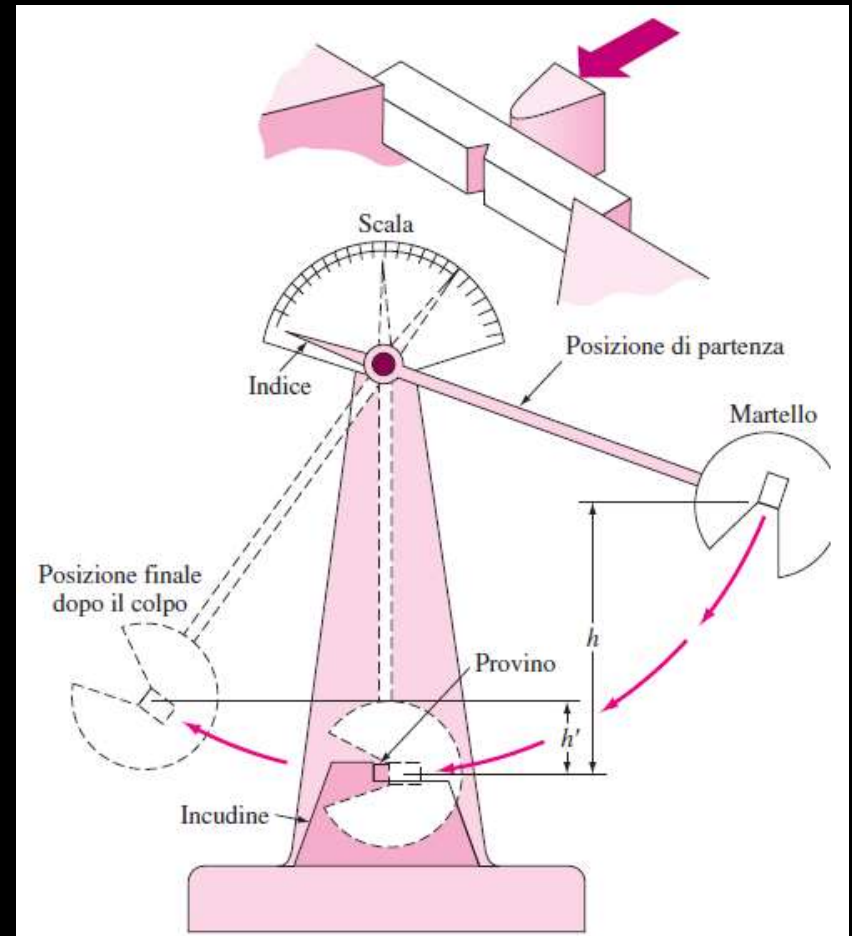
- Le fratture fragili sono dovute a difetti come:
 - Pieghe;
 - flussi indesiderate di grano;
 - Porosità;
 - Strappi e cricche;
 - danni da corrosione;
 - infragilimento da idrogeno.
- A bassa temperatura di lavoro, avviene la transizione duttile-fragile.
- A bassa temperatura e ad alte velocità di deformazione anche metalli CCC, come ferro α , molibdeno e tungsteno si rompono in maniera fragile.

I metalli

Tenacità e prove di impatto

- La tenacità è la misura dell'energia assorbita prima della rottura
- La prova di impatto misura la capacità di un metallo di assorbire un impatto

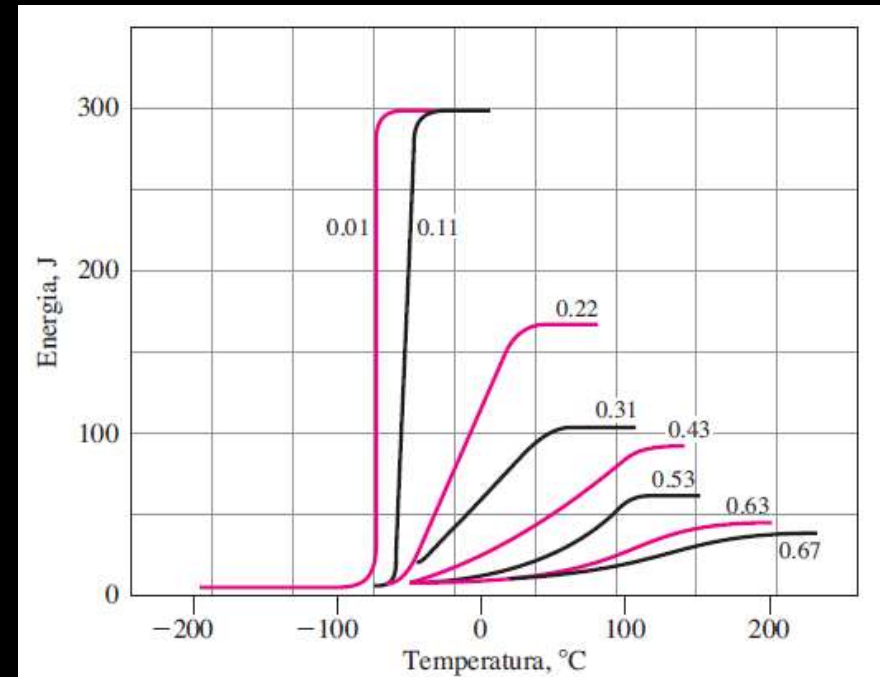
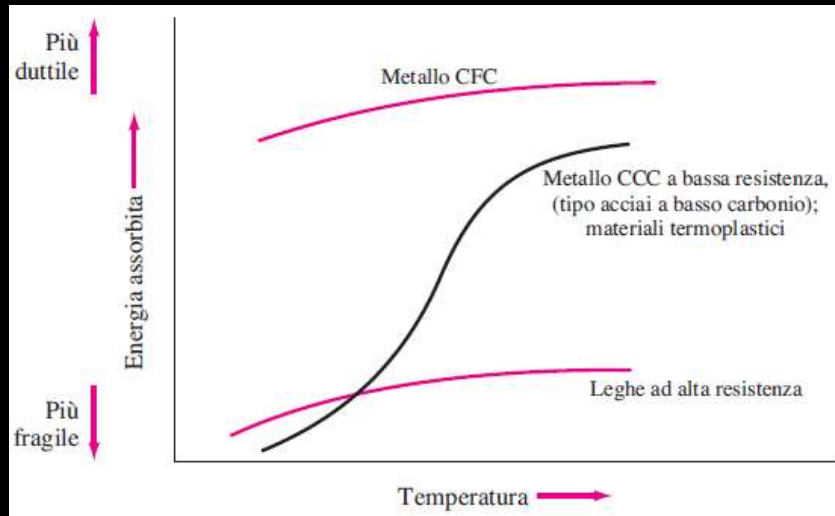
La tenacità è misurata utilizzando uno strumento per prove di impatto



I metalli

Tenacità e prove di impatto

- Utilizzate anche per trovare l'intervallo di temperatura della transizione duttile-fragile

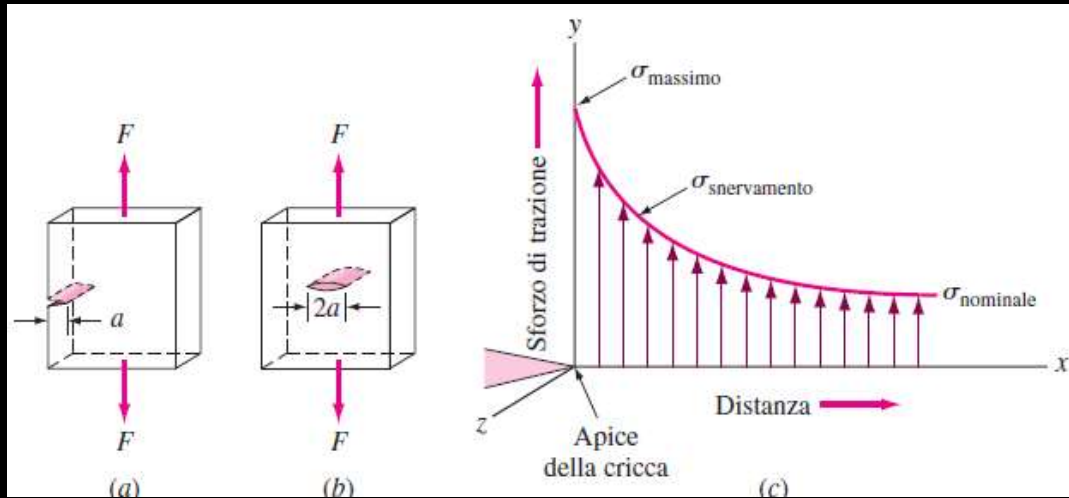


- Affondamento del Titanic.** Il Titanic era costruito con acciaio con temperatura di transizione duttile-fragile a 32°C . Il giorno dell'affondamento, la temperatura del mare era -2°C che rese la struttura molto fragile e suscettibile al danneggiamento

I metalli

Tenacità di Frattura

- Le cricche e i difetti sono *concentrazioni di sforzi*



$$K_1 = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

K_1 = fattore di intensità di sforzo

σ = sforzo applicato

a = lunghezza apice cricca

Y = costante geometrica

K_{Ic} = valore critico di fattore di intensità degli sforzi
(*tenacità a frattura*)

$$= Y\sigma_f\sqrt{\pi a}$$

Esempio:

Al 2024 T851

~~28.2~~MPam^{1/2}

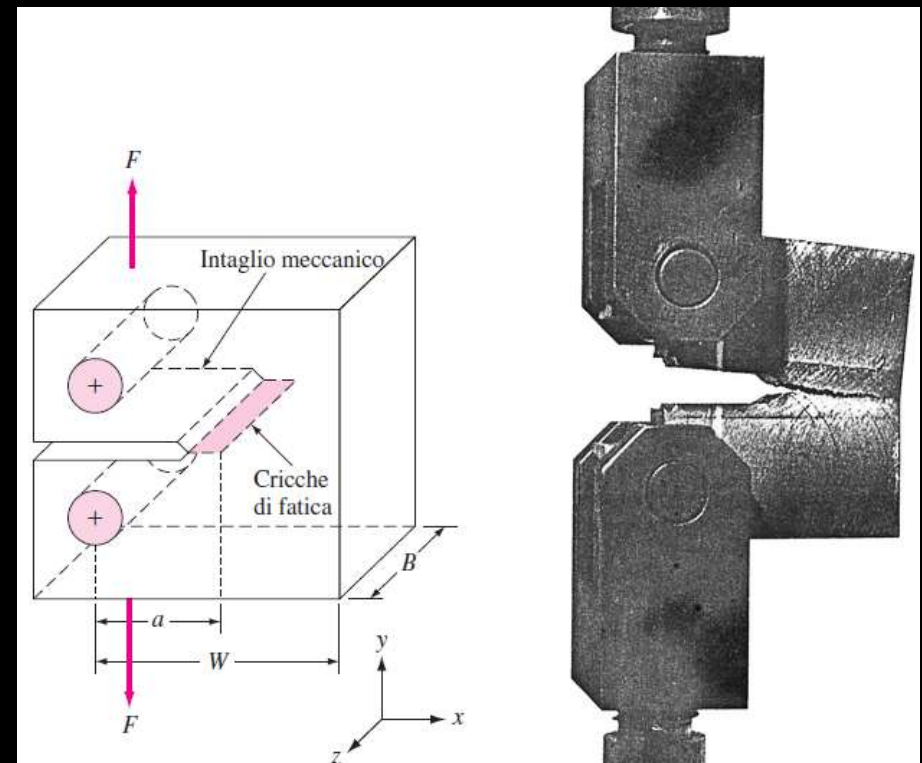
Acciaio 4340

~~80.4~~MPam^{1/2}

I metalli

Misura della tenacità a frattura

- un intaglio viene realizzato su un provino di spessore B
- $B \gg a$ condizione di deformazione planare (no deformazioni lungo l'asse z – direzione dell'intaglio)
- $B = 2.5(K_{Ic}/\text{sforzo di snervamento})^2$
- Il provino è testato a trazione
- Maggiore è il valore di K_{Ic} , maggiore è la duttilità del metallo
- Usato nella progettazione per ricavare la dimensione permessa del difetto



I metalli

Misura della tenacità a frattura

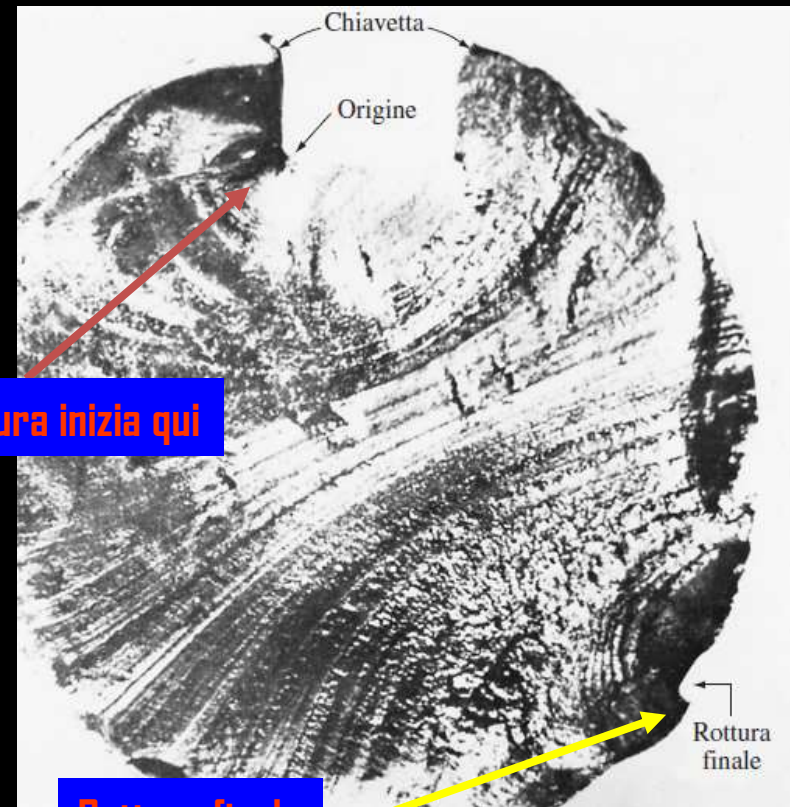
Materiale	K_{IC}	$\sigma_{\text{carico di snervamento}}$
	MPa \sqrt{m}	MPa
Leghe di alluminio:		
2024-T851	26.4	455
7075-T651	24.2	495
7178-T651	23.1	570
Lega di titanio:		
Ti-6Al-4V	55	1035
Acciai legati:		
4340 (acciaio basso legato)	60.4	1515
17-7 pH (indurente per precipitazione)	76.9	1435
Acciaio maraging 350	55	1550

I metalli

Fatica dei metalli

- Il metallo spesso si rompe a sforzi molto inferiori per carichi ciclici rispetto a carichi statici
- La cricca enuclea nella regione di concentrazione degli sforzi e si propaga per il carico ciclico applicato
- La rottura avviene quando la sezione resistente del metallo è troppo piccola per sopportare il carico applicato

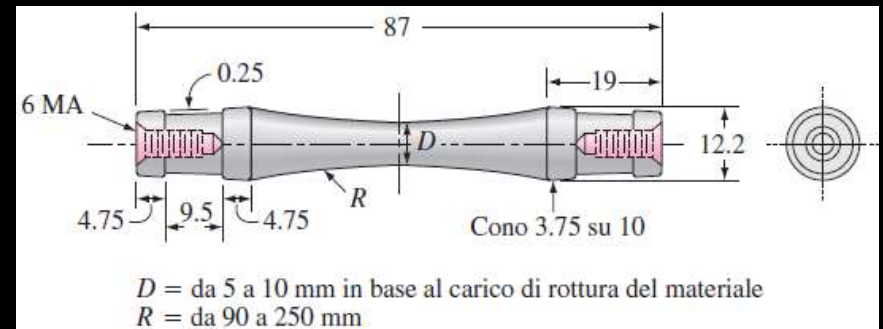
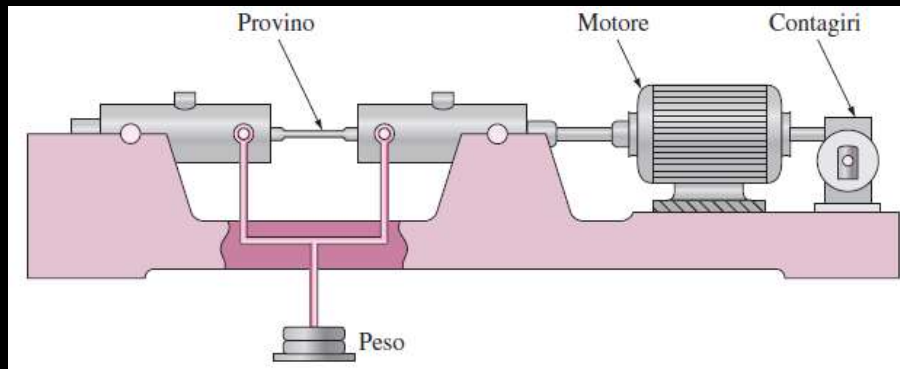
Superficie fratturata a fatica di un asse inchiavettato



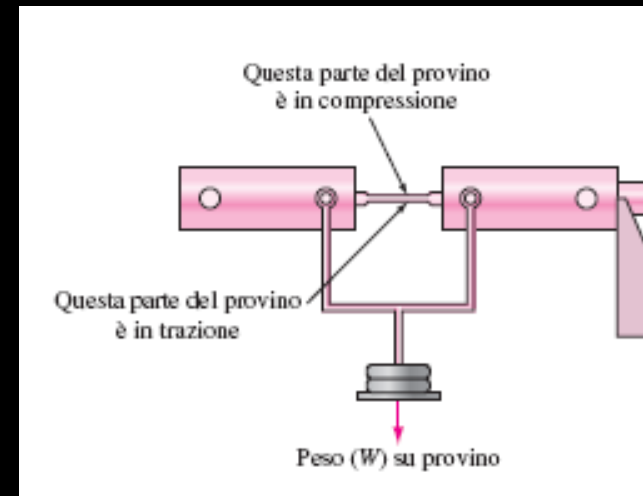
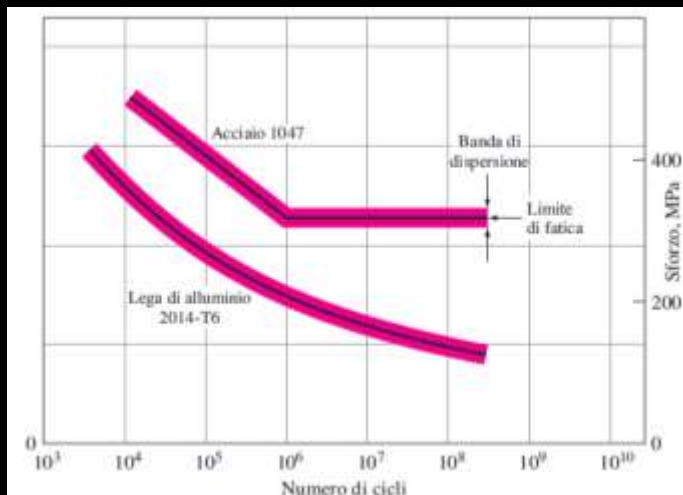
I metalli

Prove a fatica

- Si applica un carico alternato di compressione e trazione su un provino di metallo rastremato in direzione del centro



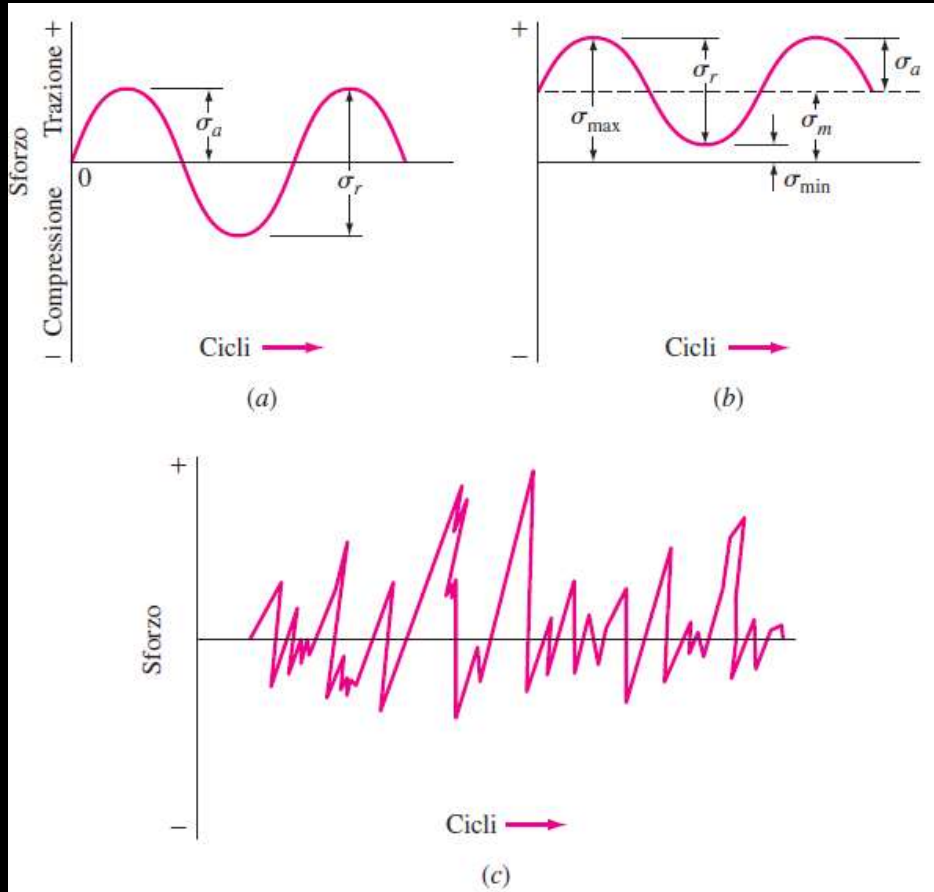
- Lo sforzo che provoca la frattura σ e il numero di cicli corrispondente N vengono plottate per ottenere la curva σ - N .



I metalli

Sforzi Ciclici

- Sono possibili differenti tipi di cicli di sforzo (assiale, torsionale e flessionale)



Sforzo medio =

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Range di sforzo =

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

Ampiezza del
Ciclo di sforzo

$$= \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

Rapporto tra gli sforzi =

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Spettro di sollecitazione

I metalli

Variazioni strutturali nel processo a fatica

- Prima avviene la formazione della cricca
- Direzioni invertite di propagazione della cricca provocano creste a valli dette *bande di scorrimento* di estrusione e intrusione
- Questo è lo stadio I ed è molto lento (10^{-10} m/ciclo)
- La cricca crescendo cambia la direzione per essere perpendicolare allo sforzo massimo a trazione (velocità: micron/sec)
- Il provino si rompe per frattura duttile quando la superficie resistente è piccola per sopportare lo sforzo



Diagrammi di Stato

Introduzione

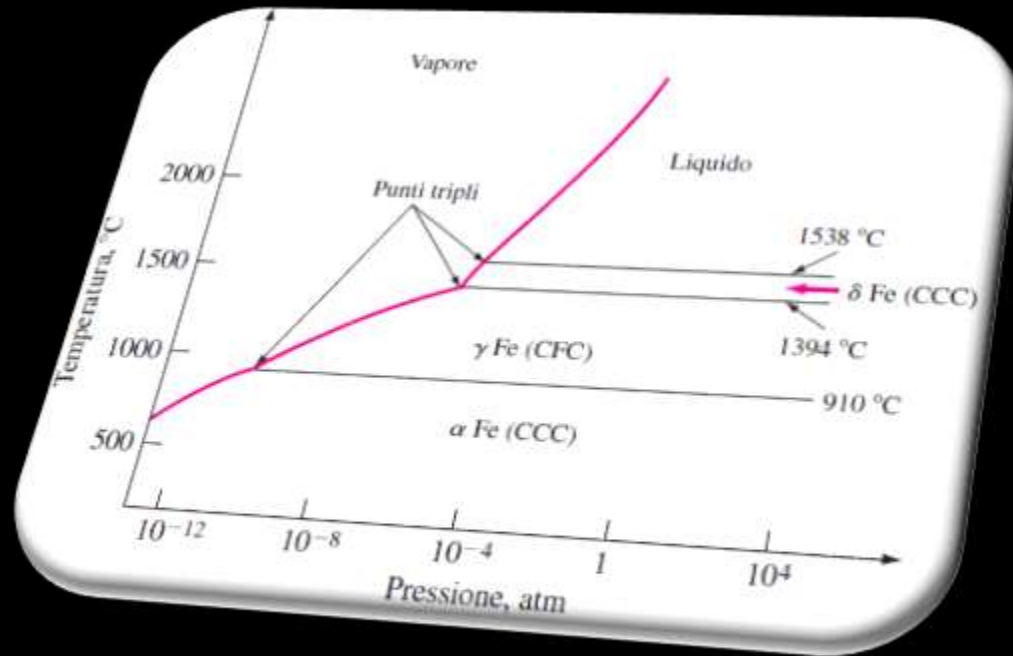
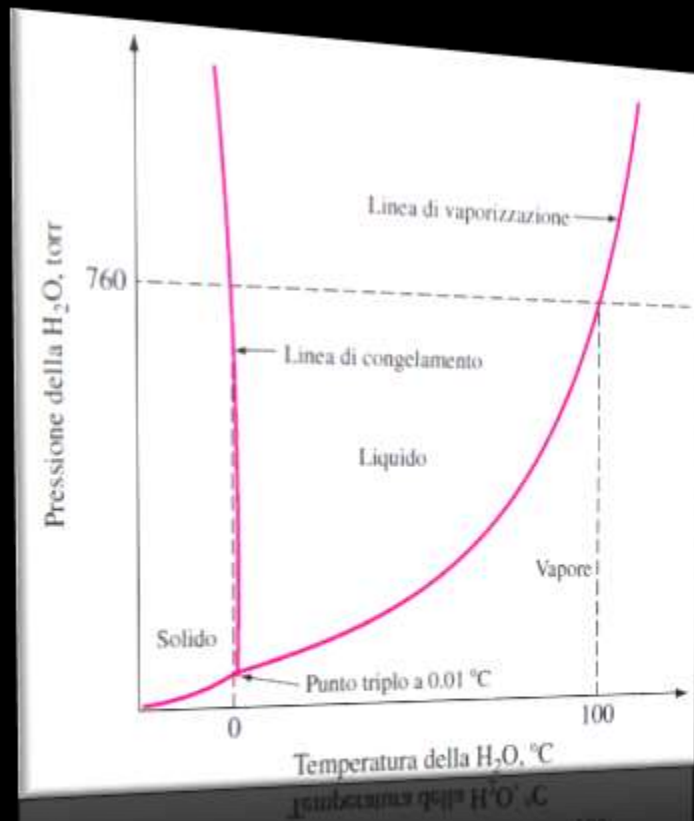
- ***Fase***: regione in un materiale che è diversa per struttura e funzione da altre regioni.
- ***Diagramma di stato***:
 - rappresenta le fasi presenti nel metallo in diverse condizioni (temperatura, pressione e composizione);
 - indica la solubilità solida di equilibrio di un elemento in un altro;
 - indica l'intervallo di temperatura nel quale avviene la solidificazione;
 - indica la temperatura alla quale diverse fasi iniziano a fondere.





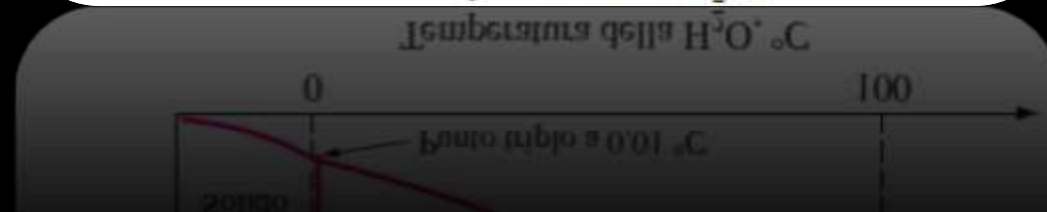
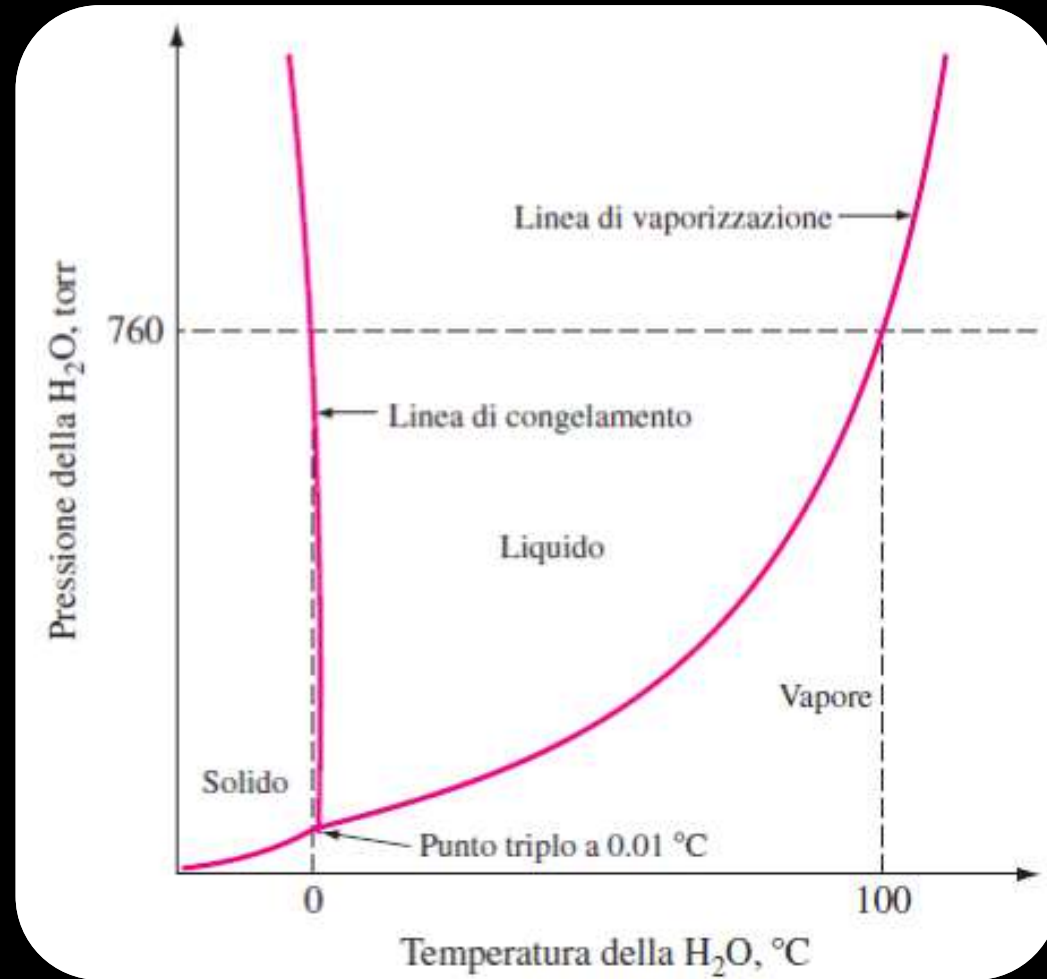
Diagrammi di Stato

Introduzione



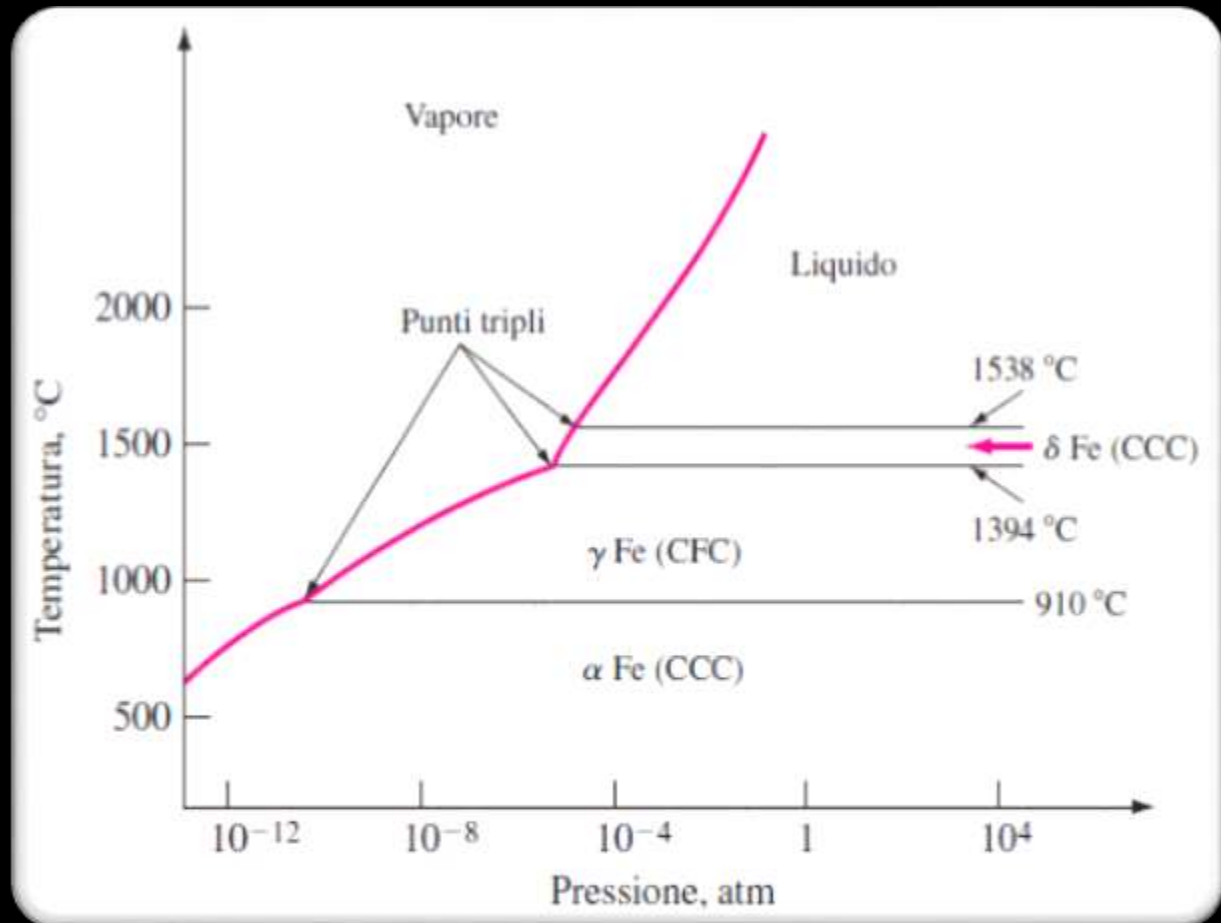
Diagrammi di Stato

Introduzione



Diagrammi di Stato

Introduzione



Diagrammi di Stato

Regola delle fasi di Gibbs

$$F + V = C + 2$$

- F = numero di fasi che coesistono in un sistema
- C = numero di componenti (un elemento, un composto o una soluzione del sistema)
- V = gradi di libertà (numero di variabili: pressione, temperatura e composizione)

Diagrammi di Stato

Regola delle fasi di Gibbs – punto triplo

$$F + V = C + 2$$

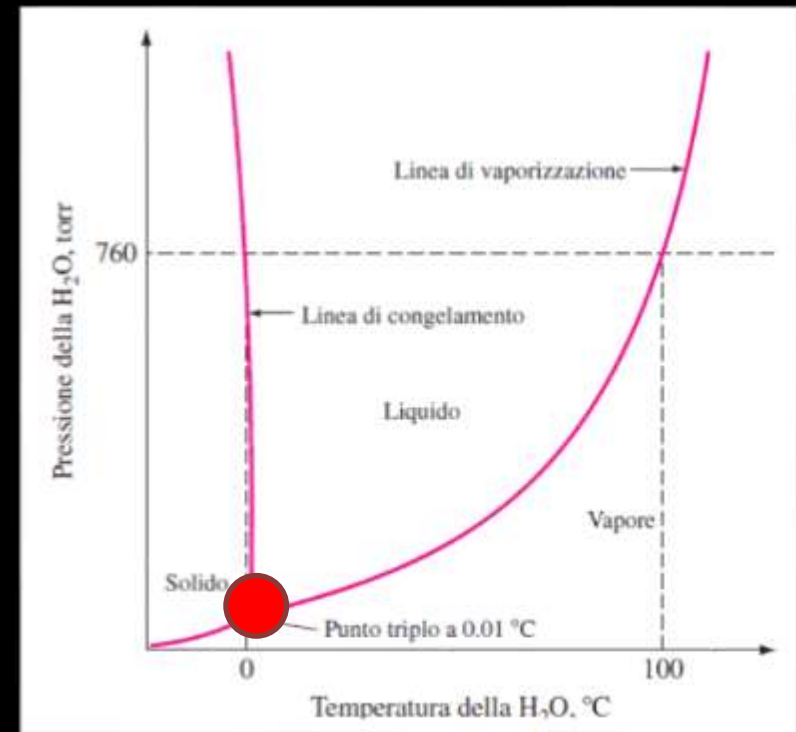
Per l'acqua pura, al punto triplo, coesistono 3 fasi.

C'è un componente (acqua) nel sistema

Quindi

$$3 + V = 1 + 2 \rightarrow V = 0$$

$V = 0$ significa che nessuna delle variabili può essere cambiata per mantenere le tre fasi



Diagrammi di Stato

Regola delle fasi di Gibbs – lungo curva solidificazione

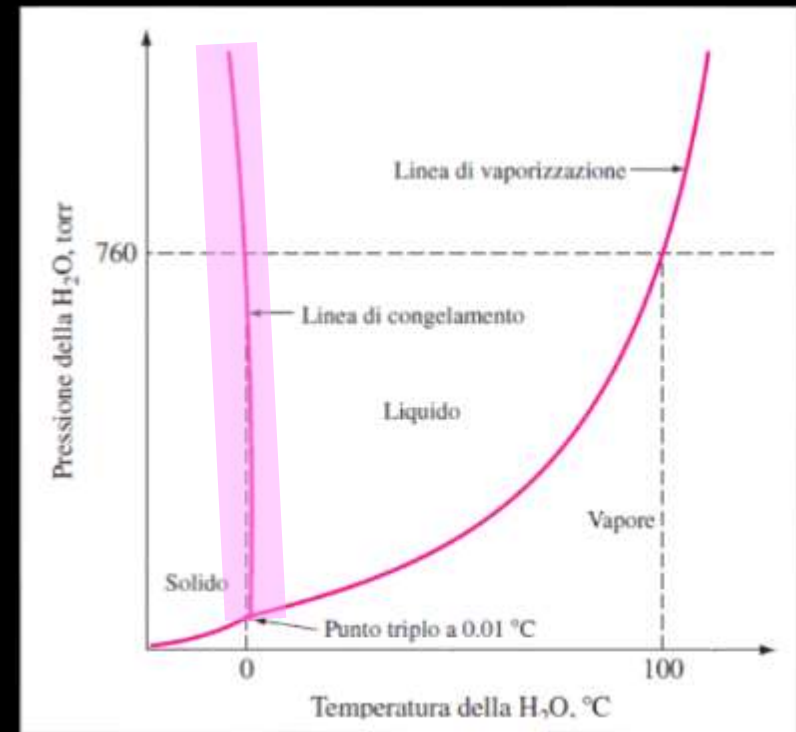
$$F + V = C + 2$$

Lungo la linea di solidificazione le fasi sono due

Quindi

$$2 + V = 1 + 2 \rightarrow V = 1$$

$V = 1$ significa che una sola variabile può essere cambiata indipendentemente



Diagrammi di Stato

Regola delle fasi di Gibbs – punto all'interno di una fase

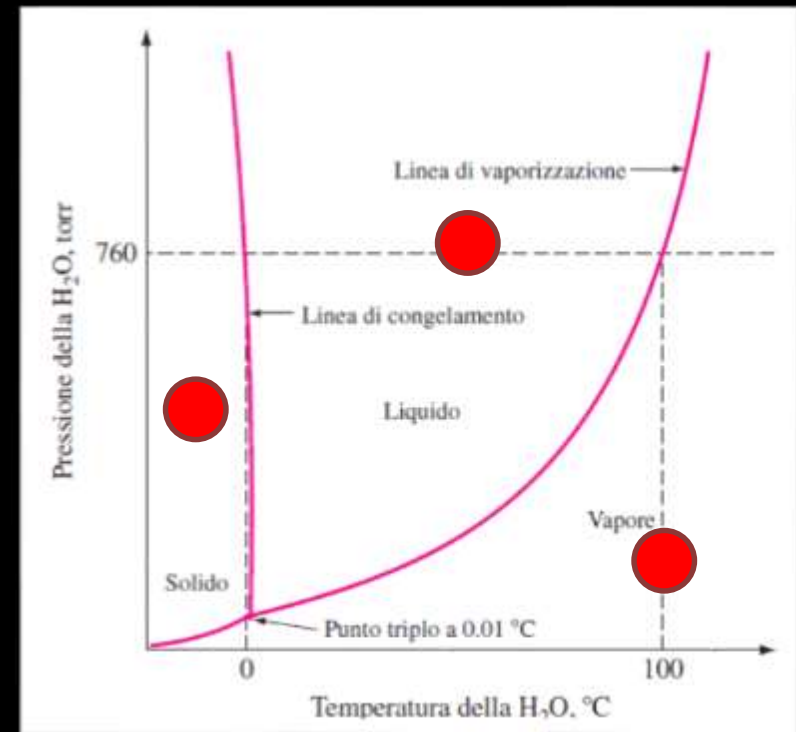
$$F + V = C + 2$$

In un punto qualsiasi dove si trova una singola fase

Quindi

$$1 + V = 1 + 2 \rightarrow V = 2$$

$V = 2$ significa che entrambe le variabili possono essere cambiate indipendentemente



Diagrammi di Stato

Regola delle fasi di Gibbs

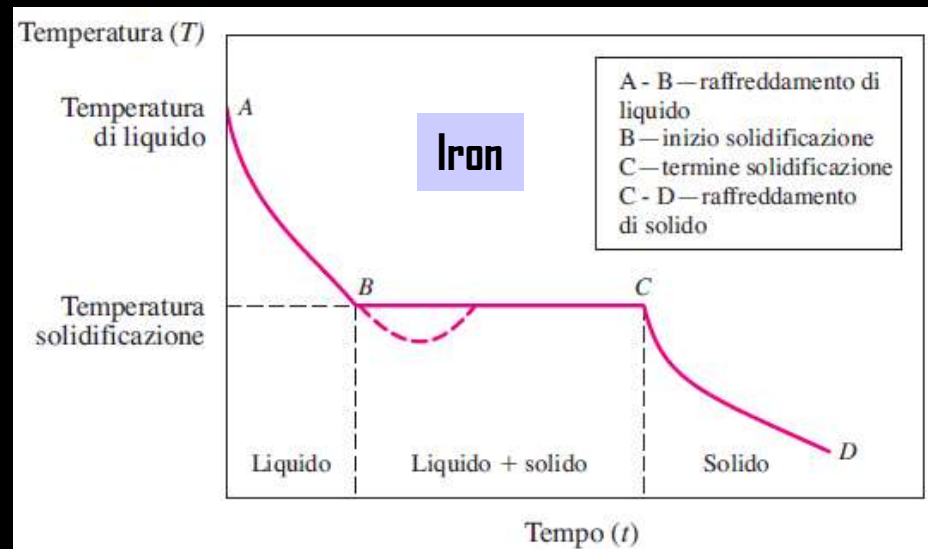
La maggiorparte dei diagrammi di stato binari utilizzati nella scienza dei materiali è costituito da diagrammi temperatura-composizione nei quali la pressione viene mantenuta costante ad 1 atm. In questo caso la regola di Gibbs diventa:

$$F+V = C+1$$

Diagrammi di Stato

Curve di raffreddamento

- Utilizzate per determinare la temperatura di transizione di fase
- I valori di tempo e temperatura del metallo fuso che raffredda sono registrati e diagrammati

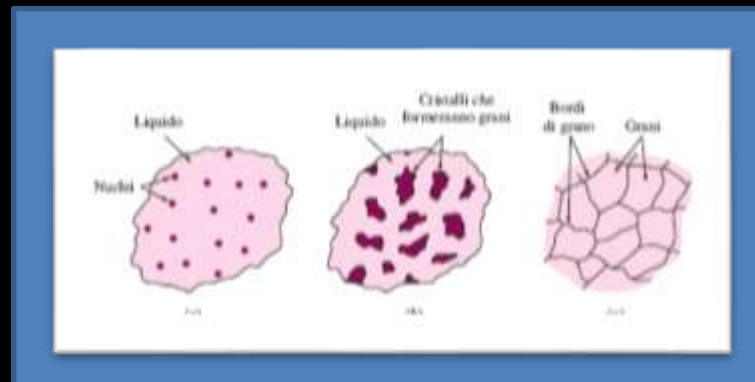
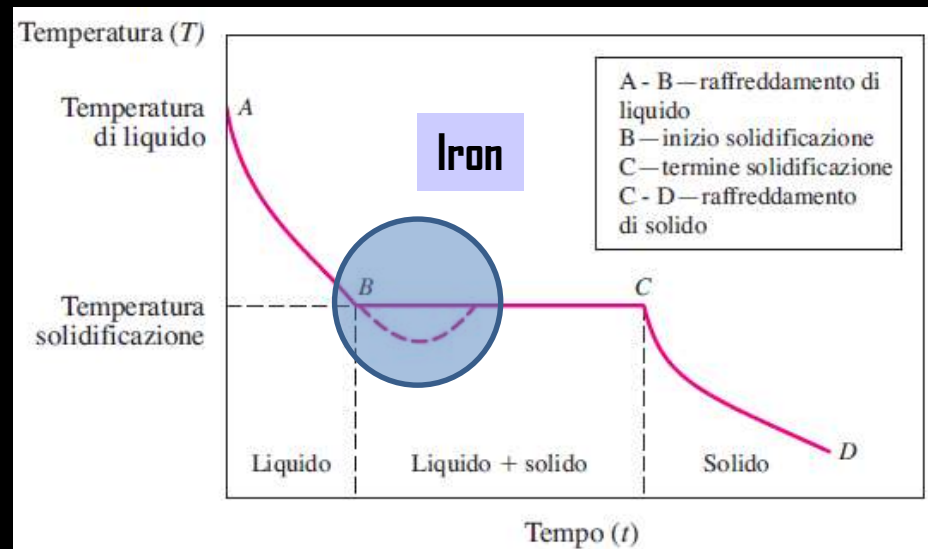


- Arresto termico: perdita di calore = calore fornito per la solidificazione del metallo
- Le leghe solidificano in un intervallo di temperature (non c'è arresto termico)

Diagrammi di Stato

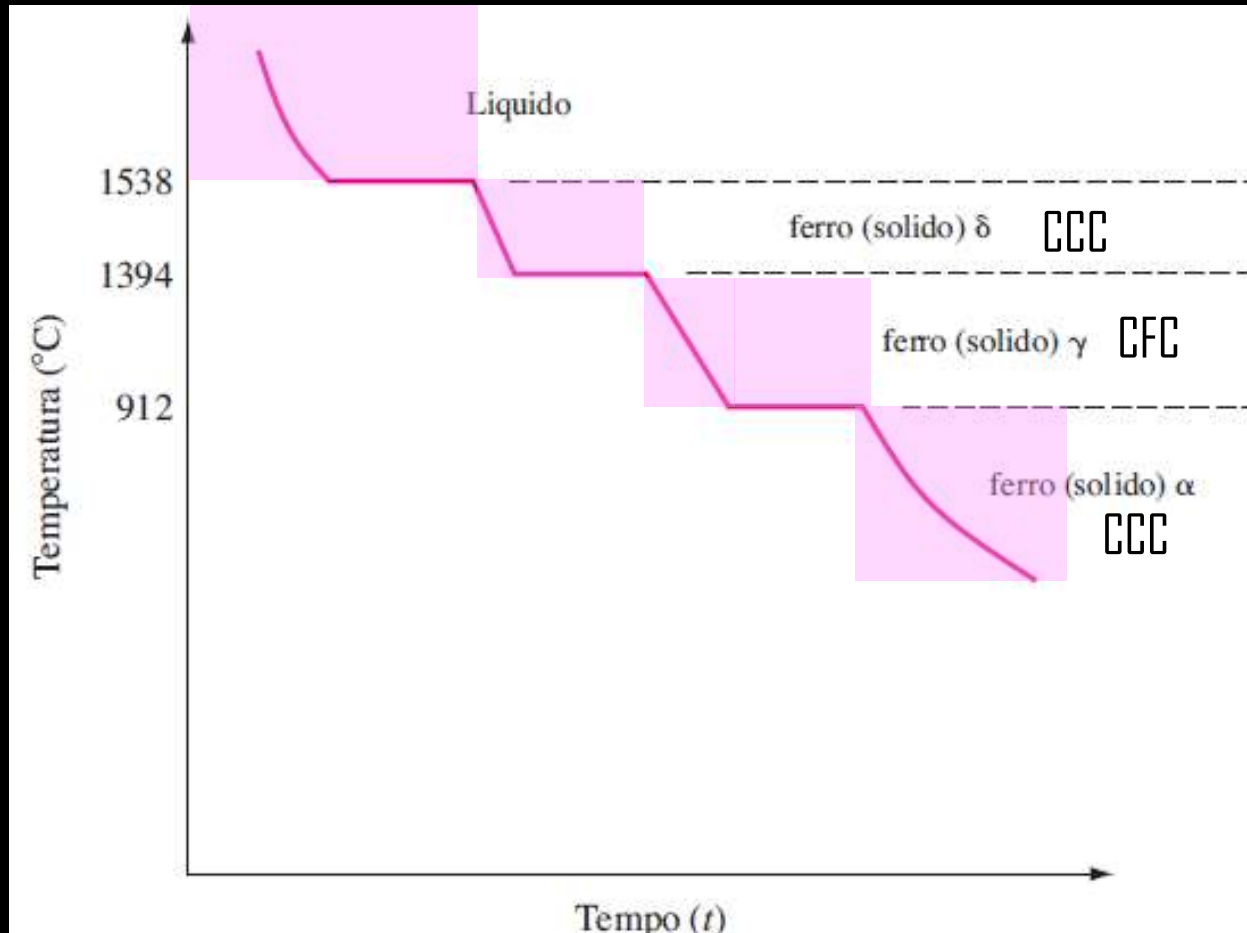
Curve di raffreddamento

- Utilizzate per determinare la temperatura di transizione di fase
- I valori di tempo e temperatura del metallo fuso che raffredda sono registrati e diagrammati



Diagrammi di Stato

Curve di raffreddamento - ferro puro



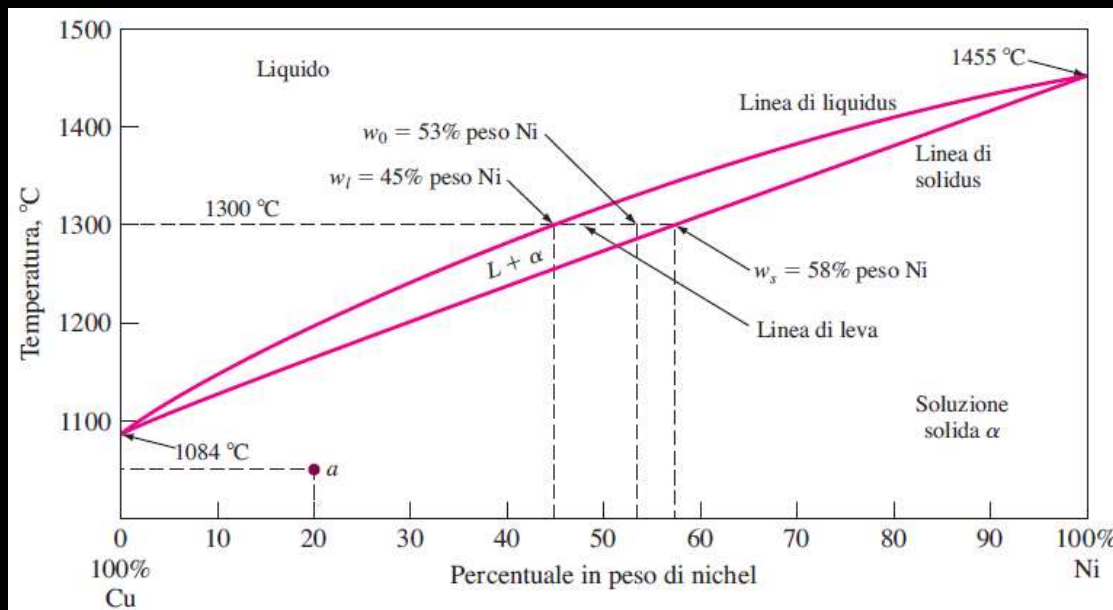
Diagrammi di Stato

Sistema di lega binaria isomorfa

- Lega binaria \longrightarrow Miscela di due sistemi \longrightarrow Sistema a due componenti

In alcuni sistemi metallici binari i due elementi sono completamente solubili uno nell'altro allo stato liquido e solido; in essi esiste una sola tipologia di struttura cristallina e per questo sono detti **sistemi isomorfi**.

Esempio: soluzione Cu-Ni



La composizione delle fasi liquida e solida ad ogni temperatura può essere determinata disegnando una linea di collegamento

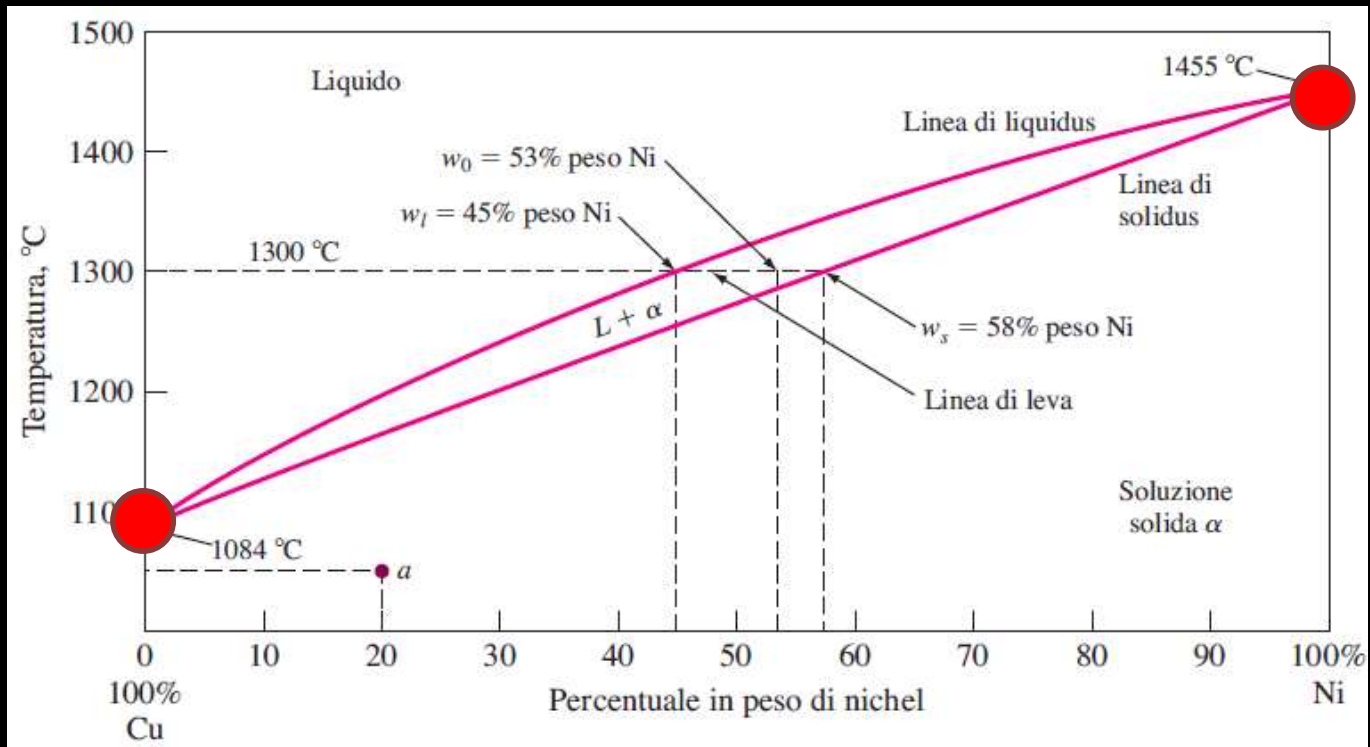
Solidificazione dei metalli

Regole di solubilità allo stato solido di Hume-Rothery

La solubilità dei solidi è maggiore se:

- Il diametro degli atomi non differisce più del 15%
- Le strutture cristalline sono simili
- Non c'è grande differenza nella elettronegatività in modo che non si formino composti
- gli elementi hanno la stessa valenza

Già viste per le Soluzioni
Solide Metalliche



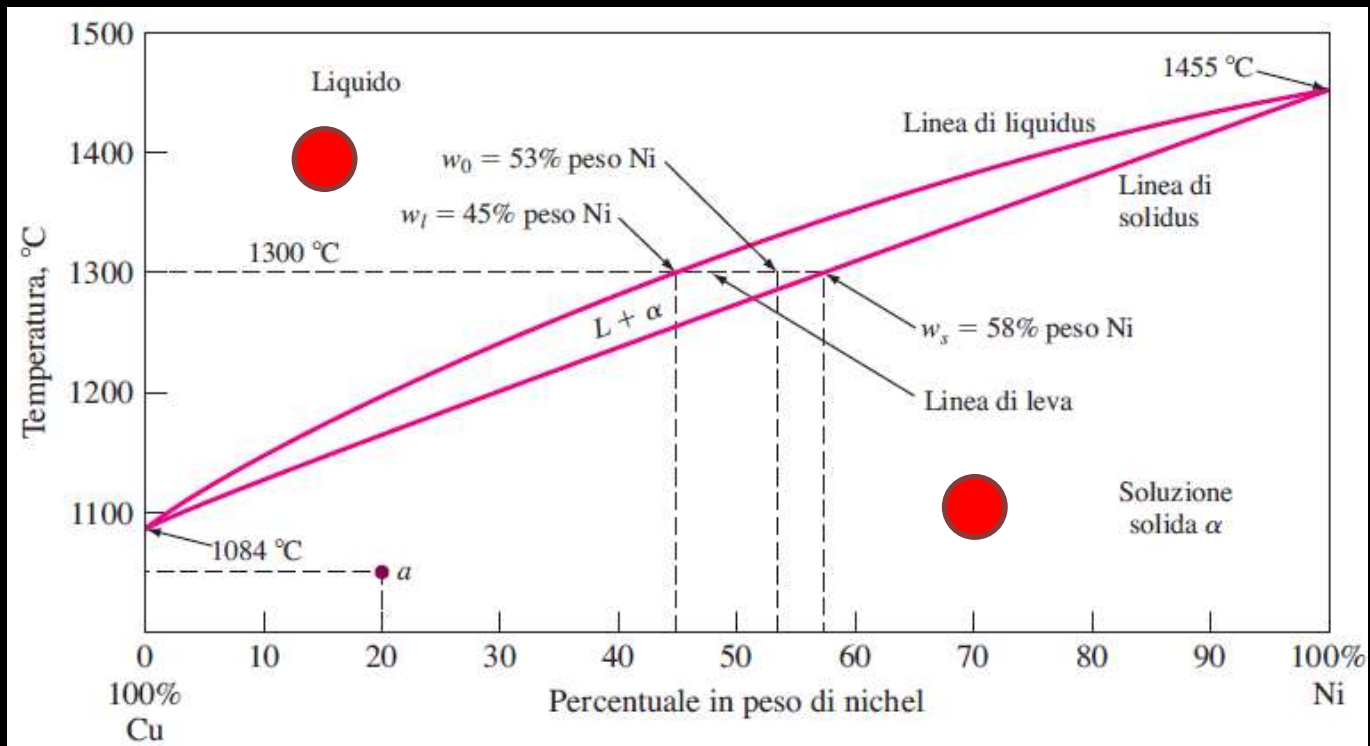
$$V = C - F + 1$$

Nei punti di fusione dei componenti puri ● $C = 1$ ed $F = 2$ (liquido solido)

Quindi

$$V = 1 - 2 + 1 \rightarrow V = 0$$

$V = 0$ punto di invarianza



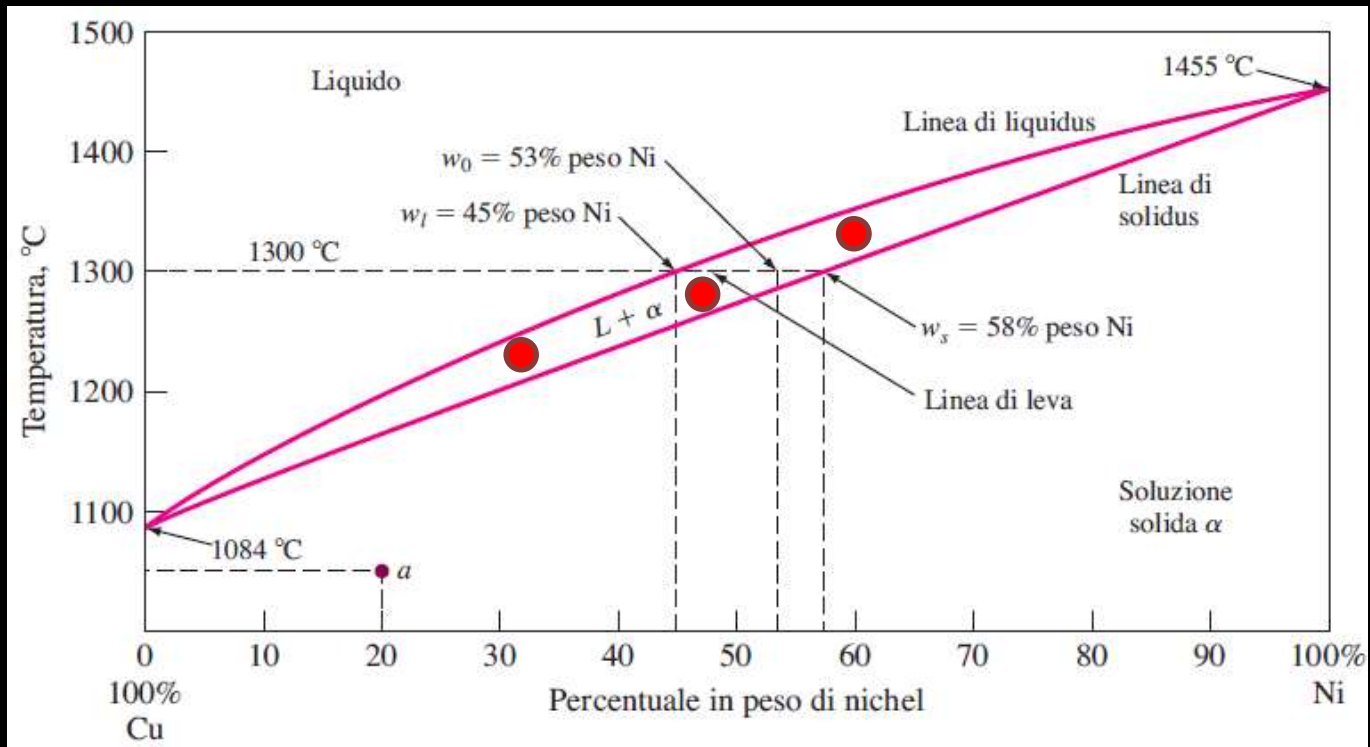
$$V = C - F + 1$$

Nelle regioni a singola fase (liquido o solido) ● $C = 2$ (Ni o Cu) ed $F = 1$ (liquido solido)

Quindi

$$V = 2 - 1 + 1 \rightarrow V = 2$$

$V = 2$ possiamo mantenere la microstruttura del sistema in questa regione variando sia la temperatura sia la composizione



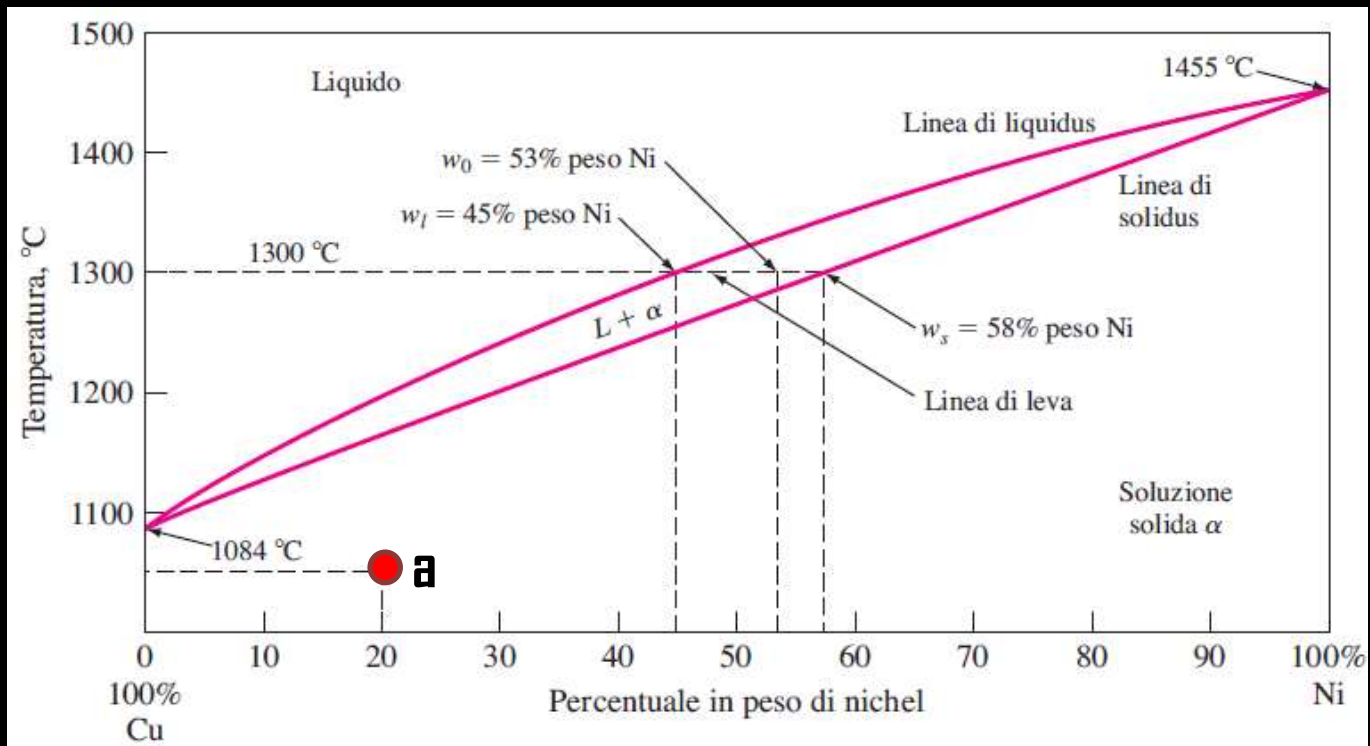
$$V = C - F + 1$$


Nelle regioni a due fasi (liquido o solido) ● $C = 2$ (Ni o Cu) ed $F = 2$ (liquido solido)

Quindi

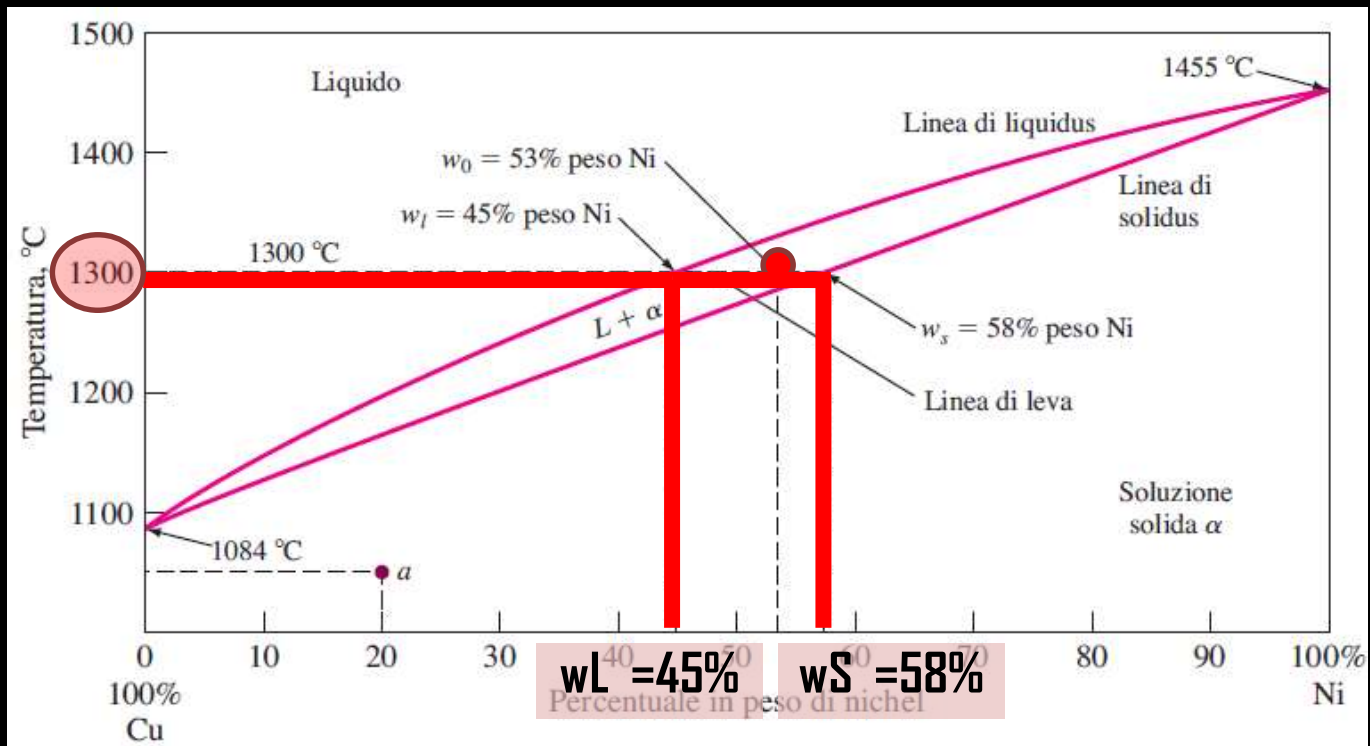
$$V = 2 - 2 + 1 \rightarrow V = 1$$

$V = 1$ possiamo mantenere la microstruttura del sistema in questa regione variando la temperatura o la composizione



Per individuare un punto "a"  sul diagramma di stato si devono specificare temperatura e composizione: a (1050 °C, 20% Ni)

La microstruttura della soluzione solida α di Ni a questa temperatura e concentrazione si presenta come quella del metallo puro, ma la lega avrà resistenza meccanica e resistività elettrica superiori a quelle del Cu



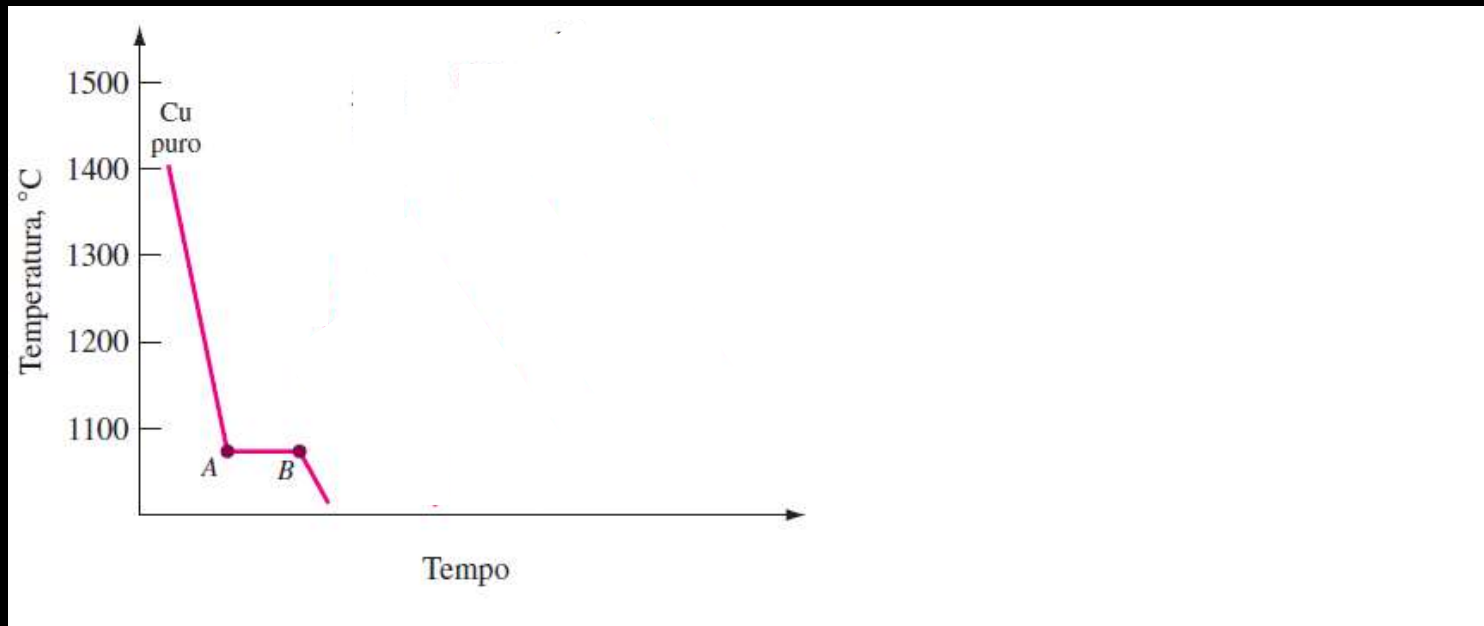
Nella regione compresa tra le linee di liquidus e solidus abbiamo sia la fase liquida che quella solida. Considerando la lega 53% Ni ● 47% Cu a 1300 °C per trovare la composizione delle singole fasi dobbiamo...

.... Tracciare una linea orizzontale a 1300 °C sino ad incontrare la linea di liquidus e di solidus

Diagrammi di Stato

Costruzione a partire dalle curve di raffreddamento

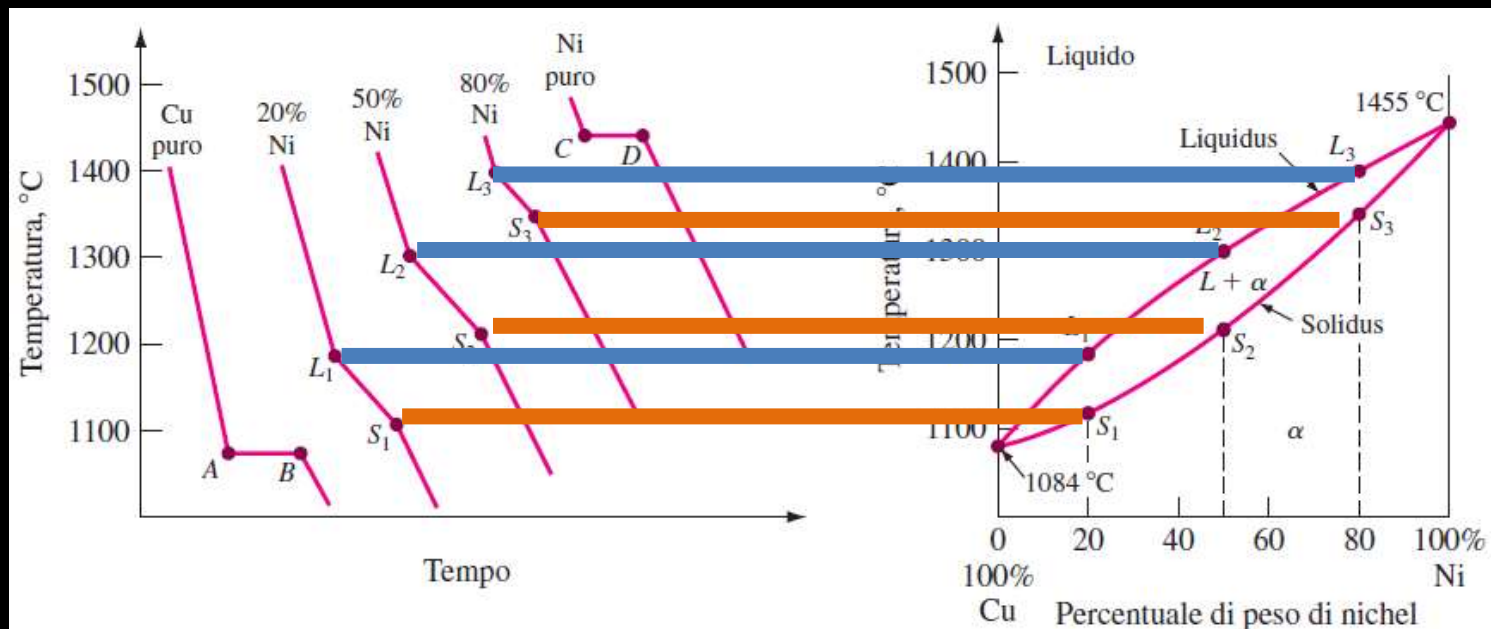
- Si costruisce prima una serie di curve di raffreddamento a diverse composizioni di materiale
- Si considerano i punti di cambio di pendenza delle curve di raffreddamento (arresti termici) e si costruisce il diagramma di stato
- Maggiore è il numero delle curve di raffreddamento, più accurato è il diagramma di stato risultante



Diagrammi di Stato

Costruzione a partire dalle curve di raffreddamento

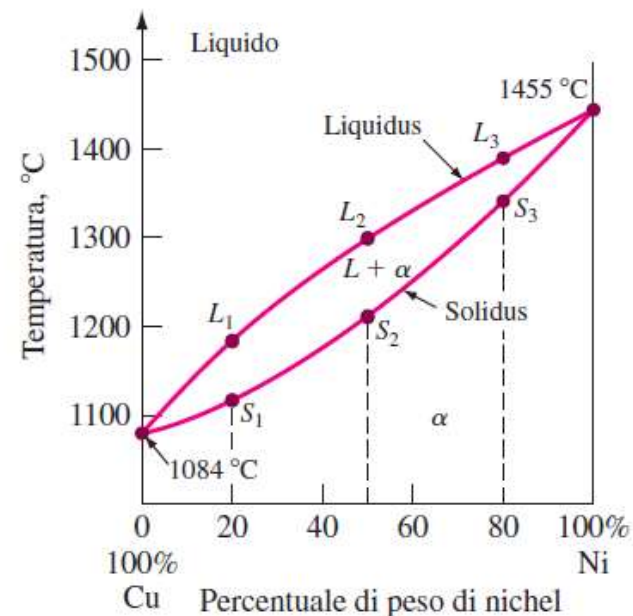
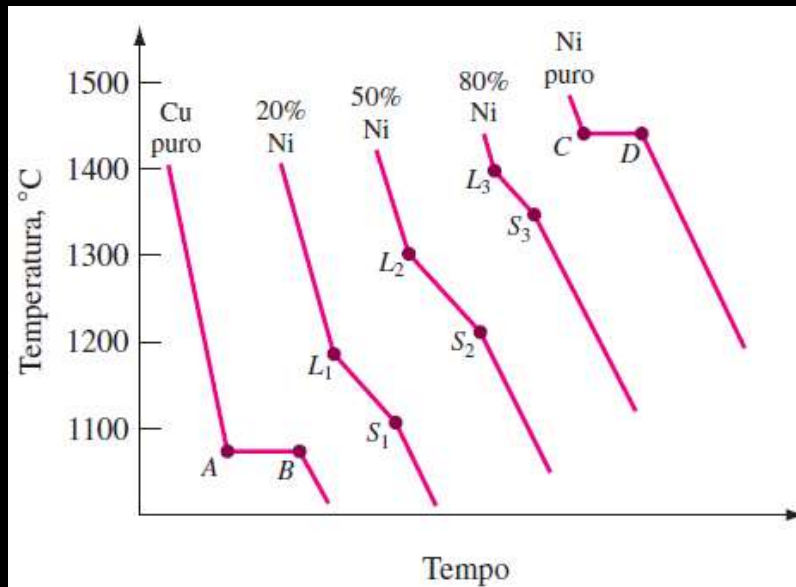
- Si costruisce prima una serie di curve di raffreddamento a diverse composizioni di materiale
- Si considerano i punti di cambio di pendenza delle curve di raffreddamento (arresti termici) e si costruisce il diagramma di stato
- Maggiore è il numero delle curve di raffreddamento, più accurato è il diagramma di stato risultante



Diagrammi di Stato

Costruzione a partire dalle curve di raffreddamento

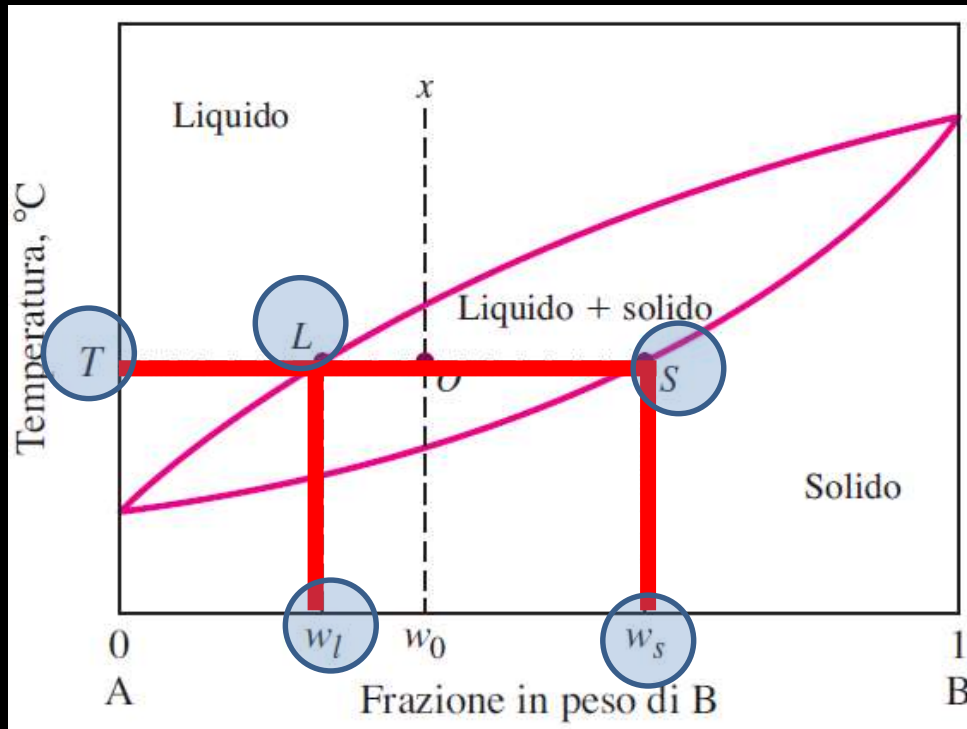
- Al contrario di un metallo puro, per le leghe la solidificazione avviene in un intervallo di temperature.
- Quando si parla di temperatura di solidificazione di una lega si intende la temperatura alla quale questo processo è stato completato.



Diagrammi di Stato

La regola della Leva

- Consideriamo due elementi A e B completamente miscibili l'uno nell'altro
- Alla temperatura T la lega x è formata da una miscela di solido e di liquido
- La regola della leva fornisce il peso percentuale delle fasi nelle due regioni



- 1. alla temperatura T considerata si traccia una linea orizzontale

Diagrammi di Stato

La regola della Leva

- Le quantità in peso dei due costituenti possono essere calcolate partendo da due equazioni:
- Equazione 1. la somma della frazione di peso della fase liquida e della fase solida è pari a 1

$$X_l + X_s = 1$$

$$X_l = 1 - X_s$$

$$X_s = 1 - X_l$$

Diagrammi di Stato

La regola della Leva

- Equazione 2. Bilanciamento peso totale di B nella lega e la somma nelle due diverse fasi

$$\begin{array}{l} \text{Grammi di B} \\ \text{in una miscela bifasica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Grammi di B} \\ \text{Nella fase liquida} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Grammi di B} \\ \text{Nella fase solida} \end{array}$$

Quindi:

$$w_0 = X_l w_l + X_s w_s$$

Frazione in peso fase liquida

Frazione in peso fase solida

Composizione fase liquida

Composizione fase solida

Diagrammi di Stato

La regola della Leva

Quindi combinando:

$$X_I = 1 - X_S$$

$$W_0 = X_I W_I + X_S W_S$$

$$W_0 = (1 - X_S) W_I + X_S W_S$$

$$W_0 = W_I - X_S W_I + X_S W_S$$

$$X_S = (W_0 - W_I) / (W_S - W_I)$$

$$W_0 = X_I W_I + (1 - X_I) W_S$$

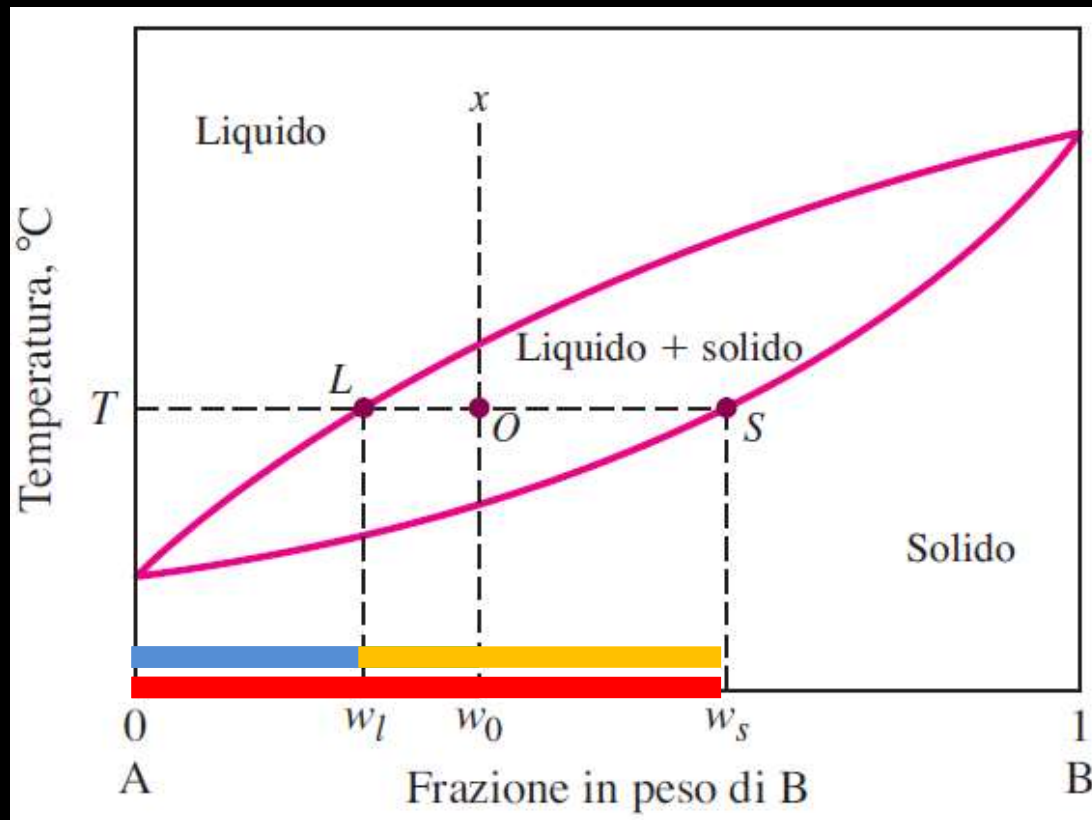
$$W_0 = X_I W_I + W_S - X_I W_S$$

$$X_I = (W_S - W_0) / (W_S - W_I)$$

Diagrammi di Stato

La regola della Leva

$$X_s = (w_0 - w_l) / (w_s - w_l)$$

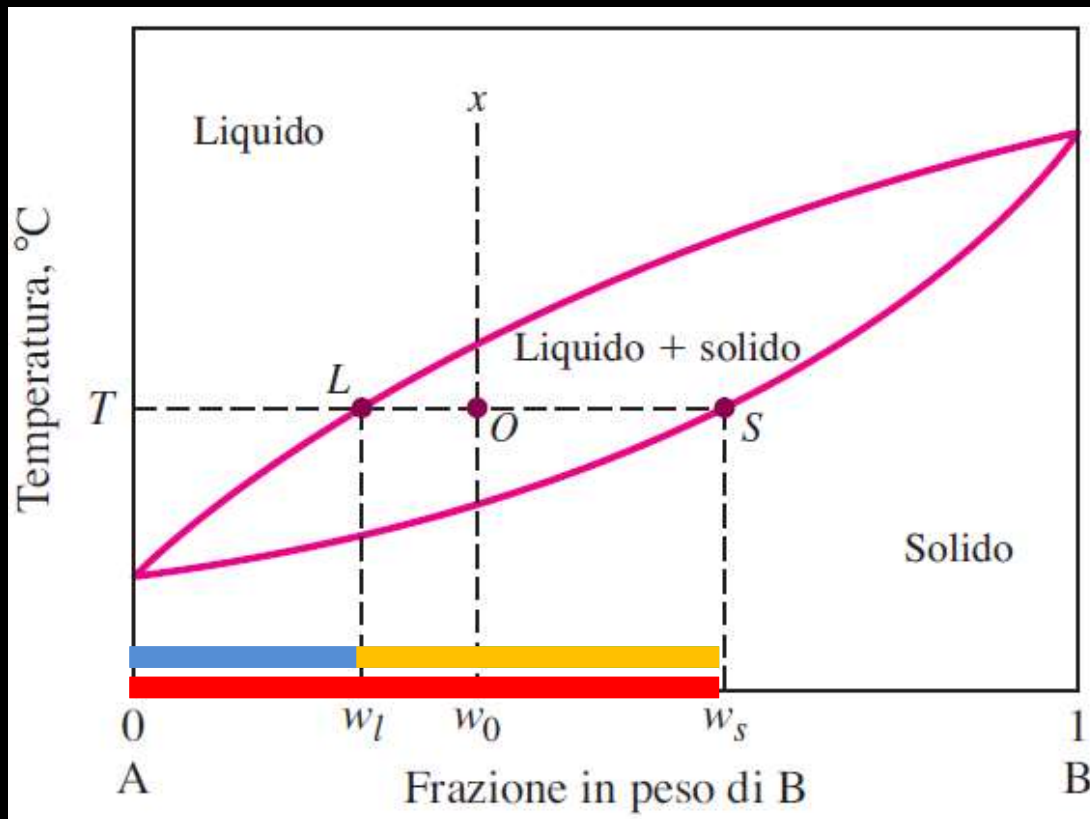


$$X_s = L/O/S$$

Diagrammi di Stato

La regola della Leva

$$X_l = (w_s - w_0) / (w_s - w_l)$$



$$X_l = OS / LS$$

Diagramma di stato ferro-carbonio

Acciai al carbonio

0.03% a 1.2% C, 0.25 a 1% Mn e altre impurità

Ferrite α : solubilità molto bassa

del carbonio. Massima solubilità:

0.02 % a 723°C, 0.005% a 0°C

Austenite: soluzione solida

interstiziale di carbonio nel

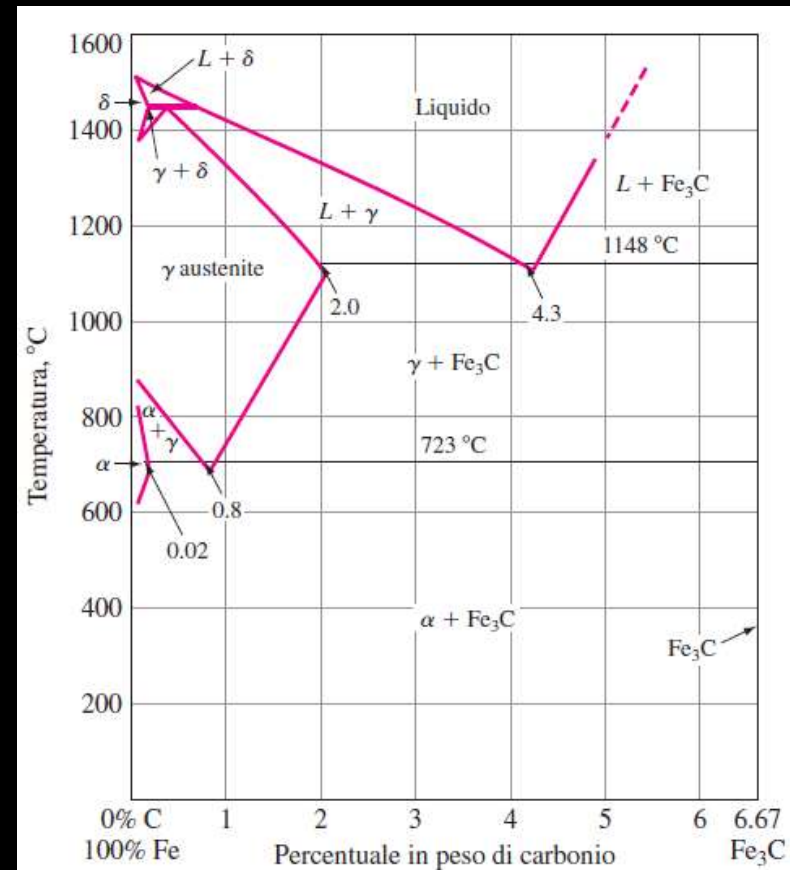
ferro γ . La solubilità di C è

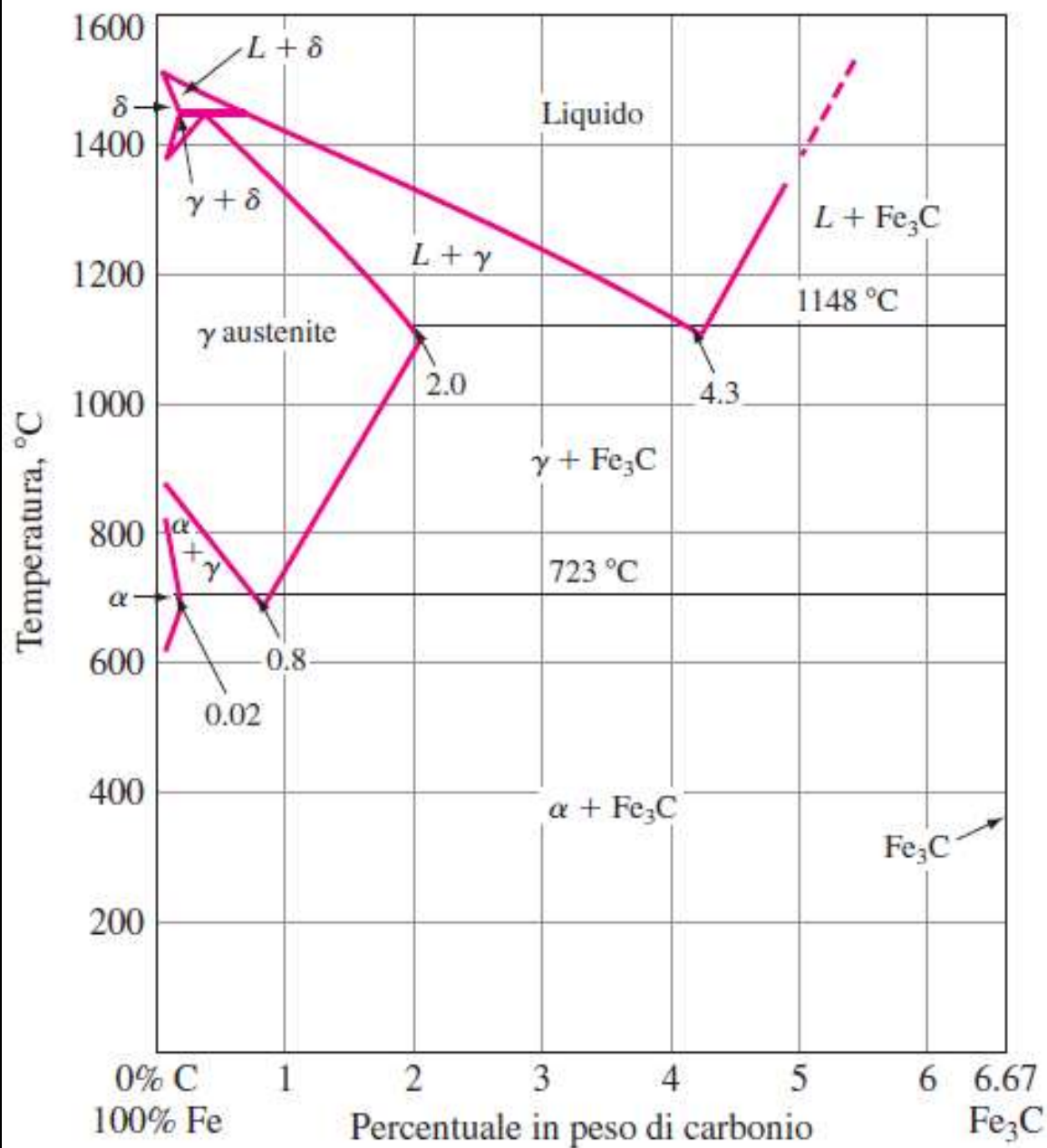
2.08% a 1148°C e 0.8%

a 0°C

Cementite: composto intermetallico

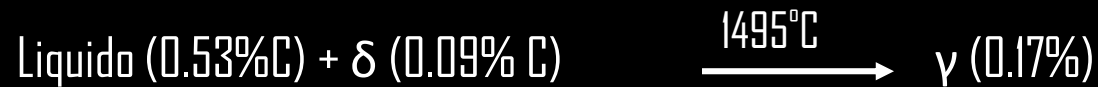
6.67% C e 93.3% Fe





Reazioni invarianti

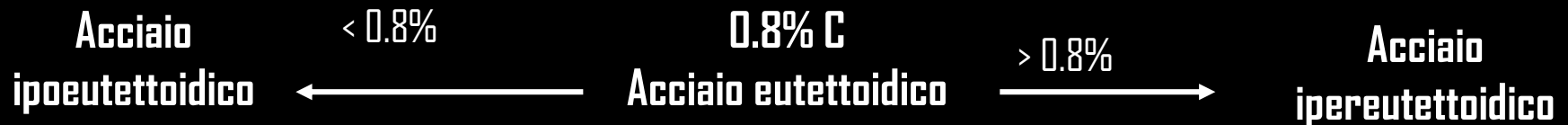
Reazione peritettica.



Reazione eutettica.

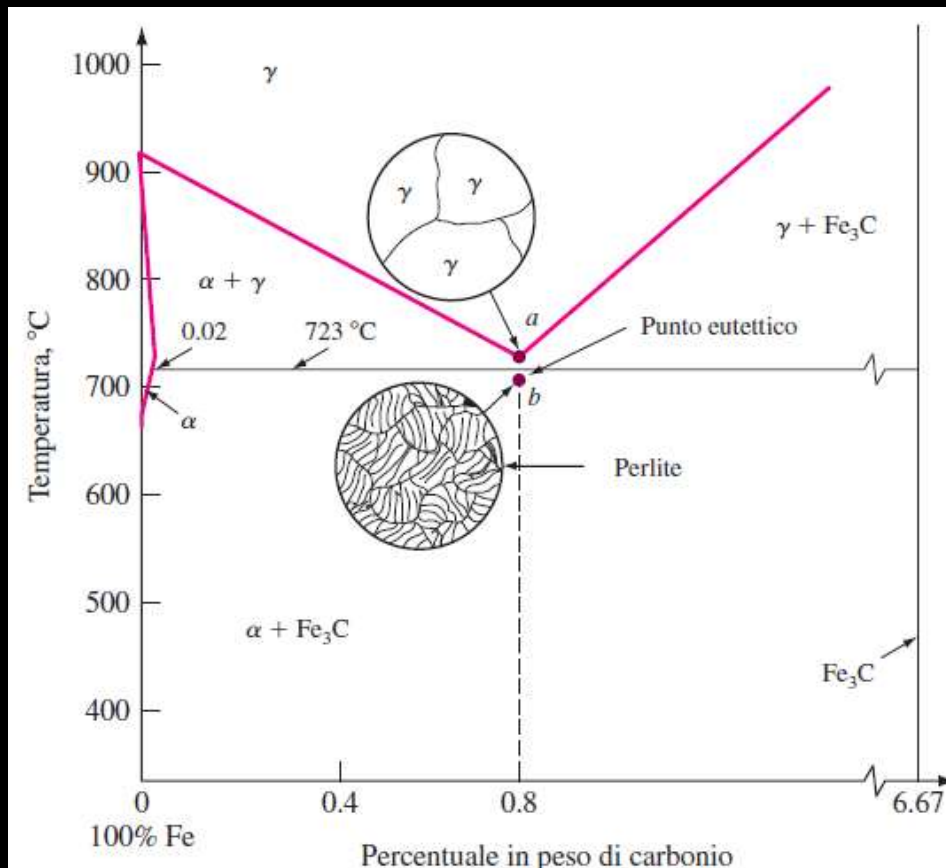


Reazione eutettoidica.

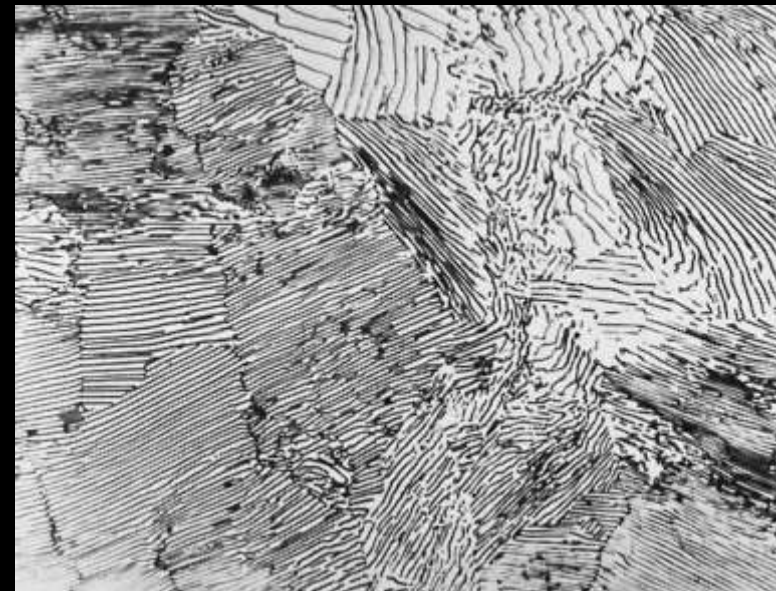


Raffreddamento lento degli acciai al carbonio

Acciai al carbonio eutettoidici: se un campione è riscaldato e mantenuto per un tempo sufficiente a 750°C , la struttura diventerà austenite omogenea



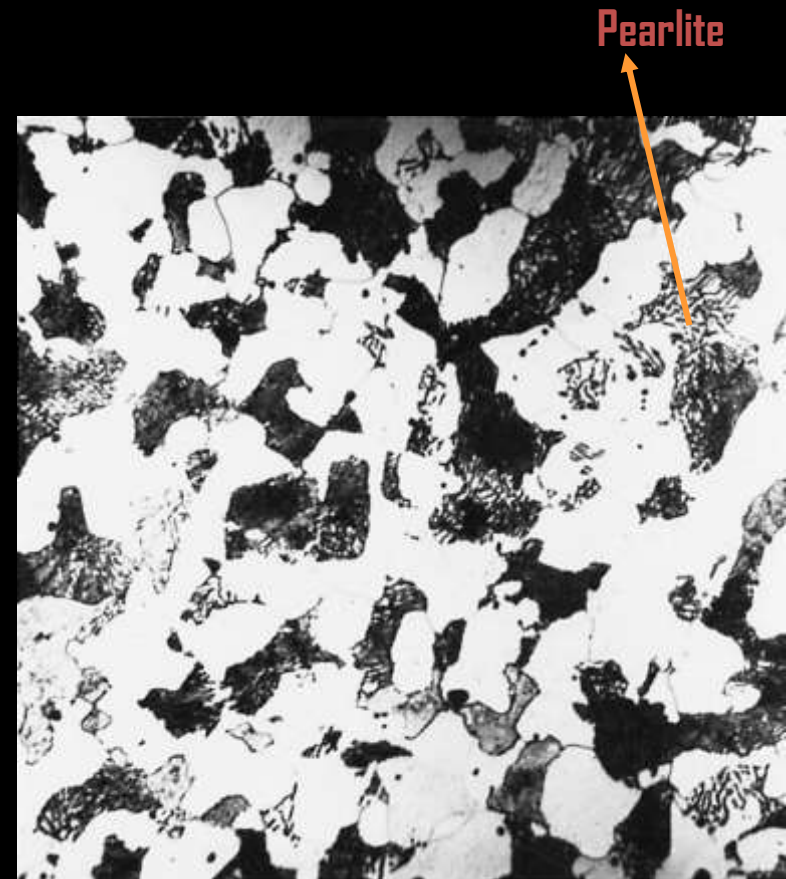
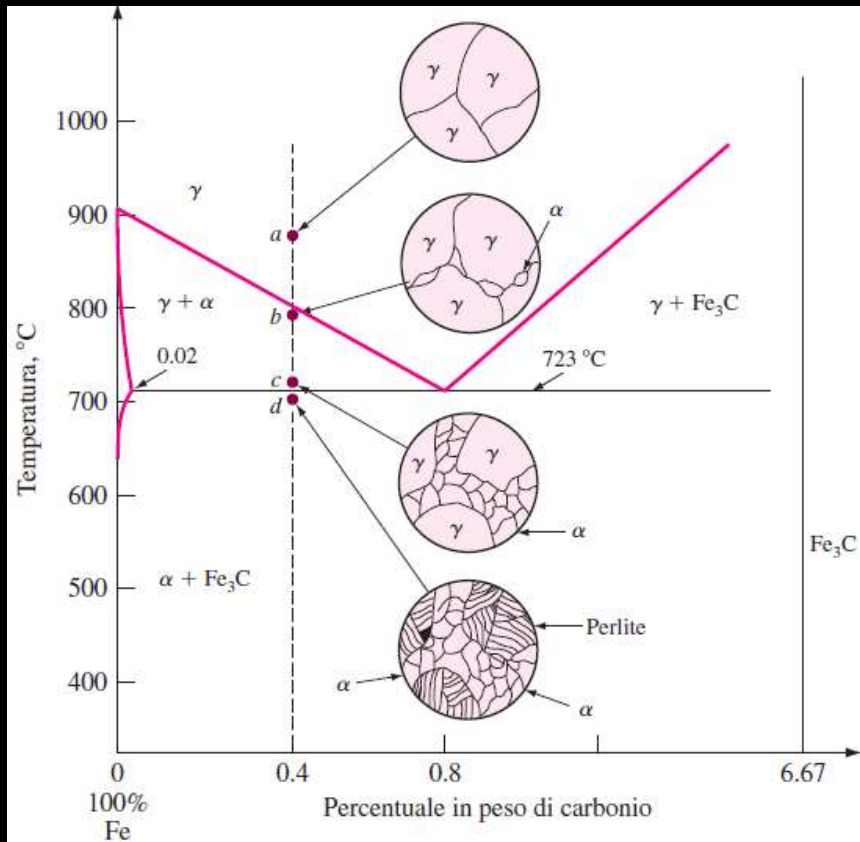
- al di sotto della temperatura eutettoidica, si formano lamelle di ferrite e cementite perlite



Raffreddamento lento degli acciai al carbonio

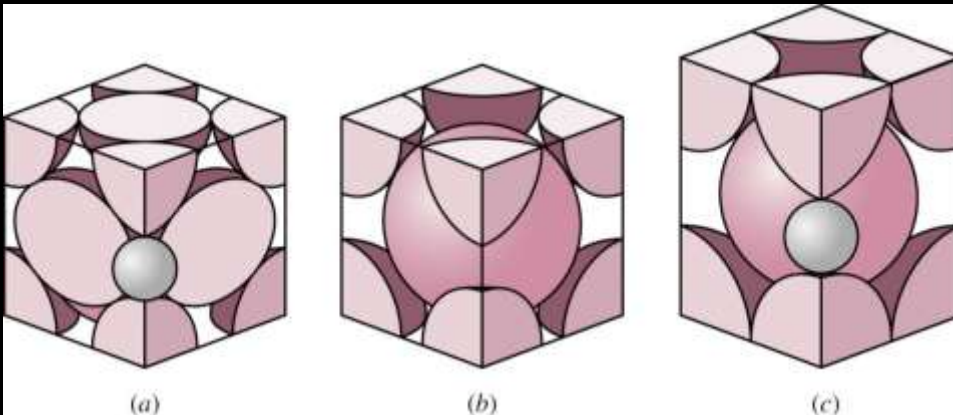
Acciai al carbonio ipoeutettoidici: se un campione con 0.4% C è riscaldato a 900°C, si *austenizza*

- Un successivo raffreddamento determina la formazione di ferrite α e *perlite*

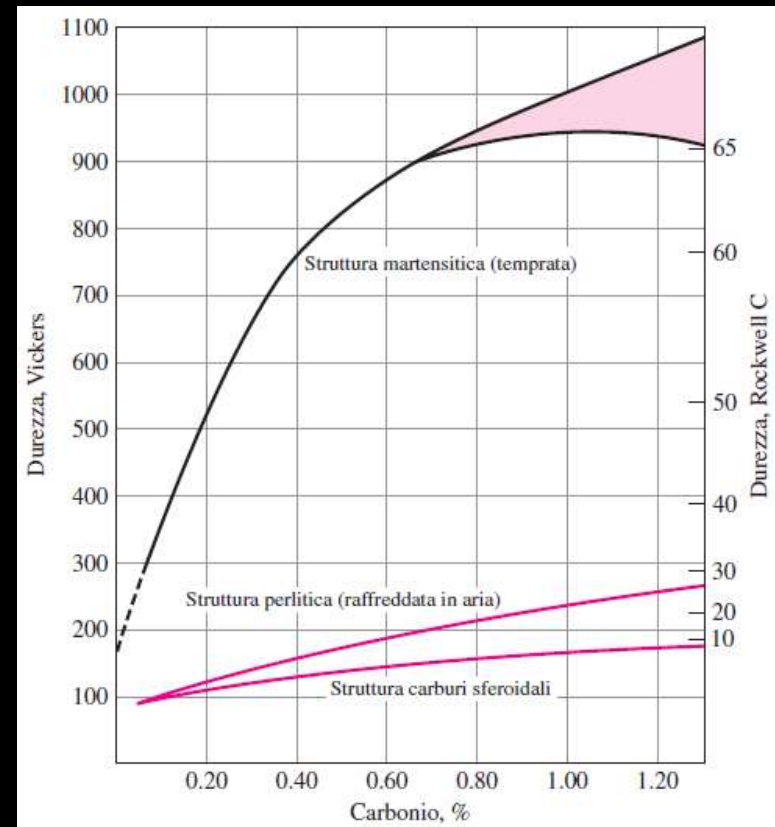


Martensite

- La trasformazione in martensite è senza fenomeni diffusivi
- Nessuna variazione nelle posizioni relative degli atomi di carbonio dopo la trasformazione



- La resistenza meccanica e la durezza aumentano con il contenuto di C
- La resistenza meccanica è dovuta all'alta concentrazione di dislocazioni e al rafforzamento per soluzione solida interstiziale



Materiali dell'Edilizia Storica

I MATERIALI NATURALI

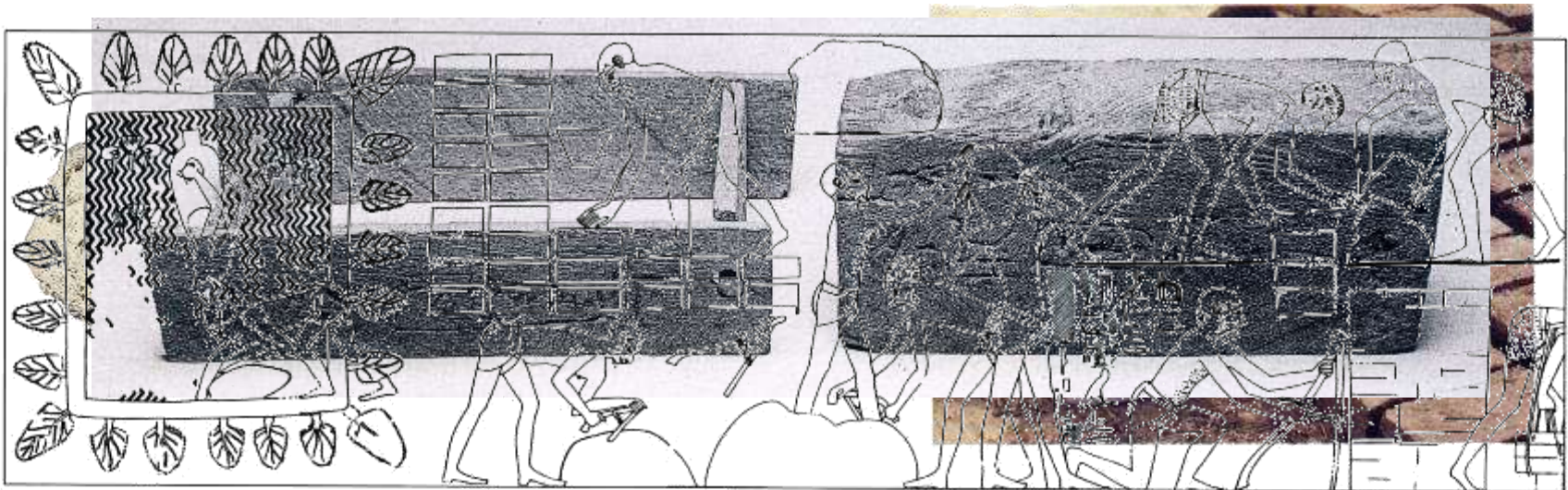
La Terra



LA TERRA

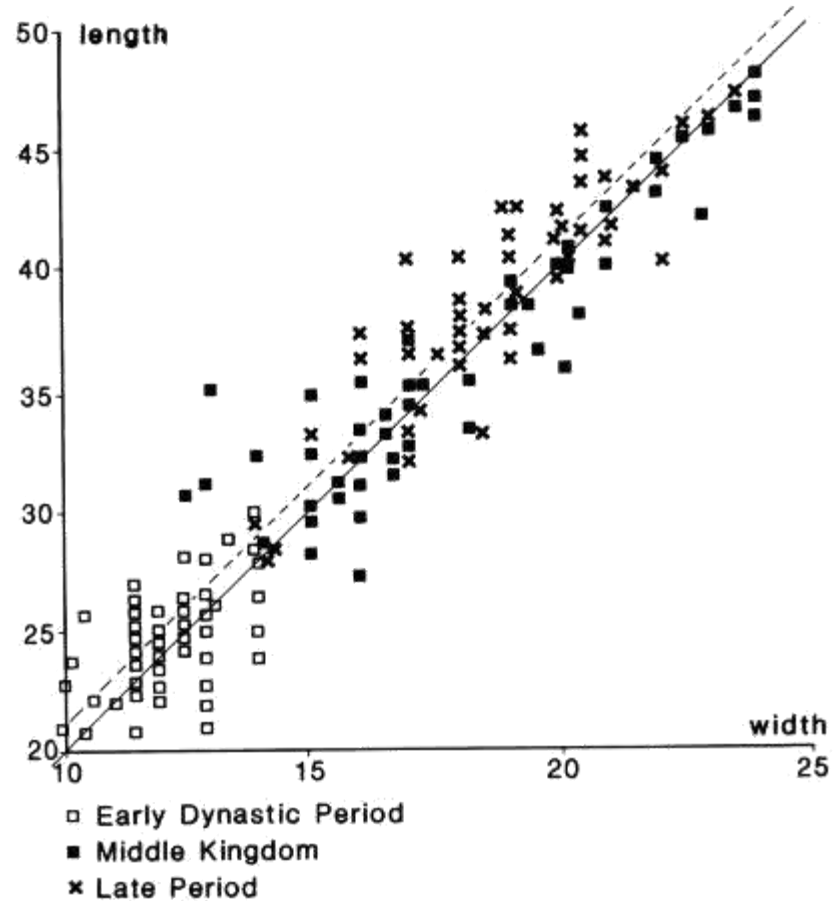
DOCUMENTAZIONE STORICA

La terra è certamente uno dei primi materiali utilizzati dall'uomo a fini edificatori; come tante classi di materiali il suo impiego non è mai cessato e per quanto possa risultare per certi versi paradossale esso continua ancora oggi. La ricerca archeologica riporta significative testimonianze in Egitto e nel Vicino e Medio Oriente. Si calcola che nella costruzione della fortezza egizia di Buhen (circa 1860 a.C., presso la seconda cateratta del Nilo, oggi nelle acque del bacino Nasser) siano stati utilizzati 4.6 milioni di mattoni.



*Preparazione in massa in opera del mattone in terra cotta nell'antico Egitto
(tomba del Regno di Tutmosi III, circa 1500 a.C.)
e alcune produzioni moderne con C. B. Franco & C.*

DOCUMENTAZIONE STORICA



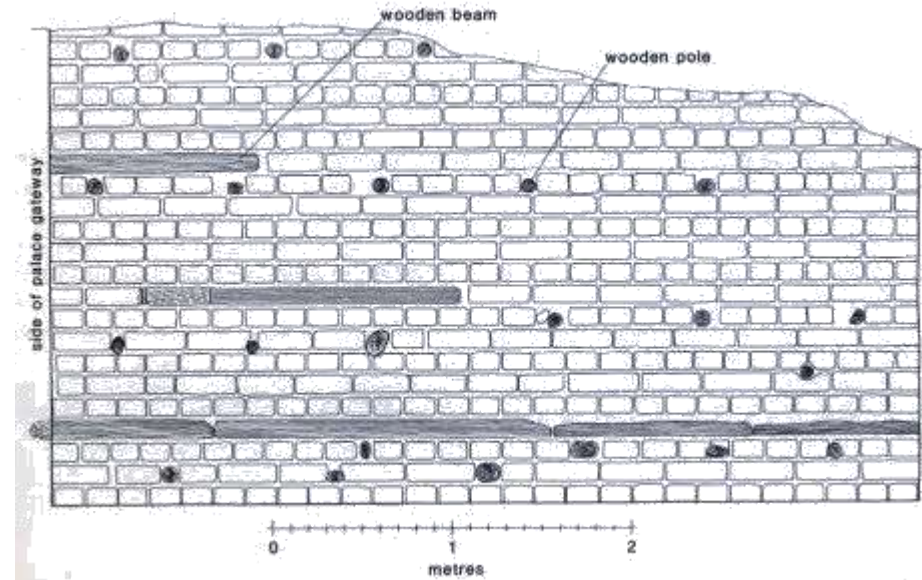
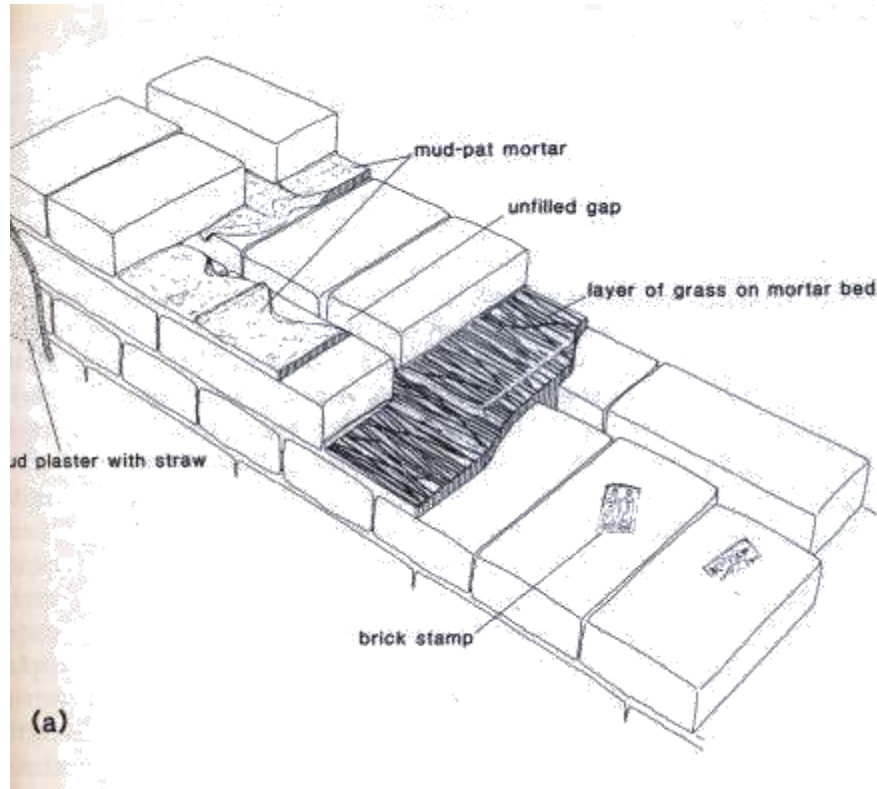
*Dimensioni, lunghezza e larghezza (centimetri)
di mattoni in terra cruda prodotti nell'Antico Egitto.*



Fortezza egizia a Mirgissa in Nubia del XII dinastia (circa 1800 a.C.).

LA TERRA

DOCUMENTAZIONE STORICA



Tipica muratura dell'Antico Egitto con mattoni in terra cruda e materiali vegetali di rinforzo.

LA TERRA

DOCUMENTAZIONE STORICA

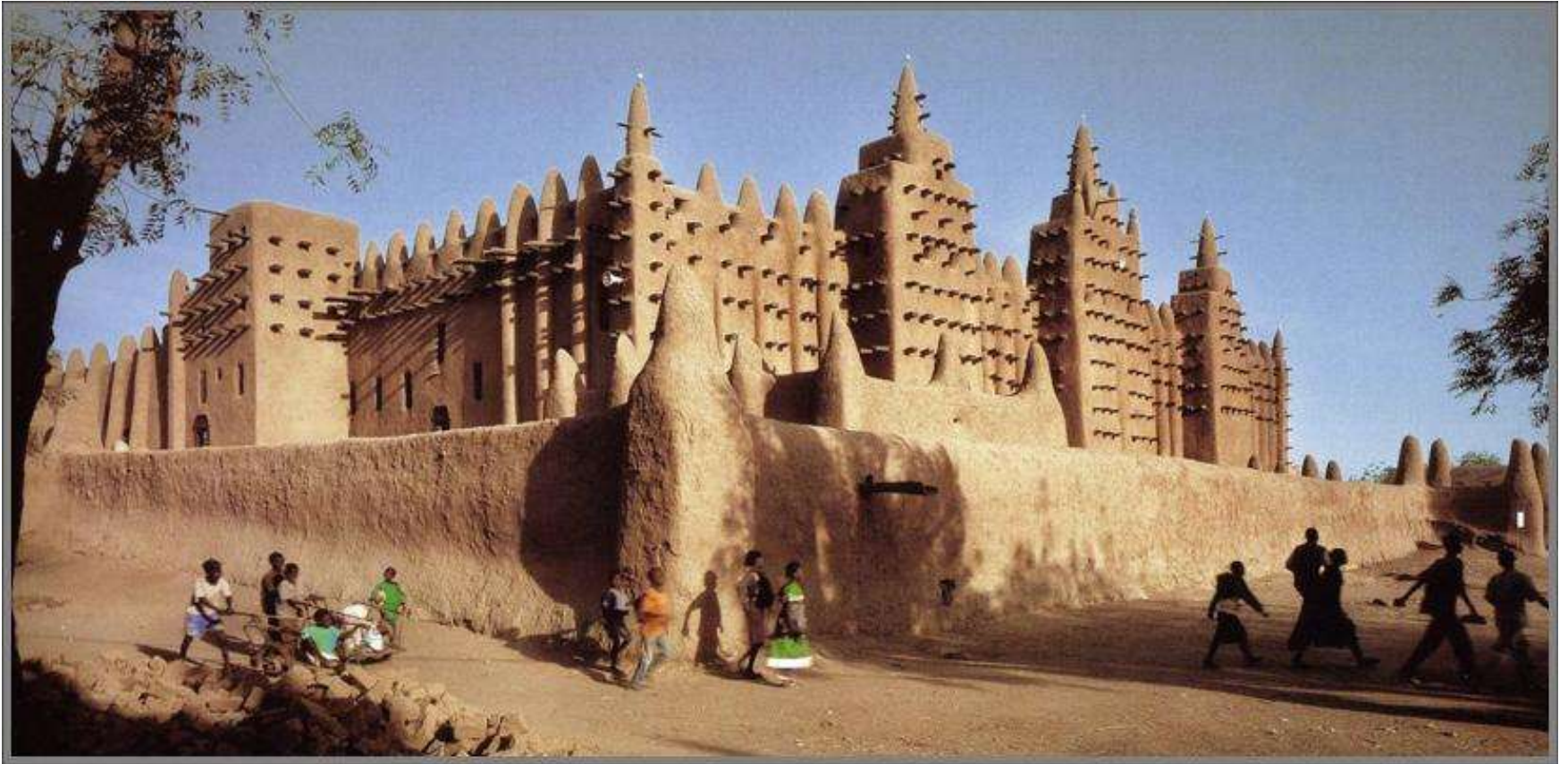


Volta egizia in mattoni crudi.

DOCUMENTAZIONE STORICA



Nucleo in terra cruda (con alternati strati di canne e paglia) di uno ziqqurat in prossimità di Bagdad (Dur-Kurigalzu, XIV secolo a.C.); le pareti esterne erano generalmente rivestite in mattoni cotti.



Moschea di Djenne, Mali.

LA TERRA

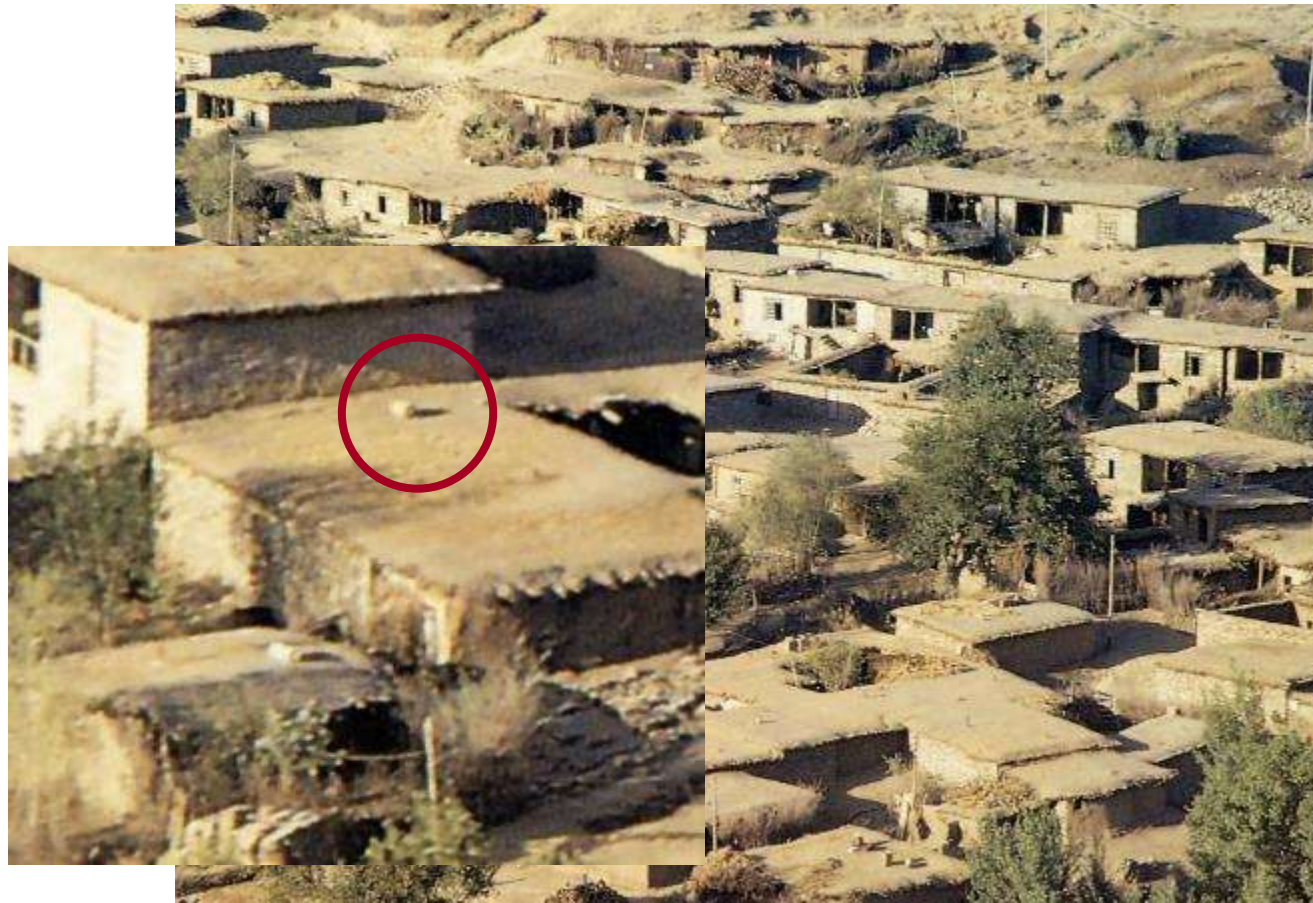
DOCUMENTAZIONE STORICA



Shibam, città in terra cruda nello Yemen.

LA TERRA

DOCUMENTAZIONE STORICA



*Villaggio in terra cruda del Kurdistan iraniano;
sul tetto intonacato in terra sono presenti dei rulli in pietra che servono
a migliorare la compattezza del materiale dopo gli eventi meteorici.*

LA TERRA

DOCUMENTAZIONE STORICA



Frammenti di "ladiri" da siti dell'Età del Ferro in Sardegna.

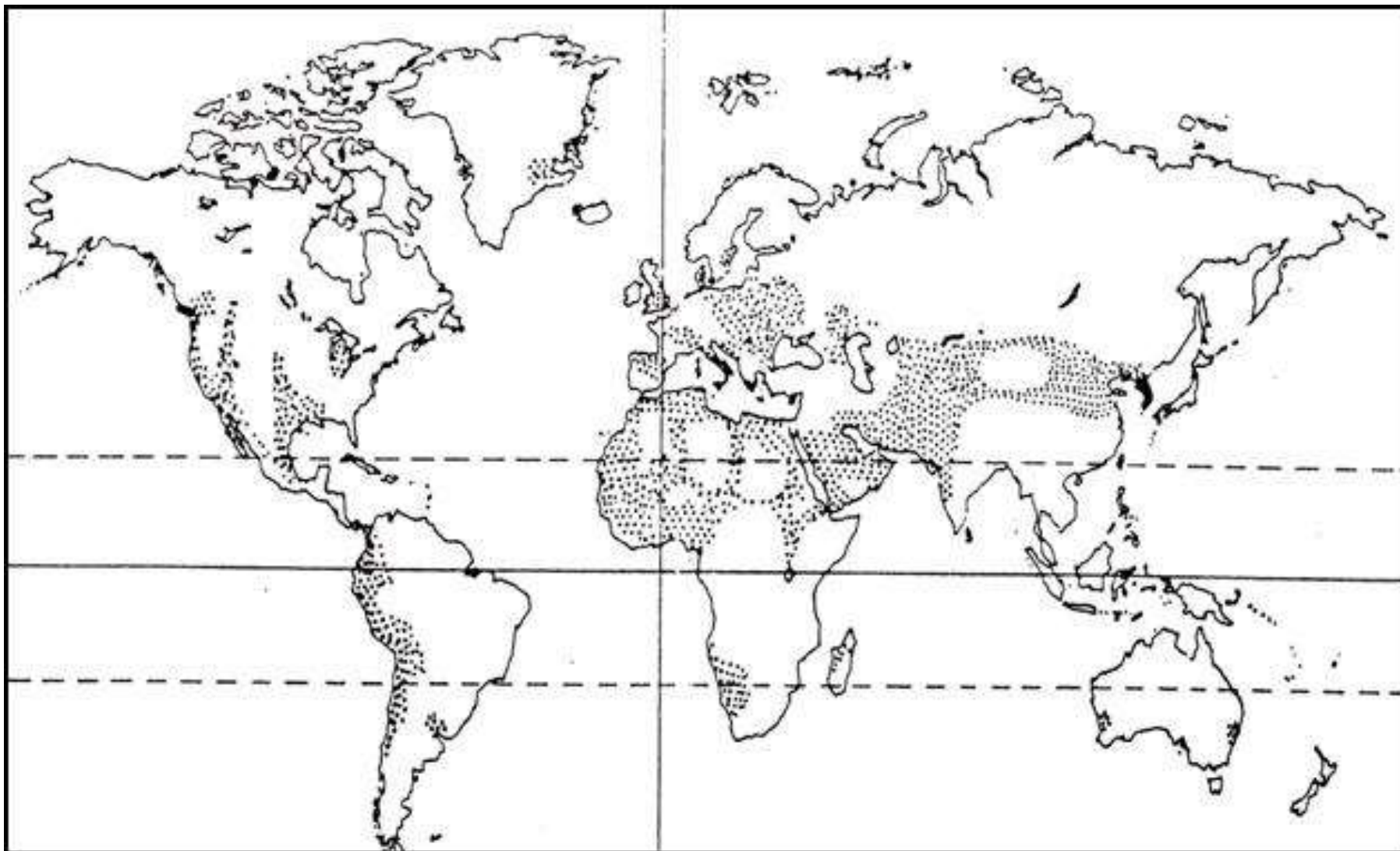


Edificio in mattoni di terra cruda a Sidi (Sardegna).

Anche Roma fu largamente edificata con mattoni in terra cruda sino all'Impero tanto che il noto trattato di Vitruvio non tratta dei mattoni in terra cotta. È quindi chiaro che quanto scritto 2000 anni fa nel De Architectura dall'autore latino, se conserva certamente il fascino degli antichi documenti scritti, deve essere considerato solo come il riflesso di una pratica e di un saggio saper fare millenario e da allora sostanzialmente non modificato.

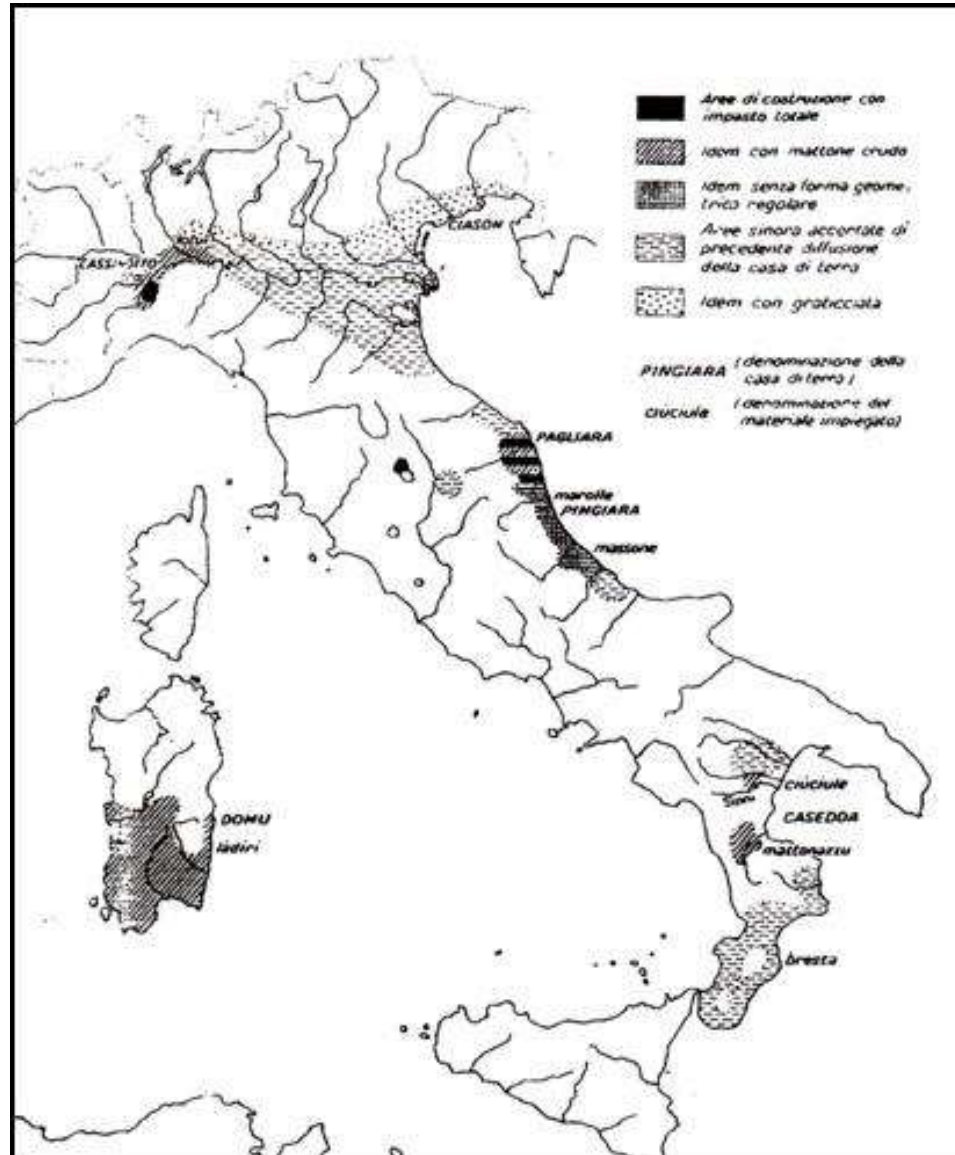
LA TERRA

UTILIZZO DELLA TERRA NEL MONDO



LA TERRA

UTILIZZO DELLA TERRA IN ITALIA

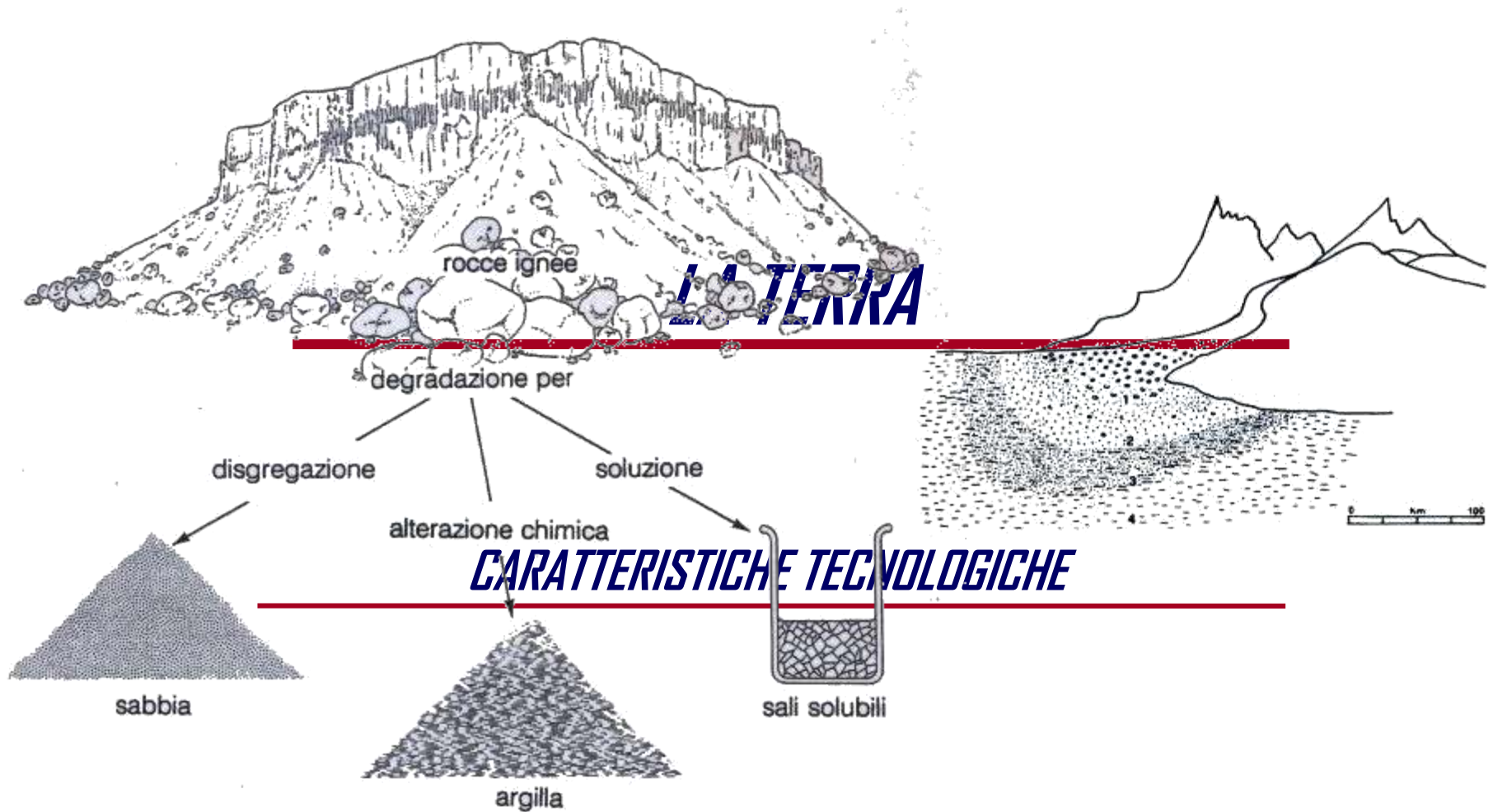


CORSO DI MATERIALI PER L'ARCHITETTURA



LA TERRA

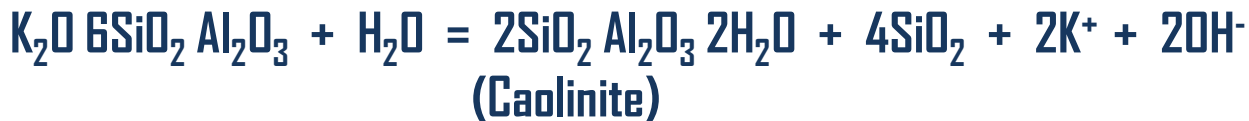
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



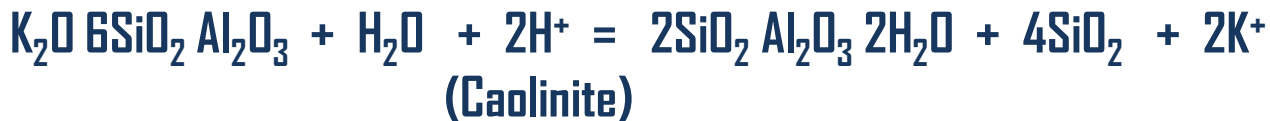
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

La frazione di dimensioni comprese tra $2/4 \mu\text{m}$ e $64 \mu\text{m}$ è definita silt o limo mentre quella maggiore di $64 \mu\text{m}$ e fino a circa 2mm è denominata sabbia.

Di particolare importanza tecnologica sono i processi che attraverso le modificazioni dei feldspati delle rocce originarie (ad esempio dei graniti), portano alla formazione delle argille, sia in **tempi geologici**:

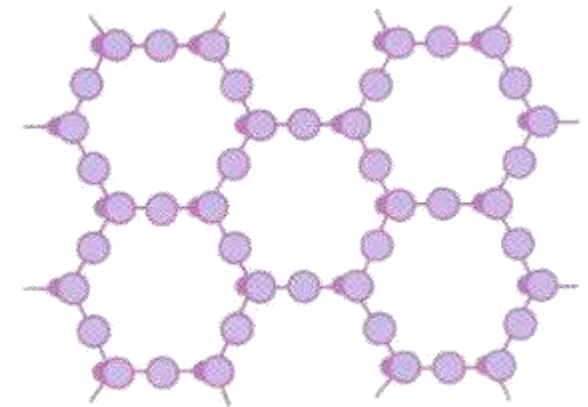
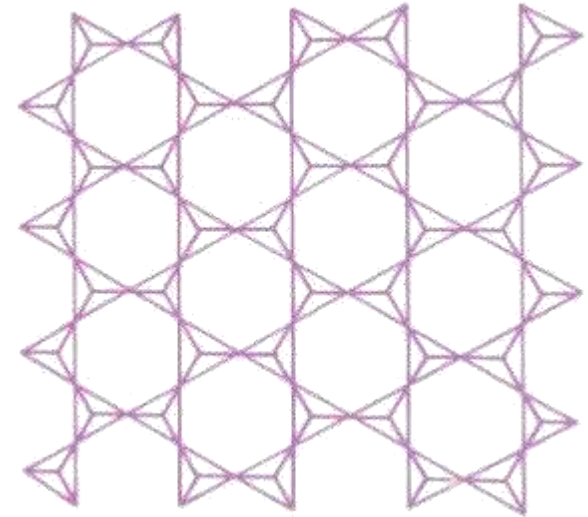


che **storici**, se la reazione avviene in **ambiente caldo-umido** e con bassi valori di pH legati a problemi di inquinamento atmosferico:



Le argille sono dei silico-alluminati idrati i cui atomi costituenti sono aggregati in strutture prevalentemente cristalline con caratteristica geometria (abito) lamellare (fillosilicati).

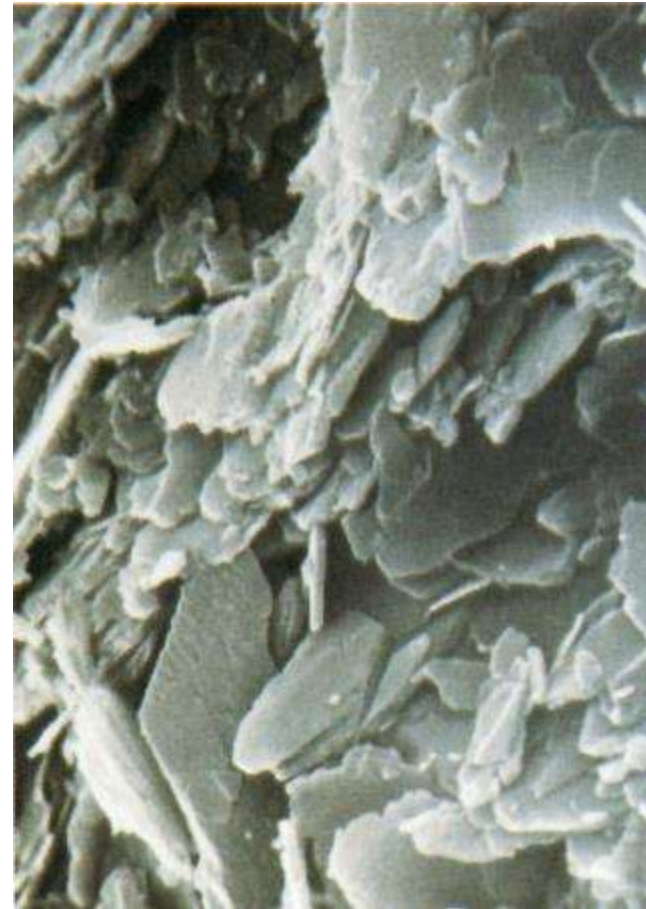
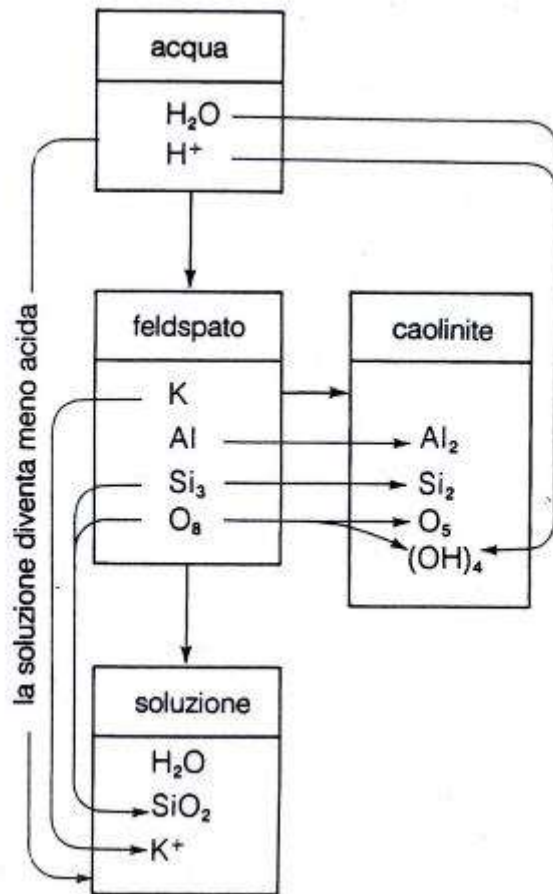
È proprio questa forma osservabile, almeno in taluni casi, tramite l'impiego della microscopia elettronica a decine di migliaia di ingrandimenti, che rende conto di proprietà quali la caratteristica plasticità in presenza di acqua.



fillosilicati

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

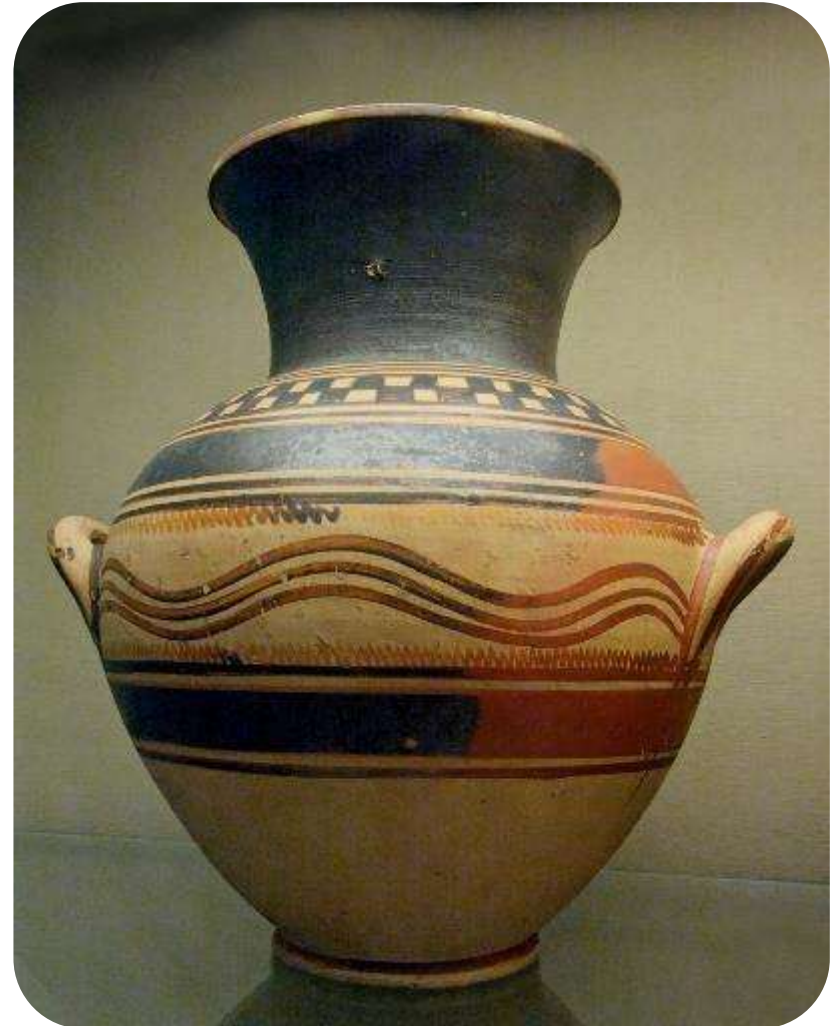


Formazione del minerale argilloso caolinite ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) dal feldspato di potassio; cristalli di caolinite.

GENERALITA'

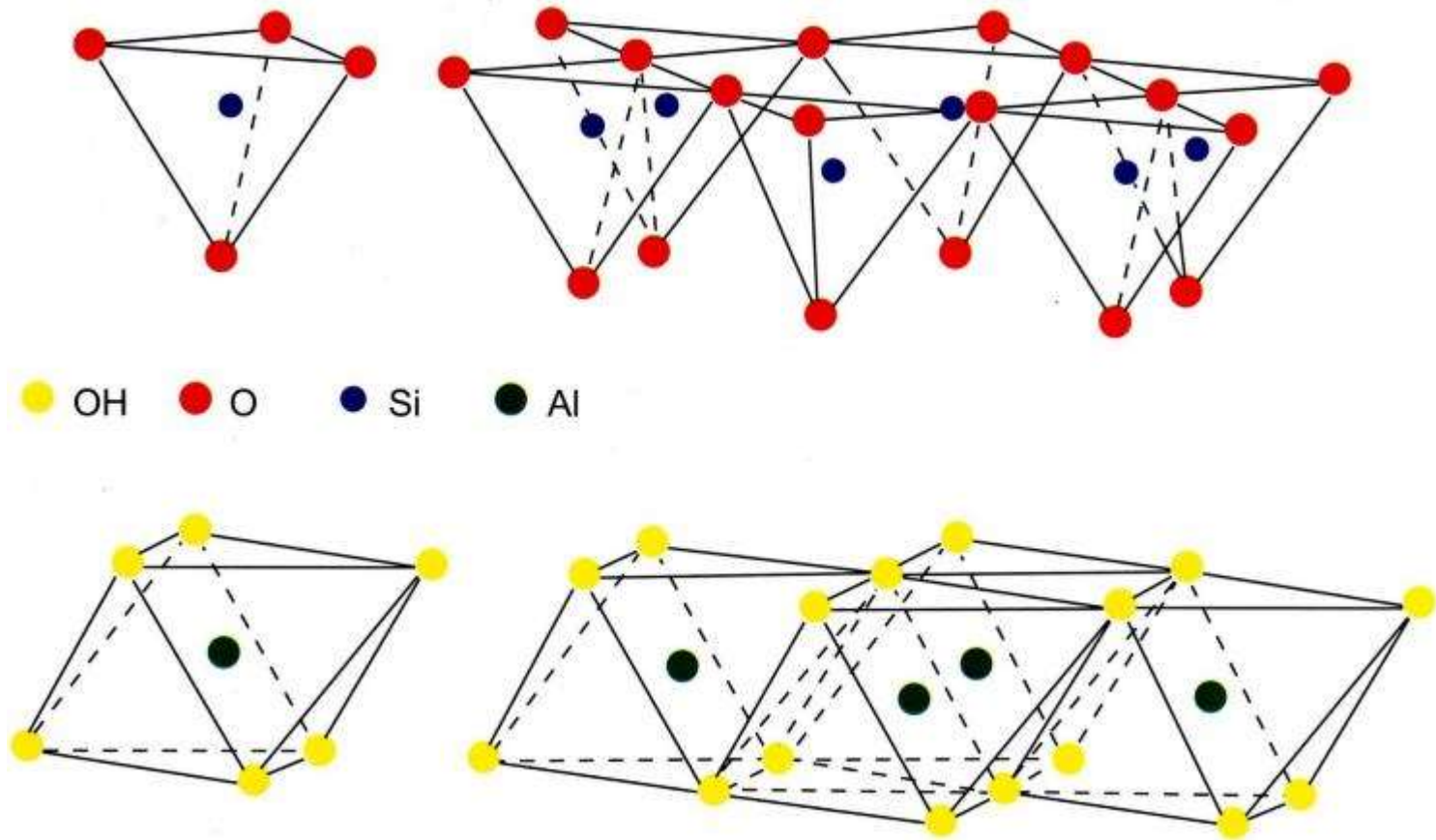
Le argille sono estremamente comuni e largamente **utilizzate fin dall'antichità** più remota (basti pensare alla produzione ceramica sia vascolare che scultorea) ma la cui conoscenza scientifica si è rivelata assai ostica.

È solo negli anni '30 del secolo scorso, in seguito allo sviluppo della tecnica di diffrazione dei raggi X ed al chiarimento delle regole che presiedono allo sviluppo dei legami chimici, **che è iniziato il processo di conoscenza di questa particolarissima classe di minerali** che non può ancora dirsi concluso.



LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



Unità base tetraedriche (T) e ottaedriche (O).

La struttura cristallografica lamellare, e quindi il suo sviluppo planare è conseguenza dell'impilamento di strati/piani silicei (di tipo T, Tetraedrici, con il Silicio al centro del tetraedro e gli atomi di Ossigeno ai vertici) e di strati/piani alluminosi (di tipo O, Ottaedrici, con l'Alluminio al centro e atomi di ossigeno o gruppi OH- ai vertici dell'ottaedro).

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

È quindi possibile ricondurre la struttura delle argille, e quindi buona parte delle loro proprietà fisiche, a sequenze ("pacchetti") delle unità fondamentali D e T ; in natura si riscontrano:

pacchetto costituito da strati $D-T$,

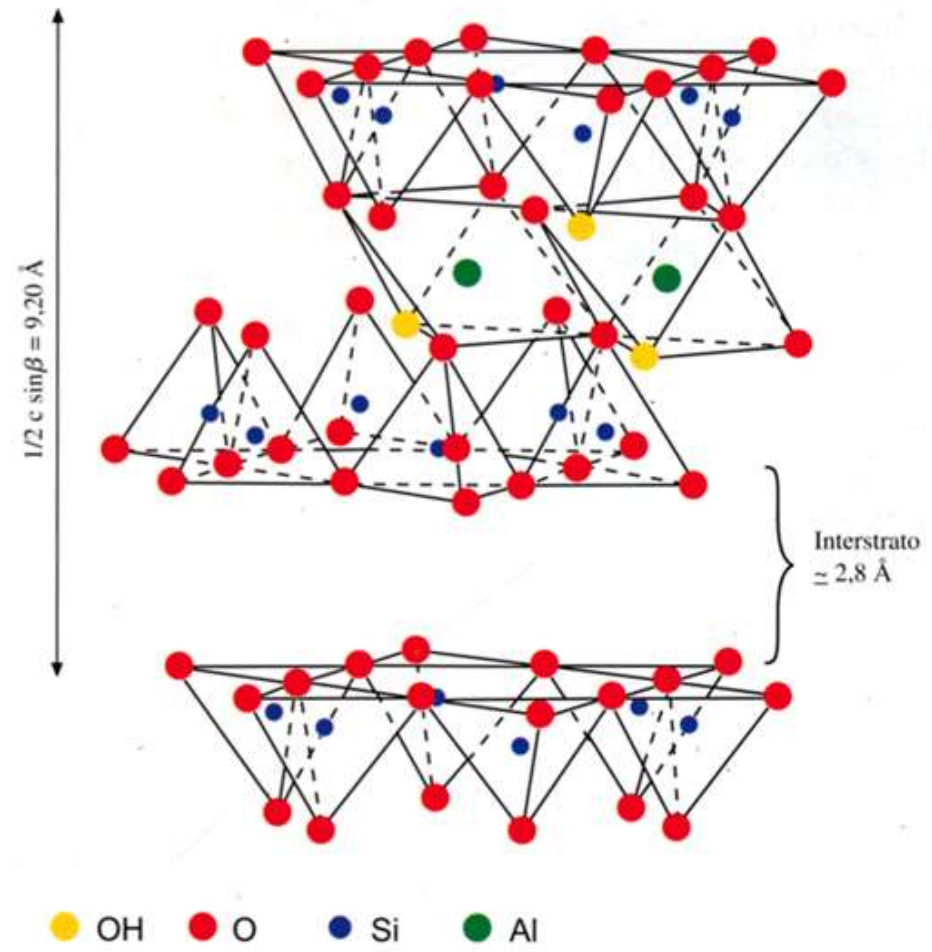
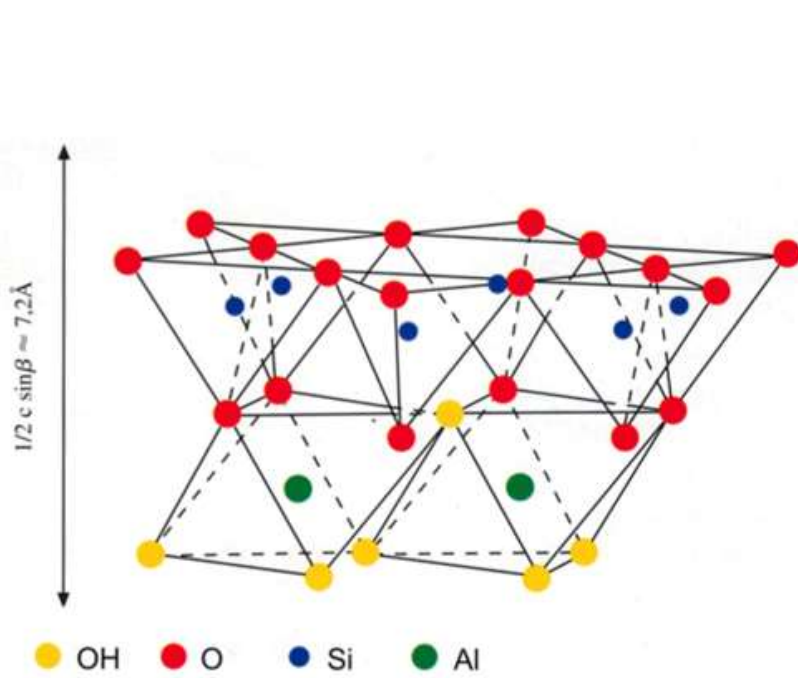
pacchetto con successione $T-D-T$,

pacchetto con successione $T-D-T + D$,

*a strati misti con impilamento di **pacchetti differenti.***

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



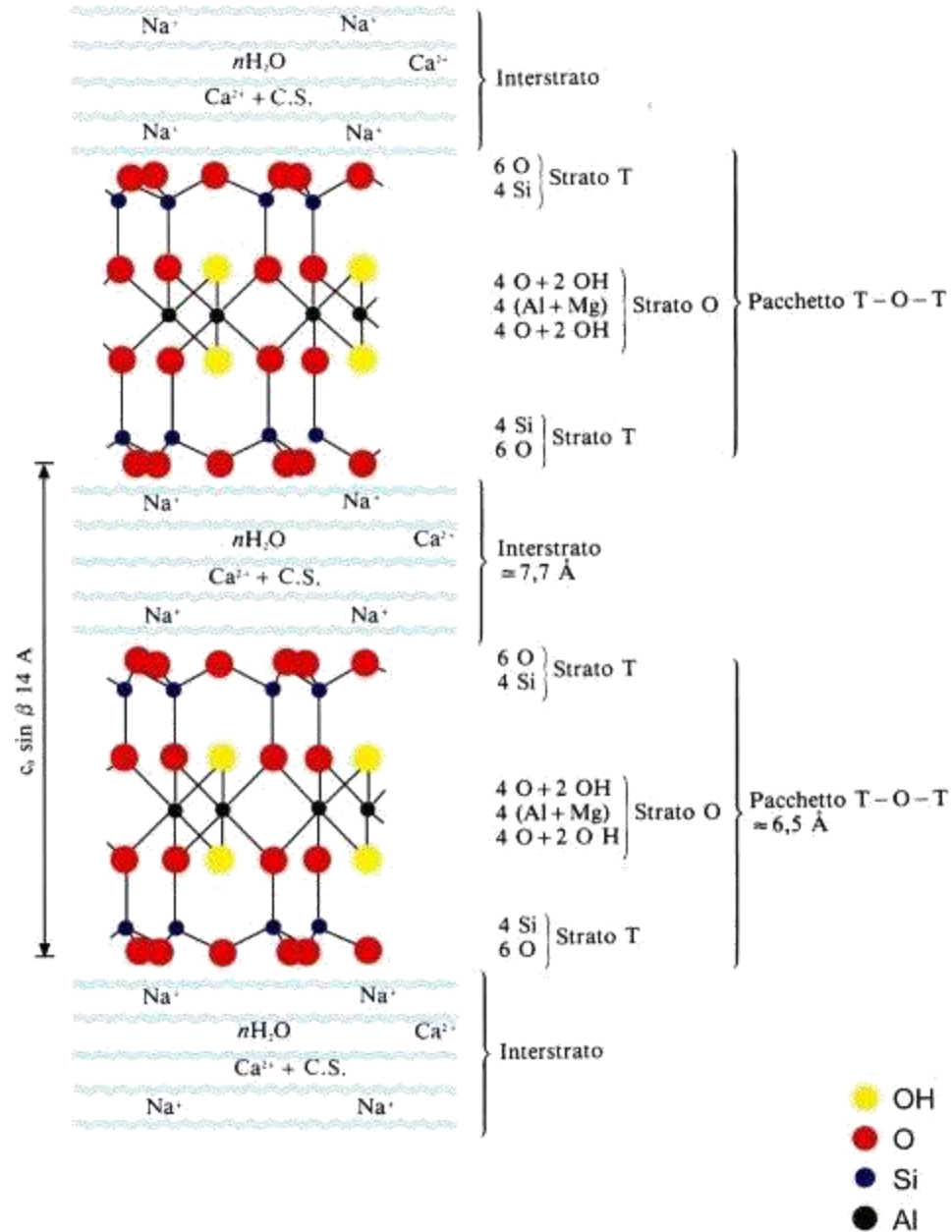
Struttura delle argille: D-T (sinistra), T-O-T (destra).

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

Le combinazioni possibili di questi pacchetti se si tiene in conto anche della possibilità di sostituzioni isomorfe degli atomi fondamentali (in particolar modo del Si^{4+} con Al^{3+} e Fe^{3+} o con Fe^{2+} e Mg^{2+} con il conseguente inserimento di ioni quali Na^+ , K^+ o Ca^{++} per ristabilire l'equilibrio elettrico della struttura) e dell'eventuale possibilità di inserzione di ioni e molecole di acqua tra i pacchetti, portano ad avere sistemi argillosi con composizione chimica estremamente differente.

LA TERRA



Struttura della montmorillonite con indicati gli ioni e l'acqua interstrato.

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

I minerali argillosi

GRUPPO ALLOFANICO struttura amorfa	Allofane	(Al_2O_3, SiO_2, nH_2O) mescolanza di silice idrata (SiO_2, nH_2O) e di idrargillite $Al(OH)_3$
GRUPPO HALLOYSITICO struttura lamellare a due strati sovrapposti	Halloysite Caolinite (costituente principale del caolino)	$(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O)$ $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$
GRUPPO PIROFILLITICO struttura lamellare a tre strati sovrapposti	Pirofillite SMECTITI Montmorillonite Beidellite Nontronite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ $(Al_2Mg_3)O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$ $(Al_2Mg_3)O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$ $(Al_2Fe_2)O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$
GRUPPO ARGILLE MICACEE E VERMICULITI struttura lamellare a tre strati sovrapposti	Illite Muscovite (non è un minerale argilloso ma un tipico filossilicato a tre strati) Vermiculite	$(K_2O \cdot 6SiO_2 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2H_2O) \cdot nH_2O$ $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ $(Mg,Ca)_{0,7}(Al,Fe^{3+})_6(OH)_4(Si,Al)_8O_{20} \cdot nH_2O$
GRUPPO DELLE CLORITI struttura lamellare a quattro strati sovrapposti	Clorite	$(Mg,Al)_3(OH)_2Si_3AlO_{10} \cdot Mg_3(OH)_6$
GRUPPO ARGILLE FIBROSE struttura fibrosa, a catena	Attapulgite Sepiolite Palygorskite	$(3SiO_2 \cdot 2MgO \cdot 4H_2O)$

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

*Senza un'adeguata **frazione argillosa** la terra **non sarebbe impiegabile come materiale**. È infatti l'argilla che esercita le proprietà leganti determinanti per le prestazioni sia allo stato fresco, in termini di fluidità, coesione e plasticità che consente quindi l'impasto, l'omogeneizzazione e la formatura, che allo stato indurito (a secco) agendo da fase legante alla stregua di un cemento.*

L'analogia si ferma qui, essendo il cemento caratterizzato da un complesso di legami forti derivanti da reazioni chimiche, e non semplici e deboli legami derivanti dal contatto fisico tra le particelle.

LA TERRA

PLASTICITA'



LA TERRA

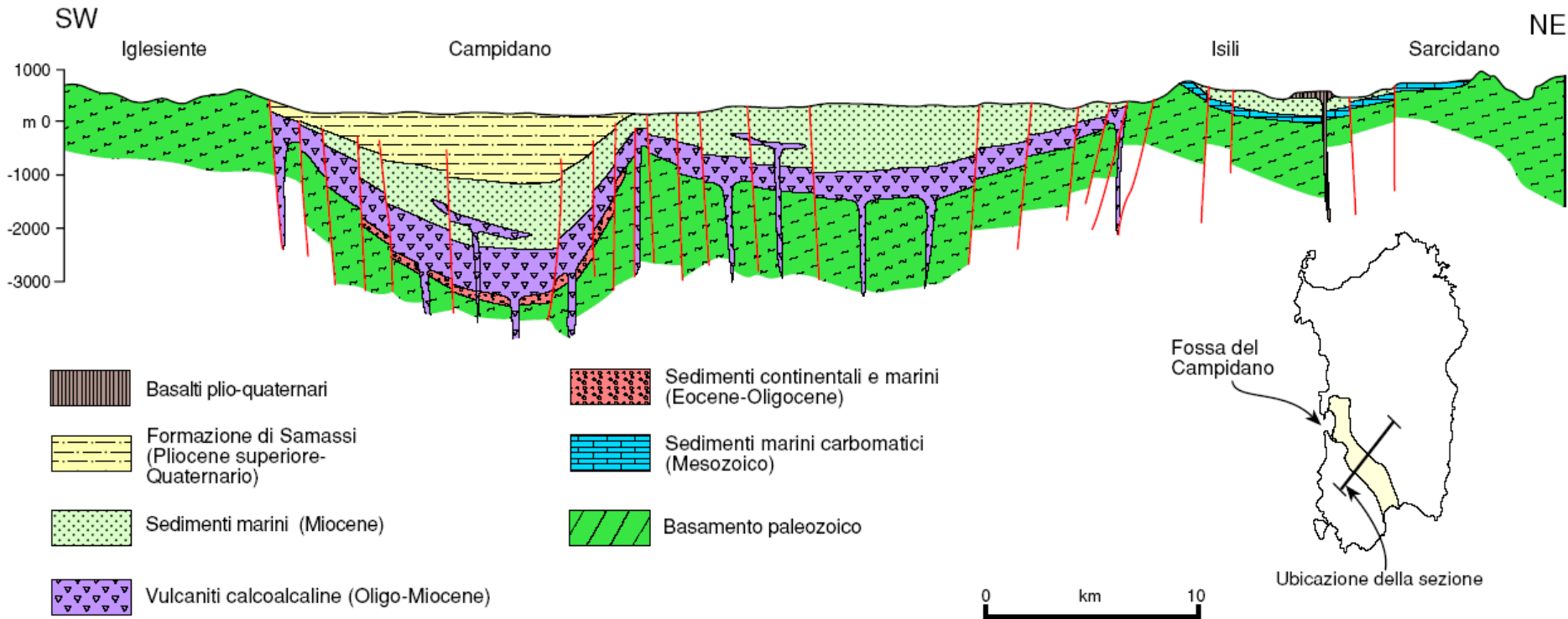
CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

La terra utilizzabile viene generalmente “cavata” al di sotto dello strato superficiale del terreno, essendo questo generalmente troppo ricco di materiale organico naturale scarsamente elaborato o di scarti di origine antropica. Essendo il prodotto ultimo di lunghi e complessi fenomeni di adattamento all’ambiente è prevedibile che i costituenti mineralogici della terra siano caratterizzati da una notevole stabilità.

Anche se i depositi possono assumere dimensioni imponenti (e non a caso in Sardegna il Campidano e le valli limitrofe ed alcune piane costiere sono anche le aree d’elezione della tradizionale costruzione in terra) difficilmente si potrà contare su una vera uniformità del materiale.

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



Sezione geologica del campidano

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

*Il materiale terra cruda in alcuni casi può imbibirsi d'acqua con una notevole facilità, **perdendo rapidamente consistenza, schiacciandosi sotto il proprio peso ed essere soggetto a veloce erosione sotto la pioggia battente.** In altri casi, invece, manifesta una **durevolezza decisamente maggiore per cui talune strutture murarie, non intonacate, sembrano mantenersi stabili per anni anche se esposte stagionalmente alle intemperie.** In effetti, le argille, in generale, se costituenti strati senza significativa presenza di altre frazioni granulometriche, sono da considerarsi materiali sostanzialmente impervi alla circolazione dell'acqua.*



Un'argilla può vantare un coefficiente di permeabilità minore di 10^{-6} cm/s, valore che sale per un silt a $10^{-5} \div 10^{-4}$ ed a $10^{-4} \div 10^{-2}$ per una sabbia fine.

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE





2008/02/14 10:11



08/02/14 10:13

LA TERRA

Produzione





LA TERRA

Applicazione moderna



LA TERRA

Applicazione moderna



LA TERRA

Applicazione moderna



Tabella

Proprietà Tecnologiche di un moderno mattone in terra cruda

	Structural 08	Light	Unit
Nominal dimension	10 x 20 x 40	10 x 20 x 40	cm
Real dimension	10.0 x 19.5 x 39.5	10.0 x 19.5 x 39.5	cm
Weight	13	12	kg
Specific weight	1690	1550	kg/m³
Compressive strength	2.0	0.7	N/mm²
Flexural strength	0.6	0.4	N/mm²
Superficial cracks, qualitative	negligible	negligible	---
Soluble salts	< 2	< 2	%

Proprietà Tecnologiche di un moderno mattone in terra cruda

Il peso specifico della terra risulta generalmente variabile tra $1.5 \div 1.9 \text{ g/cm}^3$

I valori assoluti della resistenza meccanica dipendono da molti fattori che vanno dalla qualità della manodopera, alla frazione di fine e di grosso ed alla granulometria e forma di queste ultime.

Fondamentale è il tenore di acqua di impasto: minore è la quantità d'acqua e minore sarà la quantità di micropori (e quindi tanto più alta la resistenza meccanica). I valori di porosità sono compresi nell'intervallo $15 \div 45\%$, con un'ampia frazione di pori di dimensioni tra 0.5 e $20 \mu\text{m}$.

Proprietà Tecnologiche di un moderno mattone in terra cruda

La resistenza a compressione uniassiale determinata in laboratorio su mattoni in terra cruda, allo stato secco, fornisce generalmente valori assai dispersi, ma comunque generalmente compresi nell'intervallo tra 1÷4 MPa per sistemi con un rapporto ponderale legante:aggregato dell'ordine di 1:4.

Sono questi valori che impongono uno spessore minimo di circa 40 cm dei muri portanti con il limite ad un piano di elevazione, e l'adozione di tutti i dettagli costruttivi necessari ad impedire il contatto dell'acqua sulla struttura.

Corso di Tecnologia dei Materiali

I materiali Ceramici

Sono ceramici i materiali ottenuti da materie prime inorganiche non metalliche mediante formatura e successivo trattamento ad alta temperatura.

In generale in questa categoria ricadono, oltre ai prodotti tradizionali, anche i vetri, i refrattari, gli abrasivi, i piezoelettrici, isolanti elettrici e fibre ceramiche di rinforzo per alcuni compositi.

Hanno buone proprietà di resistenza al calore e all'attacco degli agenti chimici e sono ottimi isolanti elettrici.

La resistenza meccanica è funzione della loro porosità ed in generale non hanno elevate resistenze a trazione e sono materiali fragili (nonostante la struttura sia cristallina come nei metalli).

I Ceramici Tradizionali

*... Emigrando dall'oriente gli uomini capitarono in una pianura del paese di Sennaar e vi si stabilirono.
Si dissero l'un l'altro "venite, facciamoci mattoni e cuociamoli al fuoco".*

*Il mattone servì loro da pietra e il bitume da cemento.
Poi dissero "venite, costruiamoci una città e una torre, la cui cima tocchi il cielo...*

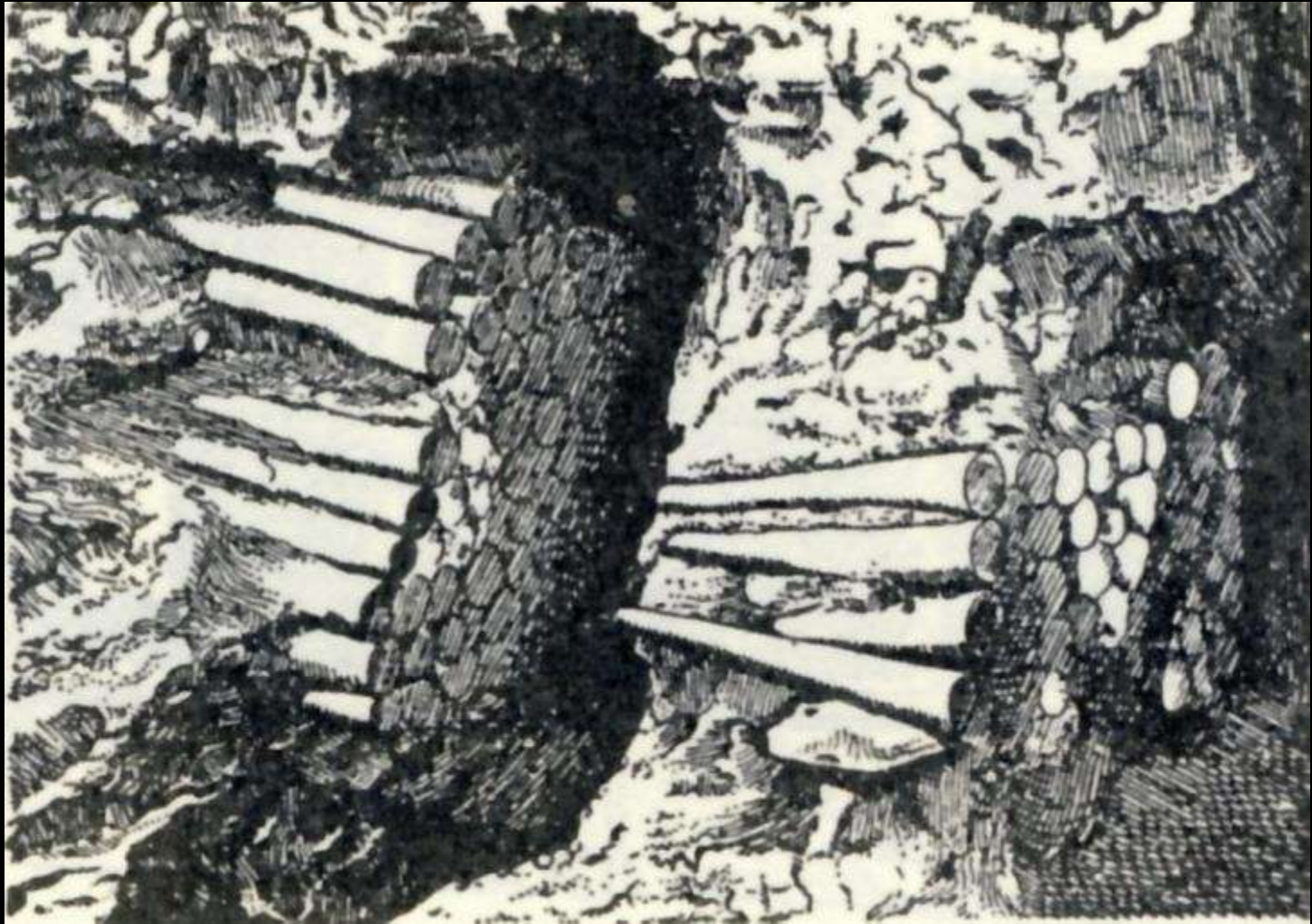
Genesi, 11. 1-4



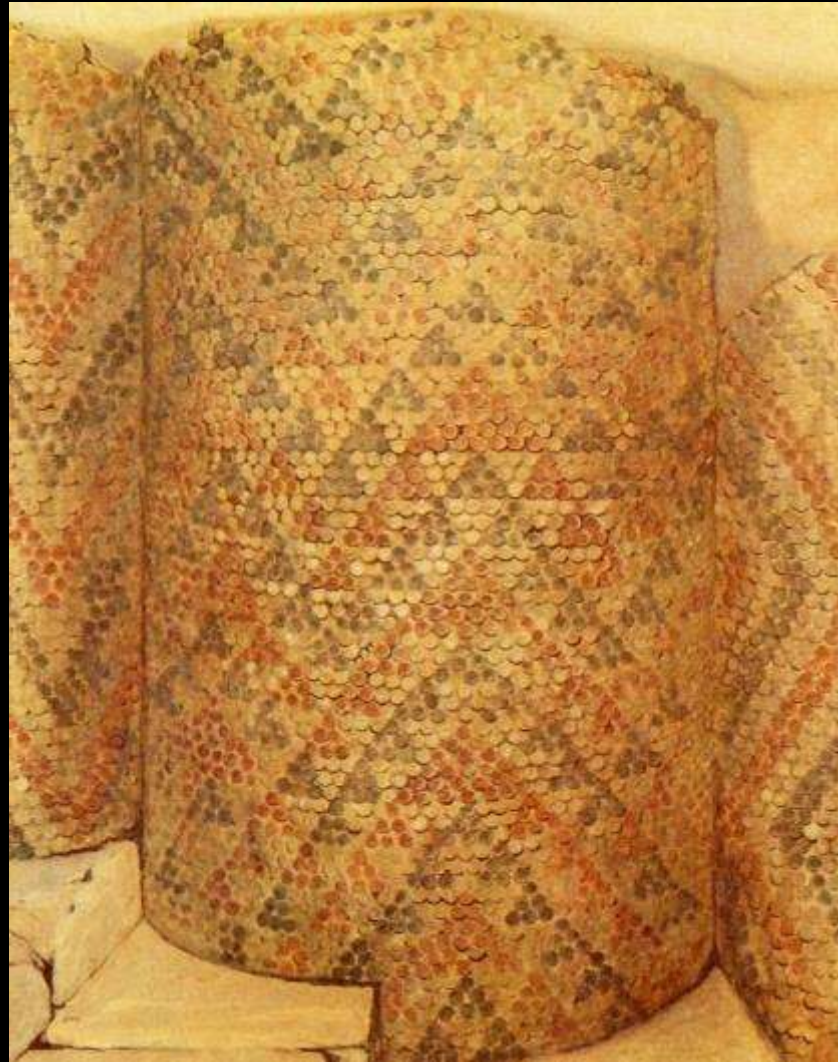








Coni in terracotta utilizzati in edifici di Uruk (Mesopotamia, IV millennio a.C.)



Coni in terracotta utilizzati in edifici di Uruk (Mesopotamia, IV millennio a.C.)



Utilizzo del mattone a scopo strutturale e decorativo (Babilonia, VI secolo a.C.).

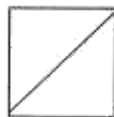


Utilizzo del mattone a scopo strutturale e decorativo (Babilonia, VI secolo a.C.).

bessales



2/3 di piede



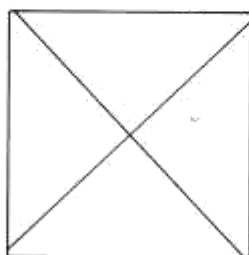
19,7 cm



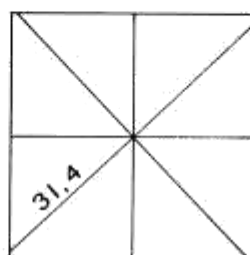
sesquipedales



1,5 piedi

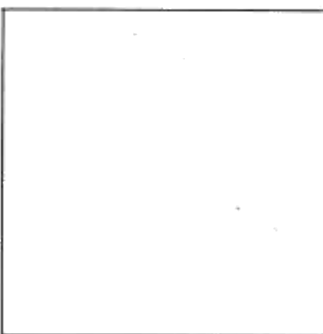


44,4 cm



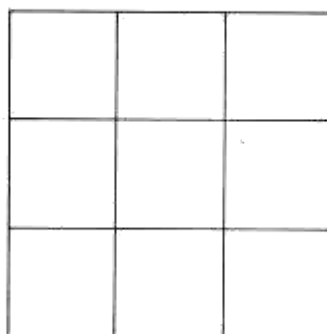
22,2

bipedales

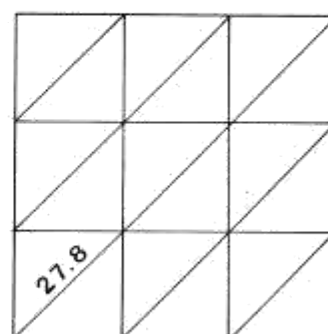


2 piedi

59,2 cm



19,7



19,7

*Dimensioni standard dei mattoni Romani;
l'unità di misura "piede" equivale a poco meno di 30 cm.*



Facciate in mattoni ad Ostia (II secolo d.C.)



Muratura romana a sacco.



Particolare di una muratura.



Copertura alla Romana: tegulae (elementi piatti con alette) e imbrices (coppi).

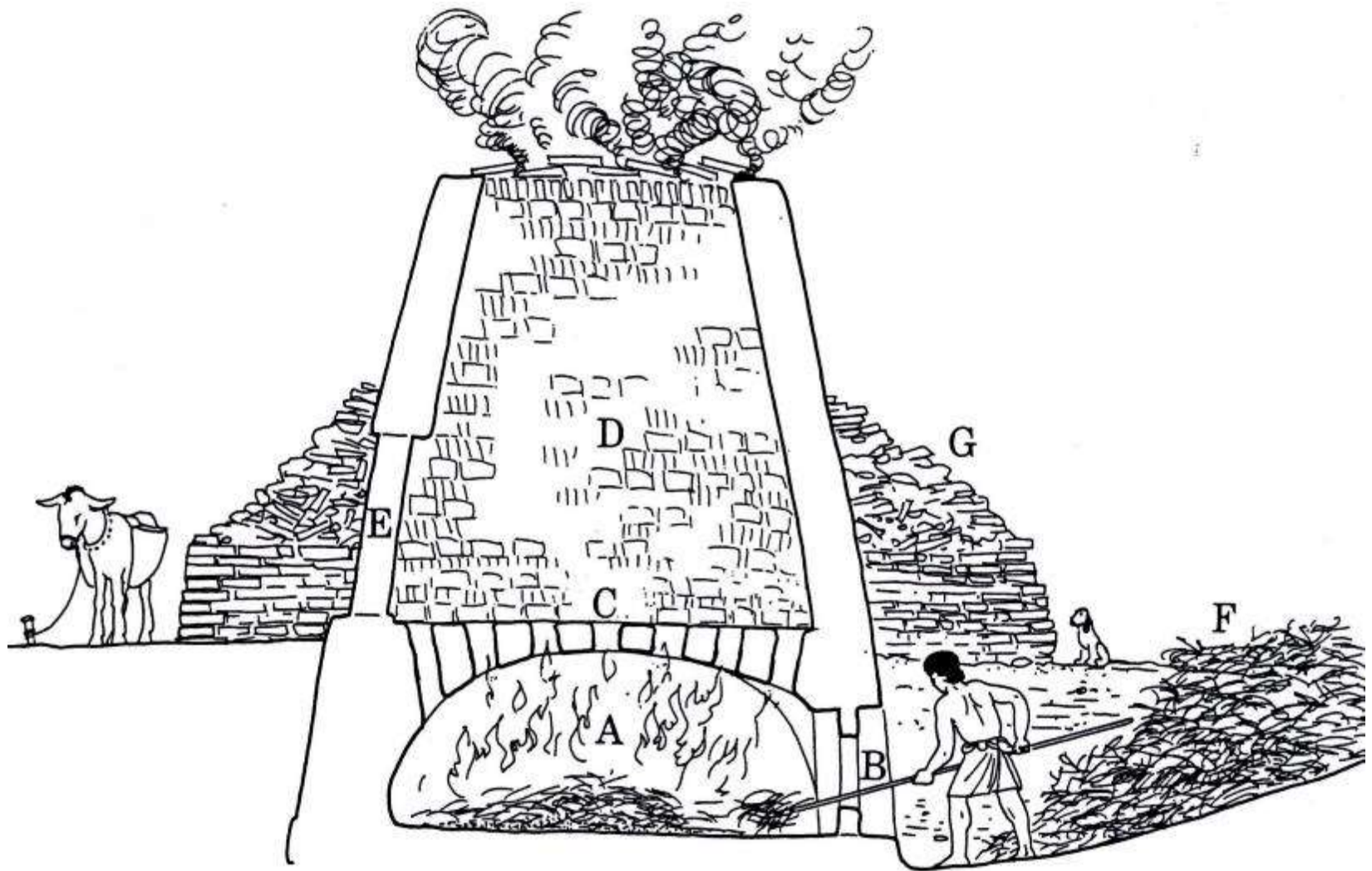


Mattoni delle Terme a Mare di Nora (Sardegna).



*Macrografia di una sezione di mattone delle Terme a mare di Nora
(spessore 4 cm).*

Ceramici



Tipico forno antico Romano per la cottura del laterizio.

Ceramici



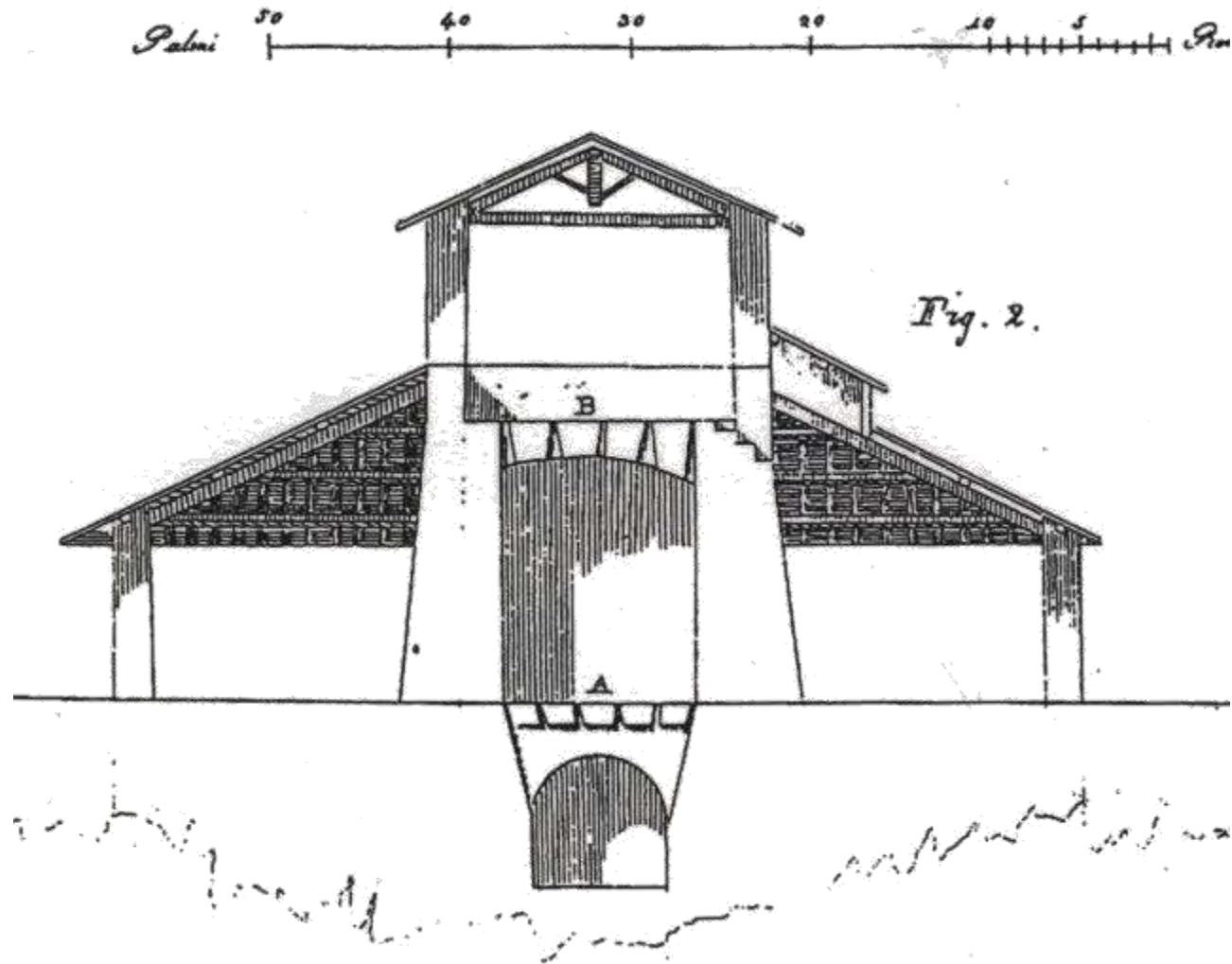
Preparazione ed essiccamento di mattoni in Europa nel XV secolo.

Ceramici



Preparazione ed essiccamento di tegole in Europa nel XV secolo.

Ceramici



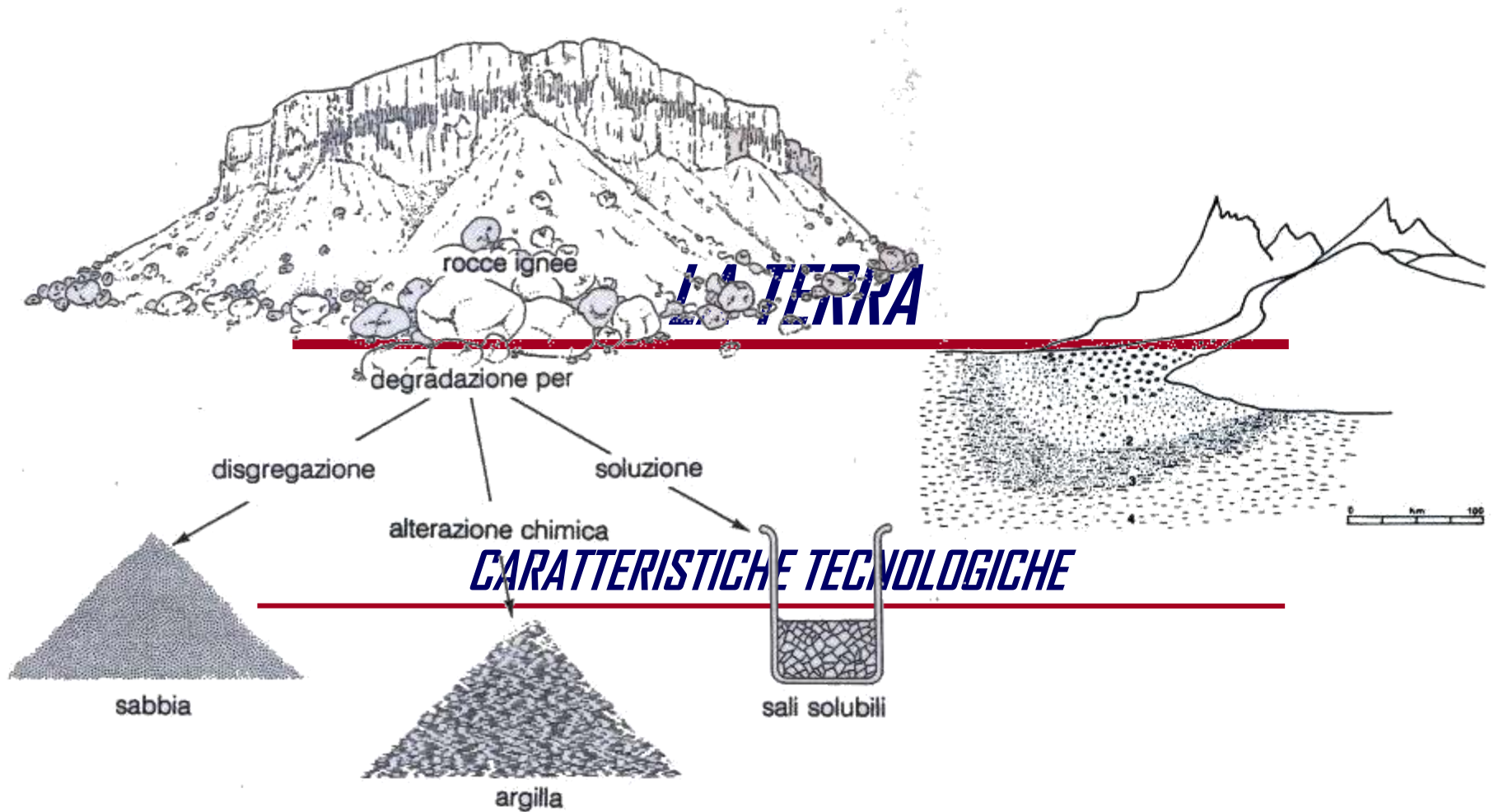
Forno intermittente, dal trattato del Valadier: Architettura Pratica, 1828.

Le principali fasi del processo produttivo dei manufatti edilizi in terracotta sono:

- individuazione ed escavo della materia prima (argilla);*
- stagionatura, selezione e impasto;*
- formatura;*
- essiccamento;*
- cottura;*
- caratterizzazione (aspetto, tolleranze dimensionali, porosità e peso specifico, resistenza a compressione e durabilità).*

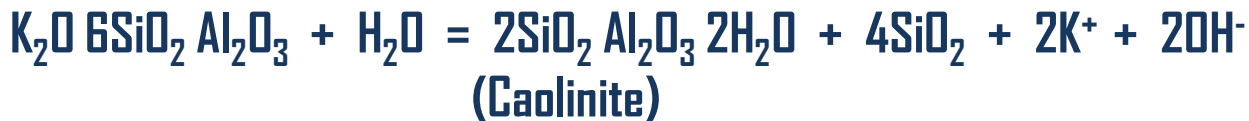
LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

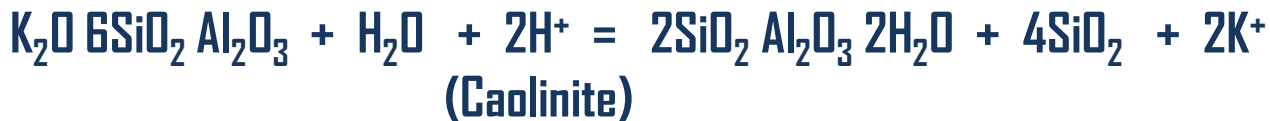


La frazione di dimensioni comprese tra $2/4 \mu\text{m}$ e $64 \mu\text{m}$ è definita silt o limo mentre quella maggiore di $64 \mu\text{m}$ e fino a circa 2mm è denominata sabbia.

Di particolare importanza tecnologica sono i processi che attraverso le modificazioni dei feldspati delle rocce originarie (ad esempio dei graniti), portano alla formazione delle argille, sia in **tempi geologici**:

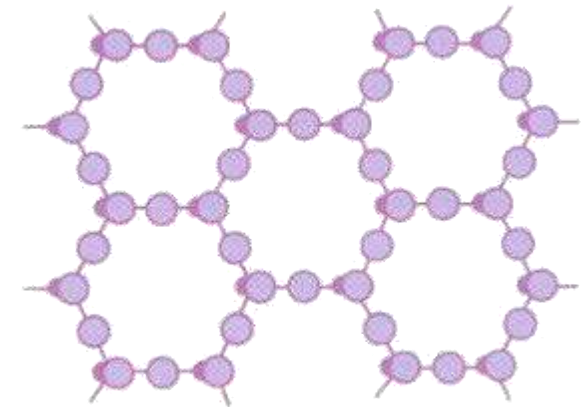
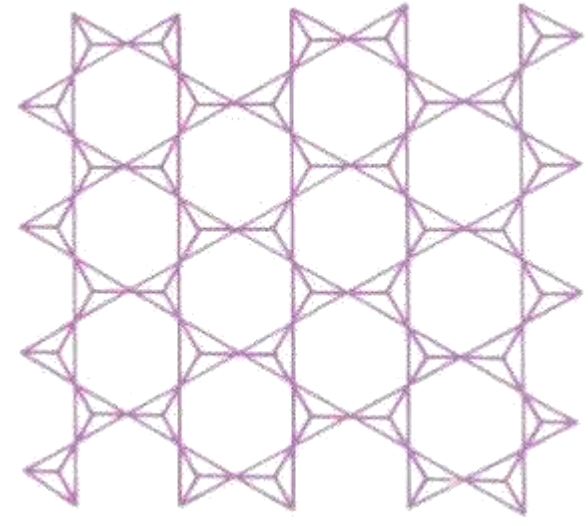


che **storici**, se la reazione avviene in **ambiente caldo-umido** e con bassi valori di pH legati a problemi di inquinamento atmosferico:



Le argille sono dei silico-alluminati idrati i cui atomi costituenti sono aggregati in strutture prevalentemente cristalline con caratteristica geometria (abito) lamellare (fillosilicati).

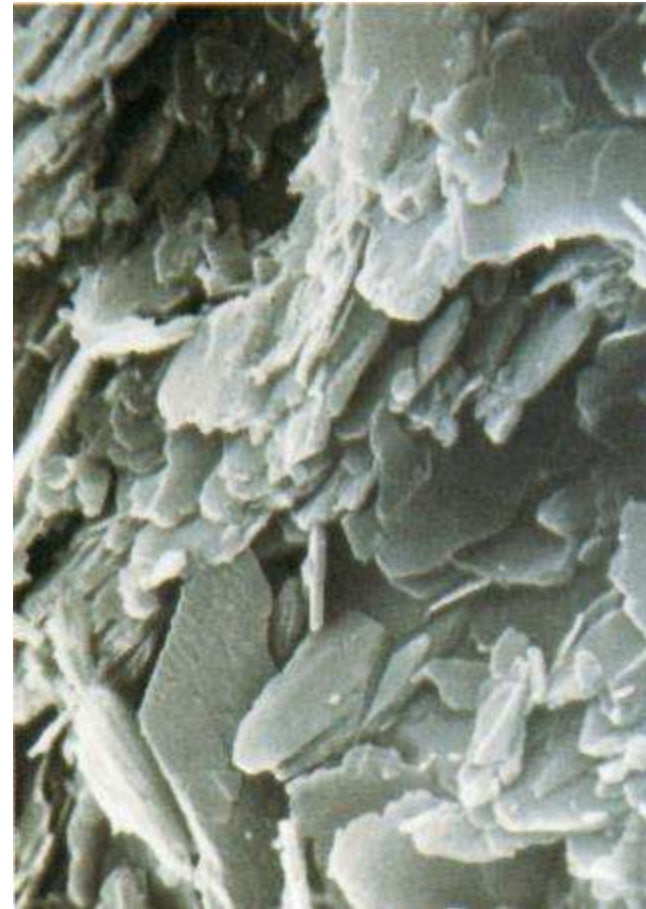
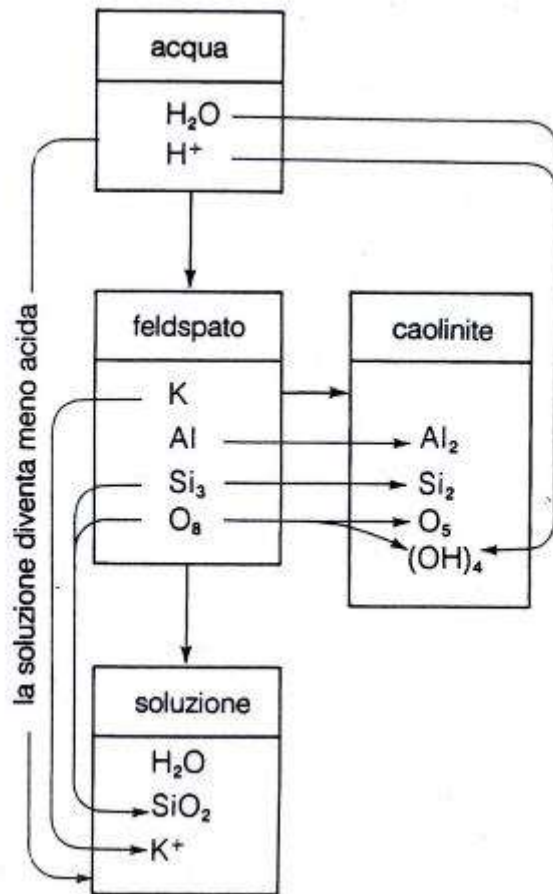
È proprio questa forma osservabile, almeno in taluni casi, tramite l'impiego della microscopia elettronica a decine di migliaia di ingrandimenti, che rende conto di proprietà quali la caratteristica plasticità in presenza di acqua.



fillosilicati

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

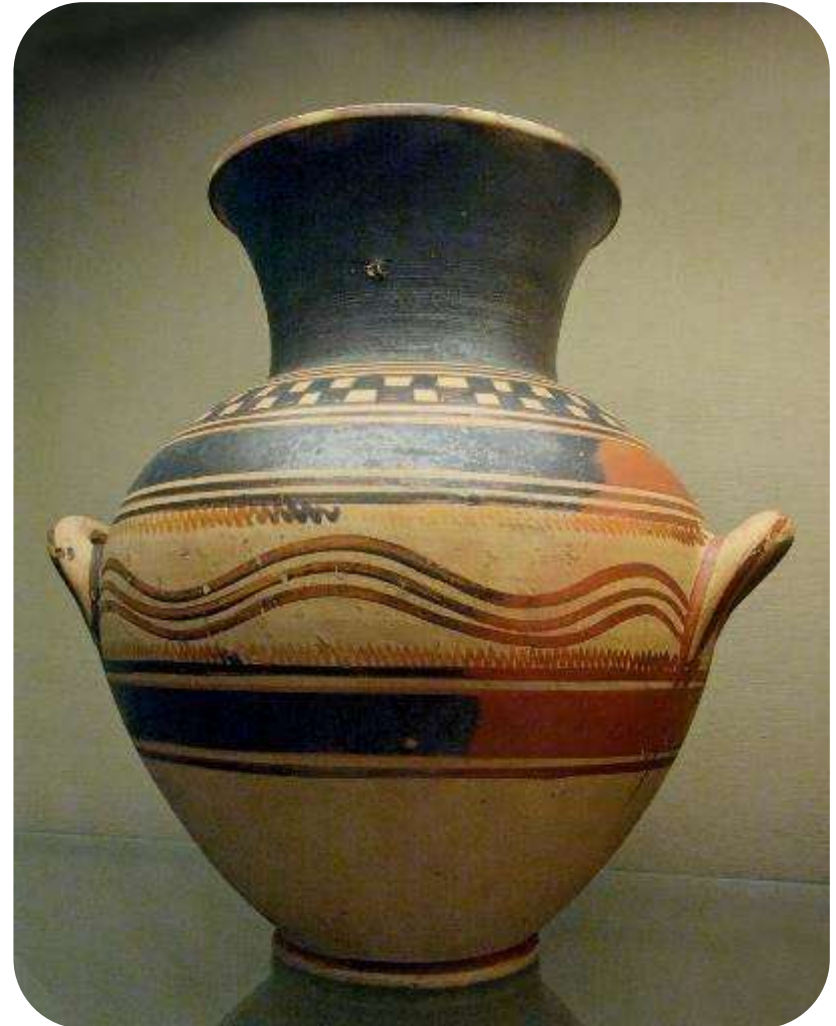


Formazione del minerale argilloso caolinite ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) dal feldspato di potassio; cristalli di caolinite.

GENERALITA'

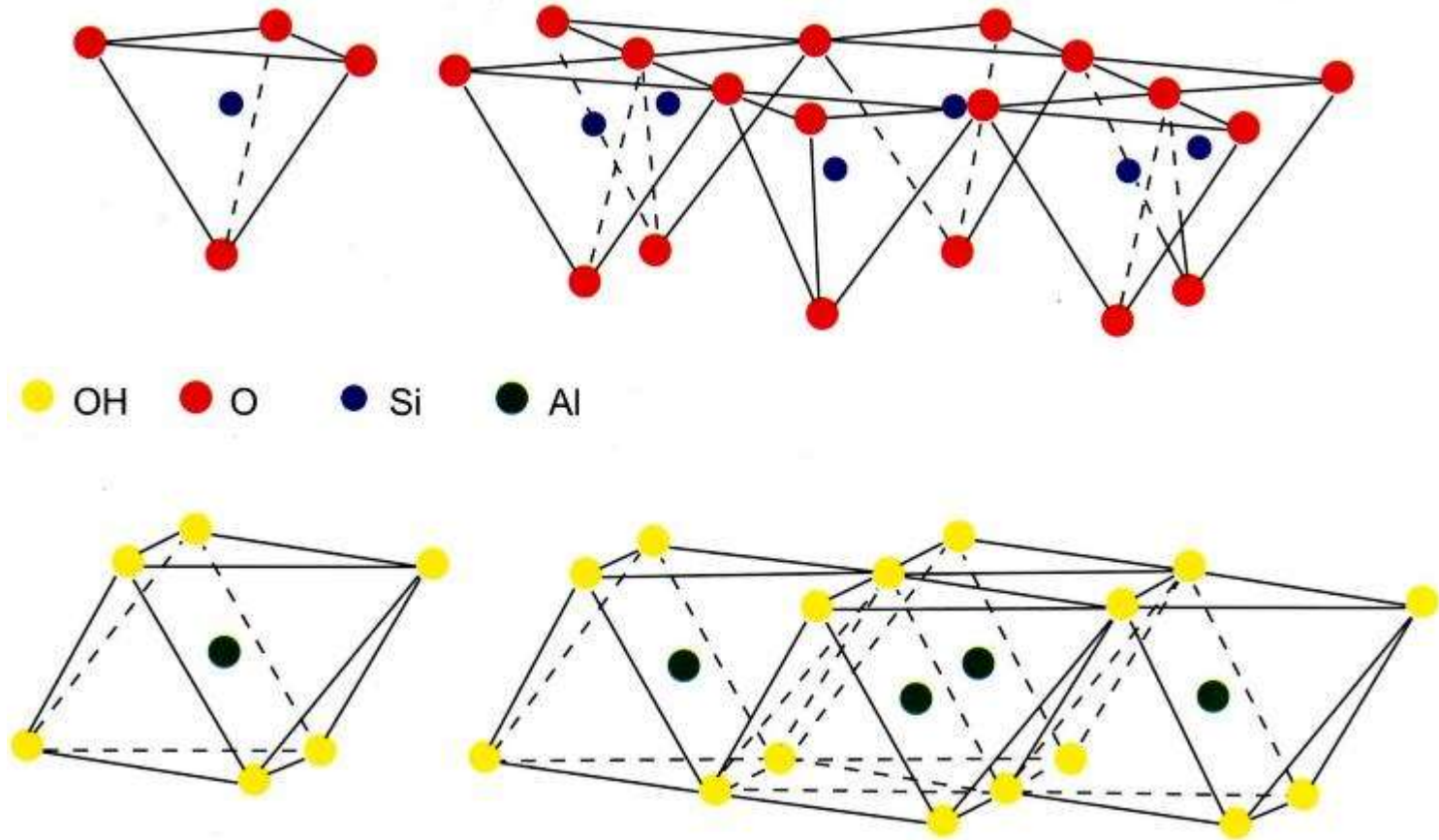
Le argille sono estremamente comuni e largamente **utilizzate fin dall'antichità** più remota (basti pensare alla produzione ceramica sia vascolare che scultorea) ma la cui conoscenza scientifica si è rivelata assai ostica.

È solo negli anni '30 del secolo scorso, in seguito allo sviluppo della tecnica di diffrazione dei raggi X ed al chiarimento delle regole che presiedono allo sviluppo dei legami chimici, **che è iniziato il processo di conoscenza di questa particolarissima classe di minerali** che non può ancora dirsi concluso.



LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



Unità base tetraedriche (T) e ottaedriche (O).

La struttura cristallografica lamellare, e quindi il suo sviluppo planare è conseguenza dell'impilamento di strati/piani silicei (di tipo T, Tetraedrici, con il Silicio al centro del tetraedro e gli atomi di Ossigeno ai vertici) e di strati/piani alluminosi (di tipo O, Ottaedrici, con l'Alluminio al centro e atomi di ossigeno o gruppi OH- ai vertici dell'ottaedro).

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

È quindi possibile ricondurre la struttura delle argille, e quindi buona parte delle loro proprietà fisiche, a sequenze ("pacchetti") delle unità fondamentali D e T ; in natura si riscontrano:

pacchetto costituito da strati $D-T$,

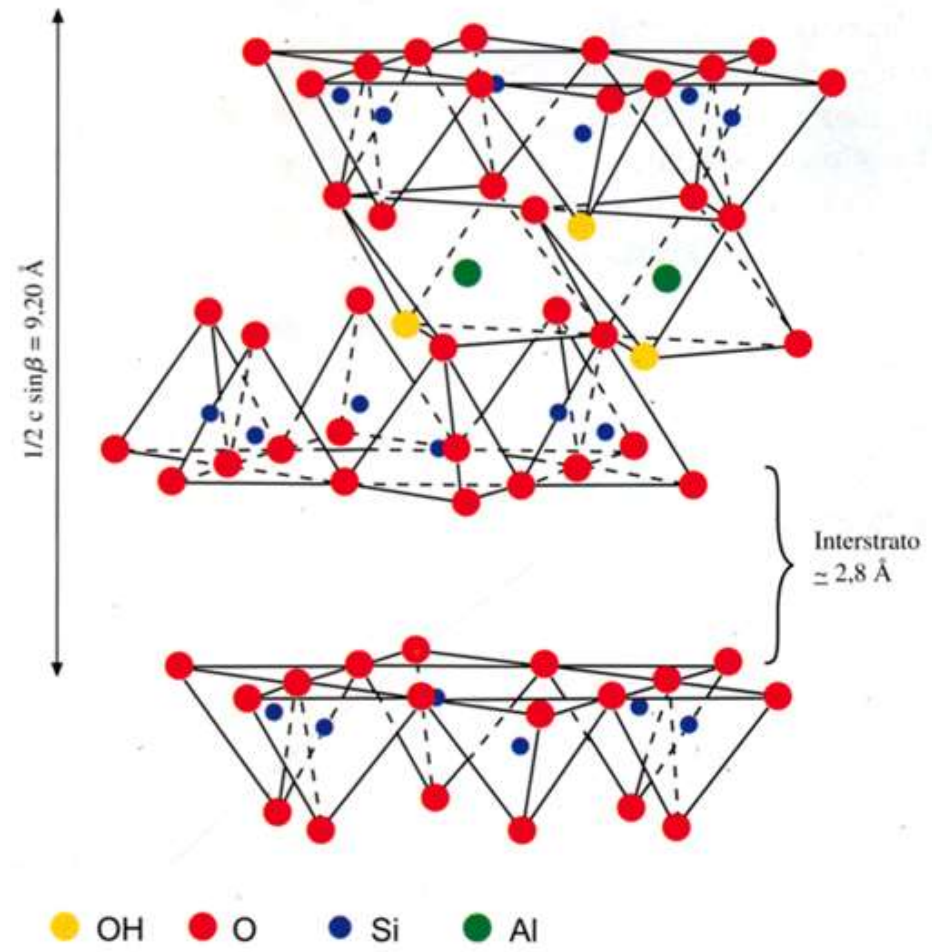
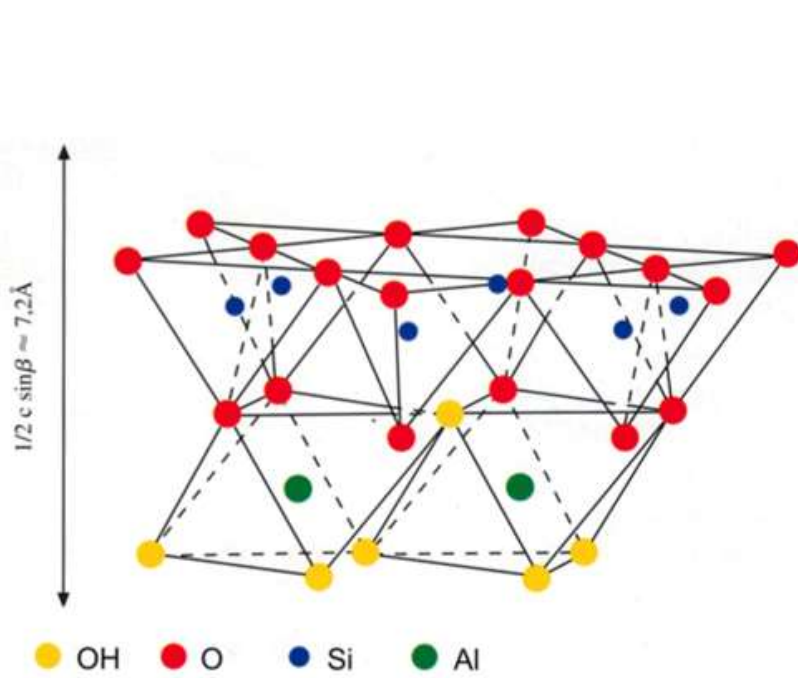
pacchetto con successione $T-D-T$,

pacchetto con successione $T-D-T + D$,

*a strati misti con impilamento di **pacchetti differenti**.*

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE



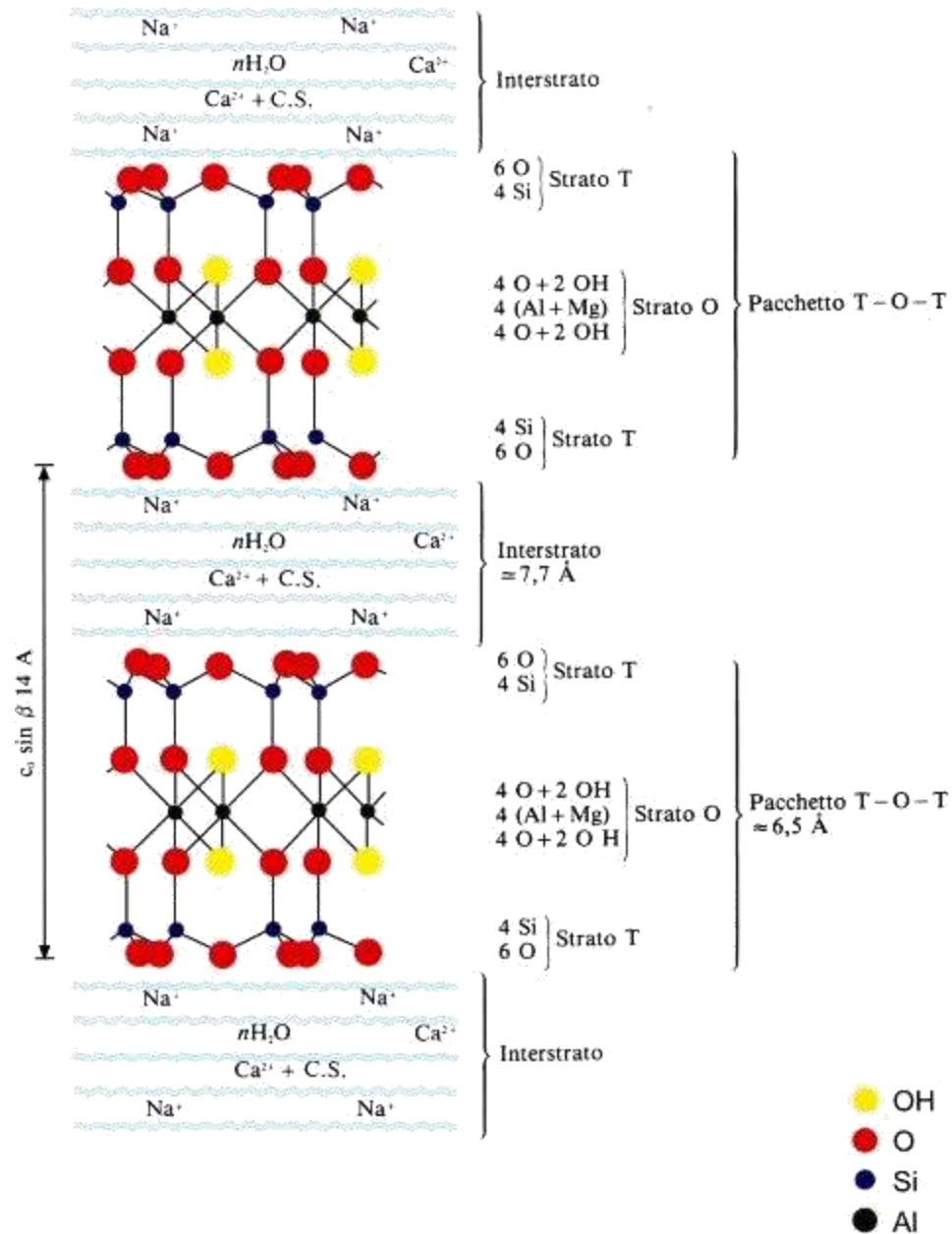
Struttura delle argille: O-T (sinistra), T-O-T (destra).

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

Le combinazioni possibili di questi pacchetti se si tiene in conto anche della possibilità di sostituzioni isomorfe degli atomi fondamentali (in particolar modo del Si^{4+} con Al^{3+} e Fe^{3+} o con Fe^{2+} e Mg^{2+} con il conseguente inserimento di ioni quali Na^+ , K^+ o Ca^{++} per ristabilire l'equilibrio elettrico della struttura) e dell'eventuale possibilità di inserzione di ioni e molecole di acqua tra i pacchetti, portano ad avere sistemi argillosi con composizione chimica estremamente differente.

LA TERRA



Struttura della montmorillonite con indicati gli ioni e l'acqua interstrato.

LA TERRA

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE

I minerali argillosi

GRUPPO ALLOFANICO struttura amorfa	Allofane	(Al_2O_3, SiO_2, nH_2O) mescolanza di silice idrata (SiO_2, nH_2O) e di idrargillite $Al(OH)_3$
GRUPPO HALLOYSITICO struttura lamellare a due strati sovrapposti	Halloysite Caolinite (costituente principale del caolino)	$(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O)$ $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$
GRUPPO PIROFILLITICO struttura lamellare a tre strati sovrapposti	Pirofillite SMECTITI Montmorillonite Beidellite Nontronite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ $(Al_2, Mg_3)O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$ $(Al_2, Mg_3)O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$ $(Al_2, Fe_2)O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + zH_2O$
GRUPPO ARGILLE MICACEE E VERMICULITI struttura lamellare a tre strati sovrapposti	Illite Muscovite (non è un minerale argilloso ma un tipico filossilicato a tre strati) Vermiculite	$(K_2O \cdot 6SiO_2 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2H_2O) \cdot nH_2O$ $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ $(Mg, Ca)_{0,7}(Al, Fe^{3+})_6(OH)_4(Si, Al)_8O_{20} \cdot nH_2O$
GRUPPO DELLE CLORITI Struttura lamellare a quattro strati sovrapposti	Clorite	$(Mg, Al)_3(OH)_2Si_3AlO_{10} \cdot Mg_3(OH)_6$
GRUPPO ARGILLE FIBROSE struttura fibrosa, a catena	Attapulgite Sepiolite Palygorskite	$(3SiO_2 \cdot 2MgO \cdot 4H_2O)$

Ceramici

individuazione ed escavo della materia prima

Generalmente una materia prima contiene circa il 40÷50% (mattoni÷tegole) di minerale argilloso (comunemente di tipo illitico, cloritico, montmorillonitico e meno frequentemente a prevalenza caolinica), 10÷30% di carbonati, 30÷50% di inerte costituito da quarzo e feldspati. La granulometria non supera generalmente le dimensioni del silt o al più della sabbia fine.

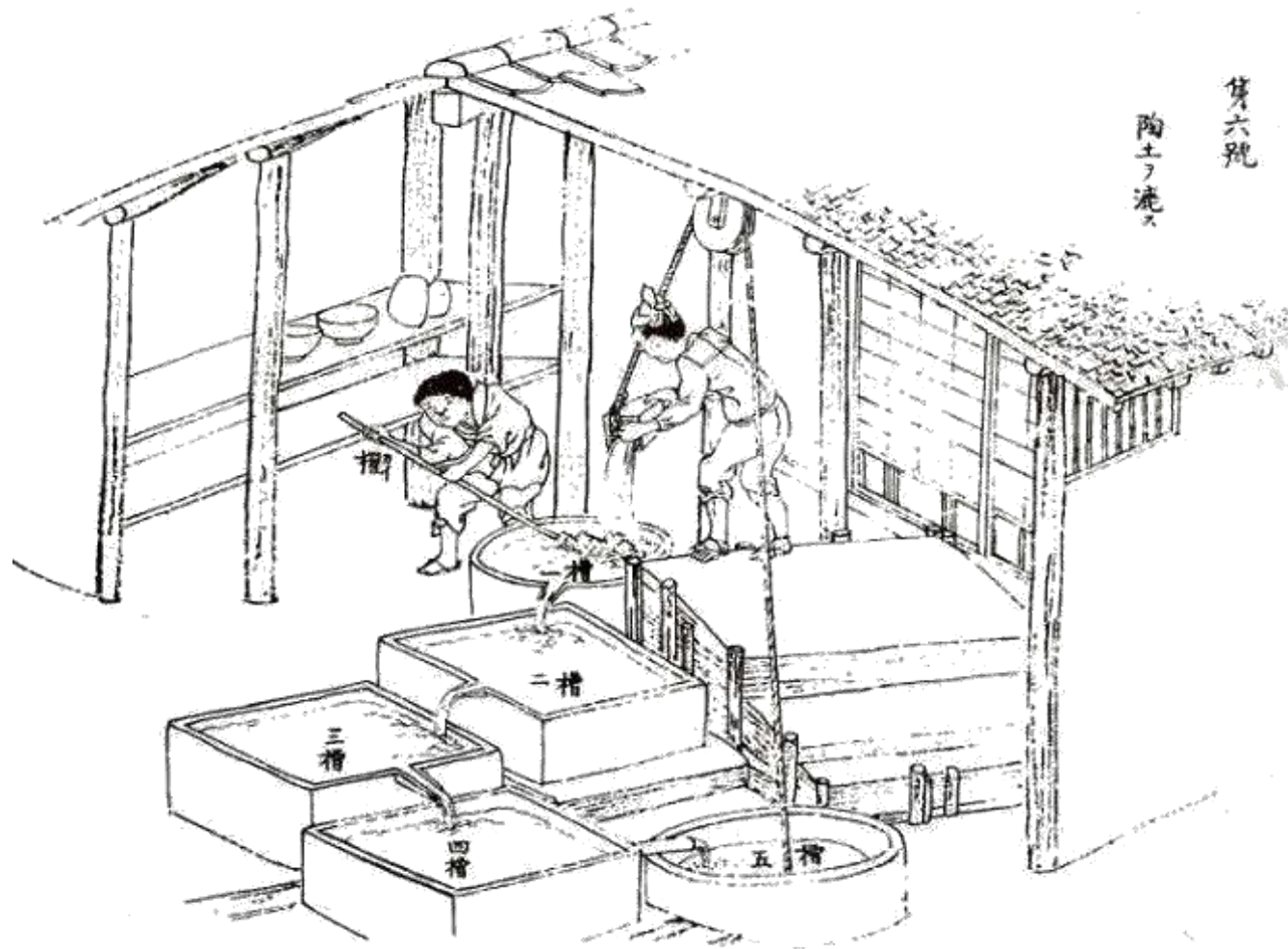
Una certa variabilità della composizione granulometrica e mineralogica è prevedibile in qualsiasi giacimento della materia prima, tuttavia la tolleranza è piuttosto ampia e del resto notevoli variazioni si riscontravano anche in fase di cottura. Il laterizio soprattutto quello antico non è un prodotto che si distingue per la sua uniformità.

stagionatura, selezione e impasto

Generalmente in antico, ma ancora oggi, l'argilla estratta veniva lasciata esposta alle intemperie (acque meteoriche, gelo-disgelo, aria) durante un intero inverno. In questa fase la materia prima subisce spesso un sensibile miglioramento in conseguenza della uniforme penetrazione delle acque negli strati di argilla, della disaggregazione delle zolle più consistenti, delle modificazioni chimiche che riguardano sia la frazione organica che taluni minerali (ossidazione dei solfuri a solfati);

in sostanza la materia prima diventa di caratteristiche più uniformi ed acquista maggiore plasticità. Ancora oggi, e probabilmente a maggior ragione in antico, una parte consistente della produzione avviene utilizzando un'unica fonte di materia prima. In taluni casi si miscelano argille (o terre) di due diverse provenienze o si procede all'aggiunta di sabbie fini con la funzione di smagrante.

stagionatura, selezione e impasto



Ceramici

stagionatura, selezione e impasto



I Ceramici

Oltre alle argille...

Smagranti: inerti come sabbie silicee che hanno il compito di contenere il ritiro igrometrico.

Fondenti: materiali che fondono alle temperature di cottura e che per successivo raffreddamento formano una fase vetrosa che occlude i pori.

I Ceramici

Fondenti

Carbonato di calcio per temperature di cottura tra i 950-1000°C

Feldspati per temperature decisamente più elevate (ad esempio per la cottura dei grès e delle porcellane 1250-1450°C)

Ceramici

stagionatura, selezione e impasto

L'impasto in passato veniva effettuato con i piedi nudi. Il materiale così lavorato veniva quindi raccolto e passato agli operatori che manualmente provvedevano a sagomare il prodotto con l'ausilio di forme in legno.



Metodo	Umidità dell'impasto	Esempi di applicazione
Pressatura	5-7%	Piastrelle, stoviglie
Estrusione	15-20%	Piastrelle, laterizi
Colaggio	35-40%	Sanitari

Formatura

Formatura in pasta

tornio del vasaio.

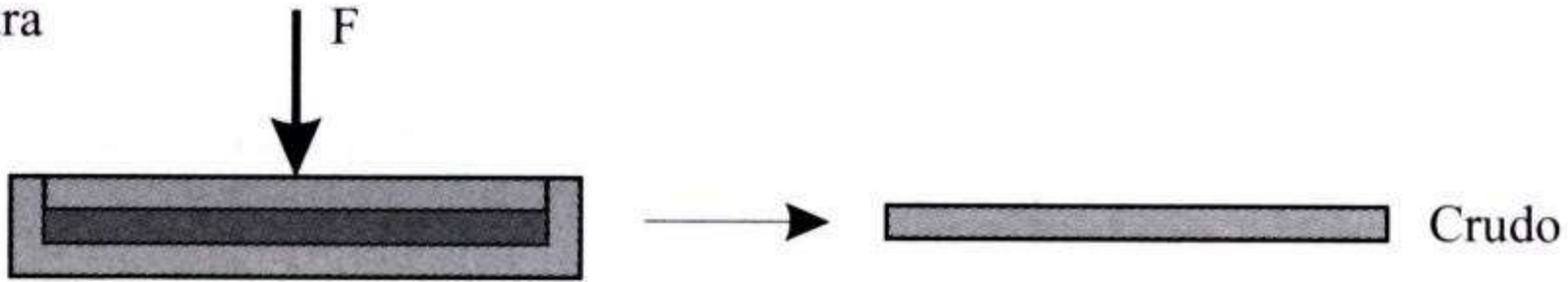
Formatura a secco

bassa umidità (5÷10%), pressioni 200÷700 atm.

Formatura per colata

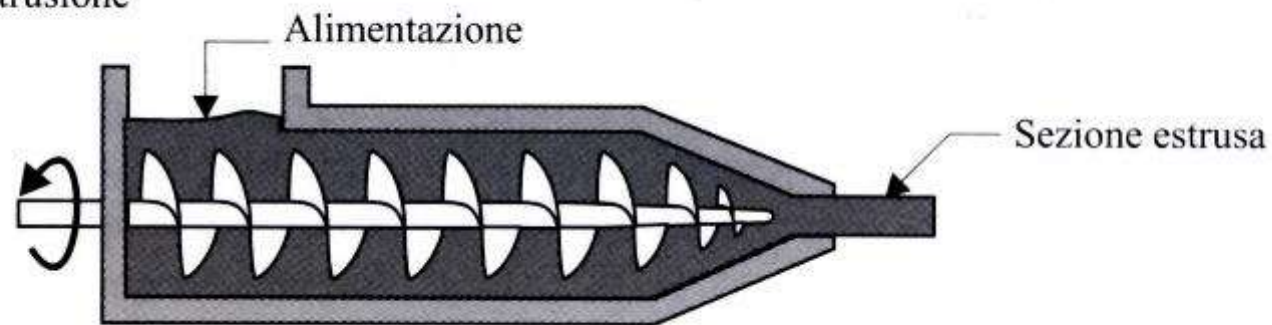
ottenimento pezzi di grosse dimensioni, calco in gesso.

a) Pressatura

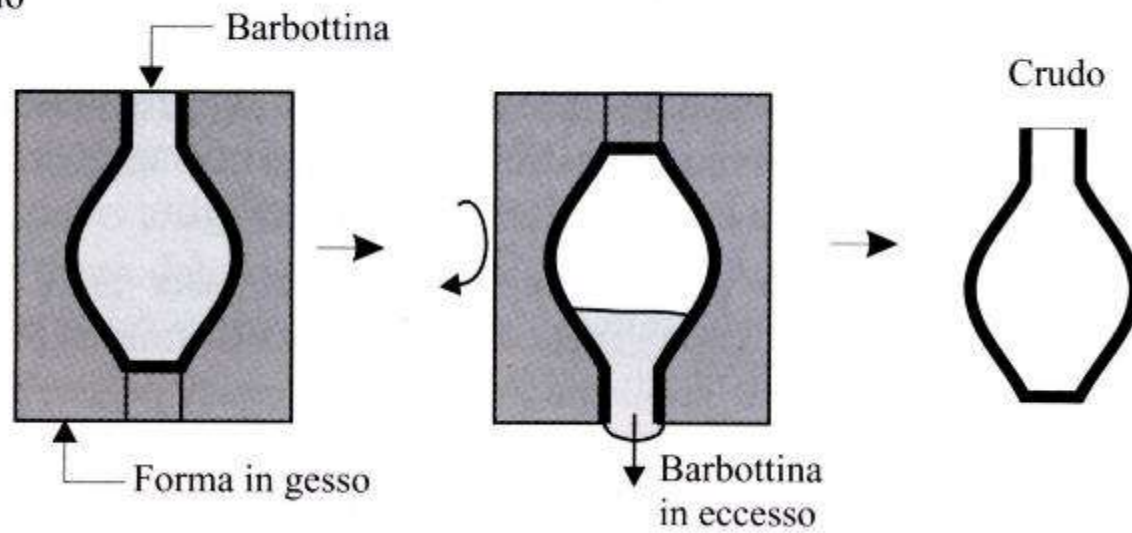


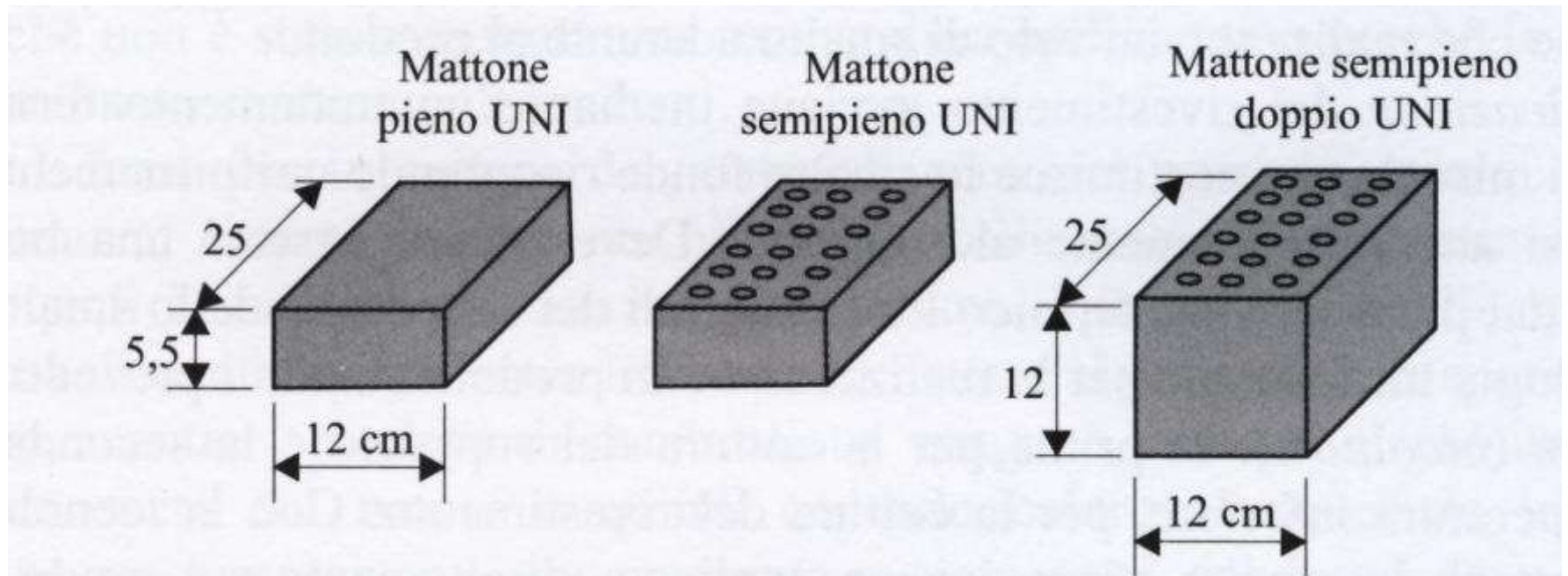
Pressa isostatica

b) Estrusione

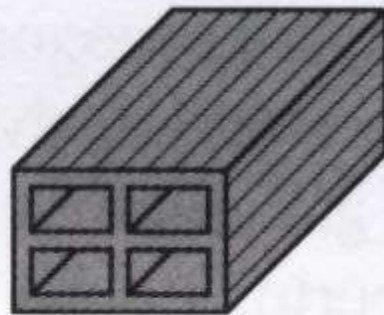
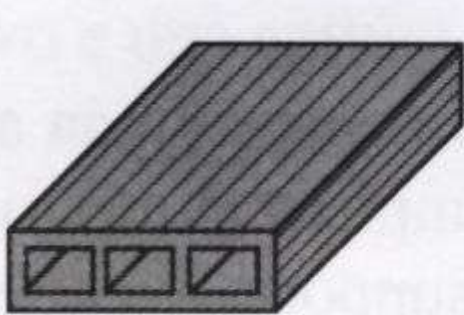


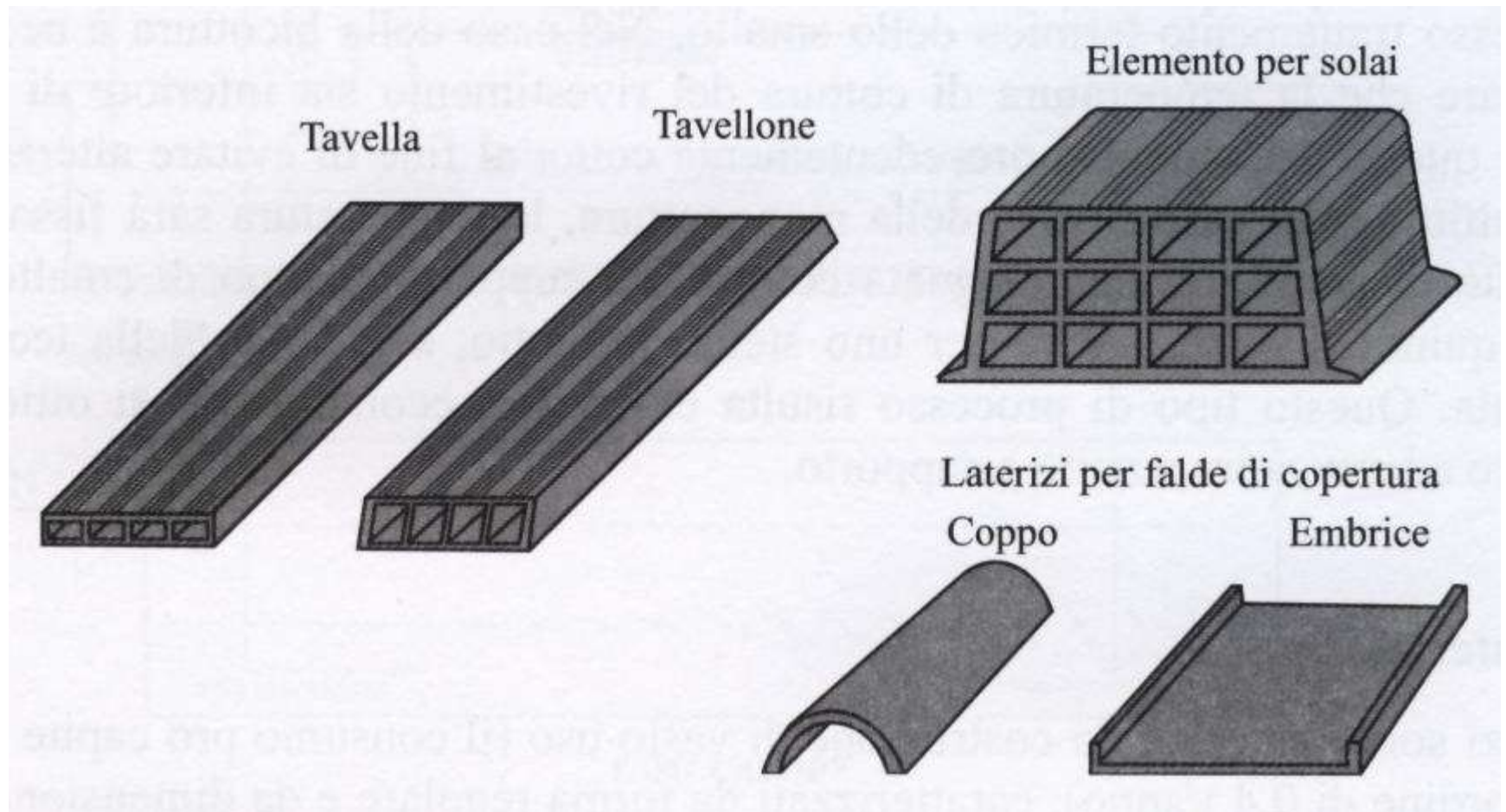
c) Colaggio





Mattoni forati





La fase di essiccamento dei manufatti durava perlomeno un mese ed era naturale, cioè avveniva esponendoli all'aria aperta, non direttamente al sole ed eventualmente provvedendo ad un periodico riposizionamento per favorire l'uniformità del processo su tutte le superfici.

Questa fase, che precede la cottura, è una delle più delicate durante la quale gli oggetti perdono l'acqua di impasto. La velocità con cui avviene questo processo deve essere molto lenta e in particolare si deve verificare che la velocità di evaporazione dell'acqua in superficie sia minore o uguale a quella di diffusione dell'acqua dall'interno alle superfici esterne.

Essiccamento

1

Inizialmente viene eliminata l'acqua in eccesso e a questa fase corrisponde il massimo ritiro, infatti mentre l'acqua evapora le particelle dell'impasto si avvicinano tra loro formando una struttura sempre più compatta, ma comunque porosa.

2

Durante la seconda fase la velocità di essiccamento diminuisce perché la superficie non è più alimentata con regolarità dall'interno (riduzione delle dimensioni dei pori).

3

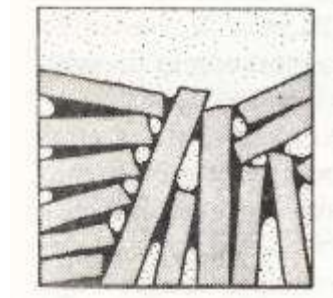
Mentre nella terza fase l'acqua evapora direttamente all'interno dei pori e fuoriesce allo stato di vapore non facendo registrare alcun tipo di ritiro. Ovviamente un essiccamento molto veloce comporterebbe la formazione di cricche che pregiudicherebbero le prestazioni dell'oggetto finito ancor prima di essere cotto.

Essiccamento

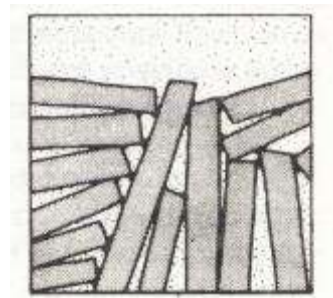
1



2



3

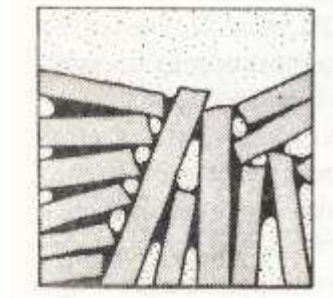


Essiccamento

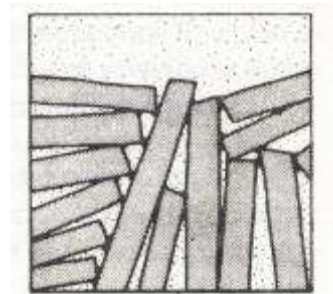
1



2



3



Ritiro lineare:

Caolino

3÷10%

Illite

4÷11%

Montmorillonite

12÷23%

*Lo scopo del processo di cottura è quello di indurre trasformazioni irreversibili nei minerali argillosi in modo da consentire la formazione di **nuovi composti stabili e resistenti che conferiscano al manufatto resistenza meccanica e durabilità**; il mattone cotto è una "pietra" la cui forma e dimensione sono decise dall'uomo.*

Una semplice illustrazione dei processi che avvengono su una argilla al crescere della temperatura di esposizione può essere fatto riguardo alla caolinite, anche se come detto in precedenza questo minerale non è probabilmente quello più comune nelle materie prime per laterizi.

Il primo effetto è la perdita dell'acqua assorbita sulle superfici dei cristalli, che avviene a circa 150 °C. Nell'intervallo 450÷600 °C si ha la perdita in peso equivalente alle due molecole d'acqua di costituzione del reticolo cristallino. Il materiale perde la sua plasticità. Questo composto viene ordinariamente chiamata metacaolino:



Continuando il riscaldamento fino a **950 °C** si ha che l'allumina e la silice si organizzano per dar luogo dapprima alla formazione di uno **Spinello**:



*e successivamente di **mullite** (1000÷1100 °C); poiché il rapporto silice allumina passa da 2:1 a 3:2 si ha la messa in libertà di silice, che data la temperatura si troverà sottoforma di cristobalite:*



La mullite è costituita da cristalli aciculari, aghiformi che sono responsabili della notevole resistenza meccanica che si riesce ad ottenere nei manufatti trattati alle temperature più alte.

È difficile scrivere in formule le reazioni per altre tipologie di argille.

L'illite perde l'acqua di costituzione in un ampio intervallo e può ritrovarsi parzialmente inalterata ancora a 900 °C.

Le montmorilloniti si disidratano in maniera complessa: in una prima fase a circa 600 °C si elimina l'acqua di costituzione della componente brucitica, $Mg(OH)_2$, mentre la disidratazione si completa a circa 800 °C.

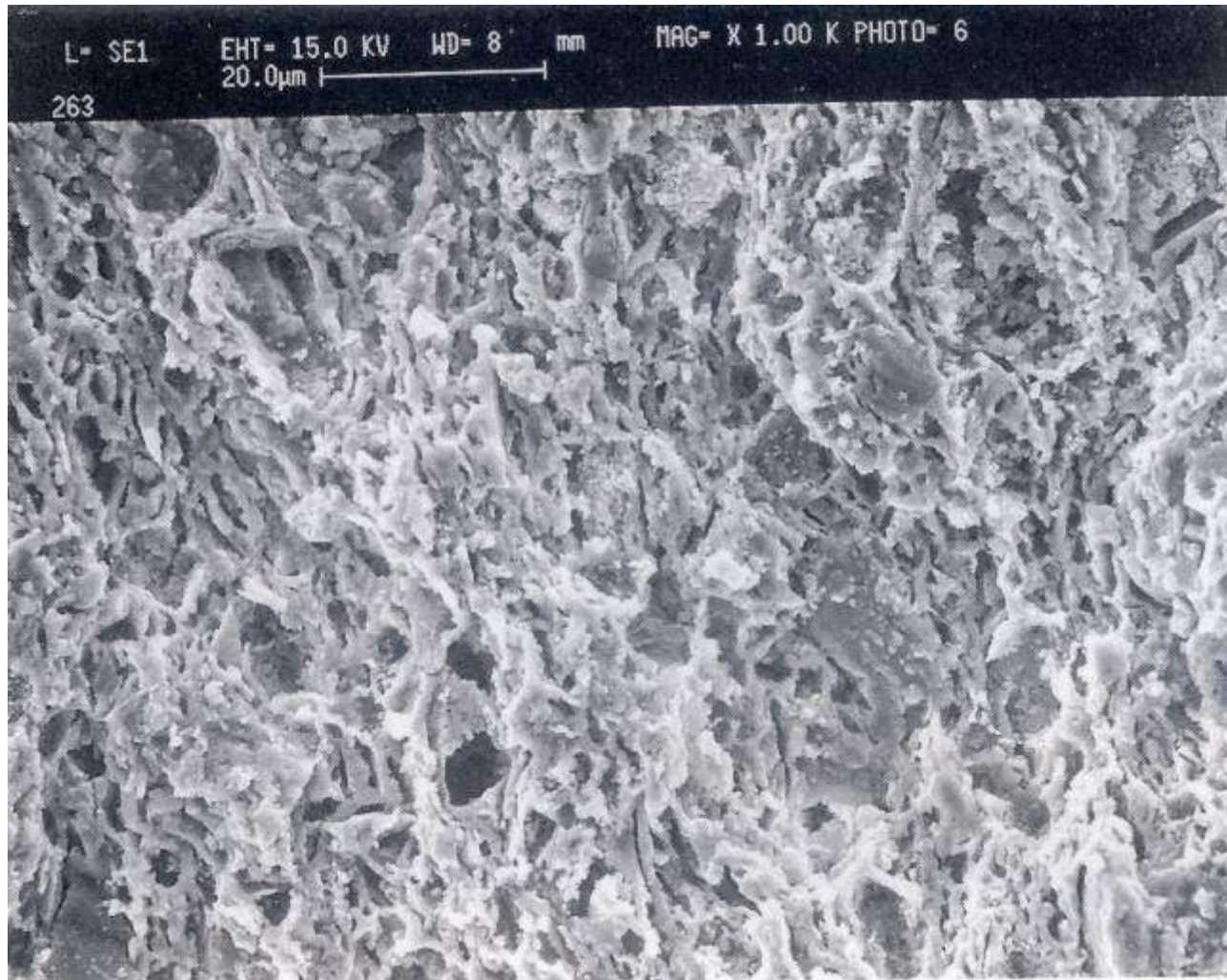
Questi processi di vero e proprio “collasso” strutturale dei reticoli cristallini delle argille pongono in libertà tutta una serie di componenti che possono quindi ricombinarsi tra loro e con gli ossidi CaO e MgO derivanti dalla decomposizione dei rispettivi carbonati (calcari, calcari magnesiaci, dolomiti; i calcari a circa $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ e i componenti dolomitici a temperature inferiori).

La disponibilità di ossidi di calcio e di allumina e di silice consentono, a temperature comprese tra 900÷1000 °C, la formazione di silicati e silicoalluminati di calcio e ferriti che esercitano un'azione legante nella microstruttura del materiale; tra le principali neoformazioni vi sono: Wollastonite ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) e Gehlenite ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$).

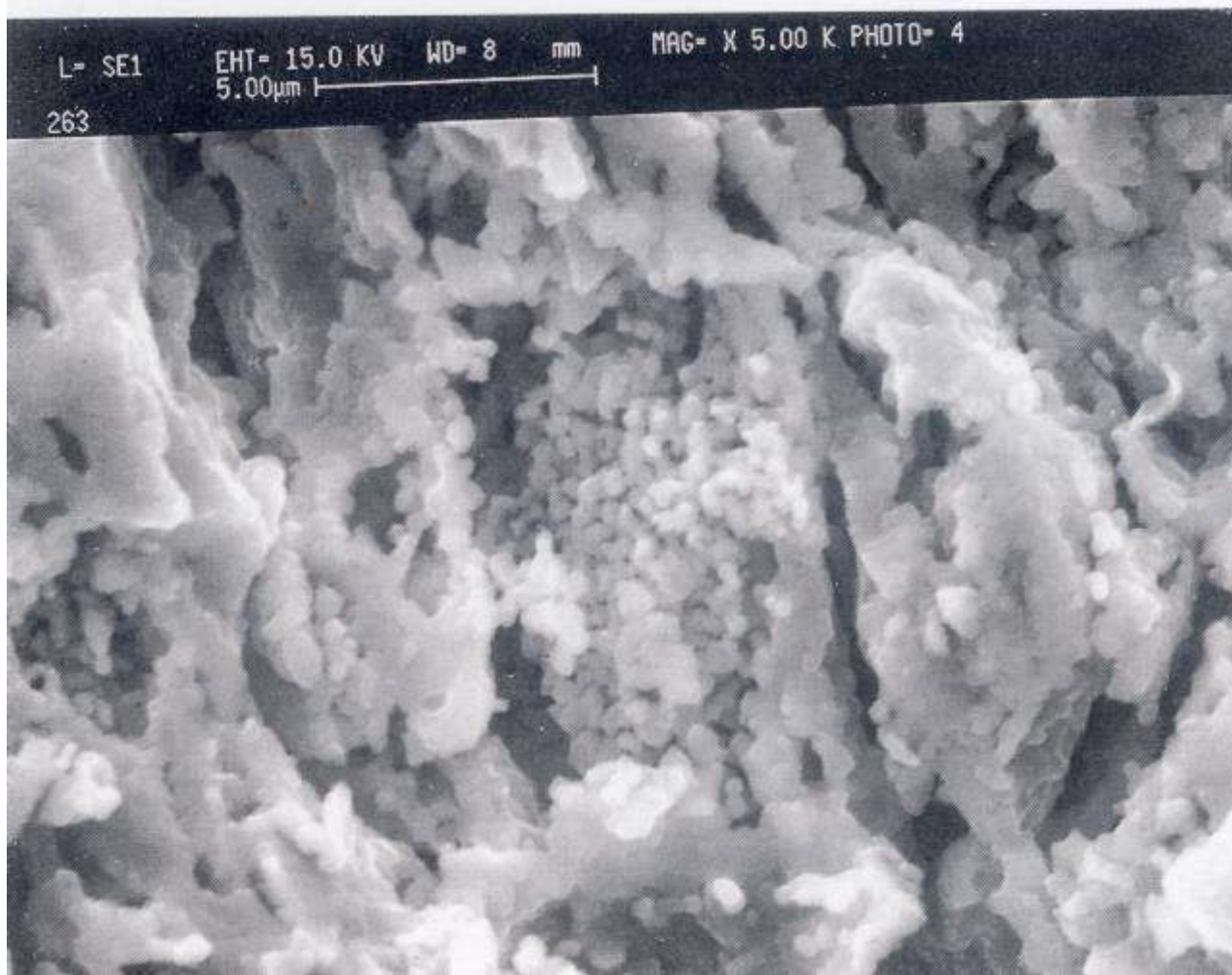
Questo complesso di reazioni avvengono in parte allo stato solido nei punti di contatto tra i micrograni (polveri più fini sono più reattive) che nella fase liquida che si forma in quantità progressivamente crescente con la temperatura per fusione di alcuni silicati (il composto $30\%K_2O$ $4\%Al_2O_3$ $66\%SiO_2$ fonde a $695^\circ C$, un eutettico a $918^\circ C$ si forma nel sistema K_2O $2SiO_2$ - K_2O Al_2O_3 $4SiO_2$)

Il forte legame che si instaura sul cotto, e quindi la solidità e la coesione del manufatto, a queste temperature è prevalentemente dovuto all'intreccio dei cristalli di wollastonite e gehlenite ed alla solidificazione della fase fusa.

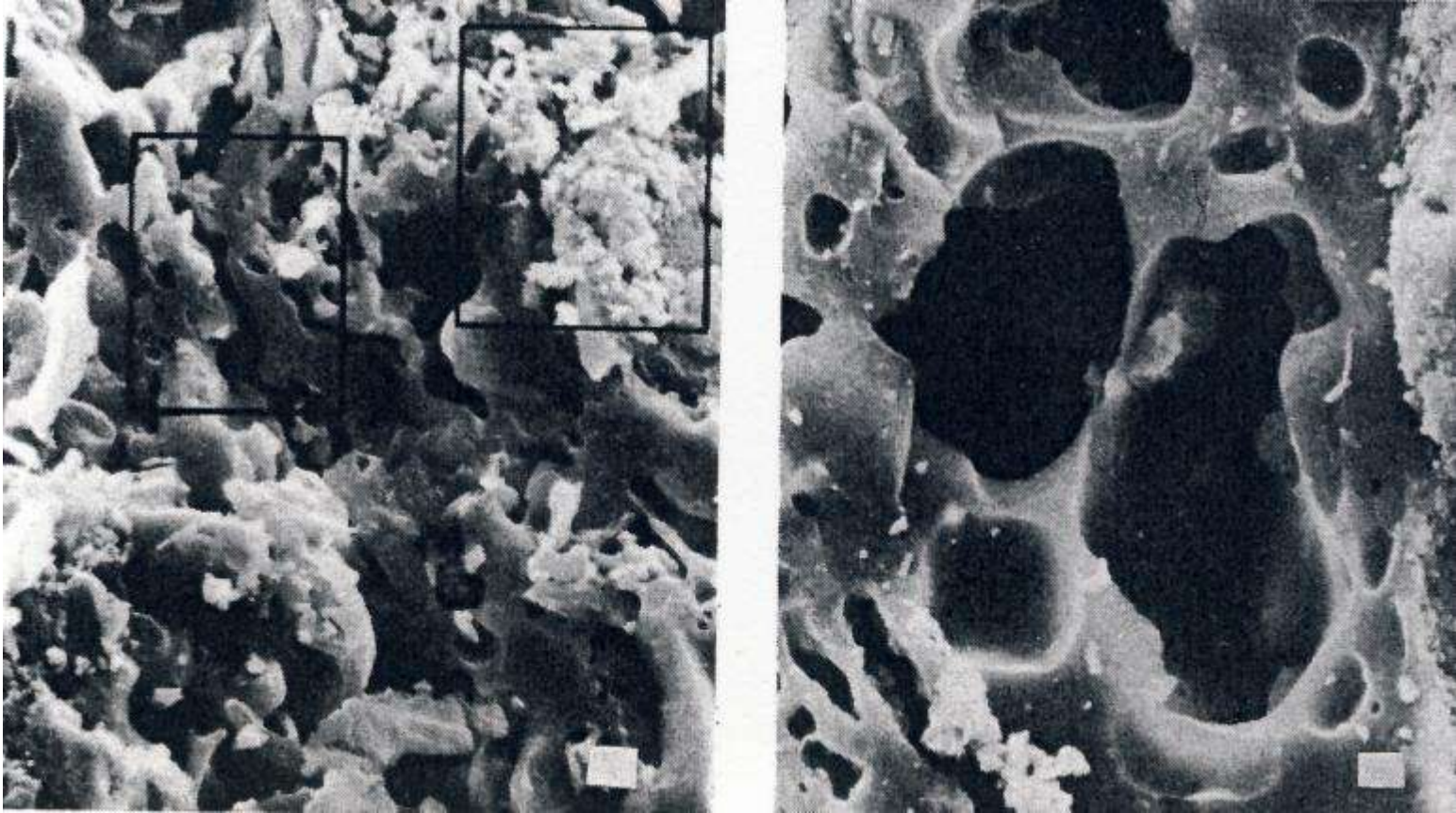
Riguardo a quest'ultima si osserva che nelle miscele dove l'illite è l'argilla predominante, una situazione piuttosto comune, a basso contenuto di carbonato, ad alto contenuto di ferro, in atmosfera riducente si costituisce un eutettico tra la silice e l'ossido ferroso poco oltre i 900°C e la quantità di fuso che si forma è tale da portare ad una discreta "greificazione". Sui materiali antichi si è talvolta riscontrata anche la formazione di diopside, $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)$, e di clinoenstatite, $\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$.



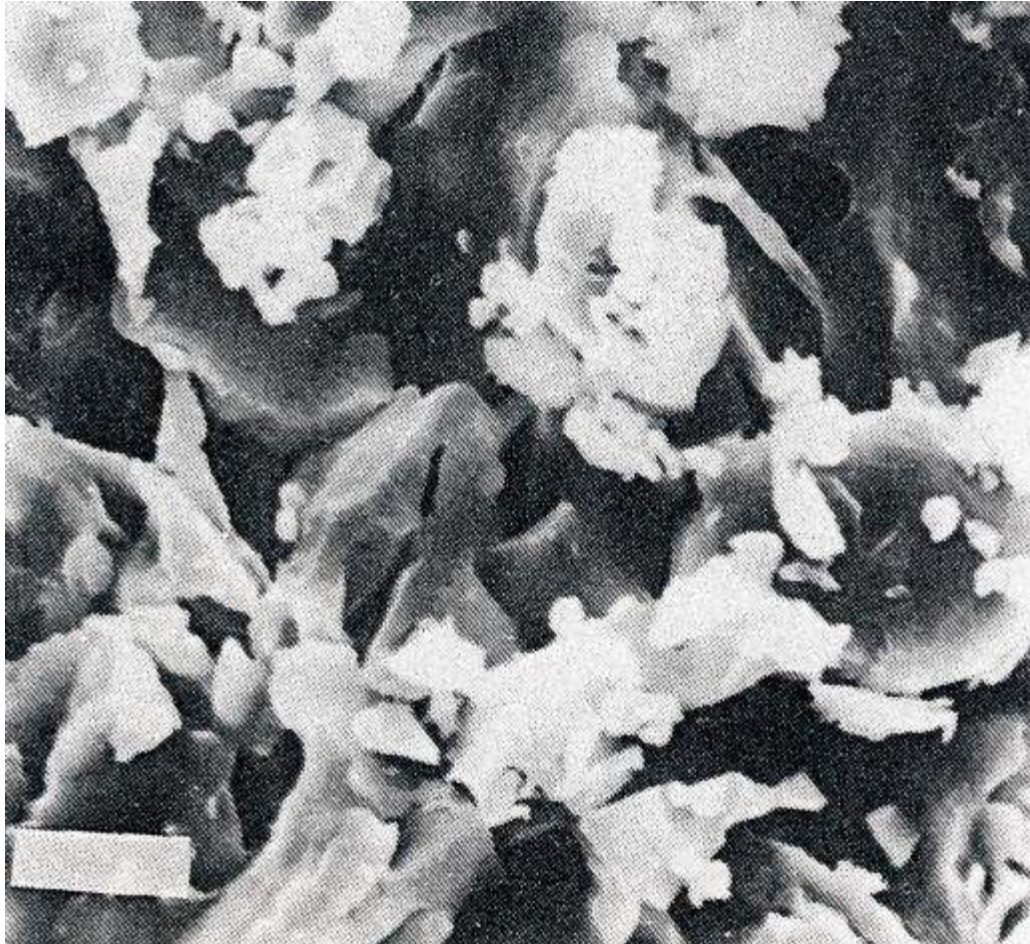
Microstruttura di un mattone: porosità e granelli di neoformazione.



Microstruttura di un mattone: porosità e granelli di neoformazione.



Microstruttura di un mattone.



Microstruttura di un mattone.

Caratterizzazione

	<i>P, %</i>	<i>Reggio medio, μm</i>	<i>σ_c, N/mm²</i>
<i>1</i>	<i>28</i>	<i>0.15</i>	<i>55</i>
<i>2</i>	<i>36</i>	<i>0.60</i>	<i>30</i>
<i>3</i>	<i>31</i>	<i>0.30</i>	<i>45</i>
<i>4</i>	<i>36</i>	<i>0.60</i>	<i>45</i>
<i>5</i>	<i>34</i>	<i>0.80</i>	<i>35</i>
<i>6</i>	<i>36</i>	<i>0.80</i>	<i>30</i>
<i>7</i>	<i>32</i>	<i>0.30</i>	<i>45</i>
<i>8</i>	<i>34</i>	<i>0.2</i>	<i>40</i>
<i>9</i>	<i>29</i>	<i>0.015</i>	<i>55</i>

Caratterizzazione

Per quanto concerne l'edilizia storica, probabilmente i primi dati sperimentali di resistenza a compressione di mattoni furono pubblicati da Gauthey nel 1774 (Journal de physique); i valori riportati variavano da 13 a 17 N/mm².

Il mattone di moderna produzione in Italia utilizza materie prime con proporzioni minerali argillosi:carbonato:quarzo+feldspato = 40:20:40; le argille sono illitico-cloritiche e smectitiche. Le temperature di cottura sono comunemente tra 900 e 1000°C (ma talune produzioni di mattone forato si fanno anche a 800°C mentre per i mattoni a faccia vista, avendo una evidente vetrificazione, si può salire a 1100 °C).

La porosità aperta P varia nell'intervallo 30÷40%, con diametro medio dei pori frequentemente tra 0.5 e 1.5 μm . I valori di resistenza flessione (intrinseci, non del mattone forato nel suo complesso) variano da 5.5 a 10.5 N/mm²; in particolare per i campioni di mattone pieno si ha in media 8 N/mm².

Oltre ai mattoni correttamente cotti, si possono avere anche mattoni cotti male e dunque inutilizzabili.

*Da un'eccessiva cottura derivano i **ferrioli**, sono scuri e hanno scarsa porosità. La carenza di porosità fa sì che essi abbiano maggiori resistenze meccaniche, ma che aderiscano difficilmente alla malta cementizia una volta che sono messi in opera.*

***Forti**. Di buona cottura.*

*Quelli poco sono invece chiamati **albasi**, sono di colore chiaro, molto porosi e dunque scarsamente resistenti dal punto di vista meccanico.*

Corso di Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata

I materiali Ceramici