

Laboratorio di Restauro, Prof. D. Fiorani, Facoltà di Architettura, Sapienza Università di Roma, anno accademico 2015/16:

Materiali tradizionali dell'edilizia storica.

A cura di Chiara Porrovecchio.

Tutti i materiali, per quanto resistenti li si possa scegliere, sono inevitabilmente destinati a subire nel tempo una serie di processi e modifiche che comportano un peggioramento delle loro caratteristiche chimico-fisiche e strutturali. Tali processi, che si manifestano con quello che nel lessico del restauro viene chiamato degrado, sono il risultato dell'azione sinergica di fattori estrinseci (condizioni ambientali, azione di biodeteriogeni, fattori antropici, eventi catastrofici) ed intrinseci (natura dei materiali, messa in opera, tecniche costruttive) del manufatto.

Al fine di individuare univocamente i vari tipi di degrado si adotta uno standard realizzato dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro denominato NorMal, acronimo di Normativa Materiali lapidei. Il NorMal consiste dell'elenco in ordine alfabetico delle più comuni patologie dei materiali da costruzione, descritte accuratamente e corredate di documentazione fotografica, a ciascuna delle quali si associa un retino, in modo da rendere omogenee le mappature di qualsiasi manufatto. Seguendo le indicazioni del NorMal è quindi possibile individuare mediante l'osservazione diretta di fronte a quale tipologia di processo degradativo ci si trova. La corretta diagnosi dello stato di conservazione è fondamentale per tutte le successive azioni di restauro, pertanto molto spesso la più grande difficoltà da affrontare è proprio quella dell'analisi a vista. Non sempre infatti il degrado si presenta facilmente leggibile, ne tantomeno inequivocabilmente conforme alla descrizione fornita dal NorMal, che essendo un codice non può tener conto dei casi specifici. Per utilizzare correttamente il NorMal conviene dunque studiare almeno in modo sommario i materiali lapidei e i loro più comuni processi di degrado. Conoscere le cause consente non solo di individuare più accuratamente la patologia, ma anche di formulare la cura più idonea. Laddove l'analisi a vista supportata dal NorMal e dallo studio di materiali e processi di degrado non fosse sufficiente a chiarire il quadro conservativo di un'opera architettonica, si deve ricorrere a metodi diagnostici di analisi dei materiali con strumentazione scientifica, possibilmente in situ, o in laboratorio, previa raccolta di campioni.

Materiali Lapidei Naturali						
Rocce Vulcaniche			Rocce Sedimentarie		Rocce Metamorfiche	
Intrusive	Effusive	Piroclastiche	Terrigene	Carbonatiche	Di origine ignea	Di origine sedimentaria
<i>Graniti</i>	<i>Basalti</i>	<i>Pomici Pozzolane Tufi</i>	<i>Arenarie Argille Brecce</i>	<i>Calcari Travertini</i>	<i>Peperini Porfidi Serpentini</i>	<i>Marmi</i>
Materiali Lapidei Artificiali				<i>Mattoni crudi</i>		
				<i>Laterizi</i>		
				<i>Malte aeree e intonaci</i>		
				<i>Malte idrauliche e cementi</i>		

Rocce Vulcaniche

Intrusive: Graniti

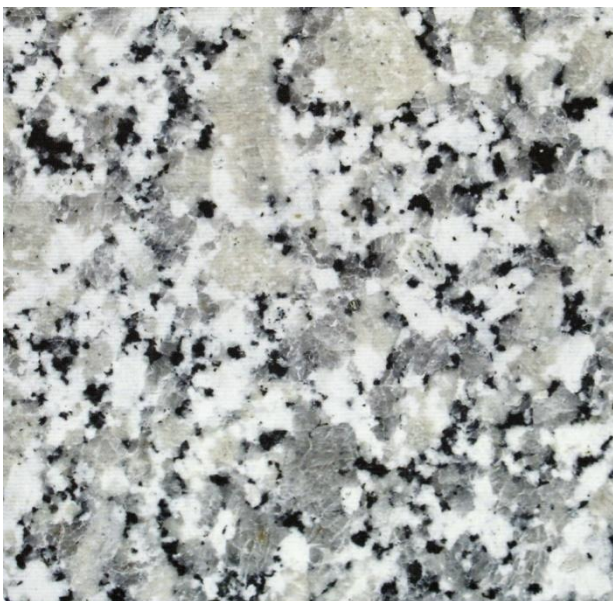
Formazione e composizione dei graniti

I graniti sono rocce vulcaniche **intrusive**, ovvero generate da un processo di solidificazione del magma non fuoriuscito dalla crosta terrestre. Avvenendo **all'interno della camera magmatica**, la solidificazione è molto lenta, a causa delle altissime temperature. In questo modo i cristalli hanno molto tempo per accrescersi prima di completare il processo di trasformazione da fluido a solido, divenendo ben visibili ad occhio nudo.

La **composizione** dei graniti è principalmente **silicatica** ovvero a base di ossidi di silicio. La maggior parte dei cristalli sono quindi di **quarzo** SiO_2 . Altre componenti mineralogiche importanti sono vari tipi di feldspati e le miche, ovvero cristalli di ossidi di silicio e alluminio detti anche **silicoalluminati**. Ovviamente le diverse varietà di granito presentano in minore percentuale altre categorie di cristalli che le caratterizzano.

Riconoscere i graniti

Graniti bianchi, neri e grigi



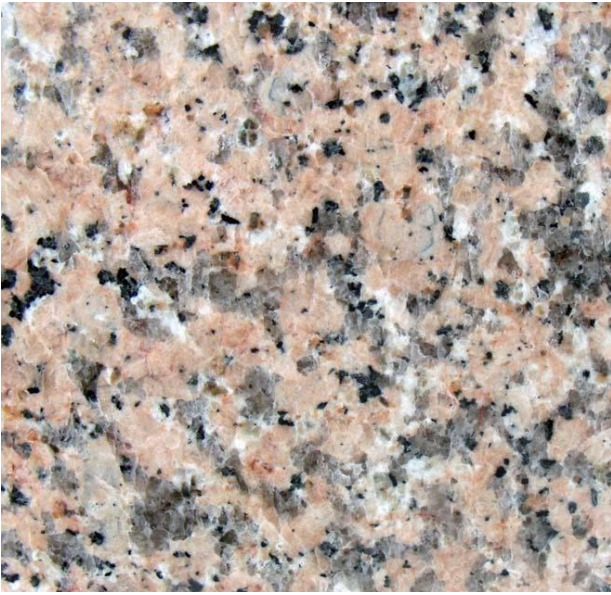
Cristalli bianchi e traslucidi: quarzo (ossido di silicio)

Cristalli grigi: plagioclasio, un tipo di feldspato (silicoalluminato)

Cristalli neri: biotite, un tipo di mica (silicoalluminato)

Granito bianco e grigio, tessitura.

Graniti rosati



Cristalli bianchi e traslucidi: quarzo

Cristalli grigi: plagioclasio

Cristalli rosa: feldspato

Cristalli neri: biotite

Granito rosa, tessitura.

Graniti rossi

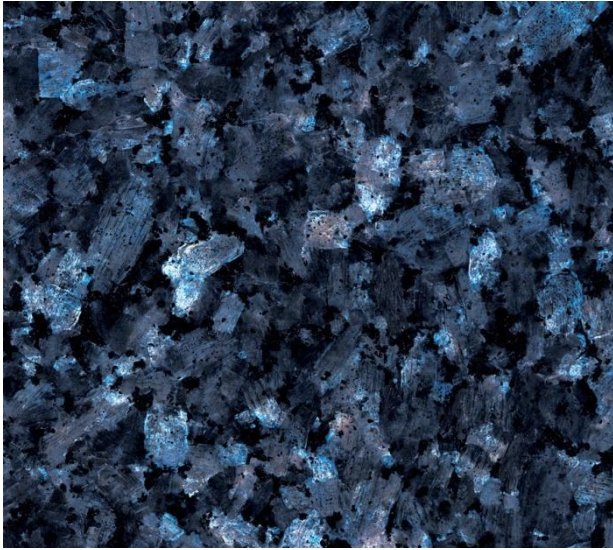


Cristalli traslucidi: quarzo

Cristalli rossi: ortoclasio, un tipo di feldspato (silicoalluminato)

Cristalli neri: biotite

Granito rosso, tessitura.



Granito blu, tessitura.

Graniti blu

Cristalli traslucidi: quarzo

Cristalli blu: tormalina (silicoalluminato)

Cristalli neri: biotite

N.B.: per un accurato riconoscimento del litotipo, per esigenze specifiche, si raccomanda l'analisi petrografica in sezione sottile.



In alto a sinistra: Colonna monolitica in granito del Pantheon. In basso a destra: pavimentazione del Pantheon con lastre di granito. A destra: Obelisco di Piazza del Popolo a Roma in granito.

Il granito è un materiale da costruzione molto resistente utilizzato fin dall'epoca egizia per la realizzazione di elementi monolitici monumentali come gli obelischi. Le imponenti colonne del Pantheon sono anch'esse monoliti di granito. Il granito è stato utilizzato fin dall'antichità anche come materiale per lastre di rivestimento e pavimentali.

Effusive: Basalti

Formazione e composizione dei basalti

I basalti sono rocce vulcaniche **effusive**, ovvero generate da un processo di solidificazione del magma fuoriuscito dalla crosta terrestre **dopo un'eruzione**. La lava, trovandosi improvvisamente esposta a temperature molto più basse che in camera magmatica, solidifica molto velocemente. In questo modo i cristalli non hanno tempo di accrescersi e non sono visibili ad occhio nudo.

La **composizione** dei basalti, pur rimanendo principalmente **silicatica**, è relativamente povera di **quarzo** (presente al 5%). Abbondano invece plagioclasti (alluminosilicati), pirosseni e olivine (silicati di ferro e magnesio).

Riconoscere i basalti



A sinistra: frammento di basalto. A destra: fotografia al microscopio petrografico di una sezione sottile di basalto.

Il basalto ha l'aspetto di una roccia grigio nera molto compatta, i cristalli sono visibili solo in sezione sottile osservata al microscopio ottico petrografico.



In alto a sinistra: basolato in basalto dell'antica Via Appia. In alto a destra: pavimentazione in sampietrini di basalto. In basso: Chiesa del Gesù Nuovo a Napoli.

L'antica tradizione romana dell'uso del basalto per la pavimentazione stradale si riflette ancora oggi nella produzione dei sampietrini. Il basalto è un ottimo materiale da costruzione, molto resistente e al tempo stesso facilmente lavorabile, caratteristiche che lo rendono particolarmente comodo per la realizzazione di complesse decorazioni, soprattutto in zone vulcaniche dove abbonda, come ad esempio Napoli.

Piroclastiche: Pomici, Pozzolane, Tufi

Per rocce piroclastiche si intende tutti i litotipi la cui origine è un **evento vulcanico esplosivo**. I lapilli di lava incandescente, le polveri e le ceneri derivanti da un esplosione vulcanica sono le materie prime per la formazione di pomici, pozzolane e tufi. Non tutti i vulcani danno necessariamente luogo a fenomeni esplosivi. In Italia ad esempio il Vesuvio è un vulcano ad attività esplosiva, ciò denota la sua pericolosità non ostante i suoi lunghi periodi di quiescenza, mentre l'Etna, seppure molto più attivo, dà origine a soli fenomeni effusivi (colate di magma sulle pendici).

Formazione e composizione delle pomici

Le pomici si originano dalla **solidificazione pressoché immediata dei lapilli** magmatici in un evento vulcanico esplosivo.

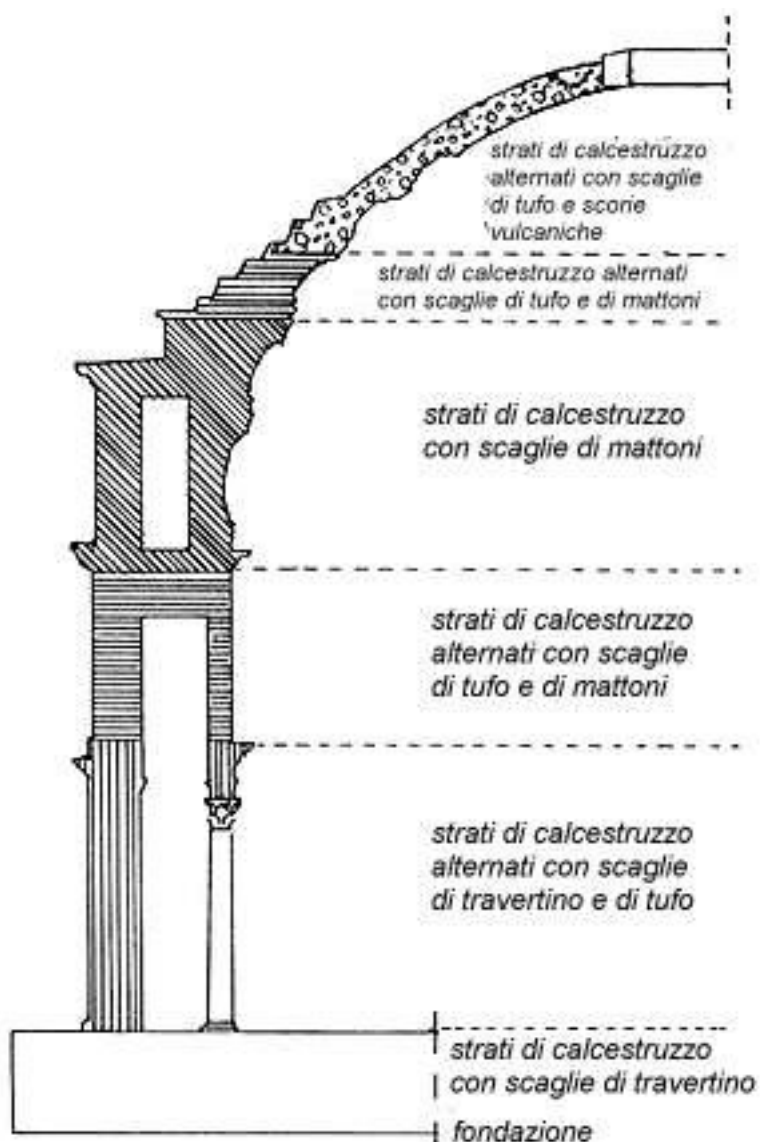
La composizione chimica delle pomici è principalmente costituita da **silice amorfa** (non cristallina, poiché i cristalli non hanno tempo di formarsi in fase di solidificazione del magma), con impurezze di **ossidi di alluminio e ferro**. Le pomici sono caratterizzate da **dimensioni ridotte** ed **elevatissima porosità**, dovuta alla presenza di ingenti quantità di gas durante l'esplosione che vanno a formare bolle nel magma rendendolo schiumoso. Entrambe le suddette caratteristiche rendono la pomice una **pietra estremamente leggera**, ma non per questo meno resistente.

Riconoscere le pomici



A sinistra: pietra pomice comune. A destra: pomici rosse e nere.

I pori della pietra pomice sono di forma pressoché circolare il cui diametro può arrivare a sfiorare il centimetro. Comunemente la pomice appare di colore bianco grigio, ma in caso di elevate percentuali di ossidi di ferro può assumere anche colorazioni dal rosso al nero.



I romani hanno fatto largo uso di rocce piroclastiche nella preparazione di malte idrauliche e conglomerati cementizi. In particolare la pomice, in virtù della sua leggerezza, costituisce in presenza massiccia gran parte del conglomerato della cupola del Pantheon.

Sezione illustrativa Pantheon.

Formazione e composizione delle pozzolane

La formazione e la composizione chimico – mineralogica delle pozzolane sono del tutto **analoghe a quelle delle pomici** con l'unica differenza della **granulometria molto più ridotta** (fino a 2 cm di diametro). In pratica le pozzolane sono “pomici in formato mignon”.

Riconoscere le pozzolane



A sinistra: Pozzolana chiara. A destra: Pozzolana rossa e nera.

La colorazione delle pozzolane varia dai toni bianco - giallastri ai rosso - nerastri in base alle crescenti percentuali di ossidi di ferro.



Malta romana in calce e pozzolana.

Grazie ad una particolare reattività chimica in presenza di calce e acqua, denominata **attività pozzolanica**, la pozzolana è stata utilizzata dai romani come aggregato delle **malte idrauliche** in tutti gli elementi in conglomerato cementizio.

Formazione e composizione dei tufi

I tufi si formano mediante l'**accumulo di lapilli e detriti** prodotti da attività vulcanica esplosiva che solidificano in grandi blocchi grazie a particolari **reazioni chimiche con l'acqua**.

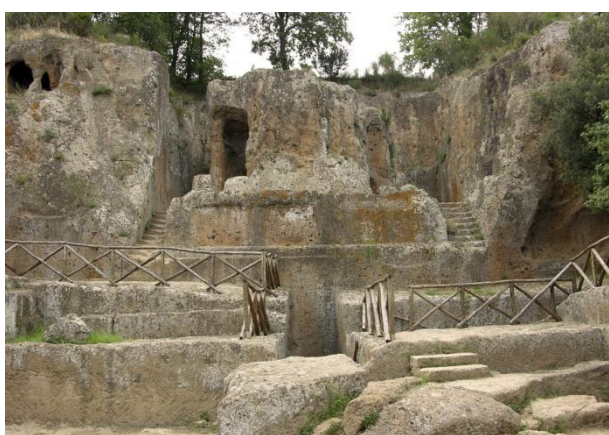
La loro composizione è principalmente costituita da **silice amorfa**. In questa matrice si formano vari cristalli di alluminosilicati, in maggior parte **pirosseni** e **zeoliti**. Quest'ultime sono particolari formazioni cristalline alluminosilicatiche idratate, cioè contenenti molecole di acqua all'interno della loro struttura, che in particolari condizioni possono essere rilasciate sotto forma di vapore.

Riconoscere i tufi



A sinistra: tufo giallo con inclusi pozzolanici. A destra: tufo giallo con pomice incluse.

Il tufo può assumere colorazioni molto variegata, dal giallognolo al marrone al grigio – verde o grigio – rossastro a seconda delle concentrazioni di diversi ossidi metallici dispersi nella matrice silicatica. E' una roccia molto porosa e può presentare inclusi di varie dimensioni in genere di pietra pomice o di natura pozzolanica.



A sinistra: Necropoli etrusca scavata nel tufo (Grosseto). A destra: Mura Serviane realizzate in opus quadratum in blocchi di tufo.



A sinistra: resti del Mausoleo di Augusto. Visibile l'opus caementicium con pezzame di tufo rivestito con paramenti in opus reticulatum in cubilia di tufo. A destra: scorcio nel centro storico di Viterbo, con edifici interamente realizzati in blocchi di tufo.

Il tufo è una roccia molto tenera, facilmente lavorabile, ma al tempo stesso molto resistente, quindi un ottimo materiale da costruzione. Apprezzato fin dall'epoca etrusca ha trovato larghissimo impiego a Roma già in età repubblicana. Molte città del Lazio sono caratterizzate dalla quasi esclusiva presenza di edifici realizzati in blocchi di tufo, come ad esempio Viterbo.

Rocce Sedimentarie

Terrigene: *Arenarie, Argille, Breccie*

Formazione e composizione delle Arenarie

Le arenarie sono rocce formatesi per **cementazione di sabbie in ambiente subacqueo**.

I **grani sabbiosi** hanno composizione chimico – mineralogica varia a seconda dell'ambiente di formazione, tuttavia la maggior parte di essi è costituito da grani di **quarzo**, il più resistente minerale in ambiente subacqueo. La cementazione delle sabbie avviene per pressione e aumento della concentrazione di ioni Calcio in acqua. In tali condizioni si forma un precipitato di **Carbonato di Calcio (CaCO₃)** che va a costituire il **legante** tra i granuli sabbiosi nel fondale. Una volta emersi, i fondali costituiscono massicci rocciosi di arenaria. Molto spesso si può riscontrare, soprattutto in casi di fondali marini, la presenza di **biocalcareniti**, cioè arenarie che includono nella loro composizione una massiccia presenza di resti biologici quali **conchiglie, coralli e fossili** planctonici.

Riconoscere le arenarie



A sinistra: tessitura di una comune arenaria. A destra: frammento di biocalcarenite con inclusi di conchiglie.

Le arenarie si presentano come rocce chiare di colorazione dal bianco al giallognolo. Sono apprezzabili ad occhio nudo i granuli sabbiosi spesso disposti secondo stratificazioni. Nel caso di biocalcareniti non è raro trovare fossili di conchiglie e altre tracce di resti biologici.



A sinistra: rosone della facciata della chiesa di Santa Croce a Lecce, interamente realizzata in arenaria e biocalcarenite. A destra: chiesa della Madonna dell'Idris a Matera, scavata in un massiccio naturale di biocalcarenite.

Le arenarie sono materiali lapidei molto teneri e per tale motivo particolarmente indicate per la realizzazione di complessi elementi decorativi. A Lecce la presenza di massici di arenaria ha permesso lo sviluppo del famoso barocco leccese. Matera e i suoi sassi esistono grazie alla geomorfologia di quel territorio, caratterizzata dalla presenza di biocalcareniti.

Formazione e composizione delle argille

Le argille sono **sedimenti non litificati** composti da **alluminosilicati** appartenenti alla classe mineralogica dei **fillosilicati**. Le argille si formano per decomposizione chimica delle rocce vulcaniche.

I fillosilicati sono costituiti da strati micrometrici di silice legati tra loro da atomi di ossigeno in cui restano intrappolati ioni di **Calcio, Potassio, Sodio, Magnesio e Ferro**.

Le argille sono le materie prime per la produzione di **mattoni crudi e laterizi**.

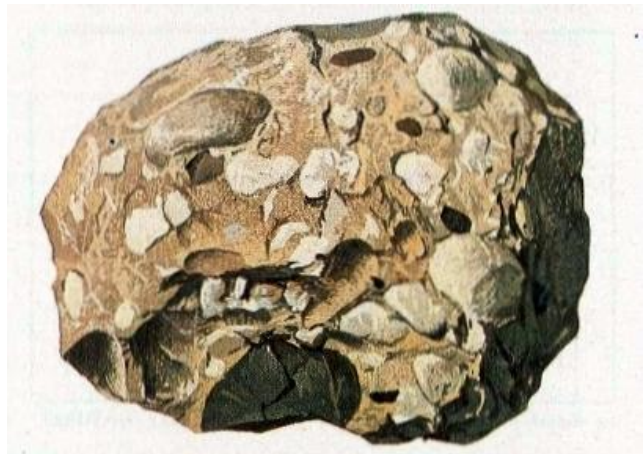
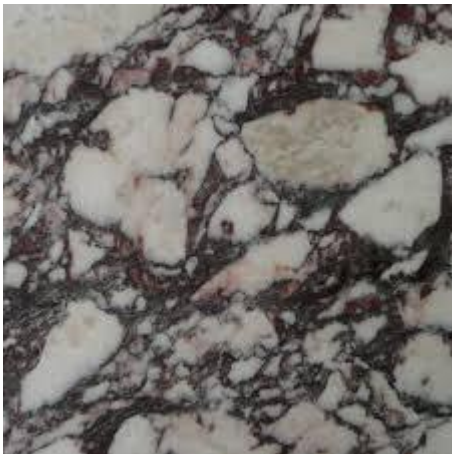
Formazione e composizione delle breccie

Le breccie derivano dall'accumulazione e cementazione di **detriti di altre rocce**. Sono dei **conglomerati naturali** i cui clasti presentano dimensioni non inferiori ai 2 mm di diametro.

La loro composizione è quanto mai eterogenea anche per quanto riguarda il **cemento**, che può essere **di natura argillosa, calcarea o silicatica**.

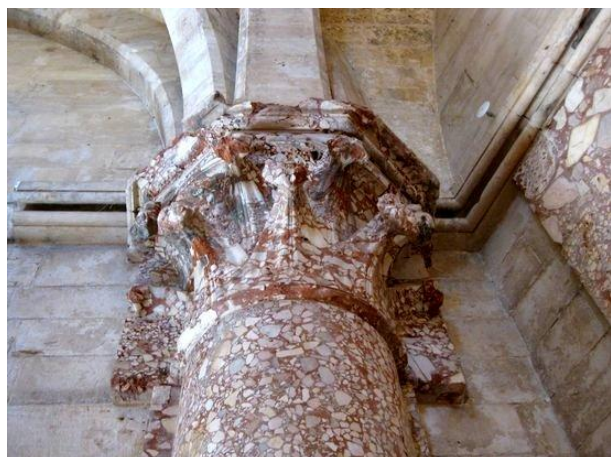
Riconoscere le breccie

Sono propriamente definite breccie tutti i conglomerati naturali che presentano clasti con spigoli vivi. In ambiente subacqueo possono formarsi conglomerati di ciottoli denominati puddinghe.



A sinistra: lastra di breccia. A destra: frammento di puddinga.

Breccie e puddinghe sono state spesso utilizzate per la realizzazione di elementi decorativi: lastre parietali o pavimentali, colonne, balaustre, portali, ecc..



Tutti gli elementi decorativi in Castel del Monte, Andria, sono realizzati in breccia corallina del Gargano.

Carbonatiche: Calcari, Travertini

Formazione e composizione dei calcari

I calcari si formano in **ambiente subacqueo** per **accumulazione di frammenti organici** (gusci di conchiglie, microorganismi, coralli, ecc..) e/o per **precipitazione di carbonato di calcio** da soluzioni acquose soprassature (quando le acque sono altamente ricche di calcio disciolto in esse, si deposita sul fondo il carbonato di calcio solido).

I calcari sono principalmente **composti da calcite, CaCO_3** , spesso associata a **dolomite $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$** . In base all'ambiente di sedimentazione possono presentarsi **impurità** di tipo argilloso o quarzítico.

Riconoscere i calcari

Il calcare ha un aspetto molto omogeneo, superficie liscia, colore bianco. A seconda delle impurità presenti il bianco può virare sui toni del giallo, del rosa o del grigio o possono presentarsi sottili venature colorate. Talvolta sono visibili anche fossili di organismi subacquei.



In alto a sinistra: calcare bianco puro. In alto a destra: calcare organogeno con fossili di conchiglie. In basso a sinistra: calcare grigio con vistose venature quarzítiche. In basso a destra: ciottoli di calcare grigio venato.

Il calcare è da sempre considerato un ottimo materiale da costruzione in quanto facilmente lavorabile, compatto e resistente. Molti centri storici pugliesi sono interamente costruiti in calcare bianco e compatto di cui è ricca la costa dal Gargano a Brindisi.



La Pietra di Trani, con cui è realizzata la famosa Cattedrale è un eccellente calcare da costruzione, bianchissimo, resistente e al tempo stesso molto lavorabile.

Formazione e composizione dei travertini

Il travertino si forma in **ambiente subaereo** per **precipitazione di carbonato di calcio** da soluzioni acquose soprassature. In corrispondenza dell'affiorare di sorgenti, laddove le acque siano particolarmente ricche di calcio, l'abbassamento di temperatura della soluzione, favorisce la precipitazione del carbonato di calcio.

I travertini sono principalmente composti da **calcite**, CaCO_3 , spesso associata a **dolomite** $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$. In base all'ambiente di sedimentazione possono presentarsi impurità di tipo argilloso o quarzatico.

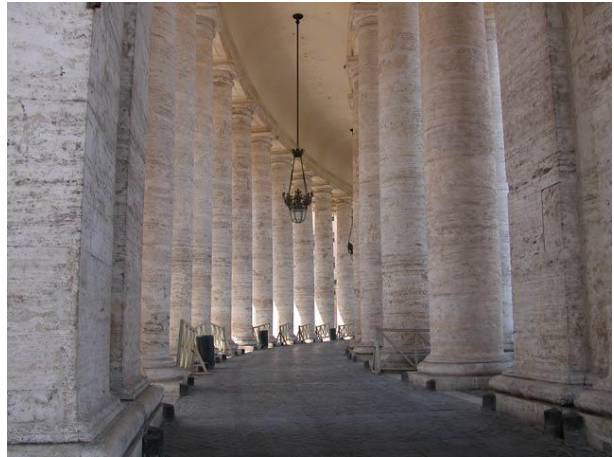
Riconoscere i travertini

Il travertino si presenta di colore bianco e aspetto poroso e disomogeneo. Questa disomogeneità è dovuta alla modalità casuale di precipitazione del calcare in ambiente di formazione. Nella matrice calcarea rimangono inoltre intrappolati materiali organici che decomponendosi lasciano dei vuoti nella pietra.



A destra: blocco di travertino grezzo. A sinistra: travertino ridotto in lastra.

Il travertino è, soprattutto a Roma, dove è sempre stato utilizzato quello di Tivoli, una pietra da costruzione e da rivestimento molto apprezzata. La sua disomogeneità e porosità non ne inficia la resistenza, in quanto i pori sono molto larghi e non collegati tra loro. Grandiosi monumenti romani sono realizzati in travertino, come i pilastri del Colosseo o le colonne del Bernini di Piazza San Pietro. E' perfettamente lavorabile in lastre e lucidabile, quindi molto adatto alla realizzazione di rivestimenti di facciate esterne. Lasciato grezzo è una pietra ornamentale utilizzata spessissimo in fontane e ninfei con effetti suggestivi.



In alto a sinistra: pilastri e volta del Colosseo realizzati in grandi blocchi di travertino. In alto a destra: colonnato di S.Pietro. In basso a sinistra: palazzo della civiltà italiana, Roma EUR, interamente rivestito in travertino. In basso a destra: fontana di Giunone, largo delle quattro fontane, Roma. Il travertino che costituisce il paesaggio di fondo è lasciato quasi a grezzo.

Rocce Metamorfiche

Il processo metamorfico

Per metamorfismo si intende il **processo di trasformazione** a cui sono sottoposte le rocce che subiscono, durante fenomeni di tipo vulcanico e/o tettonico, grandi variazioni di **temperatura e/o pressione**. Durante il processo metamorfico i **cristalli** riorganizzano in modo differente atomi, molecole e reticoli cristallini: **varia solo la morfologia e non la composizione chimica**.

Rocce metamorfiche di origine ignea: Peperini, Porfidi, Serpentine

Formazione dei peperini

Il peperino si forma da un **tufo** originario che subisce un leggero processo di metamorfismo per **pressione** da movimenti orogenetici. Ampie zone di cava si trovano nel viterbese e sui Colli Albani.

Riconoscere i peperini

Il peperino ha un aspetto simile al tufo, di colore grigio – verdastro, con piccoli grani neri lucidi (miche nere e biotiti). Il processo metamorfico riduce notevolmente la porosità del tufo originario, rendendo il peperino una roccia molto compatta, dura e resistente, ma al tempo stesso lavorabile essendo strettamente imparentata con il tufo. Queste caratteristiche hanno permesso di sfruttare il peperino come materiale da costruzione fin dall'età della Roma monarchica.



A sinistra: tessitura del peperino. A destra: resti dell'acquedotto Claudio realizzato in blocchi di peperino dei Colli Albani.



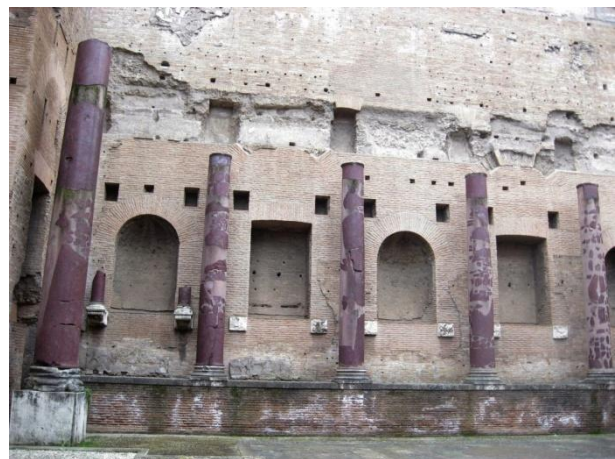
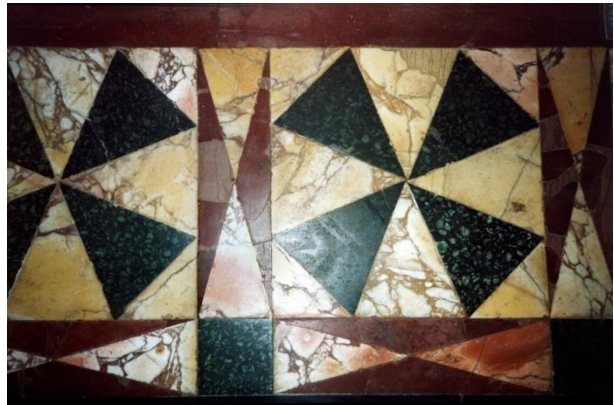
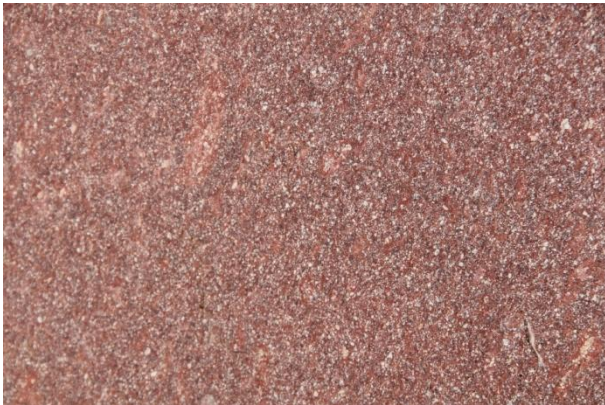
A sinistra: resti del chiostro dell'abbazia di San Martino al Cimino, in blocchetti di peperino. A destra: bosco sacro di Bomarzo, in cui le sculture monumentali sono scolpite in grandi blocchi monolitici di peperino.

Formazione dei porfidi

Il porfido si origina da **rocce ignee effusive silicatiche** che subendo il contatto con il magma molto caldo riorganizzano la morfologia dei loro cristalli.

Riconoscere i porfidi

Il porfido è stato per i romani il materiale per eccellenza dei lussuosi rivestimenti degli ambienti imperiali. Il suo colore rosso simboleggiava il potere dell'imperatore, la sua durezza permetteva di realizzare elementi architettonici e decorativi levigatissimi e molto resistenti. L'alta resistenza alle grandi escursioni termiche lo rende un ottimo materiale anche per rivestimenti e pavimentazioni esterne.



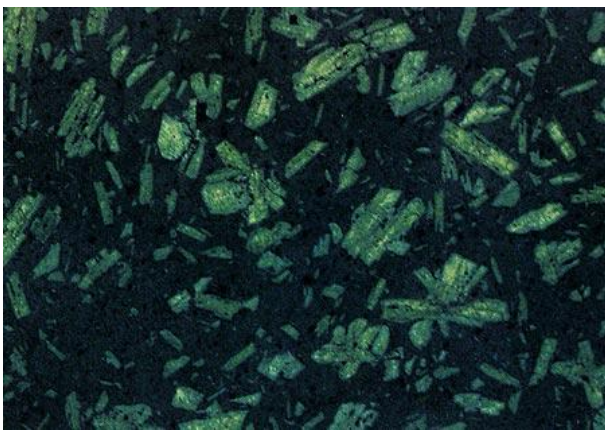
In alto a sinistra: tessitura del porfido. In alto a destra: pavimentazione in opus sectile in Villa Adriana a Tivoli realizzata con lastre di porfido, breccia e serpentino. In basso a sinistra: sarcofago di Costantina in porfido egiziano. In basso a destra: colonne in porfido nella cella della dea Roma, nel tempio di Venere e Roma.

Formazione dei serpentini

Il serpentino si origina da **rocce ignee effusive femiche** che subiscono un processo di metamorfismo per **pressione** da movimenti orogenetici.

Riconoscere i serpentini

Il serpentino ha un bel colore verde scuro brillante, con grandi cristalli ben visibili in verde più chiaro. Duro e resistente, adatto alla lucidatura, la bellezza della sua tessitura lo rende ideale per la realizzazione di lastre per rivestimenti decorativi.



A sinistra: tessitura del serpentino. A destra : Altare con grande rota serpentino, chiesa di San Cesareo in Palatio, Roma.

Rocce metamorfiche di origine sedimentaria: *Marmi*

Formazione dei marmi

Per marmo si intende qualsiasi roccia, originariamente **calcarea**, che abbia subito metamorfismo per **pressione orogenetica**.

Riconoscere i marmi

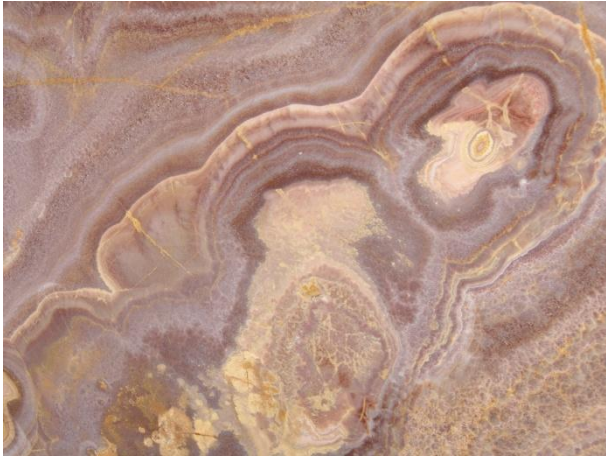
L'enorme varietà di marmi è dovuta alla presenza nel calcare originario di altri minerali oltre la calcite che nel processo metamorfico possono andare ad influire sul colore della pietra o sulla presenza di venature e/o geminazioni. Si possono avere quindi marmi bianchissimi, tipo il Carrara, formati esclusivamente da cristalli di calcite purissima, o marmi venati, come il Cipollino (calcite e vene di mica metamorfica verde), geminati, come l'Onice (calcite, calcedonio giallo o rosso e quarzo), o colorati: nero di Carrara, rosso antico, etc....

Tutti i marmi in ogni caso sono composti essenzialmente da calcite metamorfosata, i cui cristalli sono molto più grandi degli originari. Per questo motivo un buon metodo per riconoscere ad occhio il marmo è quello di osservare una frattura fresca, che deve avere un aspetto cosiddetto "saccaroide" (meglio visibile nei marmi bianchi), ovvero presentare cristalli visibili ad occhio nudo che brillano come granelli di zucchero.

Il marmo è un materiale resistentissimo, durevole, lavorabile e prezioso, pertanto più spesso utilizzato come materiale di rivestimento o per la realizzazione di elementi architettonici decorativi pregiati.



A sinistra: blocco di marmo di Carrara. A destra: aspetto saccaroide dei cristalli di calcite in un marmo bianco.



In alto a sinistra: Venature del marmo Cipollino. In alto a destra: Colonne in Cipollino del Tempio di Antonino e Faustina, Roma. In basso a sinistra: geminazioni dell'Onice. In basso a destra: tessitura del marmo Rosso Antico.

Materiali lapidei artificiali

Mattoni crudi

La terra cruda, purché **ricca di argilla**, è stata da tempi remoti utilizzata in edilizia. Esistono due principali tecniche di costruzione in terra cruda, quella dell'**adobe** e quella del **pisè**.

Si chiama adobe il mattone realizzato formando un impasto a base di argilla e acqua, paglia tritata e leganti naturali (letame) o artificiali (calce), con o senza aggiunta di pietrisco come agglomerante. La paglia evita la fessurazione dell'argilla in fase di asciugatura. Una volta asciutto l'adobe può essere utilizzato come un qualsiasi mattone, posato a secco o con legante di allettamento.

La tecnica del pisè consiste invece nel compattare la terra cruda in casseforme, come si fa con il calcestruzzo. Gli ingredienti dell'impasto sono i medesimi.

Nella maggior parte dei casi, le murature in terra cruda venivano rivestite da un intonaco a sua volta argilloso o a base di calce. Costruire in terra cruda ha il vantaggio dell'economicità e dalla velocità di esecuzione, tuttavia questa tecnica è poco adatta a climi umidi: l'argilla cruda assorbe acqua, dilatandosi, deformandosi e disgregandosi in poco tempo.



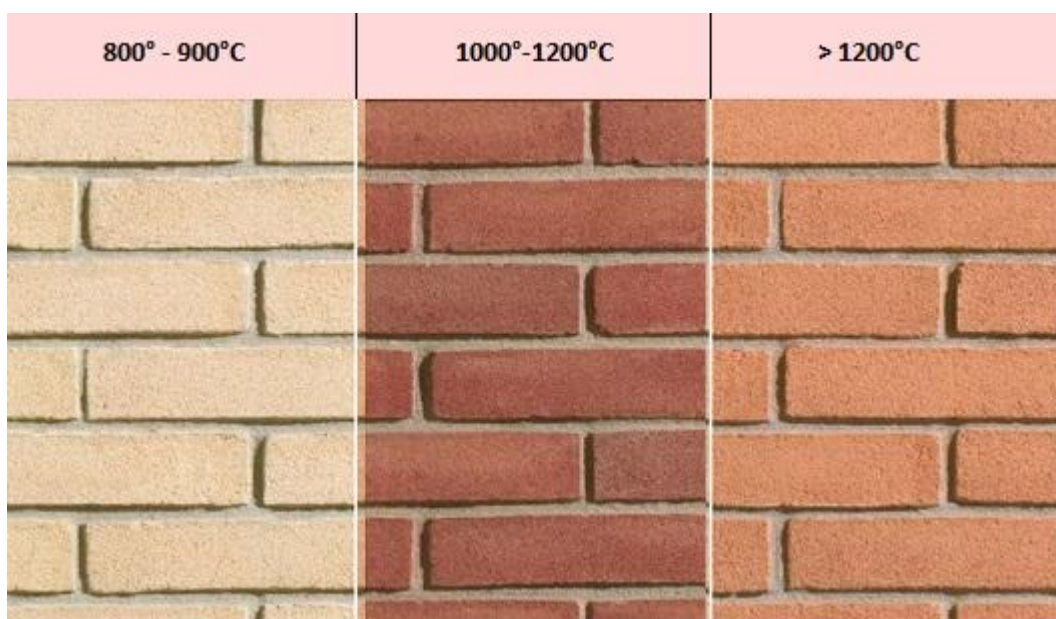
In alto a sinistra: realizzazione degli adobe, Yemen. In alto a destra: resti del palazzo reali dell'antica città di Mari, in Siria, realizzato in mattoni crudi nel II millennio a.C. In basso a sinistra: Quasba dell'oasi di Skoura, XVII secolo, Marocco, realizzata in pisè.

Laterizi

L'uso dei laterizi in edilizia è molto più antico del più noto laterizio romano, risalendo alle civiltà mesopotamiche. Storicamente si può ragionevolmente supporre che il mattone cotto sia un'evoluzione tecnologica dell'adobe. La cottura rende l'argilla di partenza molto più resistente e del tutto impermeabile, ovviando così a tutte le problematiche di durezza delle costruzioni in terra cruda.

Per produrre un buon laterizio occorre un'argilla molto fine e il più pura possibile. Dopo una prima lavorazione di **depurazione** da materiale clastico e/o organico, operato in vasche di decantazione, l'argilla deve riposare almeno per un mese. Reidratando l'argilla depurata e aggiungendo uno **smagrante** opportuno, **sabbia silicea** o **cocciopesto**, che serve per evitare fessurazioni in fase di **essiccazione**, si produce l'impasto che viene colato nelle forme per mattoni. Una volta essiccati i mattoni crudi subiscono un processo di **cottura** alla temperatura di almeno **900°C**, fino a **1200°C** per ottenere il migliore dei risultati. A 900°C avvengono infatti delle reazioni fisico-chimiche che trasformano la natura dei minerali argillosi di partenza: il carbonato di calcio si decompone in ossidi di calcio e anidride carbonica, i fillosilicati si decompongono in silice e allumina. A temperature superiori ai 1000°C si stabilizzano gli **alluminosilicati** di neoformazione, che rendono il laterizio un materiale assimilabile alle più resistenti rocce vulcaniche naturali, conferendogli il tipico colore rossastro.

I laterizi cotti ad alte temperature sono i **migliori** e si possono riconoscere dal **colore più rosato**. Di contro, laterizi che tendono al giallognolo denunciano una cottura incompleta, con conseguenti problemi conservativi. Per risalire **all'esatta temperatura di cottura** di un laterizio si può in ogni caso effettuare un'analisi di **termoluminescenza**, che permette anche di **datare** il momento della produzione, ma **solo** in caso di **materiale interrato**.



Schema orientativo della colorazione dei laterizi in base alla temperatura raggiunta in cottura. N.B.: Il colore non dipende esclusivamente dalla temperatura di cottura, ma anche dalla natura delle materie prime e da eventuali processi chimici e/o chimico-fisici avvenuti sulla superficie nel tempo. Pertanto la valutazione puramente visiva è del tutto indicativa. Per una valutazione più certa occorre effettuare indagini diagnostiche.

Malte aeree e intonaci

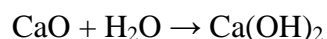
La necessità di disporre di un legante o un materiale adatto a rivestire e a proteggere le opere murarie ha spinto le più antiche civiltà a produrre e perfezionare la calce.

La calce si ottiene mediante triturazione e cottura di rocce carbonatiche. Come già detto alla temperatura di 900°C circa avviene la reazione di decomposizione del carbonato di calcio.



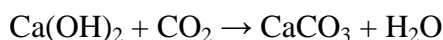
Carbonato di calcio o Calcite a 900°C → Ossido di calcio detto **Calce viva** + Anidride carbonica

La calce viva è un materiale polveroso, caustico non modellabile, non adatto ad essere lavorato così com'è. Occorre quindi procedere al così detto **spegnimento** della calce viva aggiungendo acqua.



Calce viva + Acqua → Idrossido di calcio o **Calce spenta** o **Grassello di calce**

Il grassello è una pasta molto morbida, non in grado di mantenere una forma. Per renderlo plastico ed evitare lesioni in fase di essiccazione occorre aggiungere uno smagrante. A seconda dell'uso che se vuole fare si possono scegliere varie granulometrie per l'impasto: più fini per realizzare intonaci, più grossolane per le malte. In entrambi i casi, dopo la stesura l'impasto subisce altre due trasformazioni. La prima, di tipo fisico, è la perdita dell'acqua in eccesso per evaporazione della stessa (**essiccazione e/o presa**). La seconda è una reazione chimica che avviene grazie alla presenza di **anidride carbonica nell'aria** (da qui il nome di **calce aerea**) che si chiama **reazione di carbonatazione** e che porta alla definitiva solidificazione dell'intonaco o della malta.



Grassello di calce + Anidride carbonica atmosferica → **Carbonato di calcio** + Acqua

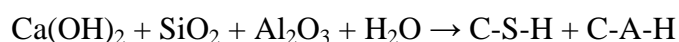
Si ritorna in tal modo a un materiale carbonatico, chimicamente identico alla roccia di partenza, con il vantaggio di essere plasmato in base alle esigenze di chi costruisce. Per tale motivo la calce è uno dei materiali fondamentali della storia dell'edilizia in tutto il mondo.

Malte idrauliche e cementi

Malta idraulica romana

La necessità di realizzare grandiose strutture in poco tempo portò i romani a perfezionare la calce aerea rendendola idraulica. La tecnica costruttiva romana prevedeva quasi sempre il getto di calcestruzzo in casseforme. Usando malta aerea il processo di presa e indurimento era lento e incompleto, in quanto la malta non veniva a trovarsi a contatto con l'aria e con l'anidride carbonica necessaria per la carbonatazione. Utilizzando la **pozzolana** come **smagrante del grassello di calce**, con eventuali aggiunte di **ceneri vulcaniche**, polvere di **tufo** e **cocciopesto**, si otteneva una malta in grado di **fare presa e indurire mediante una reazione con l'acqua**. Nasce così la malta idraulica, fondamentale per l'intera architettura romana.

La **reazione chimica con l'acqua** è **attivata** dagli ossidi di Silicio e Alluminio presenti nella **pozzolana**.



Grassello di calce + Ossido di silicio + Ossido di alluminio + Acqua → Silicati di calcio idrati + Alluminati di calcio idrati

Calce idraulica

Solo nel 1750 Jhon Smeaton scoprì e pubblicò un metodo scientifico per produrre una calce che di per sé, **senza la necessità di aggiungere pozzolana**, avesse caratteristiche idrauliche. Il segreto fu quello di **cuocere un calcare marnoso**, ovvero contenente almeno il **10% in peso di argilla**, ottenendo una **calce ricca di ossidi di silicio e alluminio**.

Cemento Portland

Smeaton aveva brevettato un metodo efficace ma empirico. Non c'era nei suoi studi la consapevolezza della reazione chimica. Entro l'inizio dell'800 molti chimici, soprattutto francesi, come Lavoisier e Le Chatelier, erano giunti alla conclusione che fosse proprio la frazione argillosa del calcare marnoso a reagire con l'acqua. Furono quindi prodotti impasti contenenti fino al 40% di materiale argilloso e fu presa in considerazione la necessità di cuocere a temperature ben superiori ai 900°C (temperatura di cottura per la calce aerea).

Nel 1824 l'inglese Joseph Aspdin mette a punto una formula perfezionata brevettandola con il nome di Cemento Portland, per la somiglianza del prodotto finito alla roccia di Portland. L'innovazione di questa formula, dovuta al progresso degli studi chimici sul comportamento idraulico dei minerali argillosi, fu quella di cuocere una **miscela prodotta selezionando i vari minerali reattivi**: ossidi di

silicio alluminio e calcio in primo luogo, ma anche ferro e magnesio. La temperatura di cottura è di **1480°C**, alla quale i minerali si aggregano formando dei granuli pressoché sferici denominati clinker, a cui viene aggiunto del gesso. Il **clinker** polverizzato è **altamente reattivo in acqua** e forma, per successive reazioni di idratazione, **Silicati di calcio idrati**, che favoriscono un forte **indurimento**, e **Silicati di alluminio idrati** che consentono una **presa** rapida.