



Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio delle **T**ecniche **T**radizionali dell'**A**rea **M**editerranea



DI Dipartimento
C di Ingegneria Chimica,
Ma dei Materiali e della
PI Produzione Industriale



**Materiali leganti tradizionali
ed edilizia sostenibile**

Domenico Caputo

**Bioregionalismo
&**

Architettura Sostenibile

26 febbraio 2020

Napoli



Definizione di leganti

“Si definiscono leganti o cementanti quelle sostanze che impastate con acqua danno origine ad una massa plastica, la quale subisce con il tempo un progressivo processo di irrigidimento fino a raggiungere un’elevata resistenza meccanica.

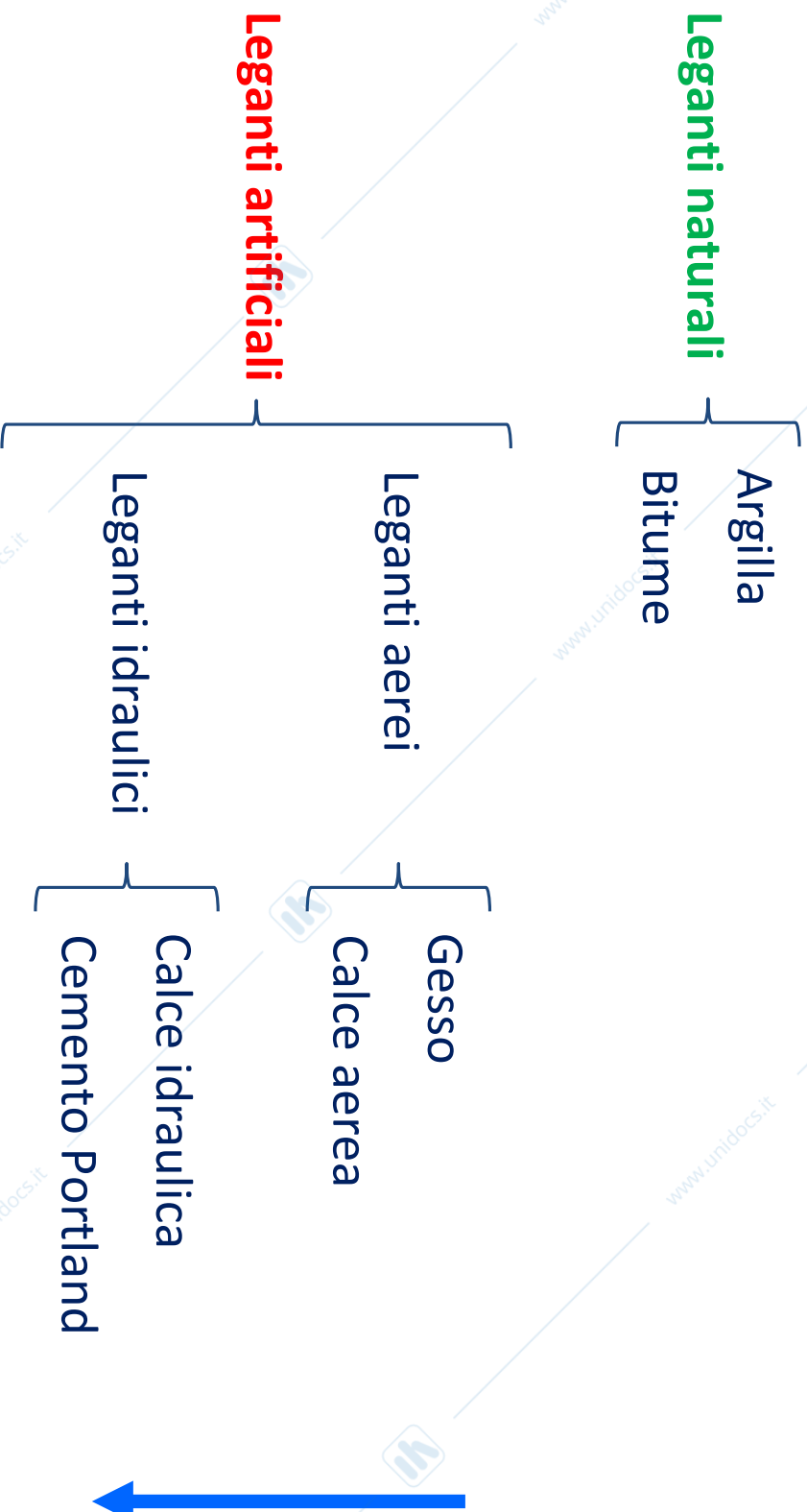
I leganti vengono utilizzati per collegare e tenere uniti altri materiali da costruzione, cui la malta fluida si adatta aderendovi tenacemente”

(C. Brisi, Chimica Applicata, Ed. Levrotto & Bella)

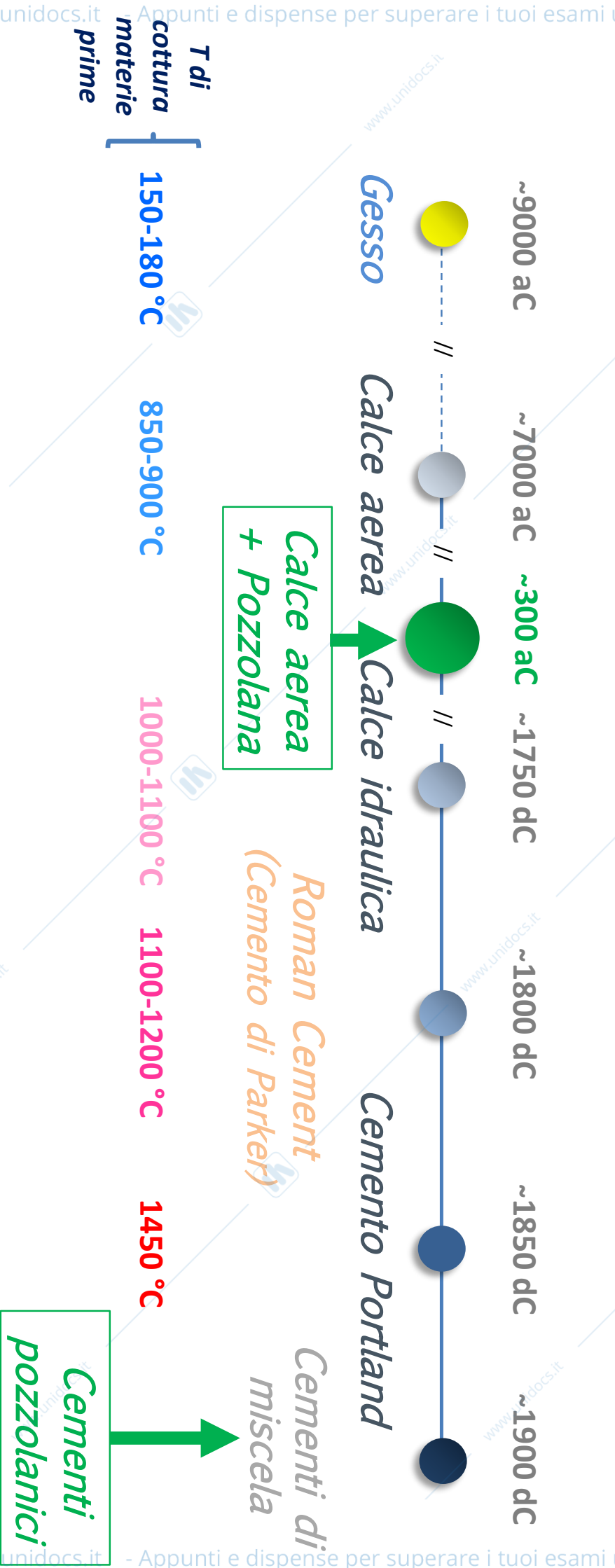


Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Classificazione dei materiali leganti



L'evoluzione dei materiali leganti "artificiali"

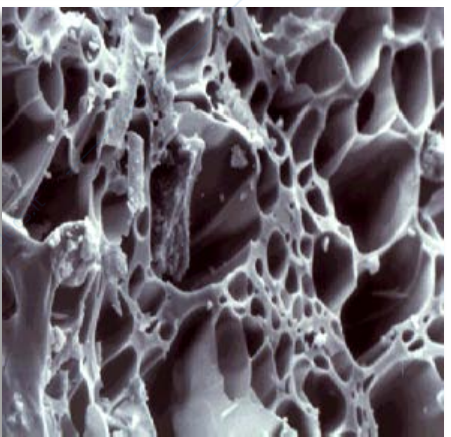


I Romani si resero conto che grazie alla combinazione della calce aerea con la pozzolana la malta diventava idraulica: era in grado di indurire anche sott'acqua e sviluppare una resistenza meccanica maggiore.

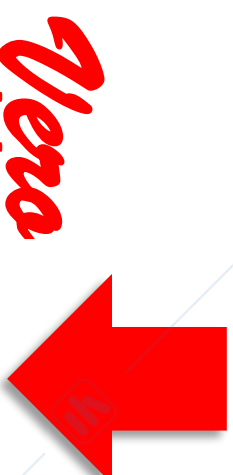
Calce aerea + *Pozzolana*



Malta idraulica



Pozzolana di Baia
(Micrografia SEM 1000X)



Il Cemento Romano



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Il Cemento Romano



Figura 67. *Opus caementicium* con malta terrosa e materiali molto eterogenei (Pompei, VIII, 5, 24).



Figura 68. *Opus caementicium* con malta di buona qualità e ottima coesione fra gli elementi (Pompei, tempio dei Lari Pubblici)

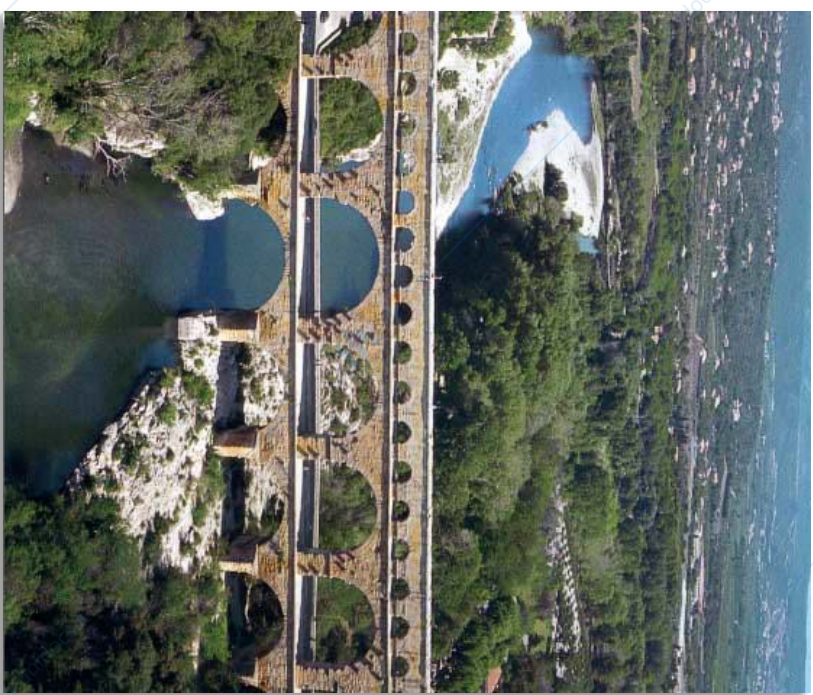
«*Opus caementicium*»

(da: *Monica Giuliano, Materiali da costruzione di Pompei: provenienza, estrazione, tecniche edilizie, 2010*)

Il Cemento Romano



Pantheon, Roma



Pont du Gard (Francia)

Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli



Il Cemento Romano

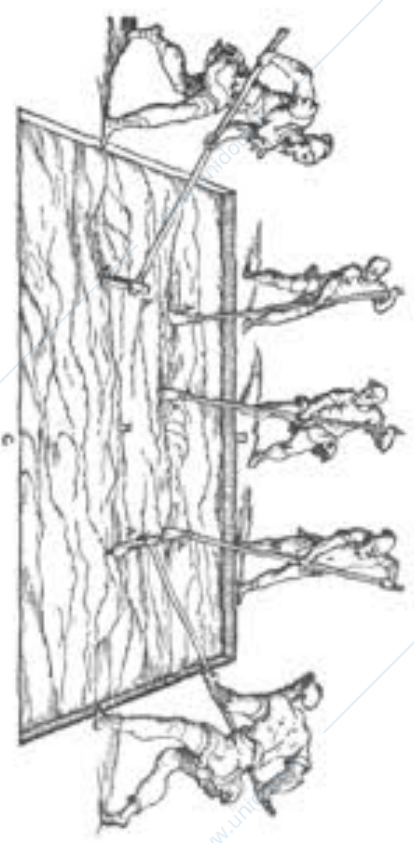
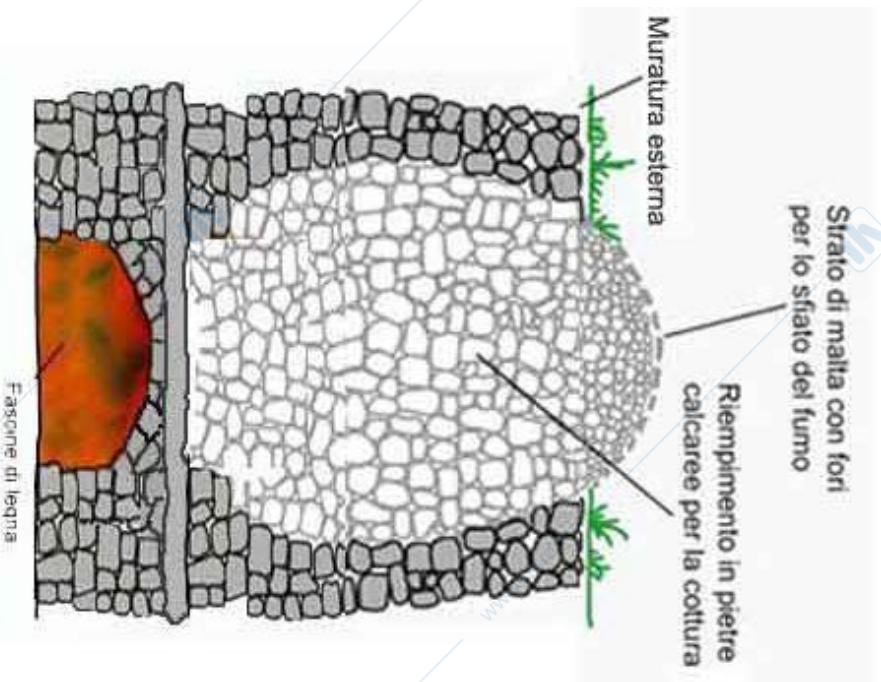


Porto Romano di Baia, Bacoli (Napoli)

Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli



Produzione tradizionale della calce



Fornace di cottura del calcare:
«calcàra» o «carcàra» o «calchéra»

Lo spegnimento della calce

Produzione tradizionale della calce



Fornace di cottura del calcare:
«calcàra» o «carcàra» o «calchéra»

Lo spegnimento della calce



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Calce e pozzolana nella tradizione costruttiva campana



*“Manco lu cane puozze pati
chello ca patisce lu carcararo”*

(Antica nenia locale - Maiori)

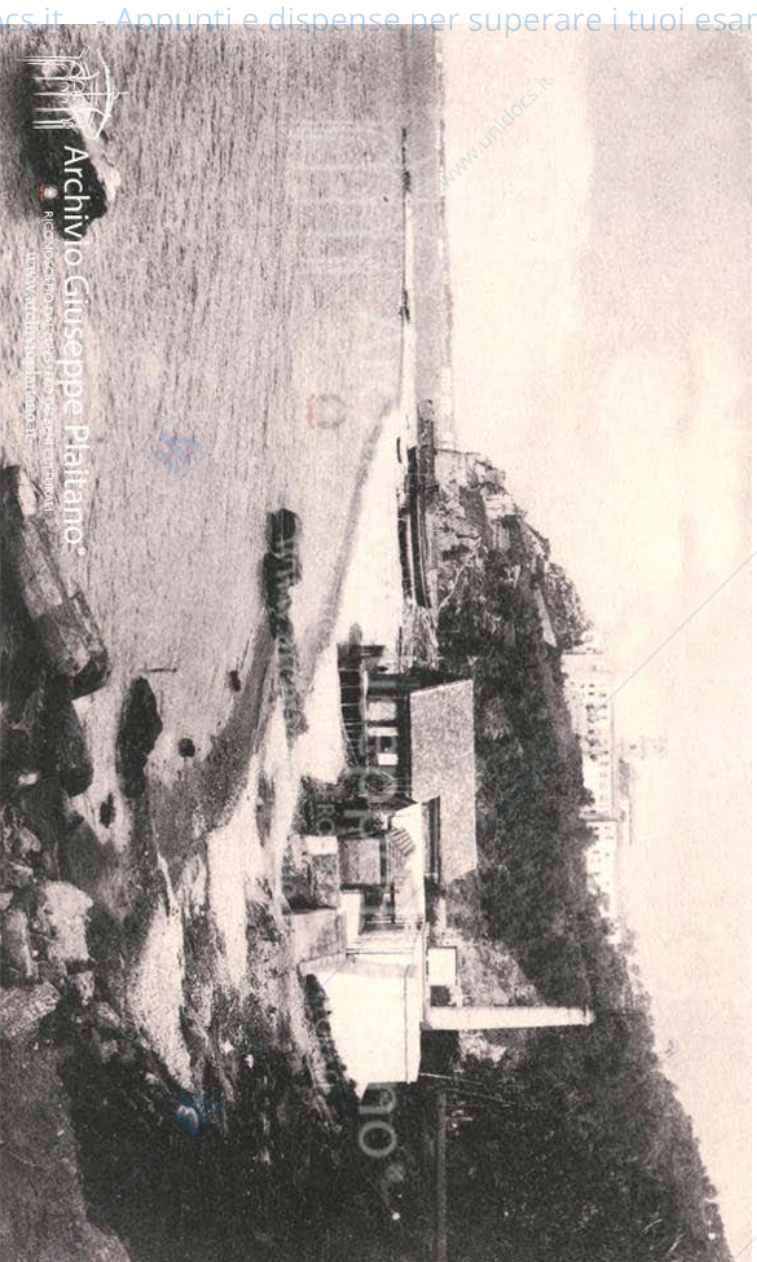


Alcune delle “carcàre” storiche della Costiera Amalfitana



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Calce e pozzolana nella tradizione costruttiva campana



La fornace da calce di Pozzano, C/mare di Stabia



Il Cemento Romano

Calce aerea + *Pozzolana* → *Malta idraulica*

Calce aerea + *Polvere di mattoni e di laterizi* → *Malta idraulica*



Il Cemento Romano

**Polvere
di mattoni
o di laterizi
+ Calce aerea**



Malta idraulica

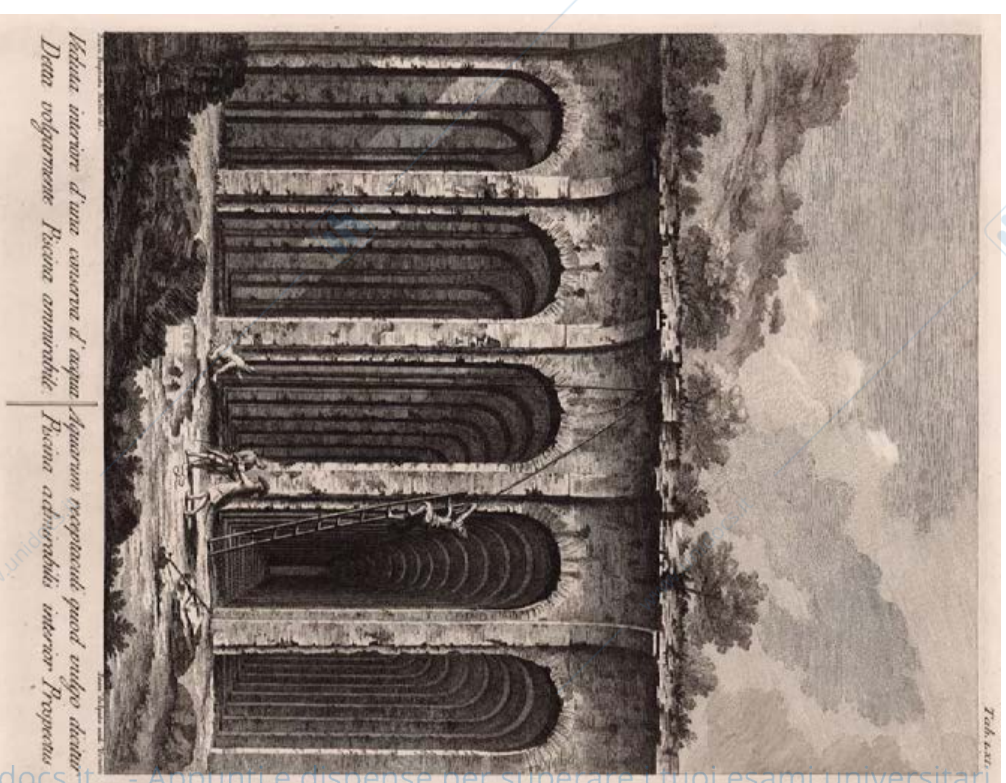
“COCCIOPESTO”



Villa di Pollio Felice, Sorrento



“COCCIOPESTO” Il Cemento Romano



*Estata interior d'una caverna di acqua Aquarum receptaculo quod vulgo dicitur
Data vulgari nomine Piscina ammirabilis Piscina admirabilis interius Praeputium*

Piscina Mirabilis, Baicoli (Napoli)

Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli



“COCCIOPESTO”

Recupero di laterizi da scarti di demolizione



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Il Cemento Romano

Calce aerea + Pozzolana → *Malta idraulica*

Calce aerea + Polvere di mattoni o di laterizi → *Malta idraulica*

Calce aerea + Tufo zeolitici → *Malta idraulica*



Depositi di tufi (zeoliti sedimentarie) in Italia

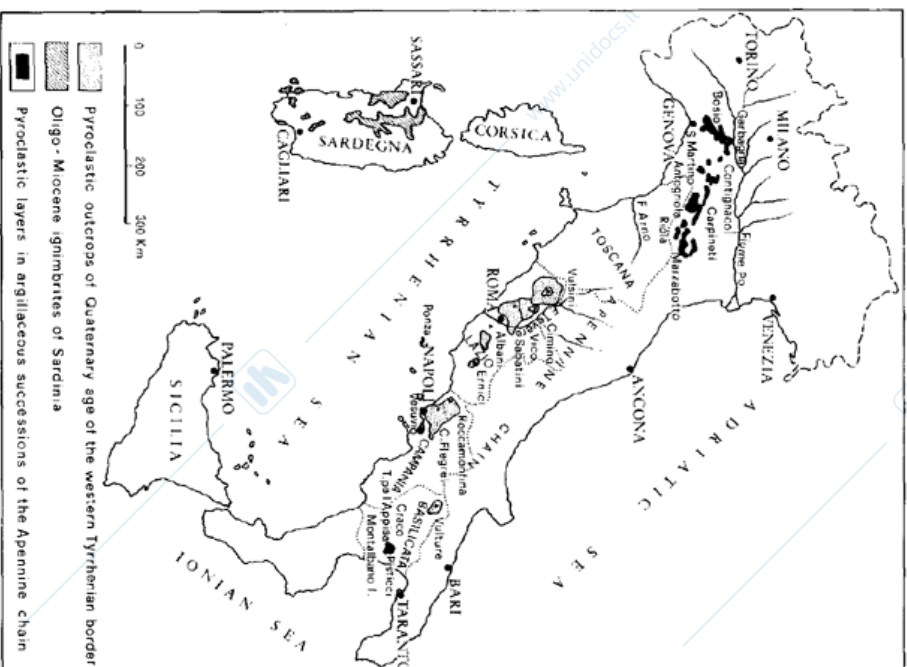


Fig. 1. Sketch map of the main outcrops of zeolitized pyroclastic deposits in Italy

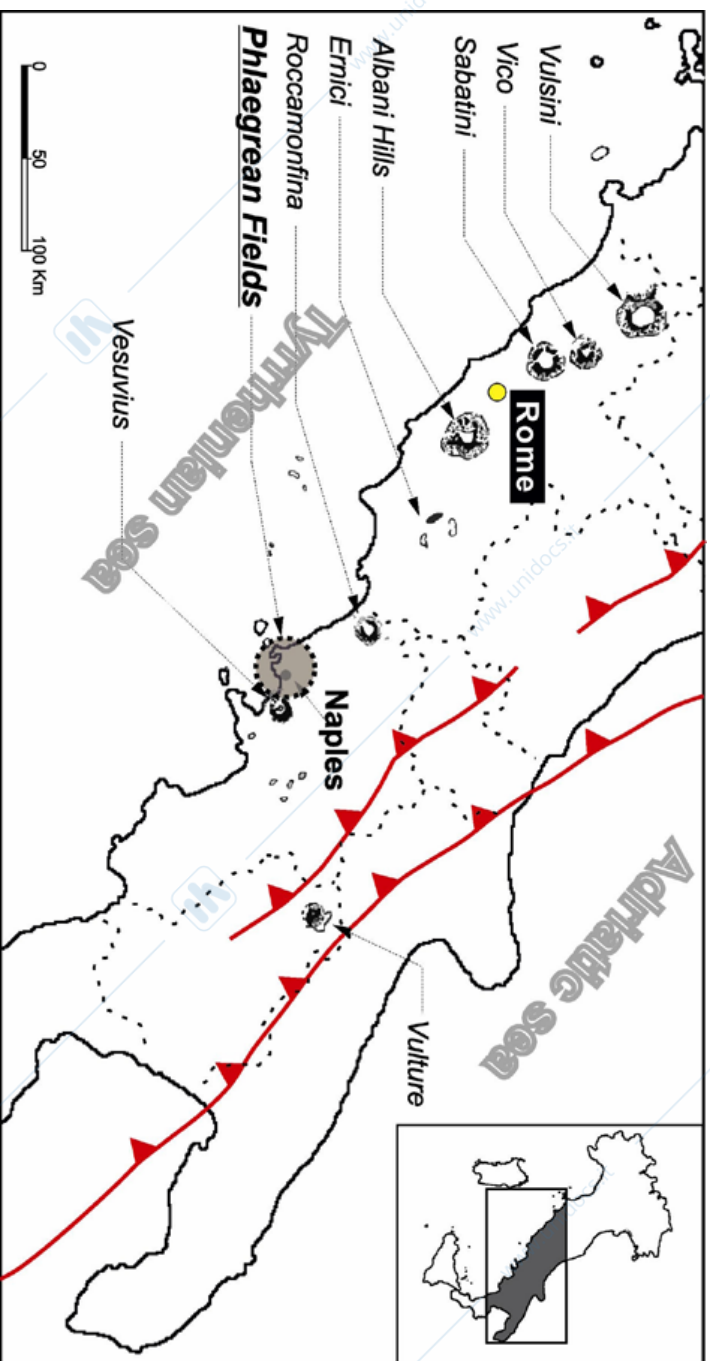
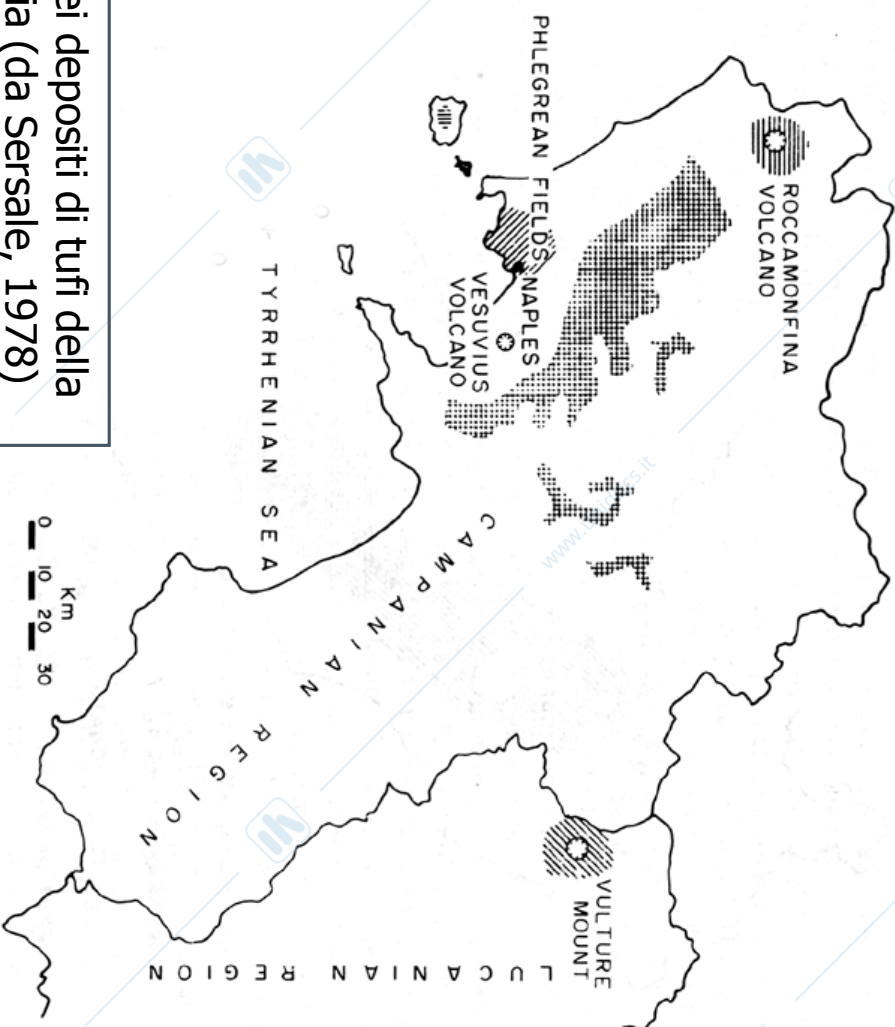


Fig. 2. Plio-Quaternary volcanic districts of central-southern Italy: Roman Province (Vulsini, Vico, Sabatini, Albani Hills), Ernici–Roccamonfina province, Campania Province (including Phlaegrean Fields, Mt. Somma–Vesuvius, Ponza and nearby islands) and Mount Vulture.



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Depositi di tufi (zeoliti sedimentarie) in Campania



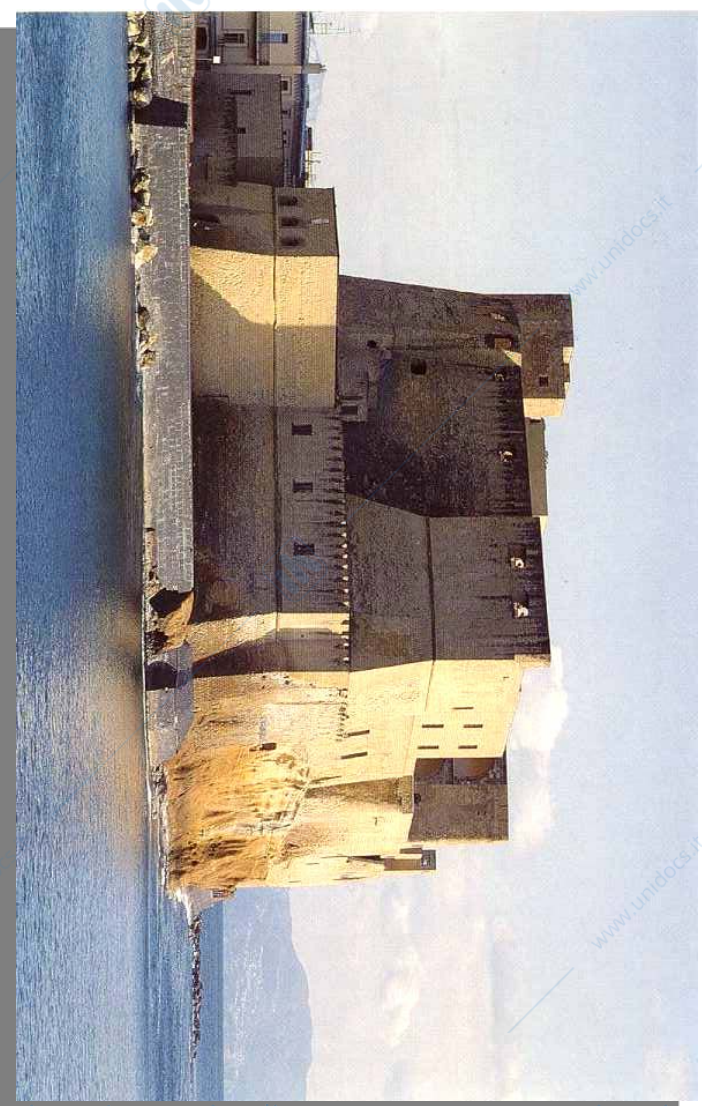
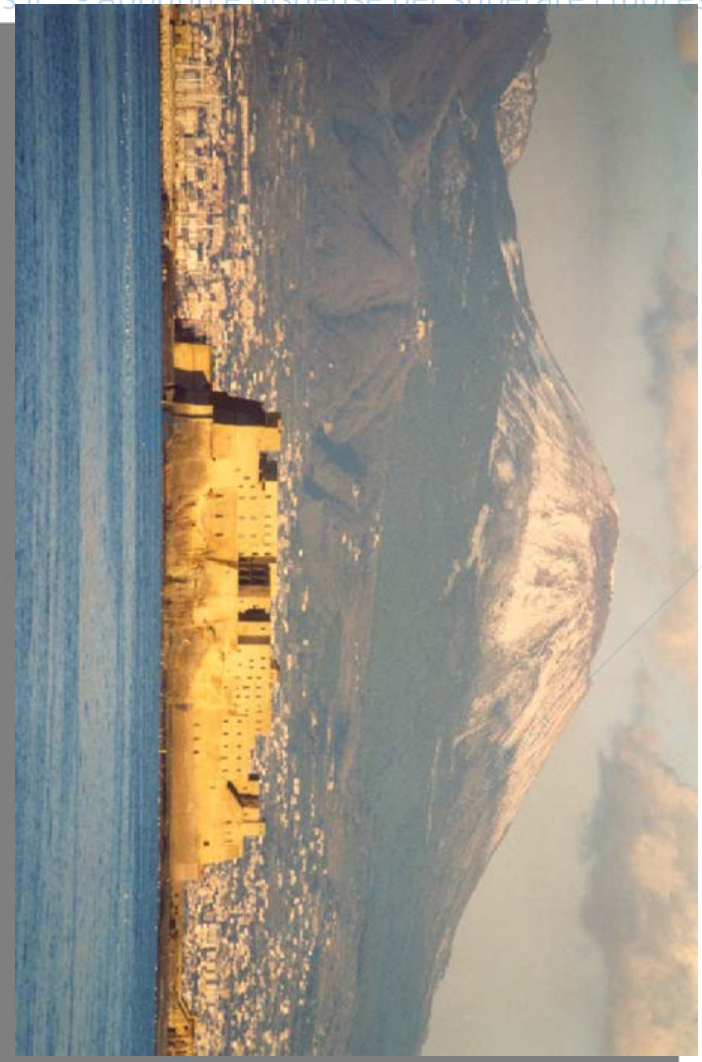
Mappa dei depositi di tufi della Campania (da Sersale, 1978)

Sul territorio della
Regione Campania
sono presenti estese
aree vulcaniche
ricche in depositi
tufacei





Tufo Giallo Napoletano (Neapolitan Yellow Tuff)



Castel dell'Ovo, Napoli

Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli



Cave di tufi zeolitizzati (zeoliti sedimentarie)



Il Cemento Romano

Calce aerea + Pozzolana



Malta idraulica

Calce aerea + di mattoni
o di laterizi



Calce aerea + Tufi zeolitici



$\text{Ca}(\text{OH})_2$ + SiO_2 , Al_2O_3 ,
 silico-alluminati



Silicati di calcio idrati
 (C-S-H)
 +
 Alluminati di calcio idrati
 (C-A-H)

} Composti
 idraulici
 (insolubili in
 acqua)



I materiali che hanno un comportamento simile alla pozzolana vengono oggi definiti

Materiali ad Attività Pozzolonica (MAP)



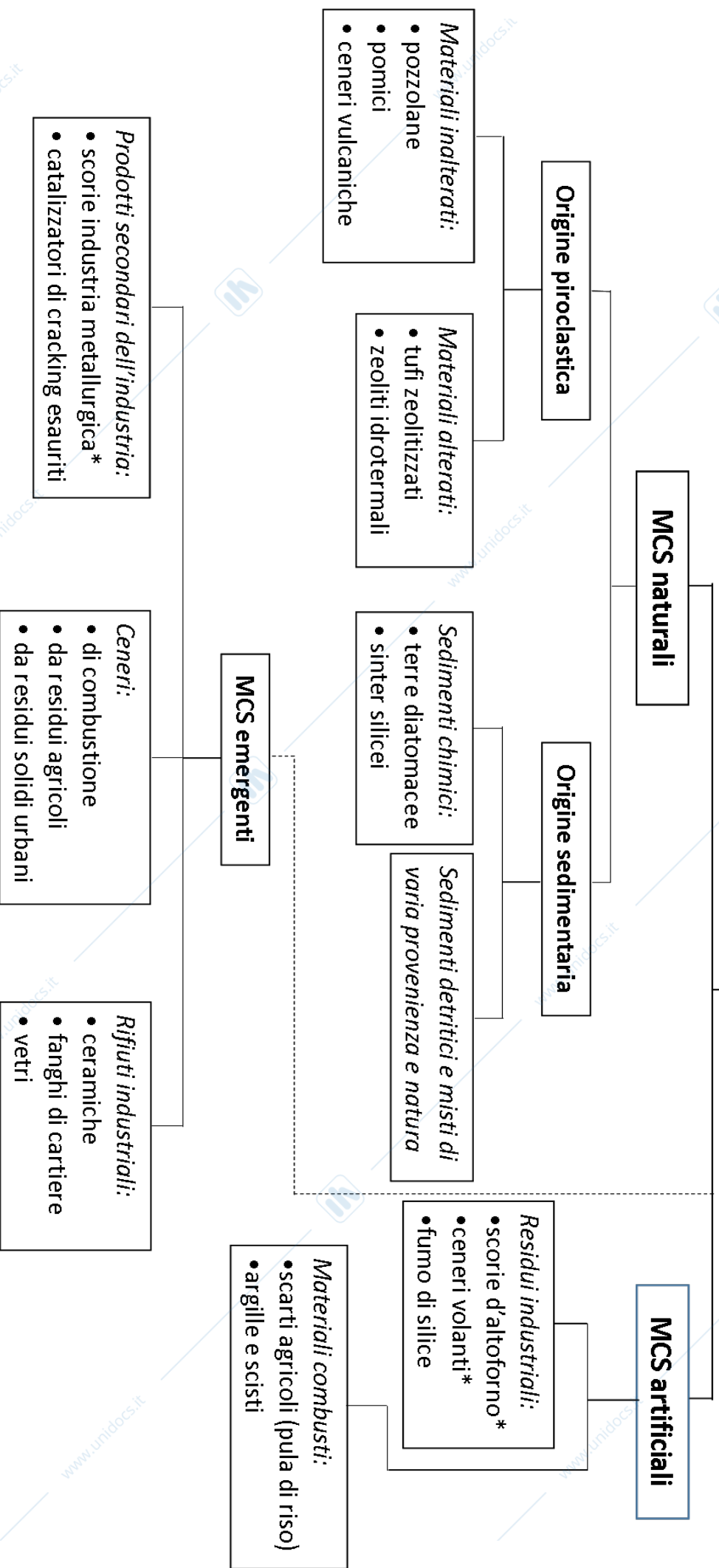
Attività pozzolanica

Capacità di un materiale di reagire con idrossido di calcio per dare luogo a prodotti idraulici leganti:



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Materiali Cementizi Supplementari





D.I. Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
Materiali e della
Produzione Industriale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
PIZZA
POLIFEDERICO II

Come si valuta l'attività pozzolanica di un materiale?



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Metodi per la valutazione dell'attività pozzolanica

Metodi diretti basati sul monitoraggio della presenza di idrossido di calcio e la sua conseguente riduzione nel tempo al procedere della reazione pozzolanica:

- titolazione acido-base (Test di Fratini - UNI EN 196-5 / UNI 11471:2013)
- analisi termogravimetrica (TGA) o calorimetrica (DSC)
- diffrazione dei raggi X (XRD)

Metodi indiretti basati sull'effetto della reazione pozzolanica su specifiche proprietà della malta indurita. Le proprietà selezionate per la valutazione sono, usualmente:

- resistenza a compressione (ASTM C311-77)
- conducibilità elettrica o termica



E' possibile oggi commercializzare calce idraulica prodotta utilizzando **tufi zeolitizzati** come materiali ad attività pozzolanica?



Classificazione delle calce idrauliche

La norma **UNI EN 459-1:2010** classifica le calce idrauliche in tre sotto categorie:

Calci Idrauliche Naturali (NHL): derivate esclusivamente da marne naturali o da calcari silicei, senza aggiunta di altro se non l'acqua per lo spegnimento;

Calci Idrauliche (HL): calce costituite prevalentemente da idrossido di Ca, silicati e alluminati di Ca, prodotti mediante miscelazione di "materiali appropriati" (*es. cemento, scorie di altoforno, cenere volanti, filler calcarei e di altri materiali idonei*).

Calci Idrauliche Formulate (FL): nuova classe che permette di ottenere una calce idraulica mescolando calce aerea, calce idraulica naturale e una serie di aggiunte idrauliche e/o pozzolaniche (di cui si deve dichiarare il nome e la percentuale)





D.I. Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
Materiali e della
Produzione Industriale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Materiali leganti per l'edilizia sostenibile: prospettive future



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Materiali Leganti Geopolimerici

Geopolimeri: polimeri inorganici attivati chimicamente

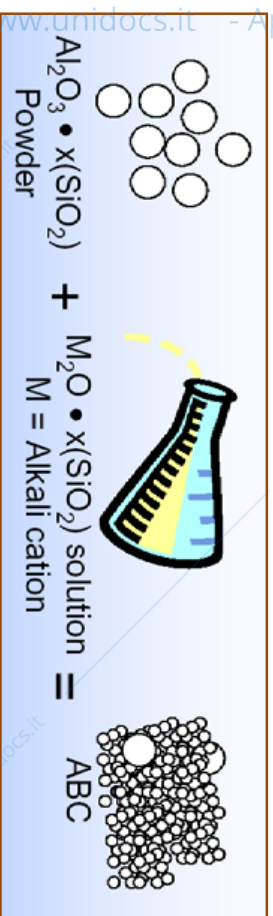
Polveri allumino-silicatiche

- Caolini ed altre argille
- Ceneri volanti da centrali a carbone
- Scorie d'altoforno macinate
- Residui del processo della bauxite
- Ceneri vulcaniche
- Pozzolana
- Sedimenti argillosi lacuali

Attivatori alcalini

- NaOH
- KOH
- Silicato di sodio
- Silicato di potassio

Eventuali cariche o additivi



T_{amb}



**Confronto con
Cemento Portland**

CON VANTAGGI DI:
 RESISTENZA AL FUOCO
 MIGLIORATA
 MIGLIORATA RESISTENZA
 AD ATTACCHI ACIDI
 MINORE RITIRO
 MAGGIORE VELOCITA'
 DI PRESA
 MAGGIORE DURABILITA'
 FACILITA' DI REALIZZAZIONE



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Cemento vs. Geopolimeri

..... ed inoltre:

Cemento Portland

- Elevate temperatura di produzione ($\approx 1500^{\circ}\text{C}$)
- Rilevante emissione CO_2 ($\approx 1 \text{ ton CO}_2$ per 1 ton cemento)
- Consumo materie prime naturali non rinnovabili

Geopolimeri

- Temperatura di produzione molto più basse (T ambiente -)
- Bassa emissione CO_2 ($\approx 170 \text{ kg di CO}_2$ per 1 ton geopolimero)
- Utilizzo materie prime di scarto (fly ash, pozzolane, sedimenti lacuali, etc..)



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli



D.I. Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
Materiali e della
Produzione Industriale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Grazie per l'attenzione!



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli

Laboratori di Chimica Applicata (AClabs) del DICMapi

- L'attività di ricerca del Gruppo di Chimica Applicata (AClabs) presso il DICMapi della Federico II è in parte focalizzata su: a) caratterizzazione chimico-fisica di materiali da costruzione; b) valutazione dell'attività pozzolanica di materiali zeolitici (naturali e sintetici) e materiali di scarto; sviluppo e caratterizzazione di materiali leganti alcali-attivati/geopolimerici.

- Docenti e Ricercatori:

- prof. ing. Paolo Aprea
- prof. ing. Domenico Caputo (Coordinatore)
- prof. ing. Bruno De Gennaro
- prof. ing. Fabio Iucolano
- prof. ing. Barbara Liguori
- prof. Ing. Ottavio Marino

- Post-Doc:

- ing. Benedetto De Vito
- Sig. Giuseppe Mocchi

- Post-Doc:

- ing. Nicola Gargiulo
- ing. Antonio Peluso

- Dottorandi:

- ing. Barbara Galzerano
- ing. Assunta Campanile



Bioregionalismo e Architettura Sostenibile – 26 febbraio 2020 · Napoli