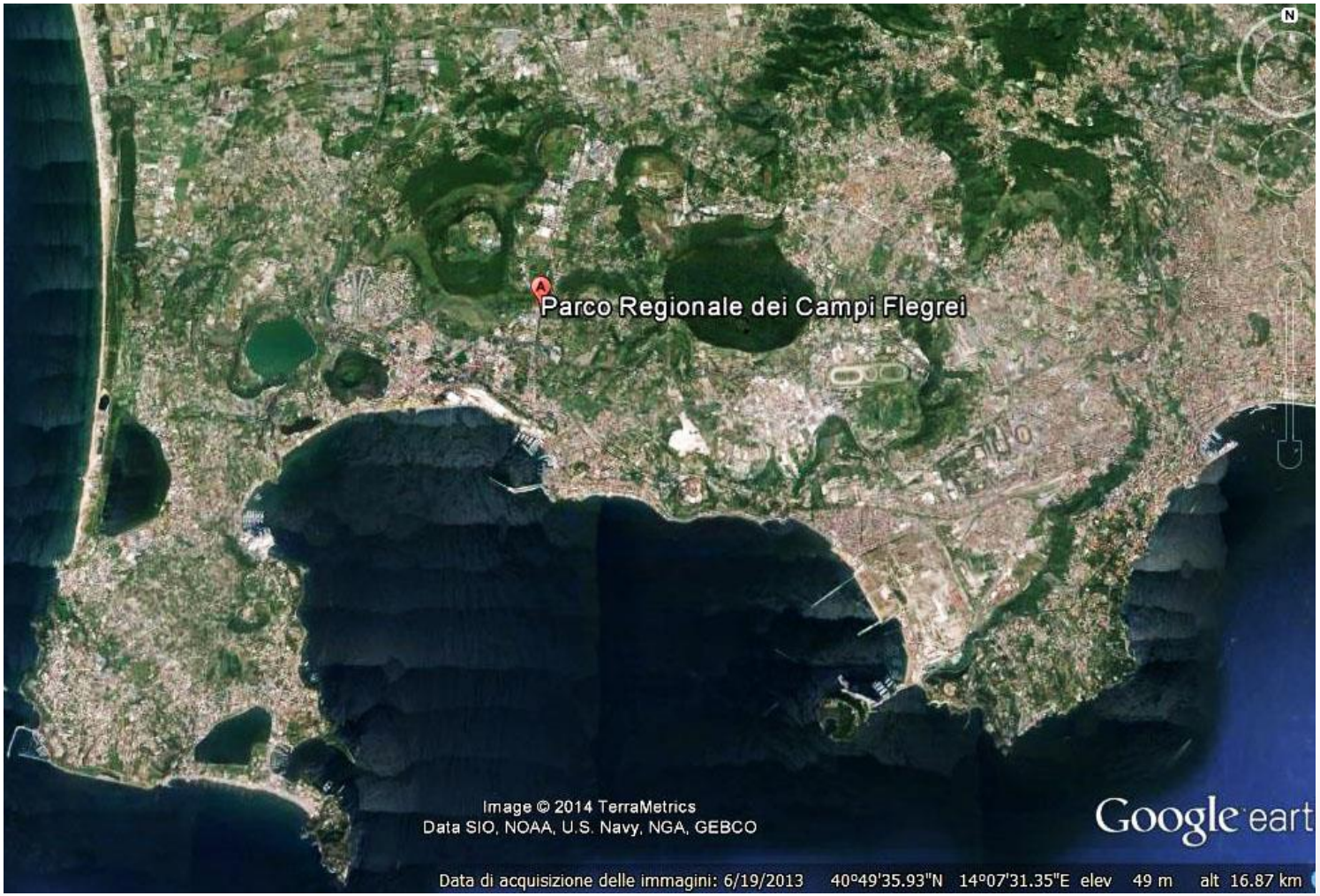
Il cemento romano

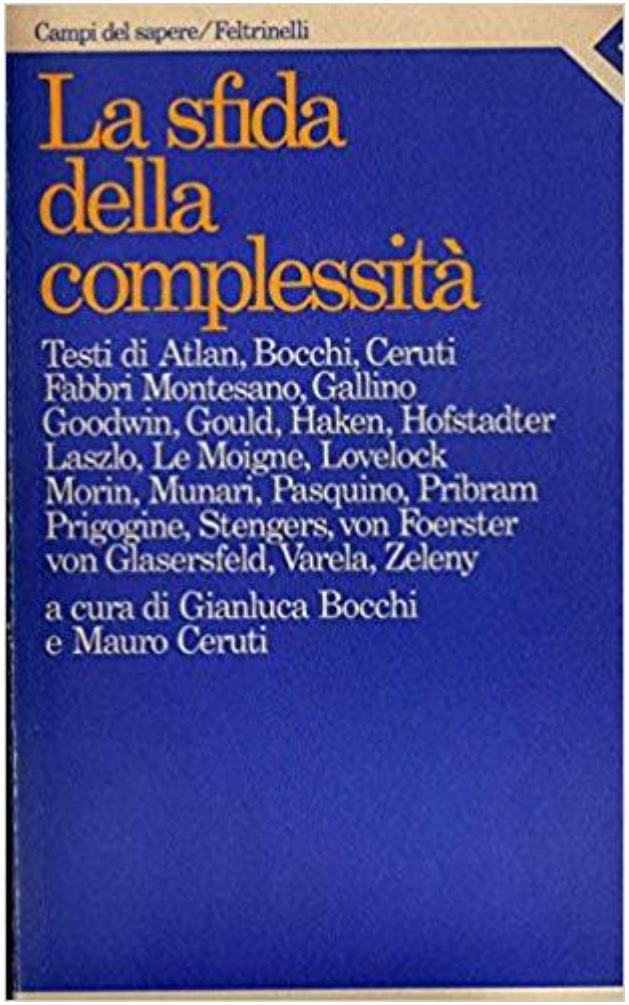
Leganti aerei ed idraulici – Archeologia ed Architettura Durabilità delle opere in calcestruzzo e principali cause di degrado: introduzione alla diagnostica Il ruolo degli Ordini Professionali per favorire la Valorizzazione del Patrimonio Culturale e dei relativi investimenti

I Campi Flegrei



Edgar Morin: la complessità ed il compito della formazione

- Gestione della complessità
- Colmare il senso di vuoto e di inadeguatezza e di facilitare il rinnovamento rapido del proprio modo di guardare al mondo.
- Lifelong learning diventa strumento capace di sostenere
- l'individuo nell'incertezza.


Campi del sapere/Feltrinelli
La sfida della complessità
Testi di Atlan, Bocchi, Ceruti
Fabbri Montesano, Gallino
Goodwin, Gould, Haken, Hofstadter
Laszlo, Le Moigne, Lovelock
Morin, Munari, Pasquino, Pribram
Prigogine, Stengers, von Foerster
von Glasersfeld, Varela, Zeleny
a cura di Gianluca Bocchi
e Mauro Ceruti

Google earth
2002
Data di acquisizione delle immagini: 8/11/2014 40°50'30.66"N 14°03'21.53"E elev 11 m alt 92 m

Archeologia subacquea

Due proposte per affrontare la «sfida della complessità»:

- **Approcciarsi alla normativa come «mission»**

- **Mettere in campo l'interdisciplinarietà gia' nelle fasi precendenti alla compilazione del «progetto esecutivo» (appaltabile)**

L’architettura romana con la pozzolana: le murature

TITOLO XI - LAVORI RIGUARDANTI I BENI DEL PATRIMONIO CULTURALE

CAPO I - Beni del patrimonio culturale

Art. 239 - Ambito di applicazione delle disposizioni in materia di lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 240 - Scavo archeologico, restauro e manutenzione

CAPO II - Progettazione

Art. 241 - Attività di progettazione per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 242 - Progetto preliminare per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 243 - Progetto definitivo per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 244 - Progetto esecutivo per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 245 - Progettazione dello scavo archeologico
Art. 246 - Progettazione di lavori di impiantistica e per la sicurezza riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 247 - Verifica dei progetti per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 248 - Qualificazione e direzione tecnica per i lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale

CAPO III - Esecuzione e collaudo dei lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale

Art. 249 - Lavori di manutenzione riguardanti i beni del patrimonio culturale
Art. 250 - Consuntivo scientifico
Art. 251 - Collaudo dei lavori riguardanti i beni del patrimonio culturale

Il referente scientifico

- Indicazioni tecniche per il progrtto preliminare
- Comprensibilità dei risultati scientifici
- Cantierabilità del processo esecutivo
- Semplificazione della procedura di appalto
- Controllo di qualità in corso d'opera
- Direzione delpiano diagnostico per la sua cobsustazione alla progettazione e realizzazione dei lavori di conservazione e restauroi
- Qualità del piano diagnostico e della sua realizzazione

Le pozzolane flegree

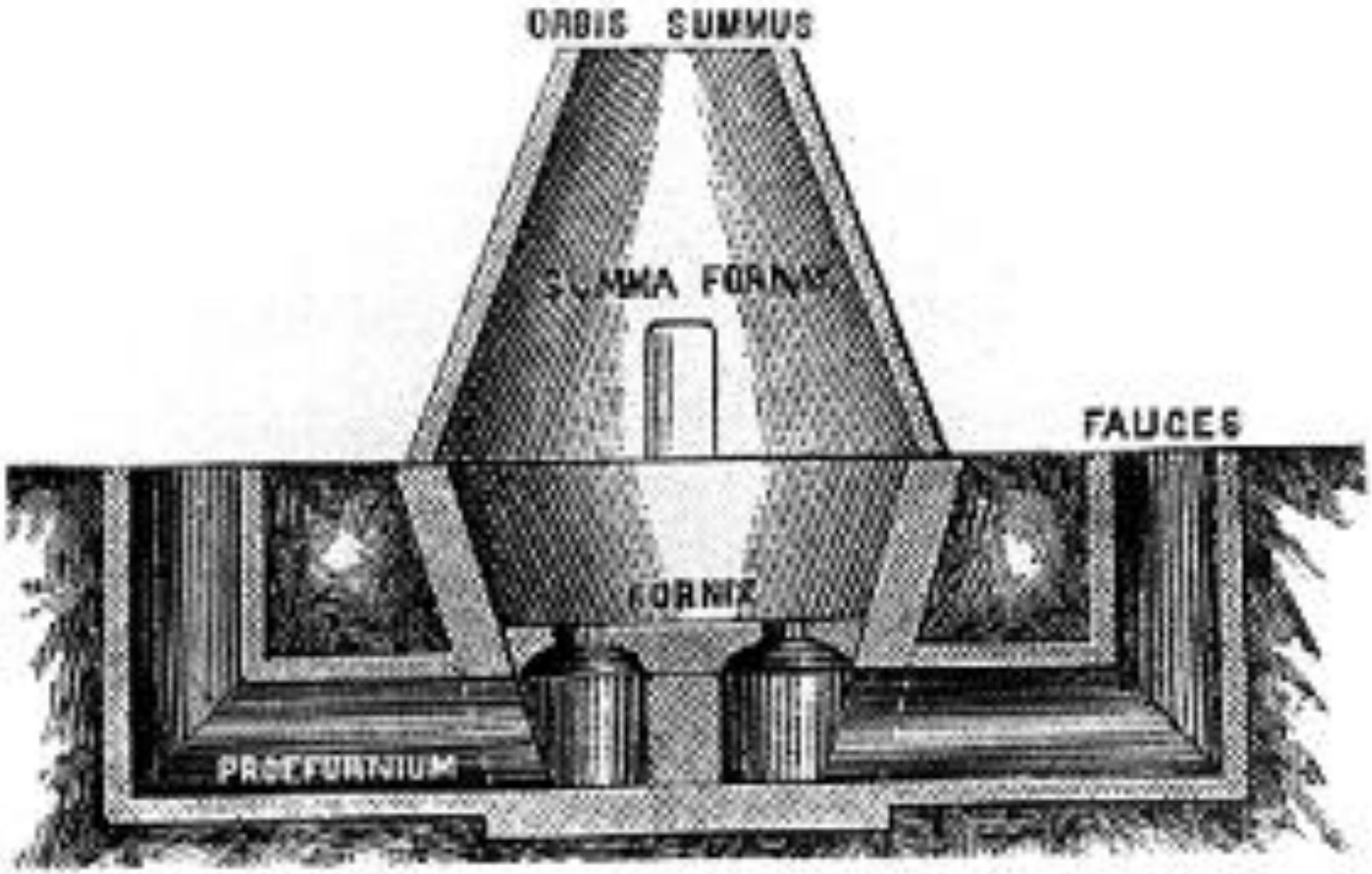
- Origine nel Quaternario e si deposero su una piattaforma di tufo giallo compatto, frutto di un’attività vulcanica sottomarina avvenuta nel Quaternario.

Composizione chimica della piroclastite

- SiO_2 48-71%
- $Al_2O_3 + TiO_2$ 16- 22
- $Fe_2O_3 + FeO$ 3-10
- CaO 2-10
- Alcali 4-8
- MgO 0,5-4

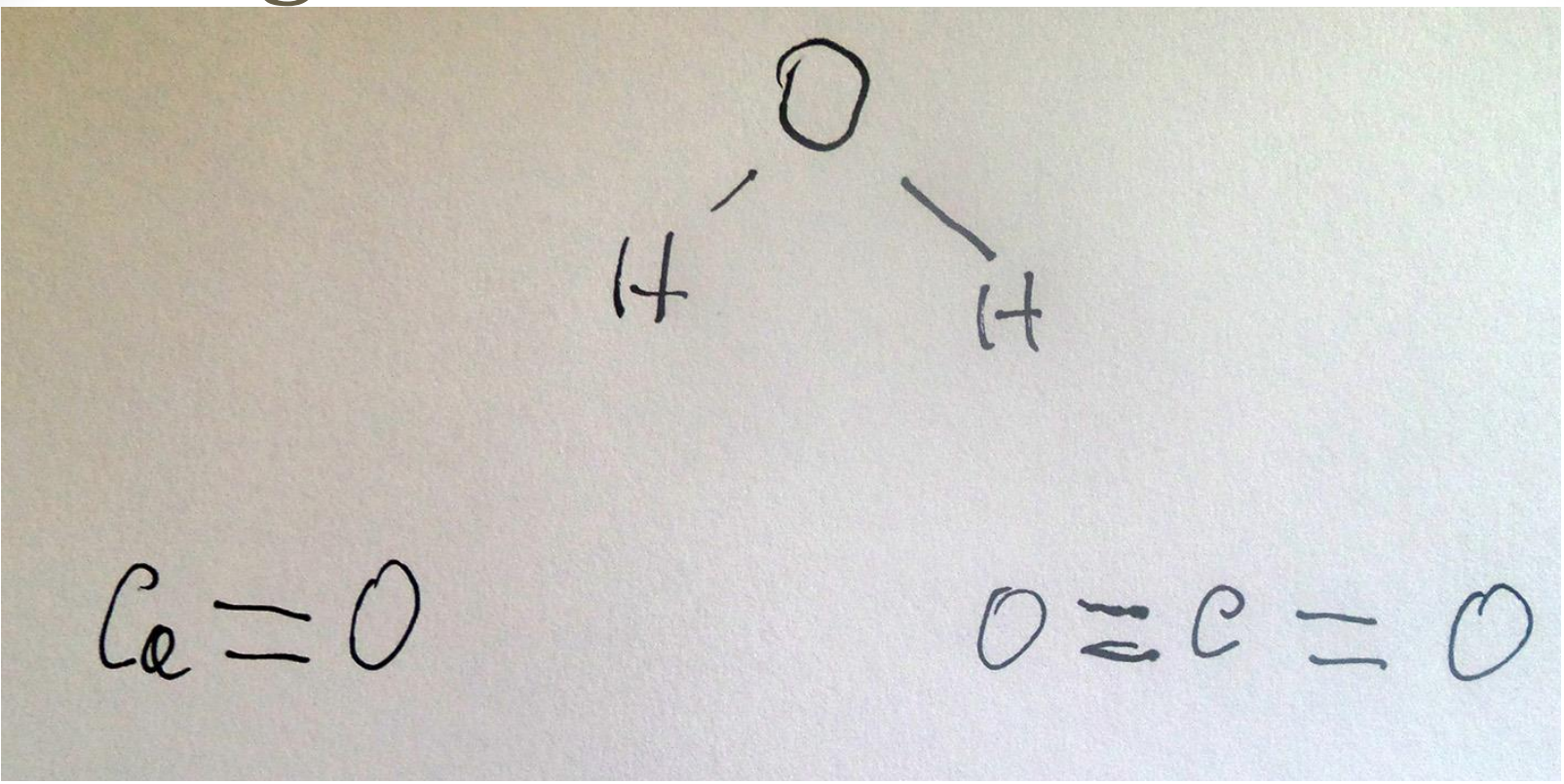
Tempio di Diana

Cava di Pozzolana



8 - Ricostruzione di un forno a calce di epoca romana.

I leganti : Aerei ed Idraulici



Grasselli di calce (Cimmino calce S.r.l) stagionati in eccesso di acqua per tempi pari a:

12 e 36 mesi

sono stati caratterizzati in termini di:

- *composizione mineralogica,*
- *grado di carbonatazione,*
- *struttura morfologica.*

Il grassello di calce, costituito essenzialmente da **portlandite, $Ca(OH)_2$,** si ottiene per *spegnimento della calce viva (CaO)* in eccesso di acqua.

Se ***lungamente stagionato*** manifesta una serie di vantaggi:

- *plasticità* e facile *lavorabilità* dei conglomerati costituiti in genere da malte.

- *riduzione dell'entità del ritiro* in fase di consolidamento

- *incremento della velocità di carbonatazione* della portlandite con conseguente consolidamento relativamente rapido del conglomerato

Questi vantaggi si giustificano con l'evoluzione strutturale della portlandite in termini di variazione:

della *forma*
(*da cristalli prismatici a lamellari*)

e

della *dimensione* dei cristalli
(*riduzione delle dimensioni dei cristalliti*)

Le dimensioni dei cristalliti sono regolate dalla ***teoria di Ostwald:***

la formazione di cristalli stabili di dimensioni più grandi avviene a spese di quelli più piccoli

La forma dei cristalliti è regolata dalla ***teoria di Wulff***:

l'habitus cristallino deve essere tale da minimizzare l'energia libera di superficie

Sull'evoluzione morfologica della portlandite da cristalli prismatici a lamellari è rilevabile in letteratura un accordo unanime, mentre un disaccordo sussiste sulle dimensioni dei cristalliti. Alcuni Autori, in accordo con la teoria di Ostwald, sostengono che al crescere del tempo di stagionatura si formano cristalli lamellari di grosse dimensioni, mentre altri sostengono un parere opposto e cioè la formazione di cristalliti più piccoli.

Dalle indagini effettuate risulta:

•Entrambi i campioni sono costituiti essenzialmente da *cristalliti lamellari di tipo esagonale*.
Nel campione stagionato a 12 mesi si osservano anche *cristalli prismatici* che, raramente, si osservano nel campione stagionato per 36 mesi.

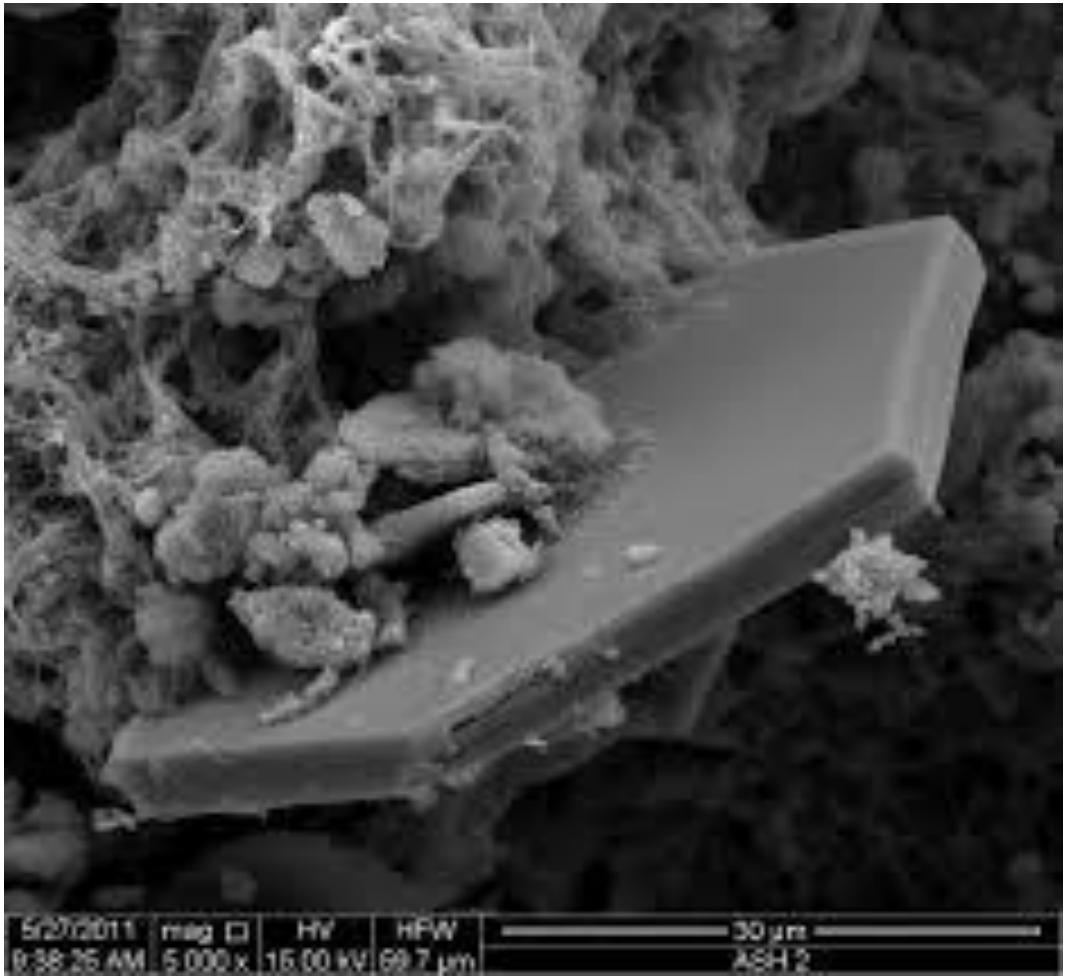
•Il campione stagionato per *36 mesi* è caratterizzato da cristalliti di portlandite costituiti mediamente da *lamelle di estensione e di spessore inferiori* rispetto a quelle del campione stagionato per 12 mesi.

Conclusioni

L'effetto di *lunghi tempi di stagionatura* in fase di spegnimento della calce viva determina:

•la quasi *completa trasformazione dei cristalli prismatici* di portlandite in cristalli lamellari di dimesioni ridotte e ad elevato grado di aggregazione.
Ne conseguono benefici sia in termini di lavorabilità che di durabilità dei formulati contenenti tale grassello.

•*L'idratazione pressoché totale della calce viva in portlandite. Questo risultato consente di controllare l'effettivo tempo di stagionatura del grassello attraverso una analisi di routine quale quella termo-gravimetrica*


5/27/2011
9:38:25 AM
mag
5,000 x
HV
15.00 kV
HFW
69.7 µm
30 µm
ASH 2

LE MALTE

.

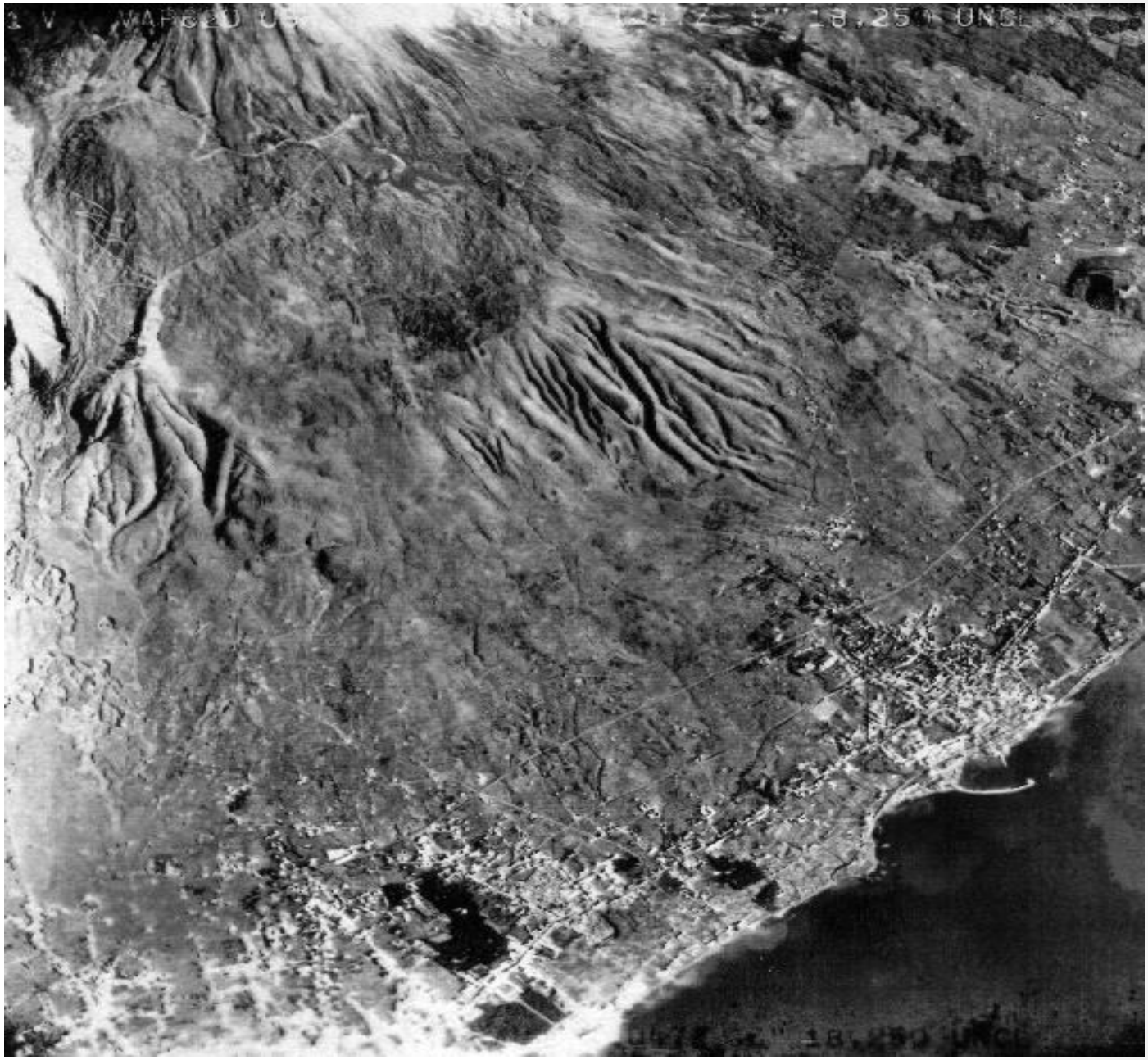
- La malta è una miscela costituita da un componente inerte (sabbia), da un legante (calce aerea, calce idraulica, cemento) e da acqua
- Hanno la proprietà di far presa e di aderire ai materiali da costruzione;
- Le malte servono per realizzare murature e calcestruzzi

TIPI DI MALTE

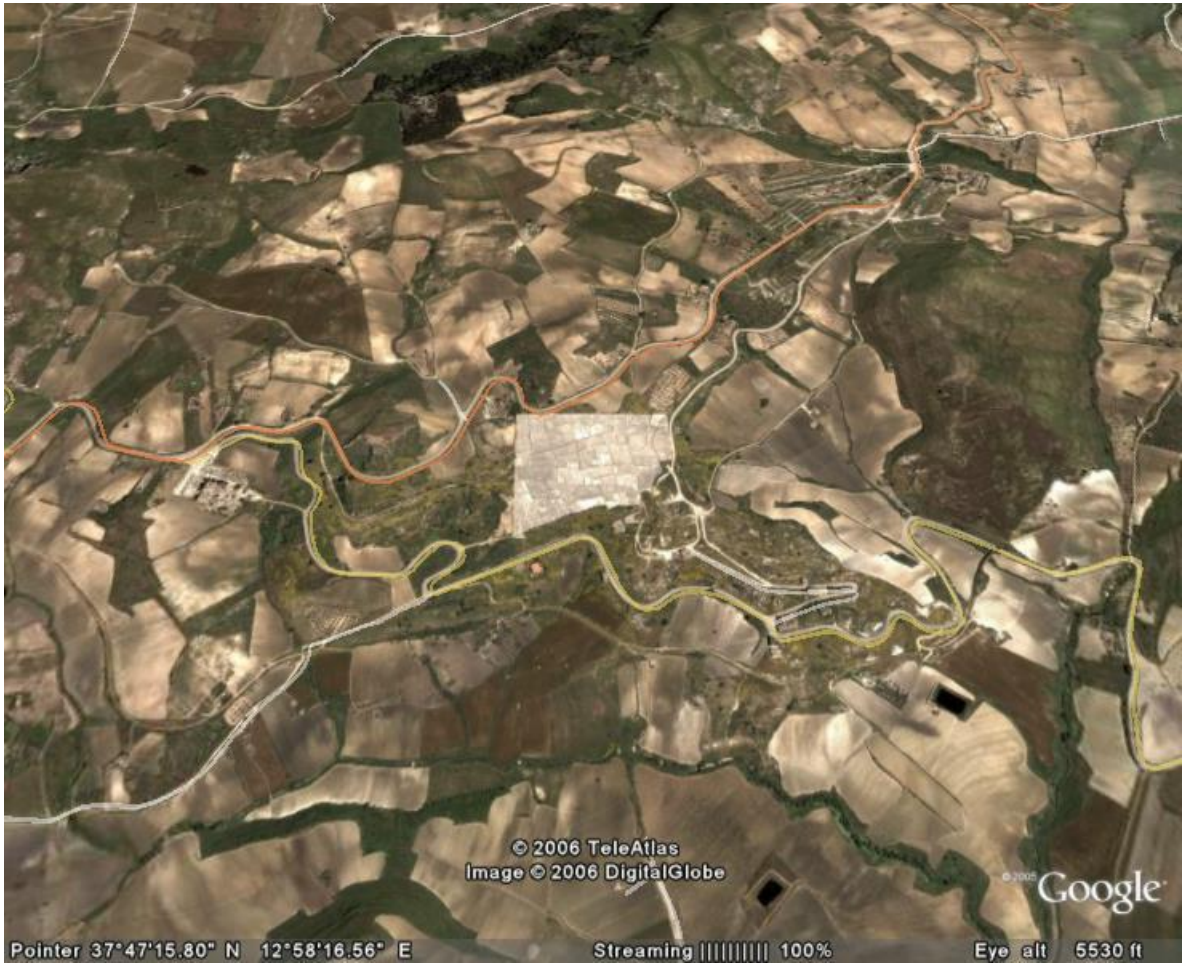
- si distinguono in *aeree* ed *idrauliche*, secondo che la presa avvenga solo nell'aria o anche in presenza di acqua
- Le *malte aeree* si ottengono adoperando calce spenta, le *idrauliche* ricorrendo alle calci idrauliche o al cemento.

Gli acquedotti

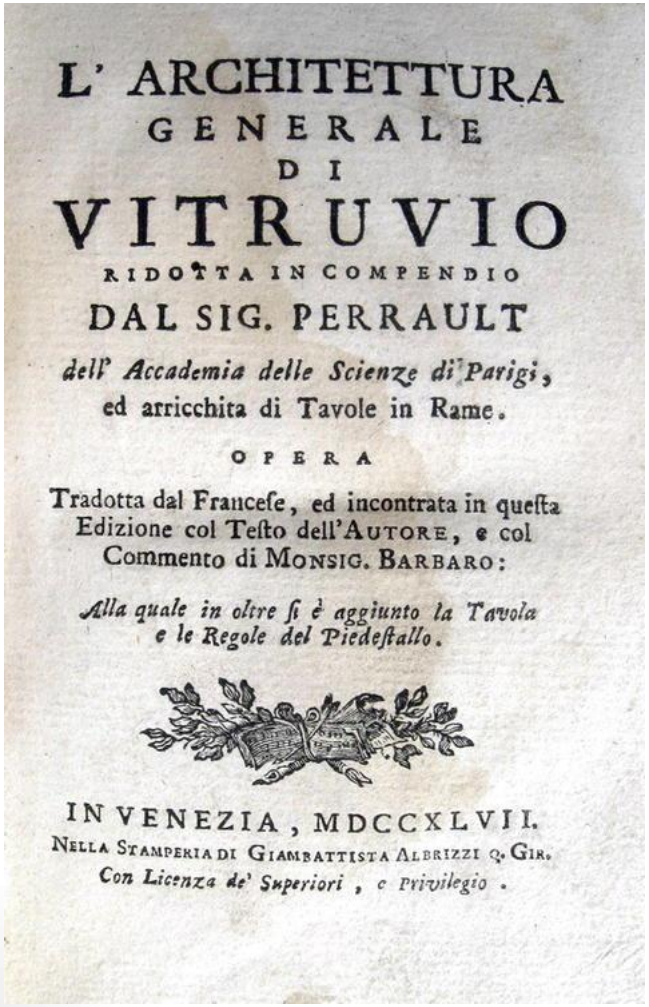
Sopralluogo in uno speco



Via dell'Abbondanza


© 2006 TeleAtlas
Image © 2006 DigitalGlobe
Google
Pointer 37°47'15.80" N 12°58'16.56" E
Streaming 100%
Eye alt 5530 ft

L'opera del trattatista Romano Marco Vitruvio Pollione



L' ARCHITETTURA
GENERALE
DI
VITRUVIO
RIDOTTA IN COMPENDIO
DAL SIG. PERRAULT
dell' Accademia delle Scienze di Parigi,
ed arricchita di Tavole in Rame.

OPERA

Tradotta dal Francese, ed incontrata in questa Edizione col Testo dell'AUTORE, e col Commento di MONSIG. BARBARO:

Alla quale in oltre si è aggiunto la Tavola e le Regole del Piedestallo.

IN VENEZIA, MDCCXLVII.
NELLA STAMPERIA DI GIAMBATTISTA ALBRIZZI Q. GIR.
Con Licenza de' Superiori, e Privilegio.

I DIECI LIBRI
DELL'ARCHITETTURA

di M. Vitruvio

Tipologia muraria

- Opus siliceum (VI- I sec.a.C.)
- Opus quadratum (V sec.a.C.)
- Opus caementicium (III sec.a.C.)
- Opus incertum (II sec.a.C.- II sec.d.C)
- Opus quasi reticulatum(100- 60 a.C)
- Opus reticulatum (55 a.C.)
- Opus spicatum (I sec.d.C.)
- Opus craticium (dalla più remota antichità)
- Opus mixtum (eta’ imperiale da Domiziano a Costantino)
- Opus latericium (III- II sec. A. C.)

casi analizzati

Villa Jovis - Capri

(monumento all'aperto sottoposto ad agenti atmosferici)

San Lorenzo Maggiore – Napoli

(complesso monumentale ipogeo sottostante il centro antico di Napoli)

Pompei

(analisi ai danni post-sismici del 1980)

Tipologie murarie

Opus

Quadratum

Opus

Incertum

Opus
Reticulatum

Opus
Craticium

Architettura come delimitazione dello spazio sacro

Teatri ed anfiteatri

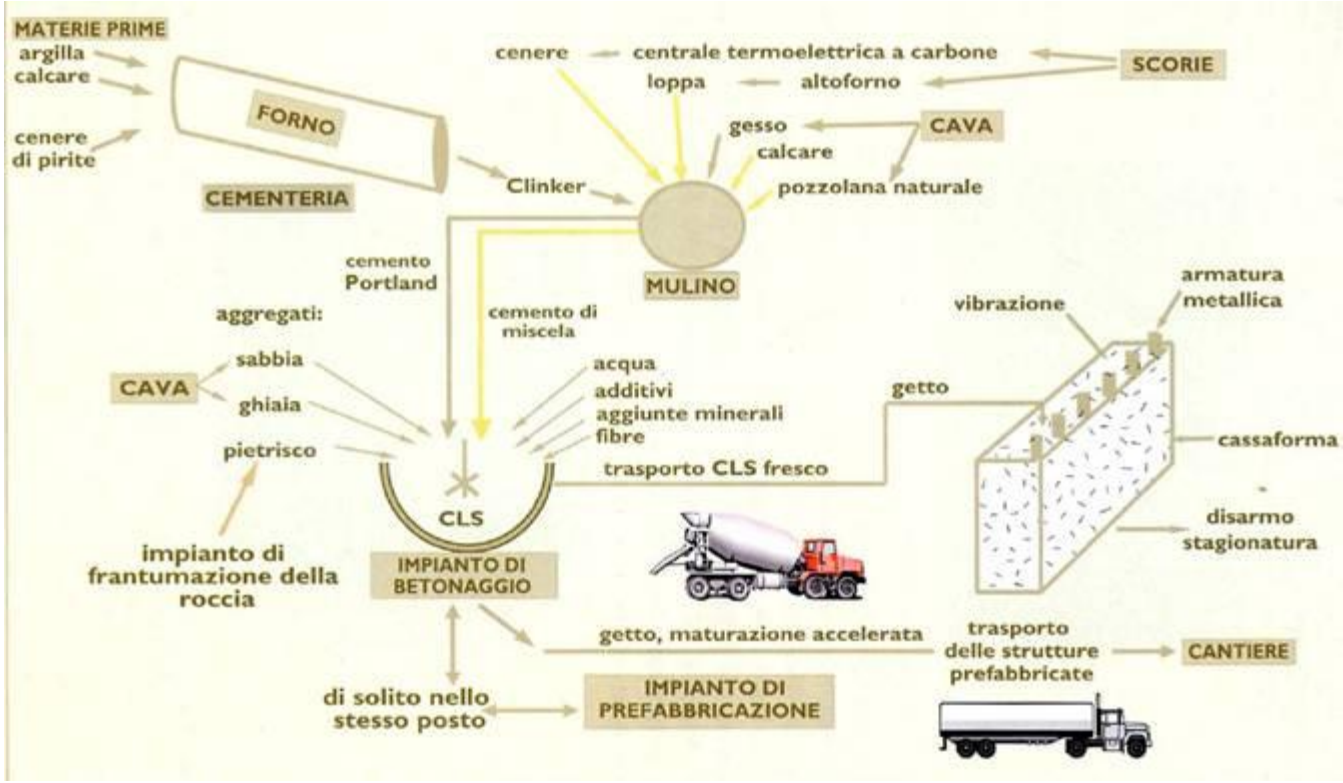
Corllo delle le mura di Alife

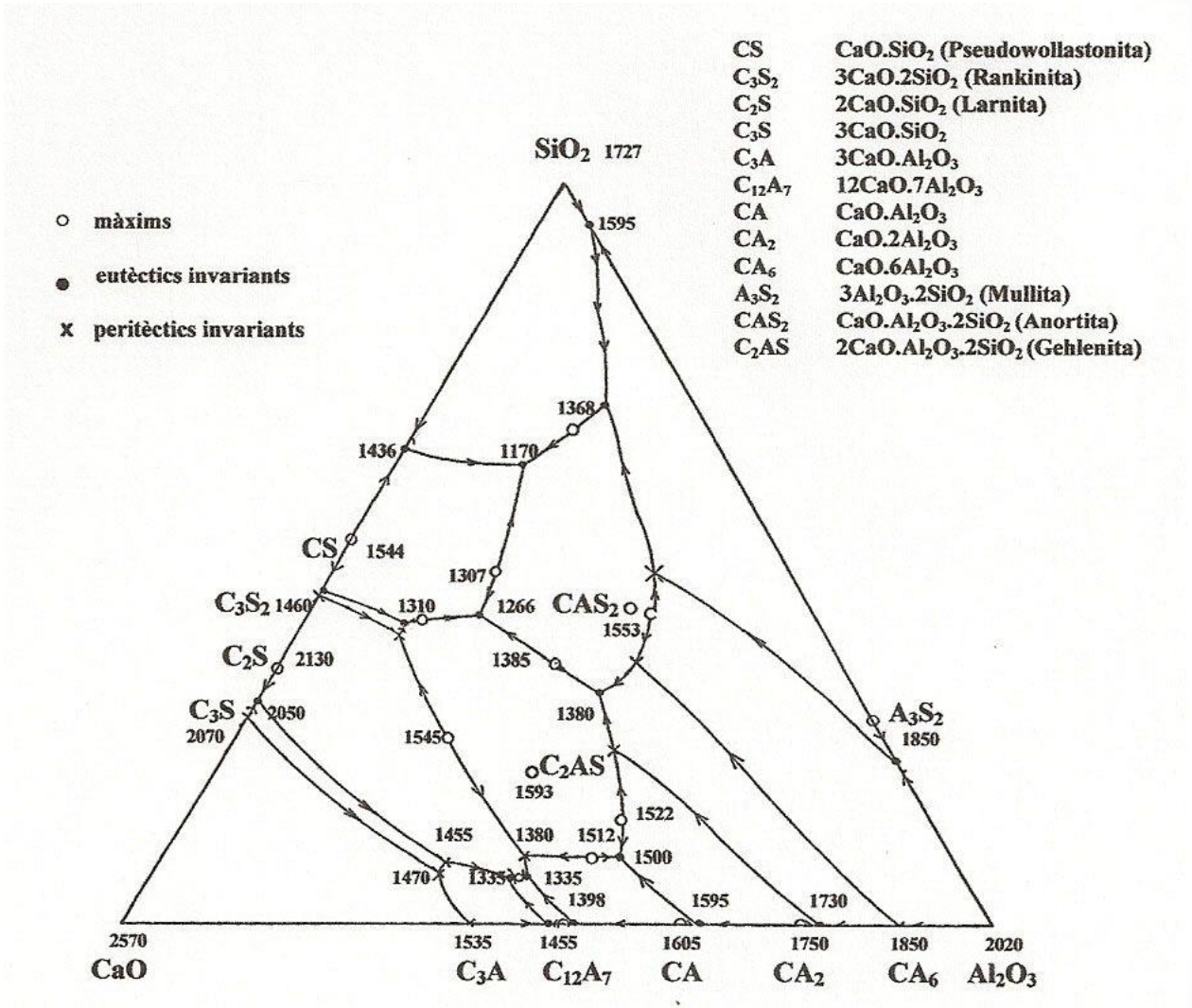
Misura di assorbimento dell’acqua

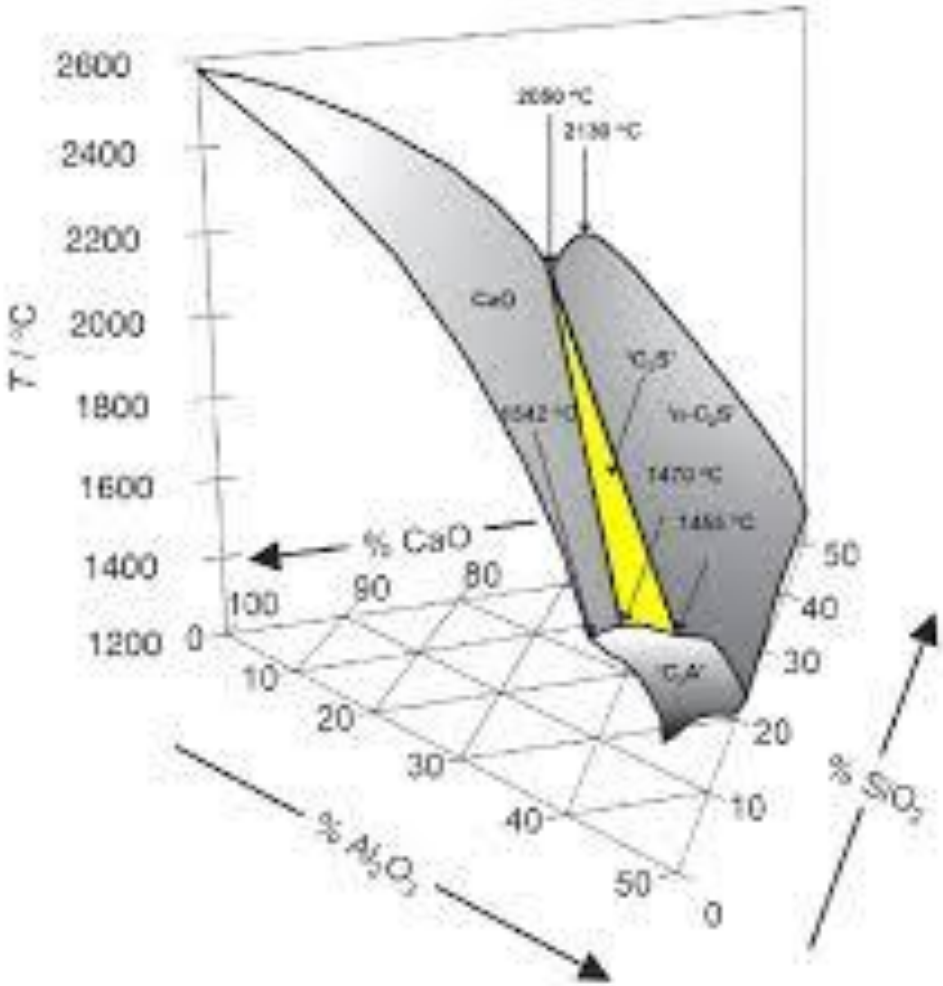
Le strade

I pavimenti

Il Cemento Portland




CS CaO.SiO2 (Pseudowollastonita)
C3S2 3CaO.2SiO2 (Rankinita)
C2S 2CaO.SiO2 (Larnita)
C3S 3CaO.SiO2
C3A 3CaO.Al2O3
C12A7 12CaO.7Al2O3
CA CaO.Al2O3
CA2 CaO.2Al2O3
CA6 CaO.6Al2O3
A3S2 3Al2O3.2SiO2 (Mullita)
CAS2 CaO.Al2O3.2SiO2 (Anortita)
C2AS 2CaO.Al2O3.2SiO2 (Gehlenita)
màxims
eutèctics invariants
peritèctics invariants
SiO2 1727
1595
1368
1436
1170
CS 1544
1307
C3S2 1460
1310
1266
CAS2
1553
C2S 2130
1385
C3S 2050
2070
1380
A3S2
1850
1545
C2AS
1593
1522
1455
1380
1512
1500
1470
1335
1335
1398
1595
1730
2570
1535
1455
1605
1750
1850
2020
CaO
C3A
C12A7
CA
CA2
CA6
Al2O3

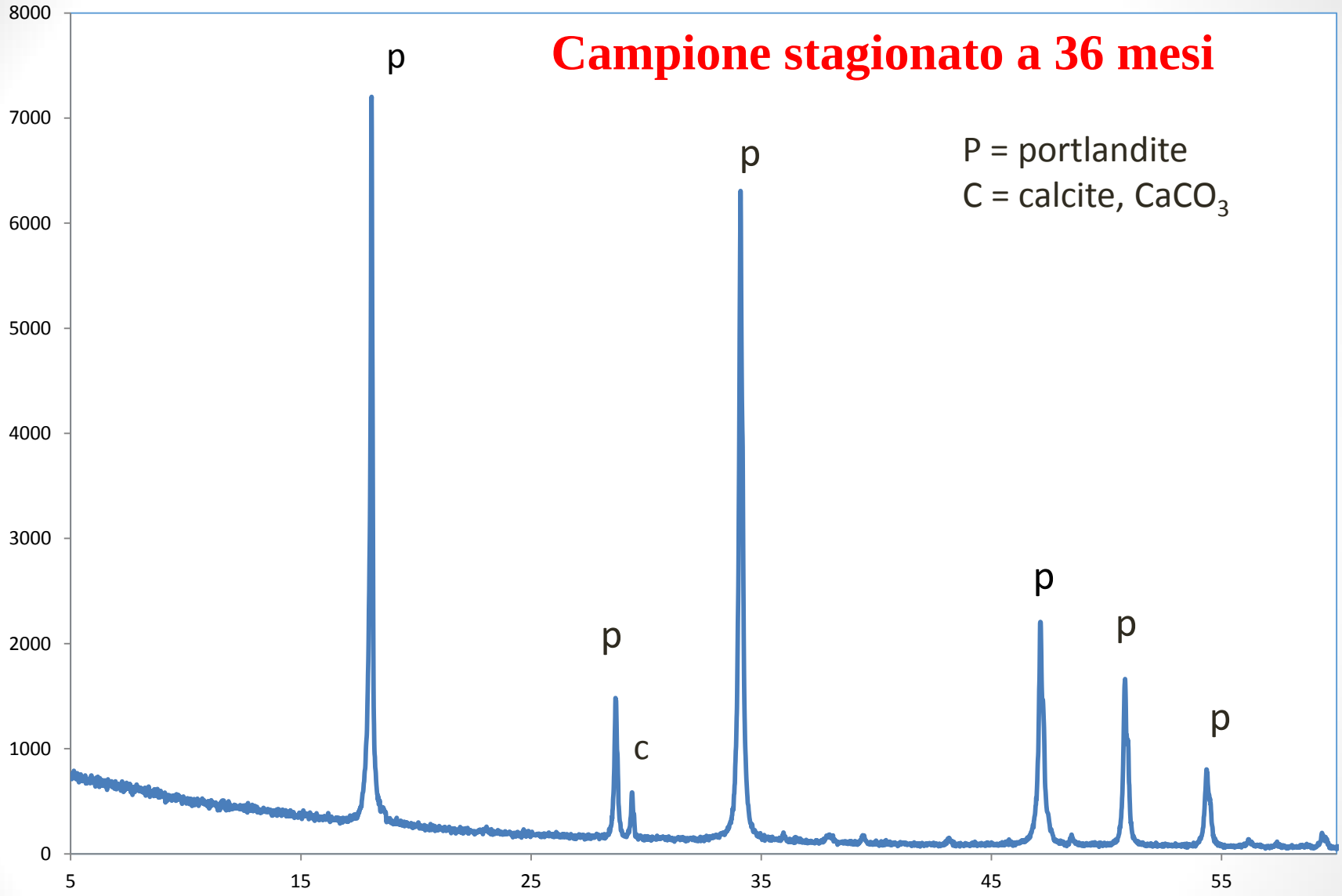

2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
T / °C
2090 °C
2139 °C
CaO
1470 °C
% CaO
100
90
80
0
10
20
30
40
50
50
40
30
20
10
0
% Al2O3
% SiO2

Mostra
Collegio Ciano
Ex Italsider
Fuorigro
Google earth
1943
Data di acquisizione delle immagini: 6/19/2013 40°49'04.26"N 14°10'38.59"E elev 18 m alt 2.62 km

I campioni sono stati previamente *essiccati* per sublimazione dell'acqua di ritenzione mediante un *liofilizzatore*.

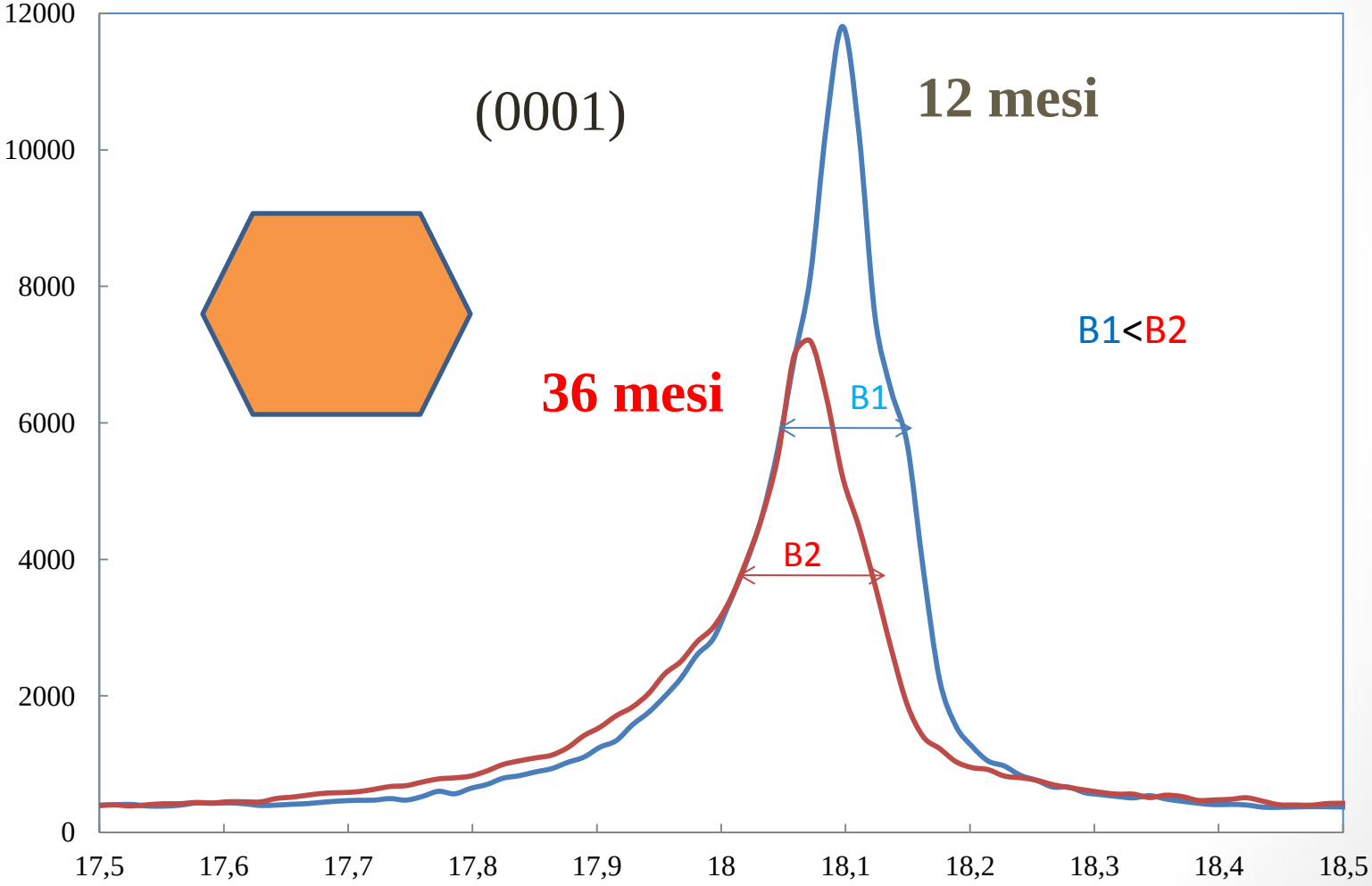
Le risultanti polveri sono state poi caratterizzate mediante:

- *analisi diffrattometrica mediante raggi X (XRD)*
- *microscopia elettronica a scansione (SEM)*
- *analisi termica in simultanea (DTA e TGA), .*


Campione stagionato a 36 mesi
P = portlandite
C = calcite, $CaCO_3$
p
p
p
c
p
p
p
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
5
15
25
35
45
55

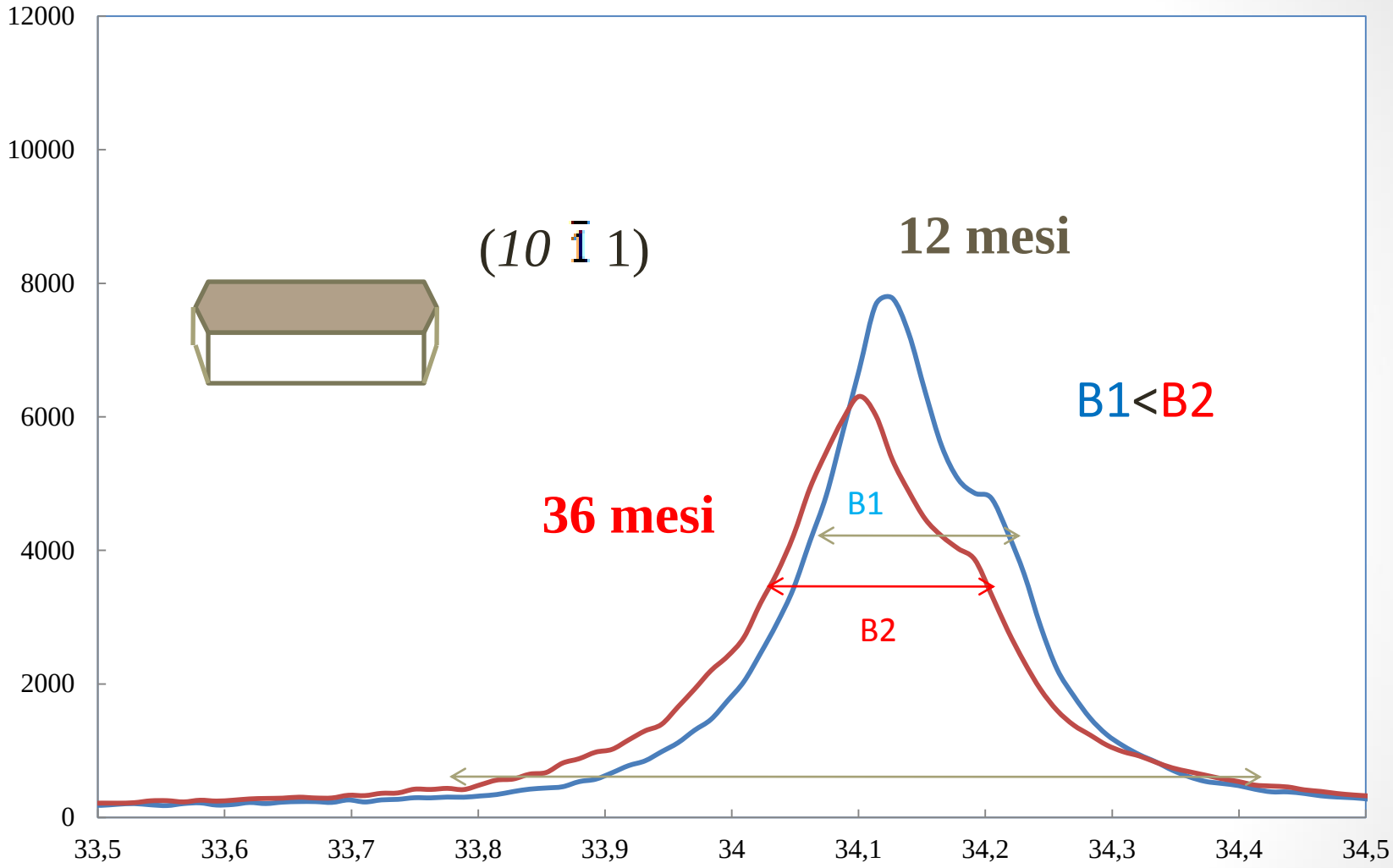
Equazione di Sherrer

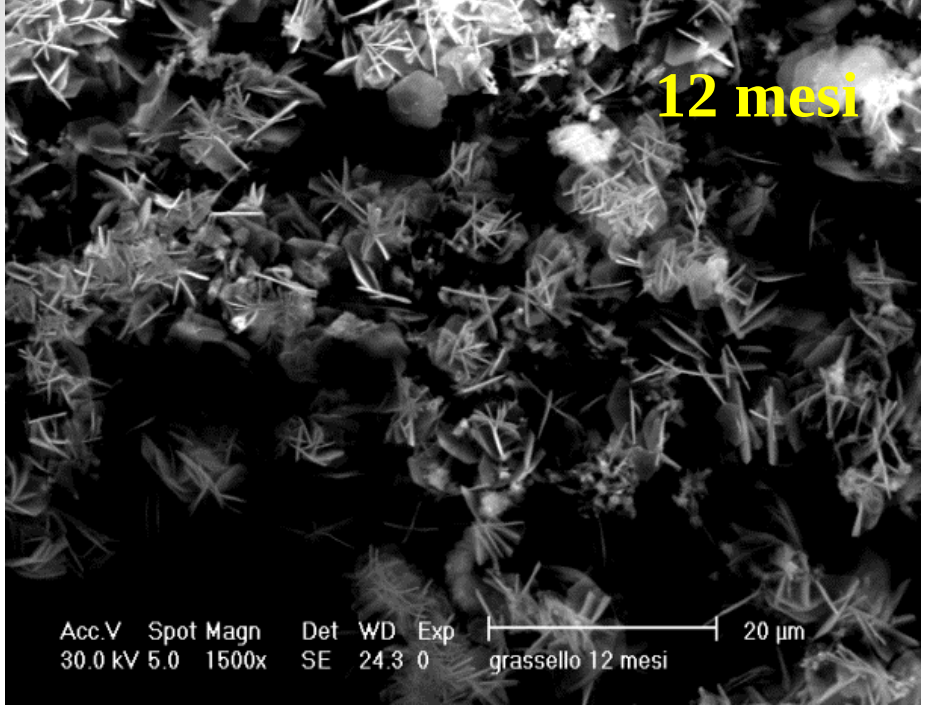
D= dimensione media cristalliti = $n\lambda / 2 B \operatorname{sen}\theta$

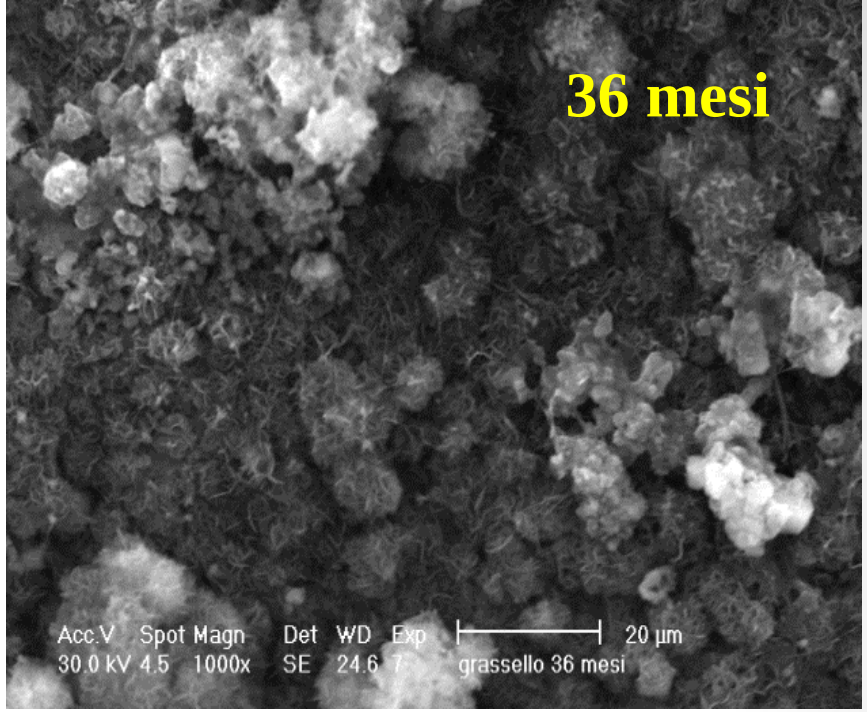


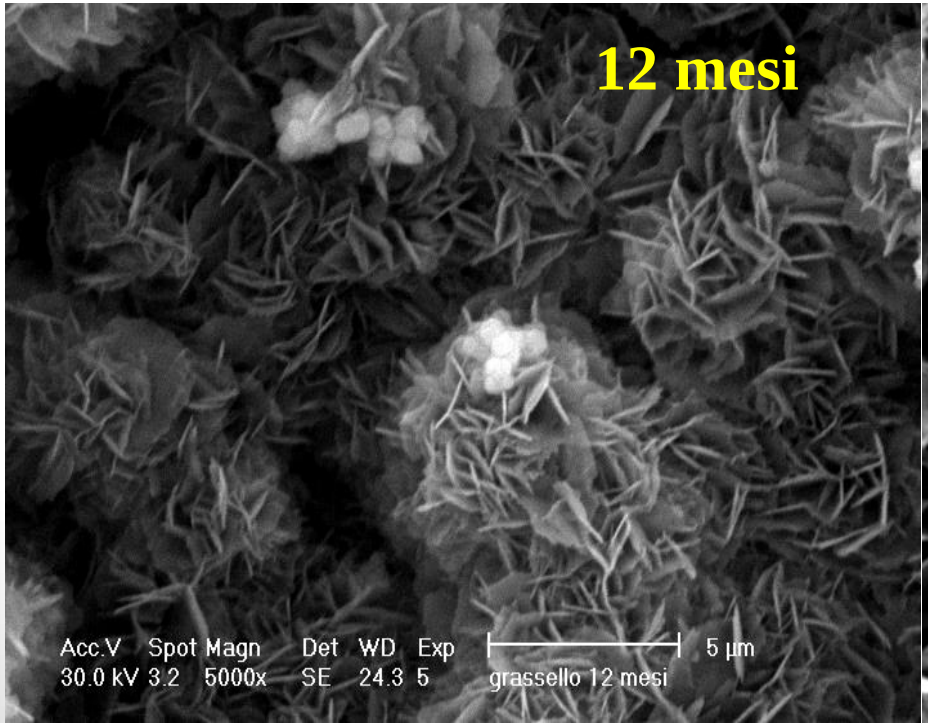
Equazione di Sherrer

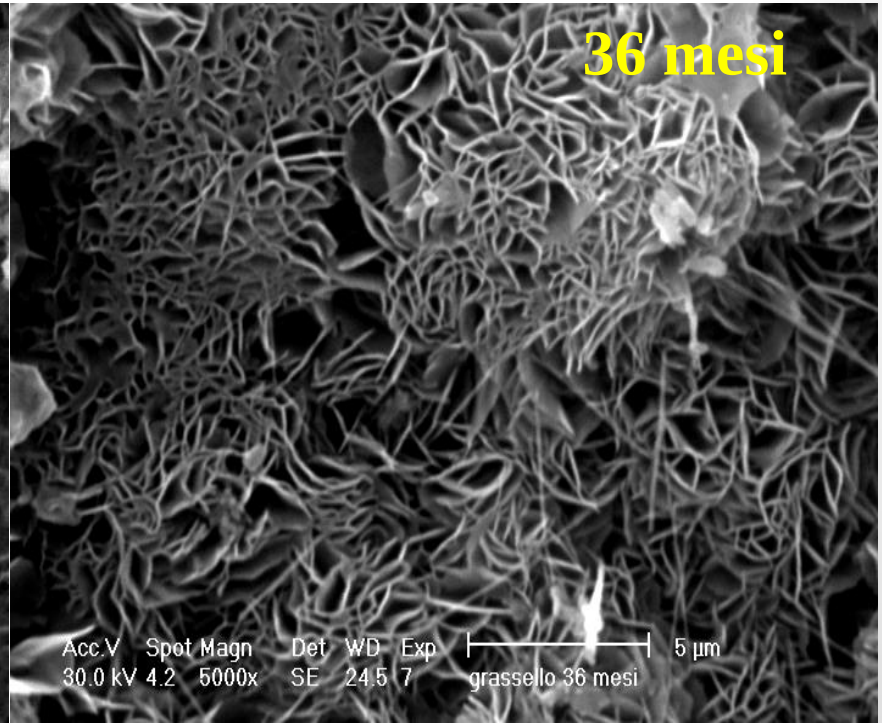
D= dimensione media cristalliti = nλ / 2 B senθ



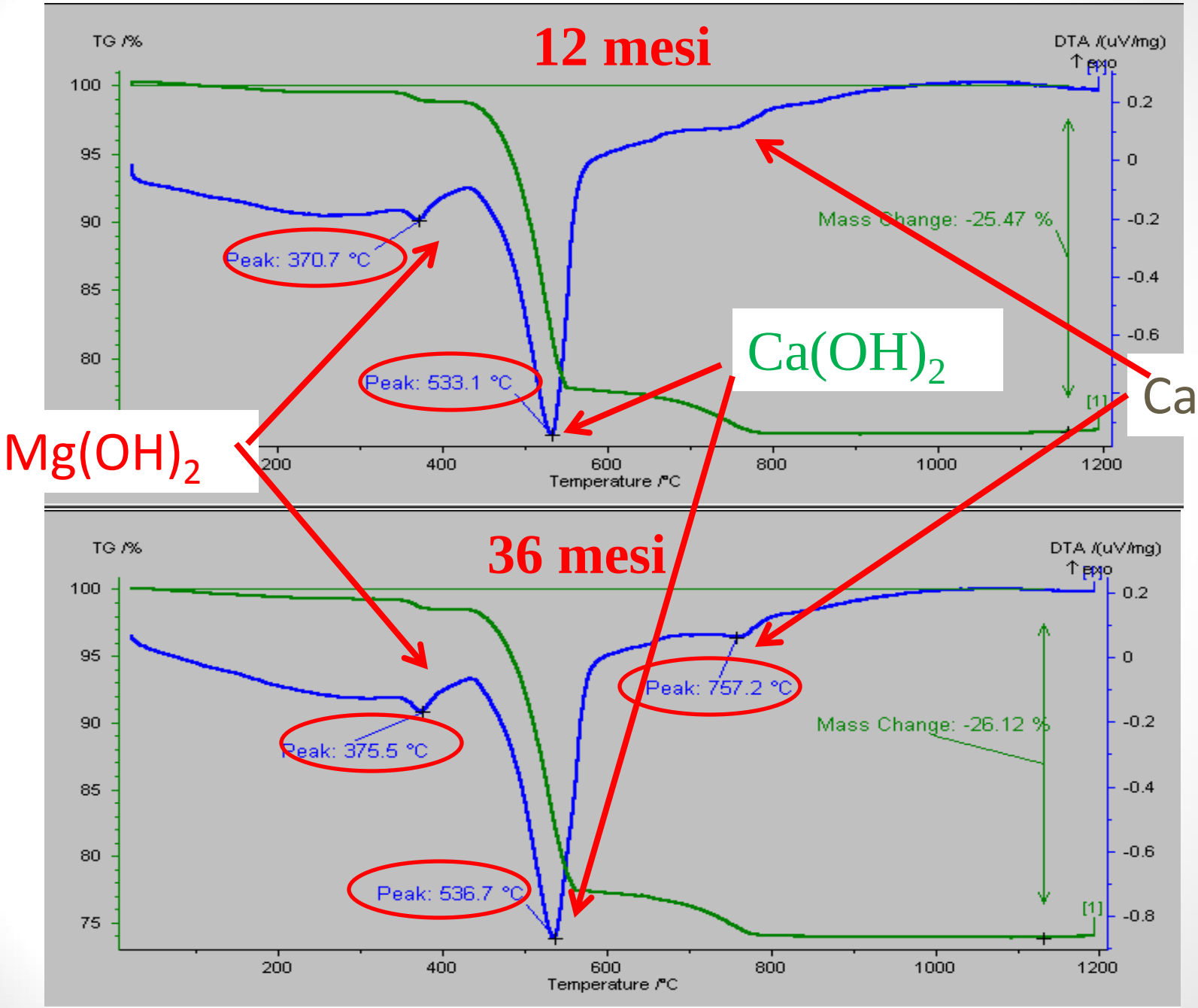

12 mesi
Acc.V Spot Magn Det WD Exp
30.0 kV 5.0 1500x SE 24.3 0
20 µm
grassello 12 mesi


36 mesi
Acc.V Spot Magn Det WD Exp
30.0 kV 4.5 1000x SE 24.6 7
20 µm
grassello 36 mesi


12 mesi
Acc.V Spot Magn Det WD Exp
30.0 kV 3.2 5000x SE 24.3 5
5 µm
grassello 12 mesi


36 mesi
Acc.V Spot Magn Det WD Exp
30.0 kV 4.2 5000x SE 24.5 7
5 µm
grassello 36 mesi

Analisi termica differenziale (DTA) e termo-gravimetrica (TGA)



Dall'analisi termo gravimetrica si rilevano quattro perdite di peso connesse:

- *all'adsorbimento di umidità;*
- *alla decomposizione della brucite, $Mg(OH)_2$*
- *alla decomposizione della portlandite $Ca(OH)_2$*
- *alla decomposizione della calcite, $CaCO_3$*

Composizione chimica (% in peso) della *calce viva* quale precursore dei due grasselli a differente stagionatura.

CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	SiO_2	SO_3	H_2O	CO_2
95,1	1,6	0,3	0,001	0,03	0.002	0.2	0,7	2.3

~ 0.5 %

Composizione mineralogica dei grasselli stagionati per 12 e 36 mesi,

Tempo di stagionatura del grassello (mesi)	Umidità (%)	Brucite (%)	Portlandite (%)	Calcite (%)	Totale (%)
12	0.8	2.4	86.3	6.6	96.1
36	0.8	2.4	88.3	7.7	99.2

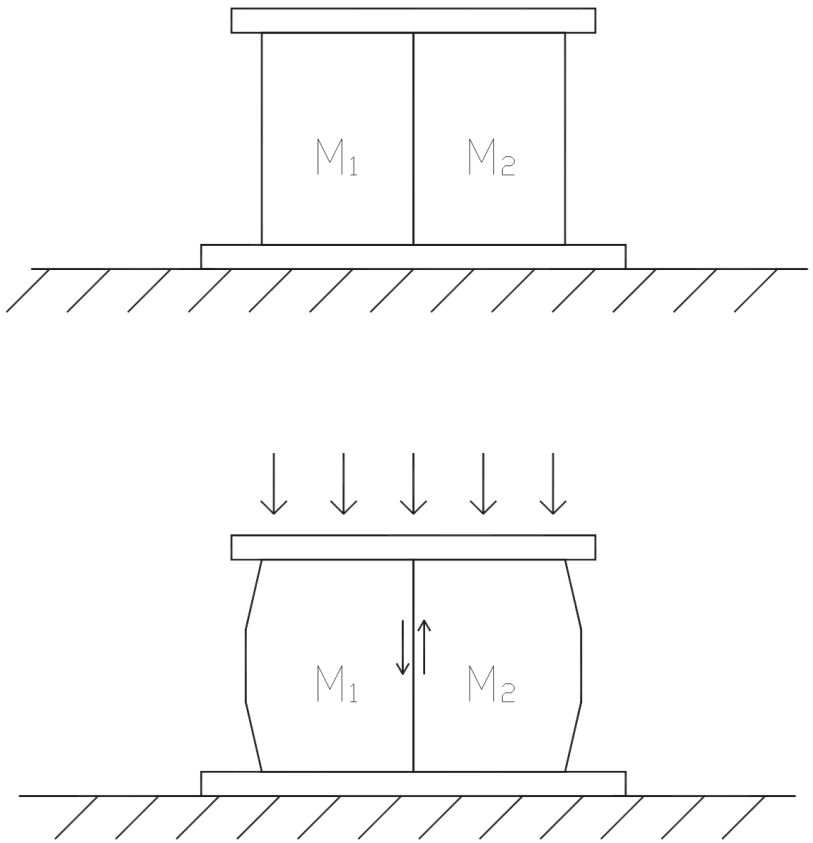
Composizione chimica della calce viva, precursore di grasselli stagionati per tempi differenti.

CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	SiO_2	CO_2	H_2O	SO_3
94,3	1,8	0,2	0,001	0,03	0.002	2,5	0,6	0,3

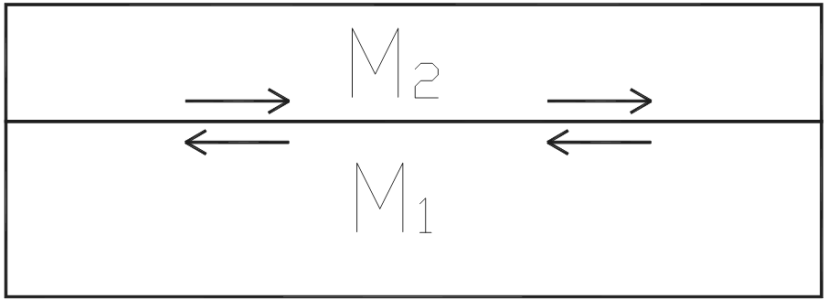
Composizione mineralogica di grasselli stagionati per tempi differenti

Tempo di stagionatura del grassello (mesi)	Umidità (%)	Brucite (%)	Portlandite (%)	Calcite (%)	Totale (%)
3	0.6	1.4	81.3	12.3	95.6
12	0.6	1.4	85.7	9.5	97.2
24	0.6	1.4	86.8	10.1	98.9
36	0.7	1.6	86.1	9.9	98.3
48	0.5	2.0	86.1	10.6	99.2
66	0.5	2.1	86.7	10.5	99.8

Accoppiamento di materiali a differente modulo elastico



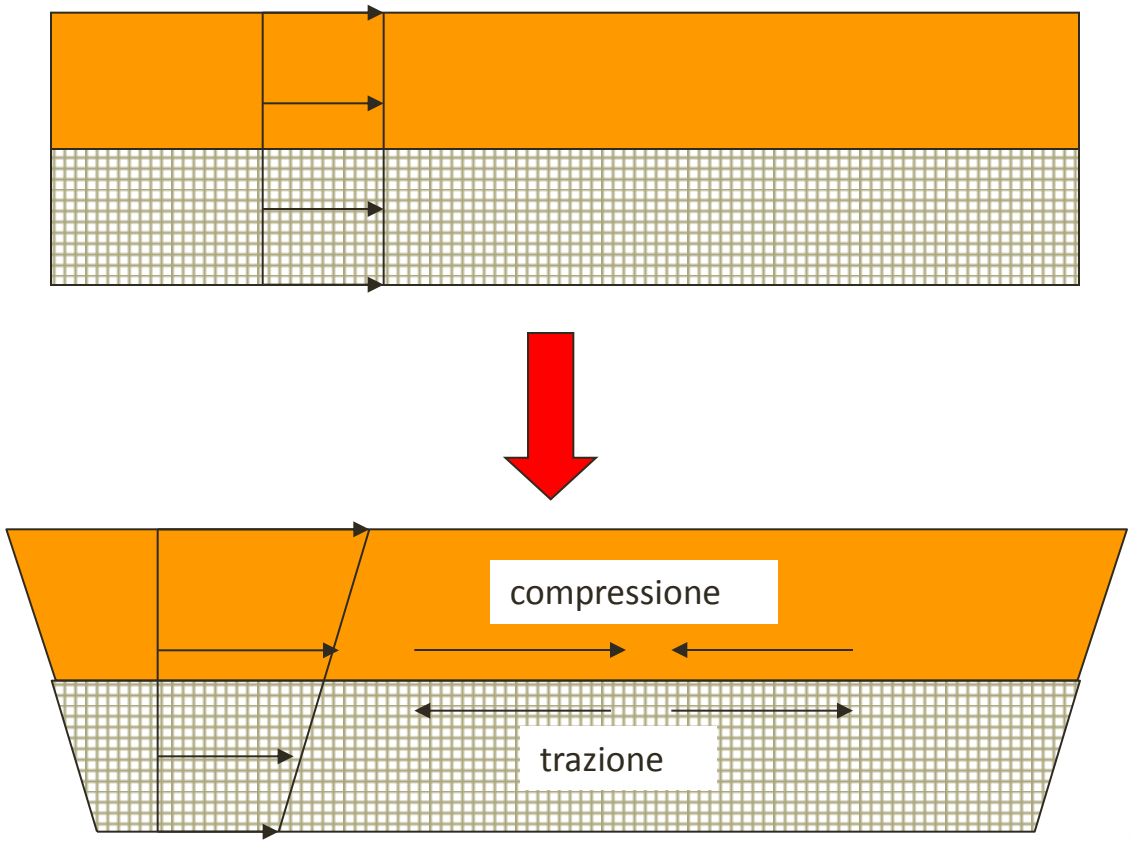
Accoppiamento di materiali a differente ritiro igrometrico



ali

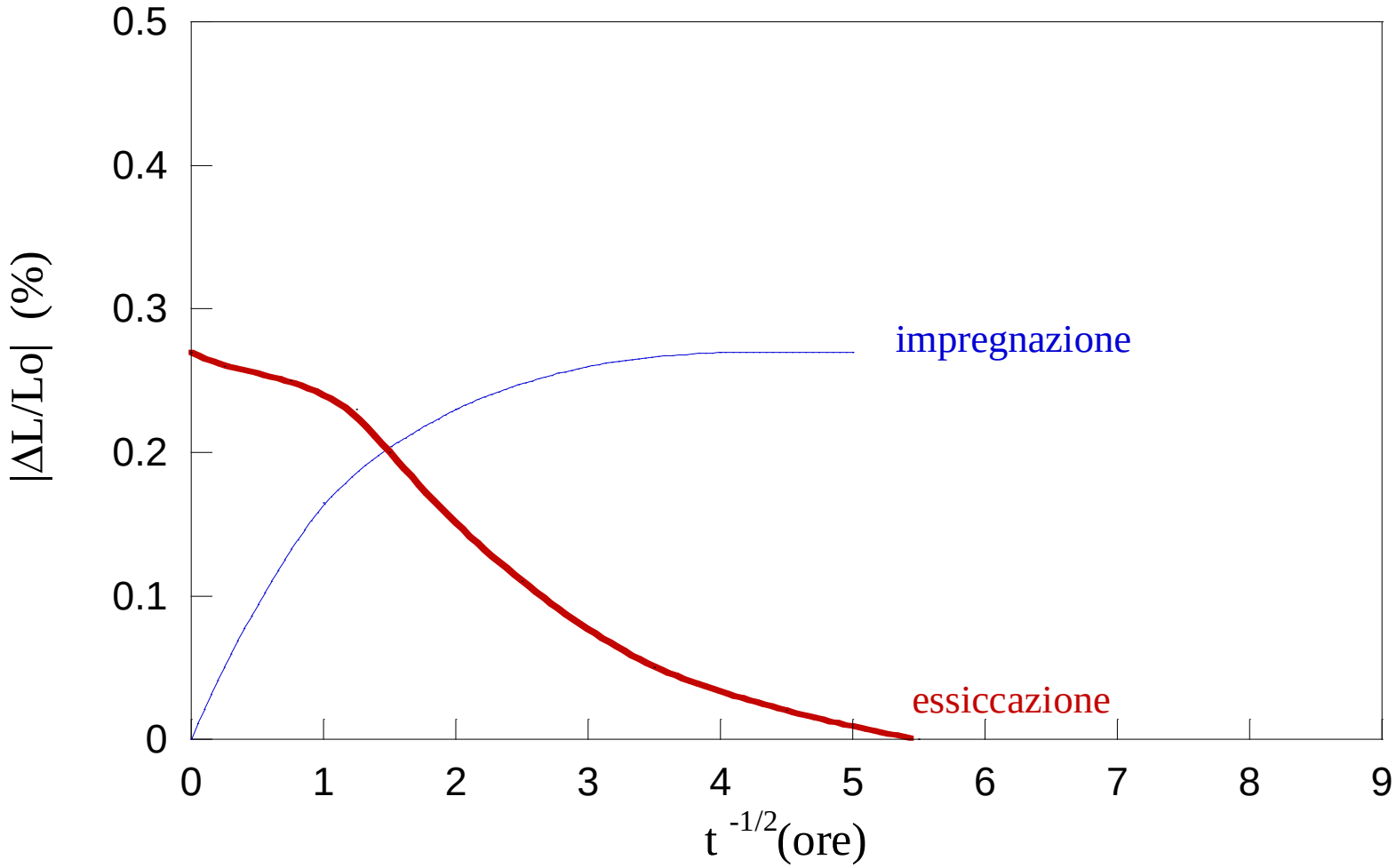
ecia.

Accoppiamento di materiali a differente coefficiente di dilatazione termica



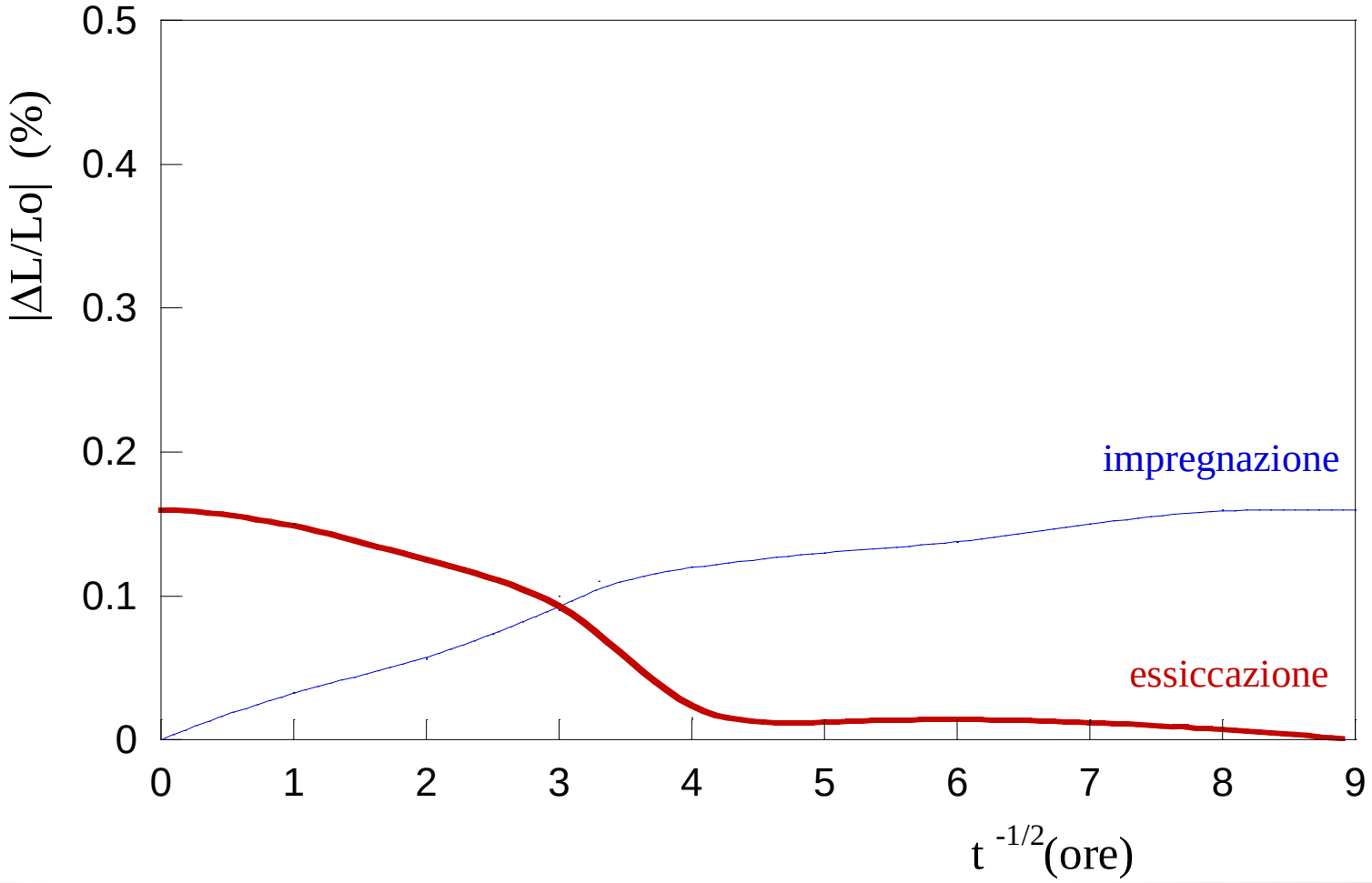
Accoppiamento di materiali a differente coefficiente di assorbimento

Tufo giallo: misure di dilatazione-contrazione a seguito di prove di impregnazione-essiccazione eseguite in acqua distillata



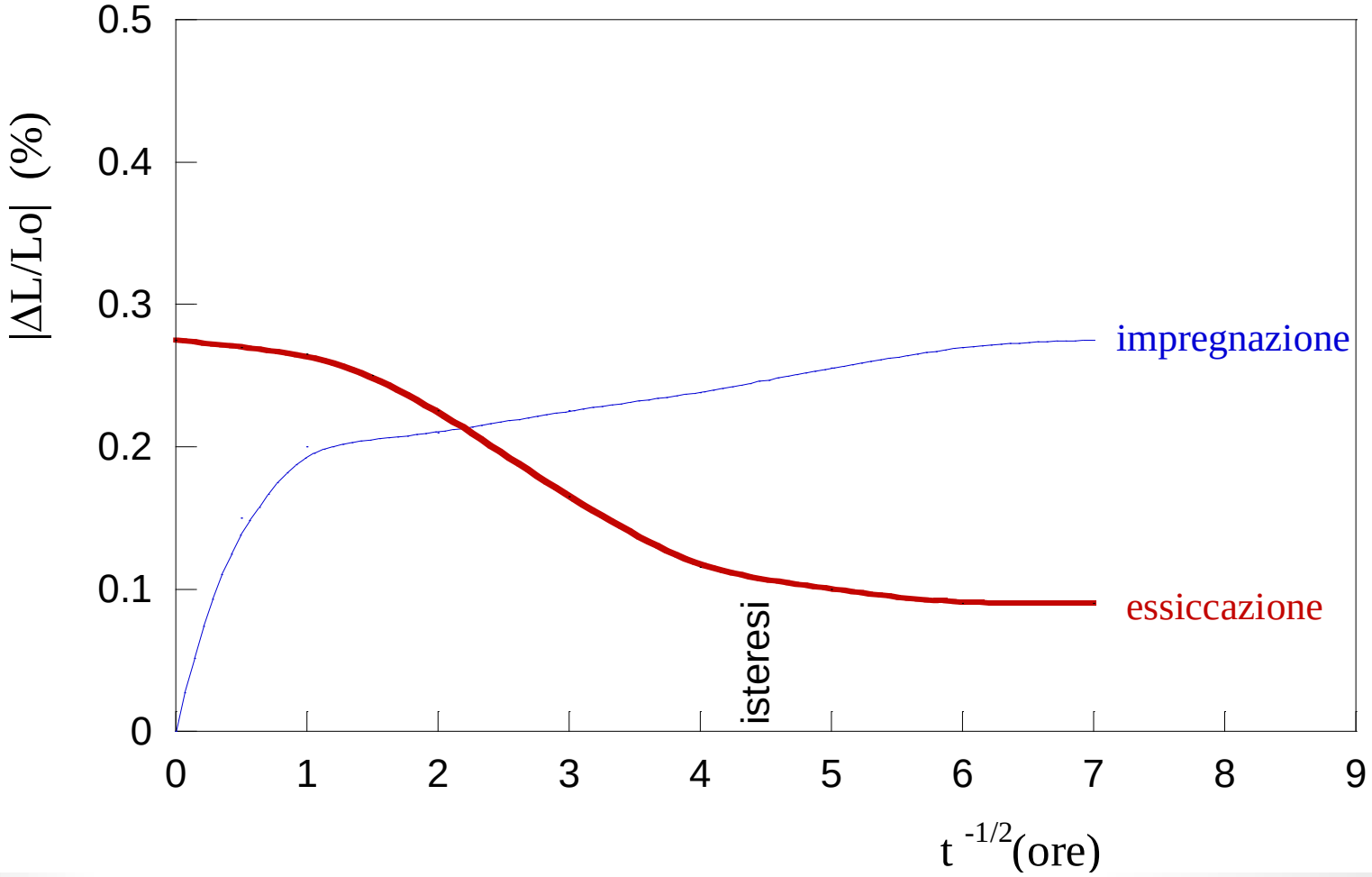
Accoppiamento di materiali a differente coefficiente di assorbimento

Tufo grigio: misure di dilatazione-contrazione a seguito di prove di impregnazione-essiccazione eseguite in acqua distillata



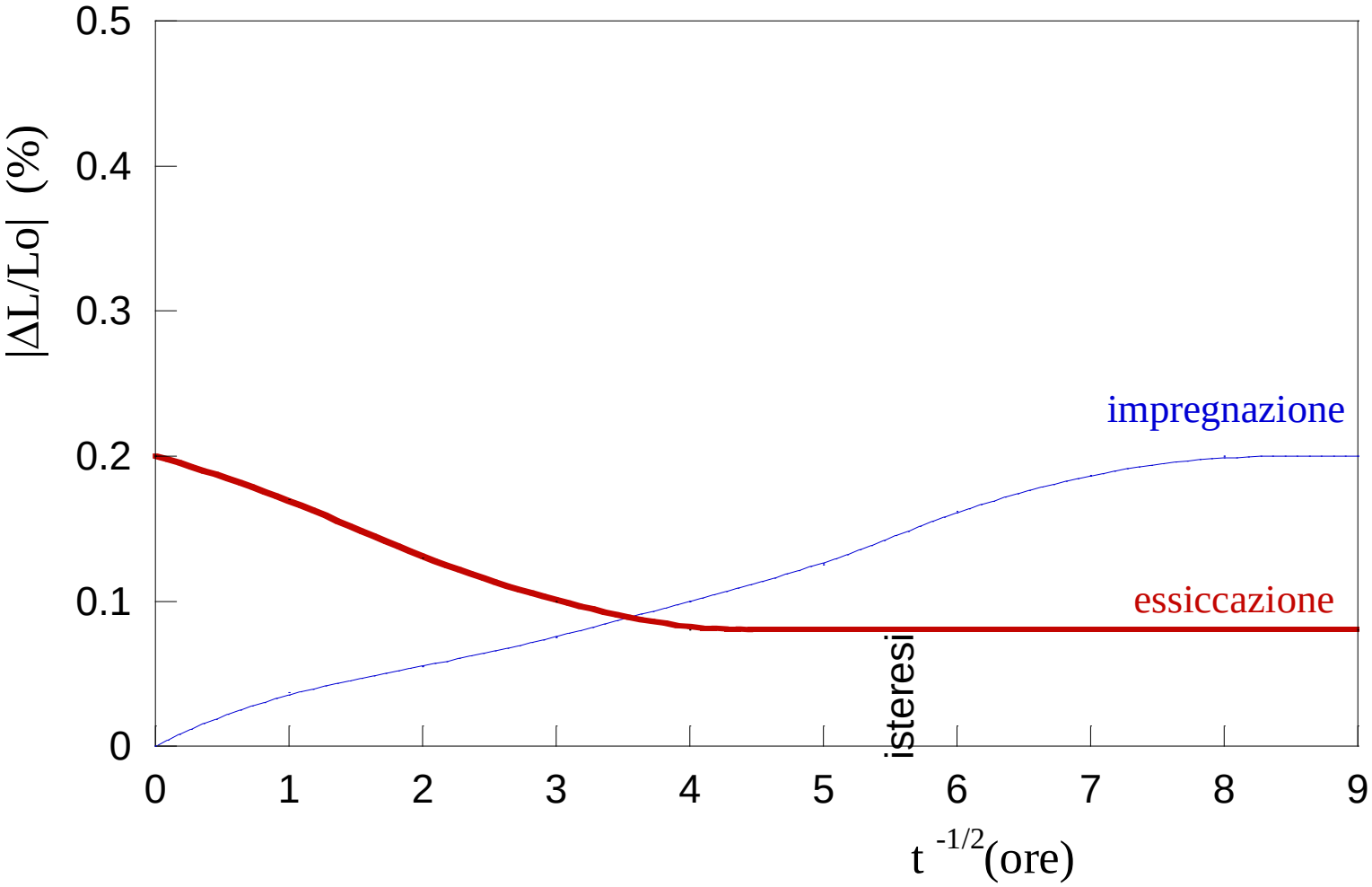
Accoppiamento di materiali a differente coefficiente di assorbimento

Tufo giallo: misure di dilatazione-contrazione a seguito di prove di impregnazione-essiccazione eseguite con soluzione salina

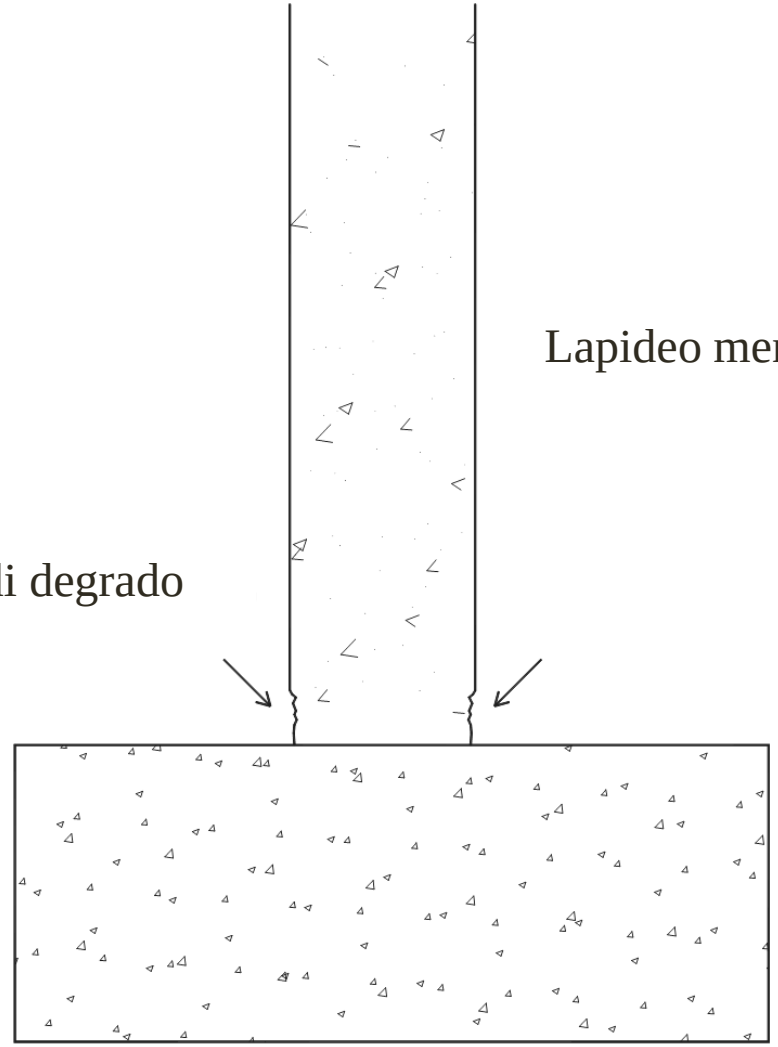


Accoppiamento di materiali a differente coefficiente di assorbimento

Tufo grigio: misure di dilatazione-contrazione a seguito di prove di impregnazione-essiccazione eseguite con soluzione salina



Accoppiamento di lapideo o materiale compatto con altro meno compatto



Esempio eccezionale di compatibilità

Portici (Granatello)

Malta di allettamento a base di calce e aggregati pozzolanici con caratteristiche meccaniche simili a quelle dei lapidei.

Perche?