

# ROCCE DA COSTRUZIONE E ALTERAZIONE: MODELLI, TASSI, MISURE

A cura di Stefano FURLANI, a.a. 2021-2022

---

Programma

# OBIETTIVI DELLA LEZIONE

# IN QUESTA LEZIONE

---

- × Introduzione al problema e tentativi di unire le discipline
  
- × Malintesi tra discipline affini nello studio delle rocce da costruzione
  - + Comportamenti delle rocce negli ambienti naturali e sugli edifici
  - + Controllo ambientale dei processi fisico/chimici
  - + Evoluzione nel breve e lungo termine dei processi di degradazione delle rocce da costruzione
  
- × Monitoraggi a breve e lungo termine
  
- × Durabilità dei materiali da costruzione
  
- × Possibilità future nello studio della degradazione delle rocce da costruzione

# TEMPIO DI POSEIDONE (CAPO SUNIO, GRECIA)

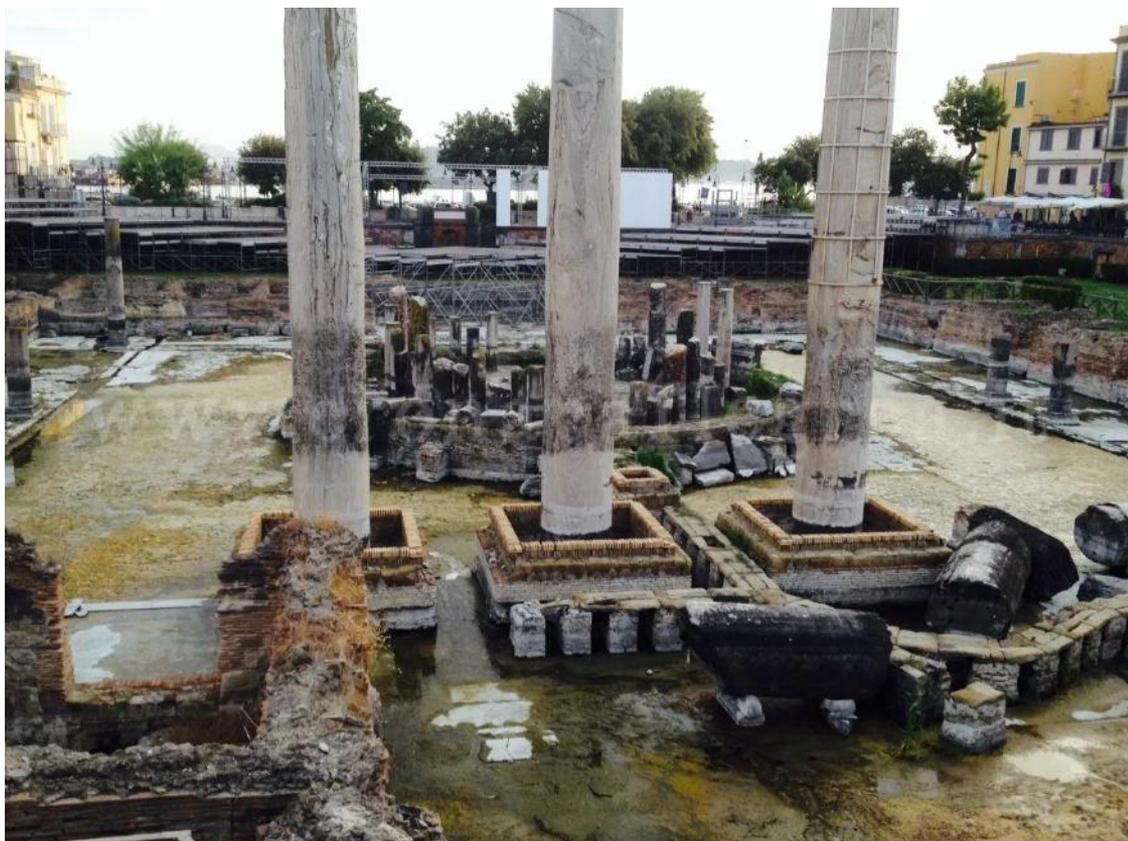


# PREMESSA

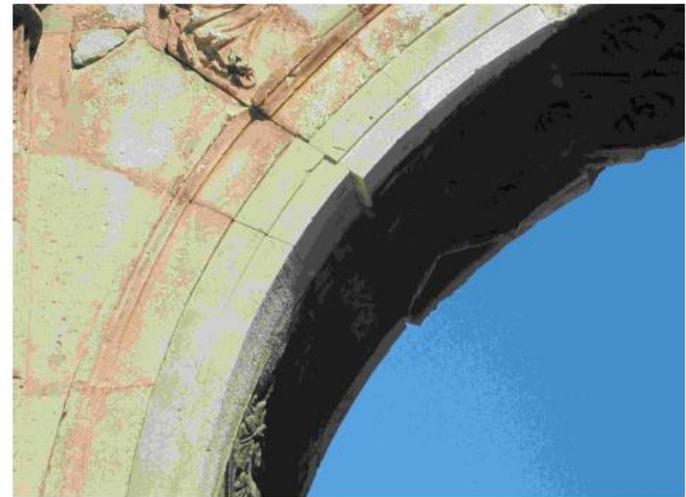
---

- × Approccio interdisciplinare al tema;
- × Negli ultimi anni, molti geomorfologi/geografi fisici si sono occupati di questo settore, integrando con conoscenze provenienti dallo studio del territorio e dell'ambiente naturale in cui si trovano le rocce;
- × In questa lezione vedremo quali sono i temi cruciali sull'argomento, collegati allo studio geomorfologico sulla degradazione delle rocce;
- × Alcune considerazioni sulle prospettive future, su come il comportamento delle pietre da costruzione e gli studi connessi potrebbero cambiare in risposta alla sfida incombente del cambiamento climatici

# POSSIBILITÀ OLTRE CHE DANNI



Tempio Serapeo



*Fig. 7. Porta Aurea, western façade, dropped ashlar in the arch.*



# DEGRADAZIONE ED EROSIONE

- ✘ La roccia è un materiale molto adattabile e sostenibile come materiale da costruzione, a basso impatto di produzione di CO<sub>2</sub>;
- ✘ Rappresenta inoltre il bagaglio tangibile di buona parte del patrimonio culturale nel mondo;
- ✘ La sua vita però è limitata, e può essere drasticamente ridotta in alcuni ambienti, come quello urbano o costiero



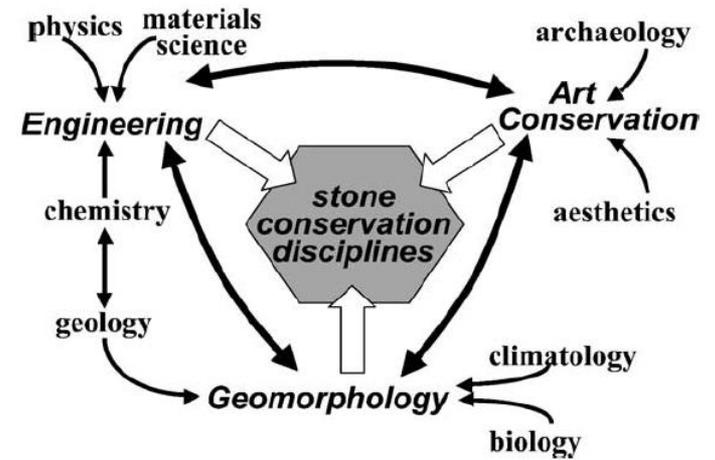
# CONOSCENZE FONDAMENTALI

---

- × Per questo motivo, è essenziale che la conservazione della pietra che si sta degradando sia sostenuta da una conoscenza dettagliata del comportamento della pietra;
- × Le questioni sono:
  - + come diversi tipi di pietra decadono in ambienti specifici,
  - + quali fattori innescano e controllano processi di decadimento
  - + quali strategie possono essere appropriate per gestire il decadimento o ritardarne l'avvio in primo luogo.



# SCIENZIATI VS TECNICI



*L'applicazione senza la teoria è cieca, la teoria senza l'applicazione è mero gioco intellettuale (Kant)*

L'unione tra teoria e applicazione in questa disciplina è una richiesta di cooperazione tra gli studi di degradazione e quelli sulla conservazione

# PRIMI APPROCCI

---

- × Cooke (1989) pioniere nel ruolo dei geomorfologi sullo studio degli effetti della deposizione acida sulle pietre;
- × Primi studi su somiglianze nei processi di degradazione tra roccia esposta in ambienti desertici ricchi di sale ed edifici in ambienti urbani inquinati (Winkler, 1975);
- × Studi sul confine tra discipline diverse

# APPROCCI FIELD E NON-FIELD

---

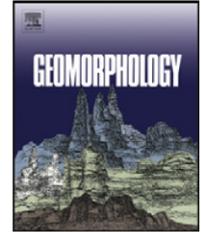
- × Approccio non-field utile soprattutto per modellizzare i processi;
- × Approccio field, utile per range ambientali, tipi di rocce, variabilità climatica, ecc, in quanto si tratta di fattori molto complessi da modellizzare a scale temporali e spaziali globali.



Contents lists available at ScienceDirect

## Geomorphology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)



### The role of fieldwork in rock decay research: Case studies from the fringe

Ronald I. Dorn <sup>a,\*</sup>, Steven J. Gordon <sup>b</sup>, Casey D. Allen <sup>c</sup>, Nicole Cervený <sup>d</sup>, John C. Dixon <sup>e</sup>, Kaelin M. Groom <sup>e</sup>, Kevin Hall <sup>f</sup>, Emma Harrison <sup>a</sup>, Lisa Mol <sup>g</sup>, Thomas R. Paradise <sup>e</sup>, Paul Sumner <sup>h</sup>, Tyler Thompson <sup>a</sup>, Alice V. Turkington <sup>i</sup>

<sup>a</sup> School of Geographical Sciences and Urban Planning, Box 875302, Arizona State University, Tempe, AZ 85287–5302, USA

<sup>b</sup> Department of Economics and Geography, United States Air Force Academy, 2354 Fairchild Drive, Colorado Springs, CO 80840–6299, USA

<sup>c</sup> Department of Geography and Environmental Sciences, University of Colorado Denver, P.O. Box 173364, Campus Box 172, Denver, CO 80217–3364, USA

<sup>d</sup> Cultural Sciences Department, Mesa Community College, 7110 East McKellips Road, Mesa, AZ 85207, USA

<sup>e</sup> Department of Geosciences, University of Arkansas, Fayetteville, AR 72701, USA

<sup>f</sup> Department of Geography, University of Northern British Columbia, Prince George, British Columbia, Canada V2N 4Z9

<sup>g</sup> School of Geography and the Environment, South Parks Road, University of Oxford, OX1 3QY, UK

<sup>h</sup> Department of Geography, Geoinformatics and Meteorology, University of Pretoria, South Africa

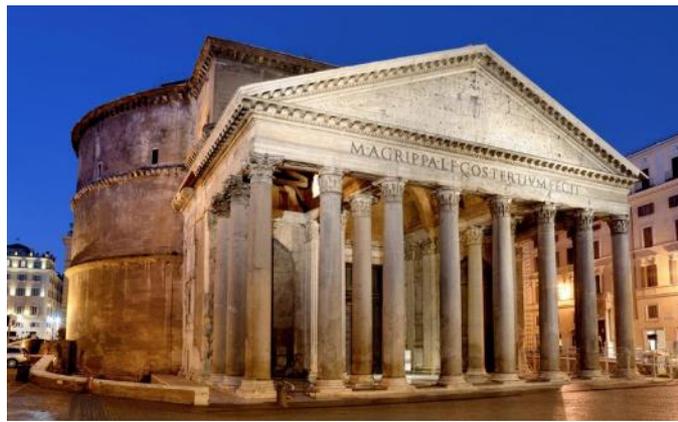
<sup>i</sup> Department of Geography, University of Kentucky, 1457 Patterson Office Tower, Lexington, KY 40506–0027, USA

---

# DURABILITÀ DELLE PIETRE DA COSTRUZIONE

# DURABILITÀ DELLA PIETRA

- ✘ La pietra è un materiale naturale formato da aggregati naturali di minerali, in genere sono eterogenei, nel senso che sono formate da più minerali, hanno una buona resistenza a sollecitazioni di compressione e una bassa resistenza a sollecitazioni di trazione.
- ✘ Gli antichi monumenti in pietra nel corso della storia, hanno subito numerose tensioni di trazione dovute all'ambiente, tra cui sbalzi termici, cedimenti del terreno, sismicità, gelo, cristallizzazione dei sali, ecc.



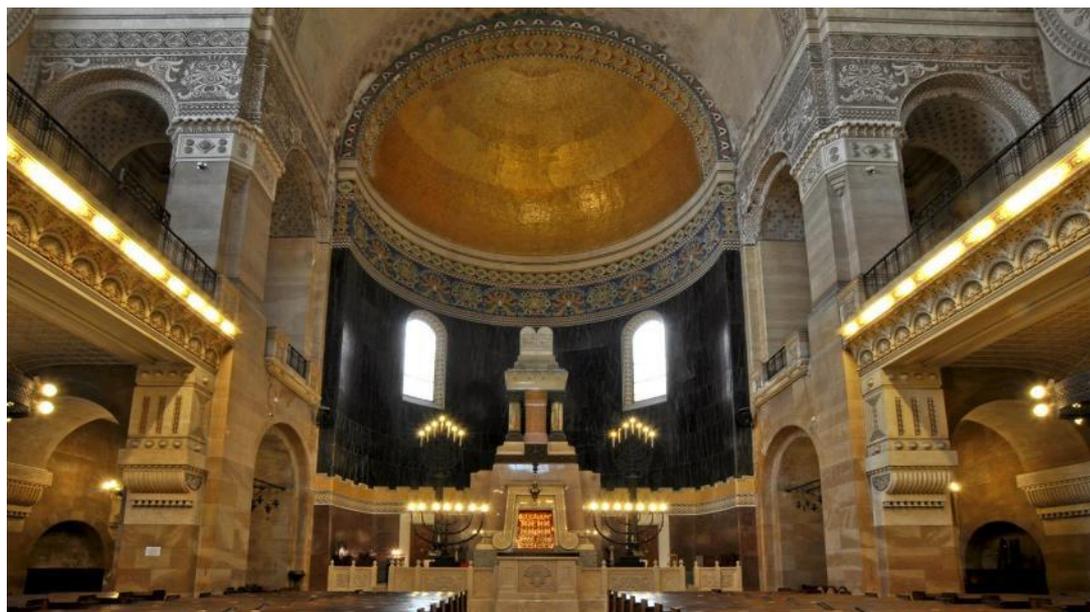
# DURABILITÀ DELLA PIETRA

- × Il livello di degrado che influenza la durabilità della pietra è molto variabile, e dipende dal tipo di pietra utilizzata, dall'esposizione e dalla disomogeneità del materiale (lo stesso blocco di pietra può avere livelli di degrado differenti in ogni suo punto).
- × La pietra, intesa come materiale da costruzione, ha una velocità di degrado molto bassa, un fattore importante che ne influenza la durabilità è la compattezza e cioè il numero di pori che la pietra presenta, minore è la porosità e maggiore è la resistenza e quindi la durabilità.



# DURABILITÀ DEL CEMENTO ARMATO

- × Il cemento armato è un materiale eterogeneo formato da calcestruzzo e barre di acciaio, il calcestruzzo è una miscela di cemento, acqua, sabbia e aggregati.
- × Anche per il cemento armato la durabilità è intesa come la conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche al fine di garantire la sicurezza della struttura durante la sua vita nominale.



# DURABILITÀ DEL CEMENTO ARMATO

- × La vita nominale, indicata con  $V_n$  è il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per opere ordinarie la vita nominale  $\geq 50$  anni, per grandi opere  $\geq 100$  anni.
- × Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo (norme NTC 2008).



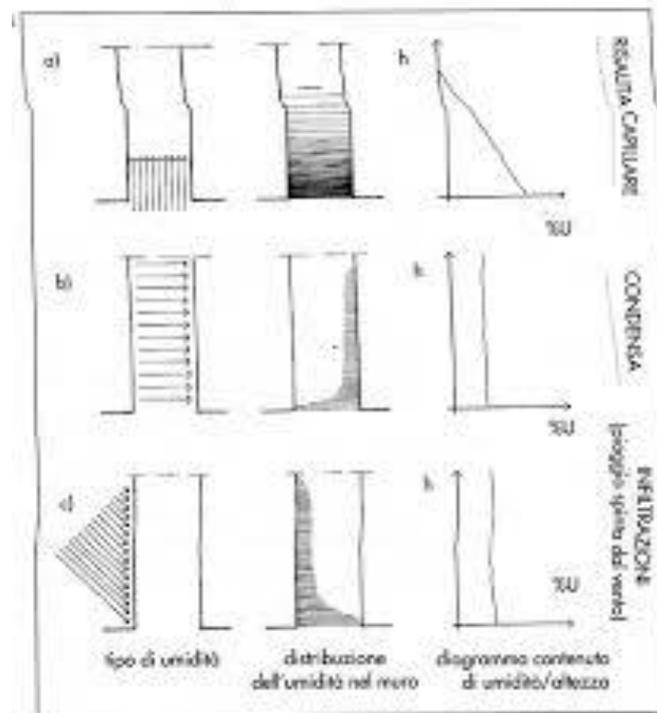
# PROCESSI DI DEGRADO

---

- ✘ Si intende per degrado il deterioramento dei materiali, delle strutture o l'assenza di attività manutentive;
- ✘ Spesso i fenomeni di degrado sono causati dall'attività dell'uomo sia nei processi di lavorazione dei materiali, sia durante le operazioni di restauro, purtroppo a volte è dovuto ad atti vandalici, ne sono un esempio i graffiti;
- ✘ I fenomeni naturali, sollecitazioni meccaniche o alterazioni chimiche, possono provocare danni significativi alla struttura soprattutto se si protraggono per un lungo periodo di tempo.

× Fra le cause estrinseche, la presenza di umidità rappresenta una delle cause più frequenti di degrado, questa si manifesta nelle costruzioni come:

- + risalita capillare (in particolare su laterizi, meno su materiali lapidei),
- + infiltrazioni,
- + condensa,
- + crescita di vegetazione,
- + Altri processi



# PROCESSI LEGATI ALL'ACQUA

- ✘ L'acqua può portare alla formazione di cristalli di ghiaccio, con temperatura dell'ambiente bassa, oppure formazione di cristalli costituiti da sali solubili presenti in essa che, a seguito dell'evaporazione dell'acqua, si depositano nei pori del materiale.
- ✘ L'acqua favorisce il degrado chimico dei materiali. La pioggia e l'umidità entrano in contatto con le superfici dei materiali rilasciando le impurità presenti nell'atmosfera, favorendo così la formazione di croste nere;
- ✘ Nei metalli, l'acqua sulle superfici può dar vita al fenomeno della corrosione, che interessa manufatti fuori terra e nel sottosuolo.
- ✘ L'acqua favorisce il degrado biologico, in quanto si possono sviluppare dei microrganismi, come alghe, funghi o batteri, che degradano il materiale



# RIEPILOGO DEI PROCESSI DI DEGRADAZIONE

- × Weathering fisico:
  - + Aloclastismo;
  - + Crioclastismo;
  - + Termoclastismo;
  
- × Weathering chimico:
  - + Carbonatazione (cemento, calce in carbonati);
  - + Solfatazione
  - + Ossidazione
  
- × Weathering biologico
  - + Microorganismi autotrofi (sofobatteri – efflorescenze saline, nitrobatteri – croste nere)
  - + Microorganismi eterotrofi (batteri – patine colorate, attinomiceti – patina biancastra granulosa, funghi)
  - + Organismi autotrofi (muschi, licheni, piante)
  - + Organismi eterotrofi (insetti, aracnici)
  - + Crescita di piante, guano, ecc.

# RUOLO DEI PROCESSI NELLA DEGRADAZIONE

Da: Gomez-Heras & McCabe (2015)

**Table 2**

Potential stress-inducing events, associated features and potential role in long term behaviour of stone.

Decay factor	Associated features	Potential role in long term behaviour of stone
Black crusts	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deposits grow</li><li>• Reduced surface permeability</li><li>• Accumulation of salts behind the crust</li><li>• Weakening of underlying layers</li><li>• Migration of heavy metals towards the stone</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• While stabilizing surfaces when growing, their detachment exposes a weakened underlying surface which may decay catastrophically if a new black crust does not stabilize it.</li></ul>
Frost	<ul style="list-style-type: none"><li>• Potentially angular features, but frost may not have unique diagnostic decay features</li><li>• Stone grains gathered at base of wall</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intangible weakening of stone, often not visible to unaided eye</li><li>• Exploitation of inherited weakness by salt weathering, background environmental cycling</li></ul>
Fire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soot</li><li>• Discolouration (oxidation)</li><li>• Hydrophobicity</li><li>• Fracturing and spalled corners</li><li>• Loss of stone strength</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exploitation of inherited weakness by salt weathering, background environmental cycling</li></ul>
Lime render/ removal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Remains of lime render may be visible</li><li>• Reduced surface permeability</li><li>• Calcium-rich near surface zone</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reduced surface permeability traps salts in stone interior and causes heterogeneity</li><li>• Potential for formation of calcium salts</li></ul>
Inappropriate conservation	<ul style="list-style-type: none"><li>• 'Box work'</li><li>• Iron fixings in stone</li><li>• Impermeable surface treatments</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 'Box work' forces moisture through soft stone faces</li><li>• Physical damage through swelling of fixings and chemical corrosion</li><li>• Trapping of moisture and salt in stone interior</li><li>• Exploitation by background environmental cycling</li></ul>

Attenzione, alcuni processi di degrado possono avere anche effetti protettivi sulla roccia, specie nel breve termine

---

**MALINTESI COMUNI**

---

# MALINTESI COMUNI (SMITH ET AL. 2002)

1. Sistemare una pietra in un edificio la immunizza da processi di alterazione naturale;
2. i controlli ambientali sono secondari rispetto alle proprietà fisiche delle pietre per ciò che riguarda la loro durabilità;
3. il degrado è legato principalmente alle condizioni climatiche attuali;
4. le «prestazioni» della pietra sono previste in modo soddisfacente attraverso test di durata a breve termine;
5. il degrado è un processo costante e continuo che può essere estrapolato dal monitoraggio a breve termine

# 1) SISTEMARE UNA PIETRA IN UN EDIFICIO LA IMMUNIZZA DA PROCESSI DI ALTERAZIONE NATURALE

---

- × La messa in opera di una pietra non la immunizza dai processi di degrado;
- × Questo spesso crea la credenza che qualsiasi decadimento rapido è accidentale oppure legato ad una cattiva manutenzione;
- × Probabilmente i processi attuali di degrado sono più veloci a causa di inquinamento, incremento dell'acidità della pioggia, ecc;
- × Molte strutture infatti si sono preservate intatte per migliaia di anni, e questo dovrebbe far pensare...anche se non tutte!!!
- × In molti casi si è intervenuto nel passato per ripristinare danni, pietre rovinate, ecc.

# IL CASO POMPEI

## A Pompei crolla ancora solo il futuro

da Antonio Irlando - 23 febbraio 2012

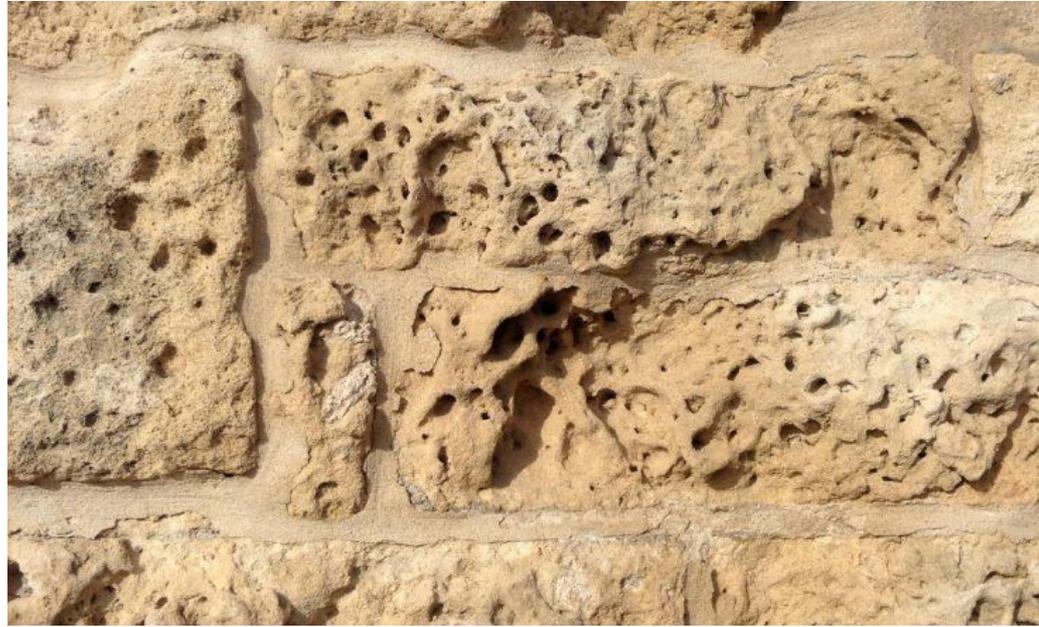


A voler essere molto ottimisti il dato drammatico che spiega la situazione di degrado in molte aree della città archeologica di Pompei è questo: ad un crollo reso noto ne corrispondono almeno 9 di cui non si ha notizia, uno per ogni "Regio" in cui è suddivisa l'antica città romana.



- 
- × Conseguenza molto pericolosa di questo modo di concepire il degrado della pietra da costruzione è il pensare che i processi responsabili devono essere diversi da quelli naturali;
  - × Ne consegue che se la causa immediata del "decadimento accelerato" viene rimossa, la pietra cesserà di degradarsi e potrà essere recuperata;
  - × La realtà è, ovviamente, più complicata di quanto detto

# ES: DEGRADAZIONE ALVEOLARE



- 
- × I processi fondamentali alla base del degrado delle pietre da costruzione on in ambiente naturale sono essenzialmente gli stessi, sebbene gli ingredienti e il modo in cui vengono miscelati possono differire in modo significativo;
  - × Posizionare la pietra in un edificio non la immunizza dai modelli naturali di degradazione delle rocce. Invece si sovrappone ai processi naturali nuovi, aggiuntivi, insieme a condizioni e fattori che interagiscono in modi più complessi e spesso imprevedibili, per produrre nuovi modelli e tassi di decadimento;
  - × Un fattore aggiuntivo, ad esempio, può essere l'inquinamento

## 2) I CONTROLLI AMBIENTALI SONO SECONDARI RISPETTO ALLE PROPRIETÀ FISICHE DELLE PIETRE PER CIÒ CHE RIGUARDA LA LORO DURABILITÀ

---

- ✘ Coloro che lavorano nel settore dell'edilizia provengono principalmente da contesti ingegneristici, che enfatizzano le caratteristiche fisiche;
- ✘ Al centro di questa visione ci sono state le indagini sul ruolo della temperatura come parametro fondamentale che guida un'ampia varietà di meccanismi di degradazione, in particolare quelli che coinvolgono il sale.
- ✘ Nel fare questo, i ricercatori hanno dovuto contrastare la convinzione, ancora comunemente ritenuta valida, che il solo cambiamento di temperatura sia una delle principali cause di fratturazione della pietra.

# CONSEGUENZE ED EFFETTI

---

- × Non sono le alte o le basse temperature ad essere fondamentali, ma la rapidità e la frequenza con cui le temperature cambiano;
- × Determinanti sono i pochi millimetri esterni della pietra, dove la maggior parte degli agenti atmosferici agiscono, attraverso fenomeni come la disaggregazione granulare

### 3) IL DEGRADO È LEGATO PRINCIPALMENTE ALLE CONDIZIONI ATTUALI

---

- × La pietra ha una lunga memoria;
- × detriti di tutte le dimensioni portano con sé «storie morfologiche» che riflettono la formazione (spesso ad alte temperature e pressioni), la successiva esposizione sulla superficie terrestre e una storia spesso complessa e sovrapposta di fattori atmosferici, erosione, trasporto e deposizione;
- × Queste caratteristiche «ereditate» possono assumere molte forme, ed interessare le reti di microfratture causate dai processi di escavazione e dai fattori atmosferici precedenti a quelli inquinanti e ai loro sottoprodotti.

- 
- × McCabe et al., (2007a, b) hanno dimostrato in laboratorio che replicare le «storie tensionali» per blocchi di prova in arenaria, danno luogo a fenomeni di degradazione notevolmente diversi da quelli naturali, specie quando sono successivamente soggetti a una combinazione di gelo simulato e aloclastismo.

## 4) LE «PRESTAZIONI» DELLA PIETRA SONO PREVISTE IN MODO SODDISFACENTE ATTRAVERSO TEST DI BREVE TERMINE

---

- ✘ Durabilità: quanto tempo sopravviverà la pietra in particolari condizioni d'uso ed esposizione?
- ✘ Nell'industria lapidea il test più utilizzato per la durabilità è il test al solfato di sodio (si basa sulla possibilità di replicare il danno da gelo sulla pietra)

# TEST SOLFATO DI SODIO

---

- × Ci sono molti esempi di edifici storici nel mediterraneo che sono stati artificialmente invecchiati con l'applicazione di sostanze organiche (sangue, uova, latte, urina), per formare un rivestimento superficiale, o una patina di ossalato di calcio, che ha anche avuto il vantaggio di indurire la superficie esterna e di ritardare la degradazione.

- ✘ A causa di questa necessità di comprendere non solo la rapidità con cui la pietra si disgregherà e si eroderà, ma anche il modo in cui resisterà in situ, i geomorfologi hanno sviluppato un particolare interesse per la simulazione dei processi di alterazione atmosferica in condizioni controllate (laboratorio), in particolare per gli agenti atmosferici salini.



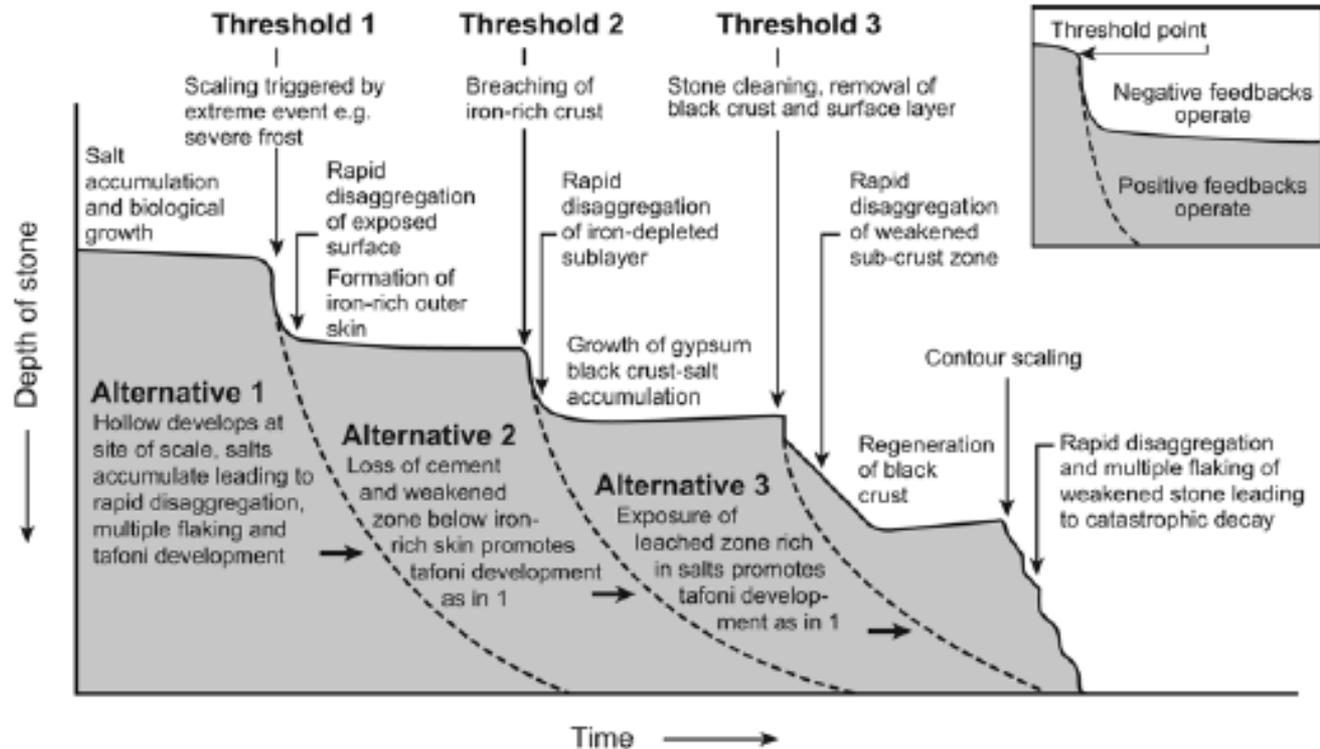
## 5) IL DEGRADO È UN PROCESSO COSTANTE E CONTINUO CHE PUÒ ESSERE ESTRAPOLATO DAL MONITORAGGIO A BREVE TERMINE

---

- × Il tasso di soluzione è influenzato da fattori quali quantità di precipitazioni, tempo di esposizione e chimica;
- × Con una conoscenza delle condizioni atmosferiche, si presume che i tassi di decadimento siano ampiamente prevedibili dall'osservazione a breve termine;
- × In effetti questa logica ha costituito la base di numerosi tentativi di modellare gli effetti della dissoluzione dei calcari da parte della pioggia acida sia in condizioni sperimentali che in natura

- 
- × Molte domande però emergono dall'estrapolazione dei tassi a lungo termine;
  - × Trudgill e Viles (1998), hanno affermato che i tassi di dissoluzione in laboratorio possono essere utilizzati per prevedere l'ordine di grandezza dei tassi misurati in campagna, sebbene non molto precisamente. Ancora peggio riguardo agli agenti atmosferici fisici e biologici;
  - × Molto dipende anche dai tassi di inquinamento a lungo termine, che possono incrementare i tassi.

- ✘ L'erosione della pietra non è quindi un processo lineare;
- ✘ I modelli sono molto simili a quelli dell'evoluzione morfogenetica;



**Figure 3** Hypothetical decay pathways for quartz sandstone used as a building material in a polluted environment. The inset identifies feedback options at critical thresholds of decay associated with rapid surface loss of material

Source: Adapted from Smith *et al.* (1994a) and Smith (2003).

---

# DEGRADO DELLE ARENARIE

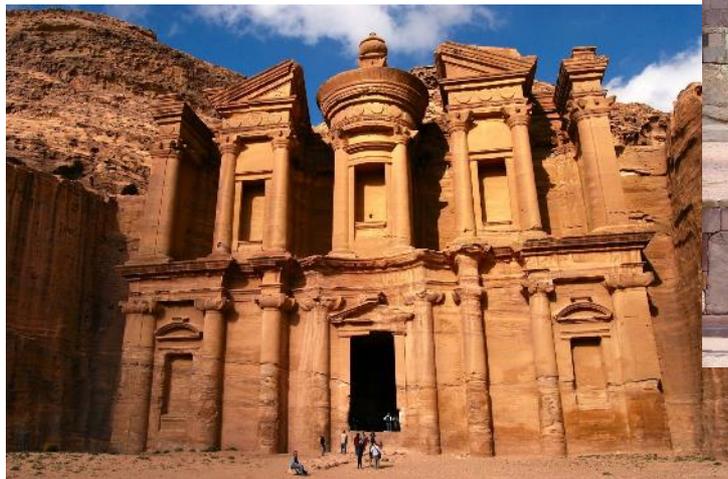
---

# PREMESSA

---

- × Le arenarie sono litologie mediamente studiate in quanto a problemi di degradazione, conservazione, ecc;
- × Si è passati da un approccio descrittivo a uno process-based;
- × Numerosi sono gli studi sul campo ed in laboratorio

# ALCUNI MONUMENTI IN ARENARIA



- 
- × E' una roccia utile e bella che combina facilità di estrazione e appeal estetico
  - × La degradazione può dar luogo a forme aveolari, come tafoni o honeycombs.



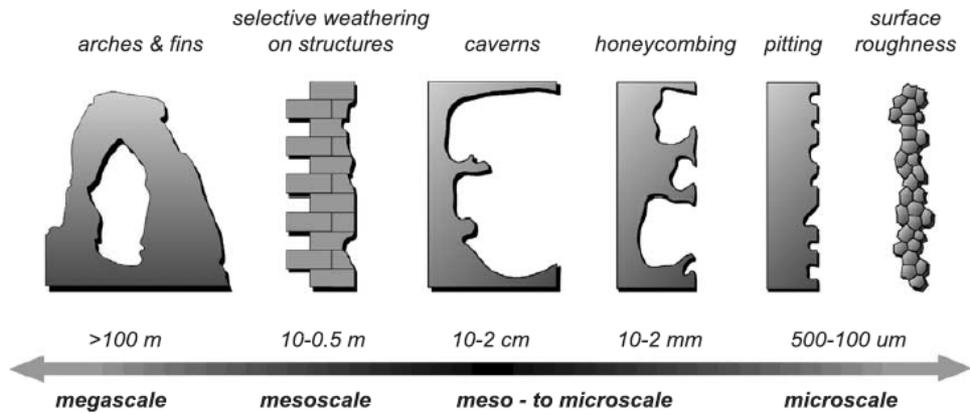
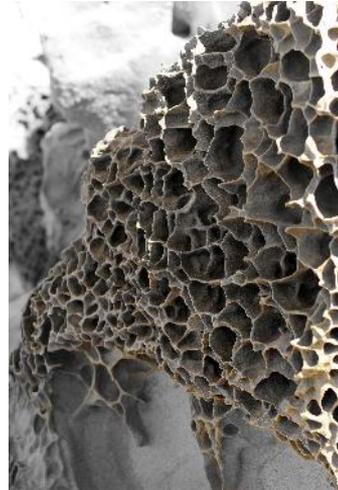
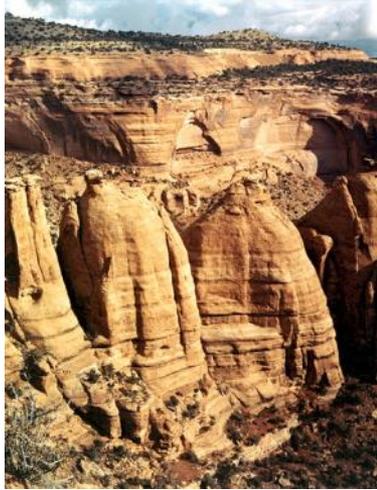
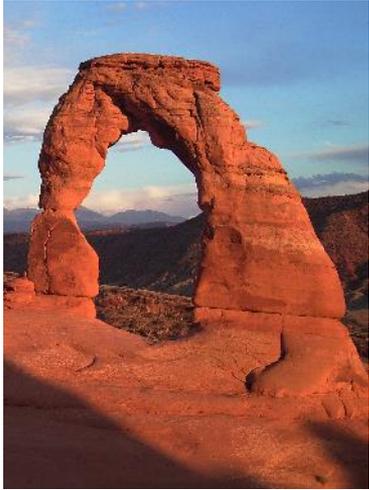


Fig. 5. Scale-dependent weathering morphology.



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Geomorphology 67 (2005) 229–253

GEOMORPHOLOGY

[www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph)

## Sandstone weathering: a century of research and innovation

Alice V. Turkington<sup>a,\*</sup>, Thomas R. Paradise<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Department of Geography, University of Kentucky, Lexington, KY 40506, USA*

<sup>b</sup>*Department of Geosciences and the King Fahd Center for Middle East and Islamic Studies, University of Arkansas, Fayetteville, AR 72701, USA*

Received 11 November 2003; received in revised form 2 July 2004; accepted 27 September 2004

Available online 9 December 2004

# ARENARIE IN AMBIENTE URBANO

---

- × Dal punto di vista del geomorfologo, la pietra da costruzione costituisce un analogo per gli studi sul degrado, ma offre una serie ulteriori informazioni sui processi di degradazione legati ad alte concentrazioni di inquinanti atmosferici;
- × La maggior parte degli studi riguarda l'aloclastismo sulle arenarie, altri lavori su croste nere, degradazione di campioni esposti, materiale distrutto su facciate per aloclastismo;
- × In aree urbane, la rottura meccanica del quarzo è legato alla concentrazione di sale, in particolare solfato di gesso, probabilmente attivato all'interno di microfratture nella roccia.

# ...SPECIE IN AMBIENTI COSTIERI



# PARAMETRI E FATTORI CHE CONTROLLANO LA SUSCETTIBILITÀ AL DEGRADO ED ATTIVANO I PROCESSI DI DEGRADO

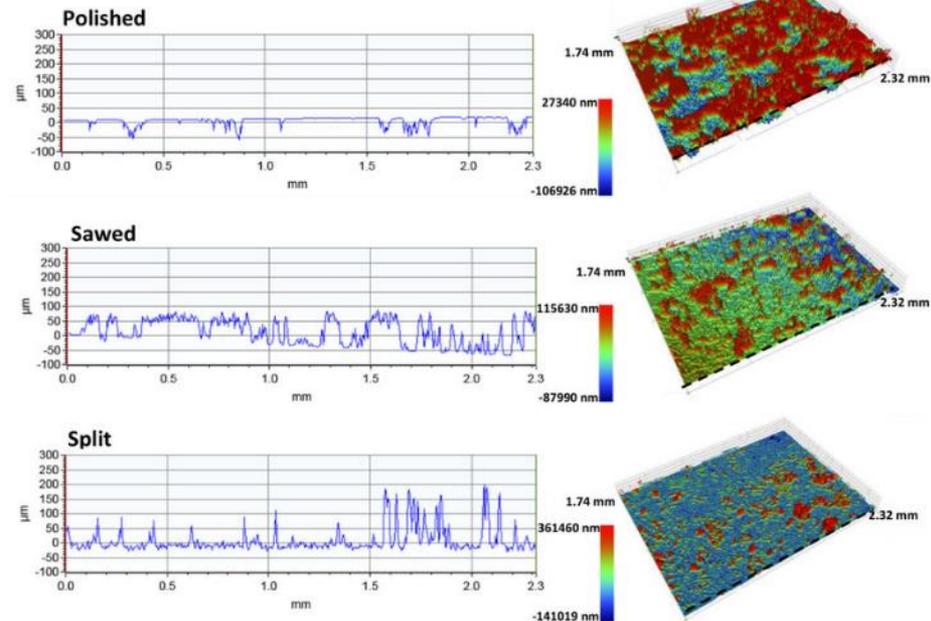
---

- × Parametri che controllano la suscettibilità della degradazione:
  - + Variabili indipendenti (clima, biologia, ecc)
  - + Conducibilità
  - + Indice dei vuoti
  - + Contenuto di matrice
  - + Tessitura e granulometria delle arenarie
  - + Giacitura delle discontinuità delle lamine
  - + Variabili dipendenti
  
- × Fattori che attivano i processi:
  - + Aloclastismo
  - + Dissoluzione della silice
  - + Dissoluzione del cemento carbonatico

- ✘ Le arenarie porose sono intrinsecamente permeabili, e permettono la penetrazione dell'umidità;
- ✘ spazi dei pori, capillari e microfratture possono essere ampliati ed utilizzati dai processi di cristallizzazione del sale, in particolare vicino alla superficie.

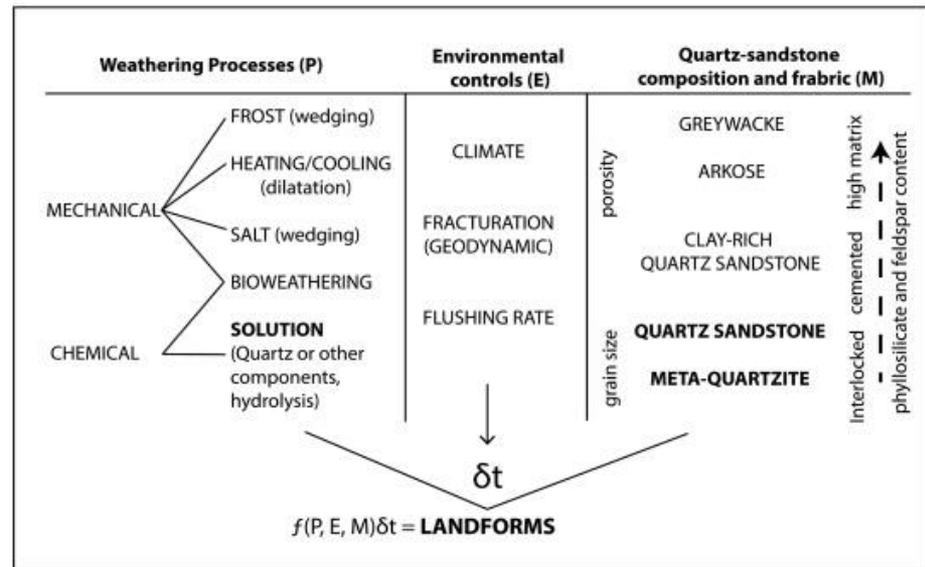
- ✘ E' importante conoscere la rugosità superficiale dei blocchi utilizzati nella costruzione

Rost et al. (2018)

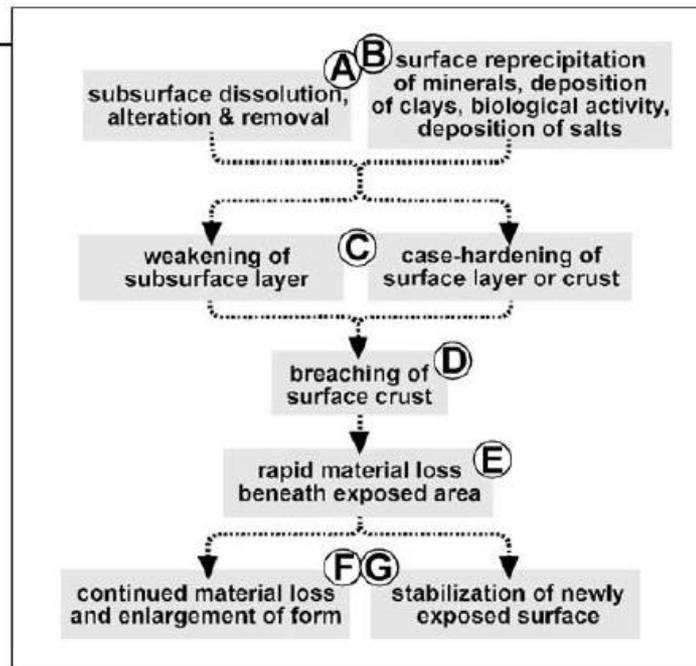
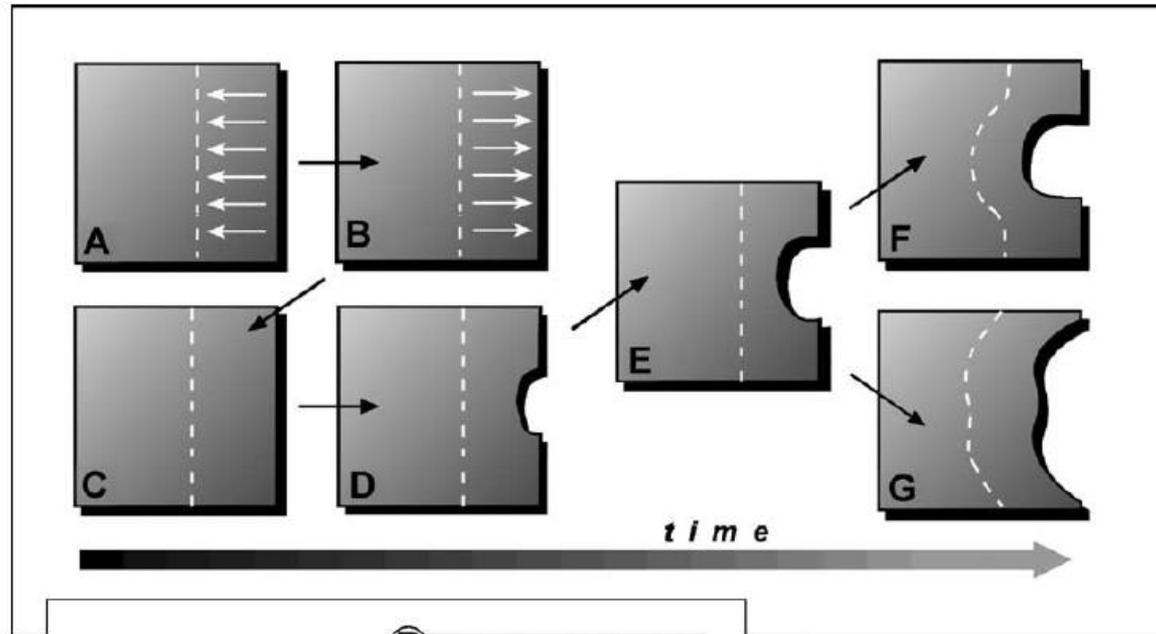


- ✘ I processi di distacco della crosta comportano comunemente la perdita di uno strato superficiale, che presenta uno strato di pietra indebolito o alterato immediatamente al di sotto, poiché viene violata una sorta di soglia di stabilità.
- ✘ processi di distacco di patine ricche di ferro su un edificio di arenaria;

formazione di una crosta dovuta alla cementazione superficiale dell'arenaria da parte della silice amorfa, seguita dalla formazione di squame di contorno. Pertanto, una crosta esterna, si espanderà a causa di una zona di decementazione e/o espansione chimica dei minerali al di sotto di essa.



- 
- × quando vengono superate le soglie di resistenza agli agenti atmosferici e le superfici di arenaria subiscono un rapido decadimento, si possono verificare due risultati possibili:
    - + la superficie si può ristabilire o continuare a perdere materiale;
    - + Le cause del degrado possono essere ripetute più volte prima che vengano superate le soglie di degradazione rapida.



# MODELLI E TASSI DI DEGRADAZIONE

---

- × La determinazione della velocità con cui procede l'invecchiamento della pietra è molto difficile;
- × I tentativi di quantificare le percentuali di alterazione sono fatti attraverso esperimenti di simulazione e prove di esposizione, disintegrazione o misura della consumazione superficiale della pietra su strutture di età nota o misure sulle lapidi

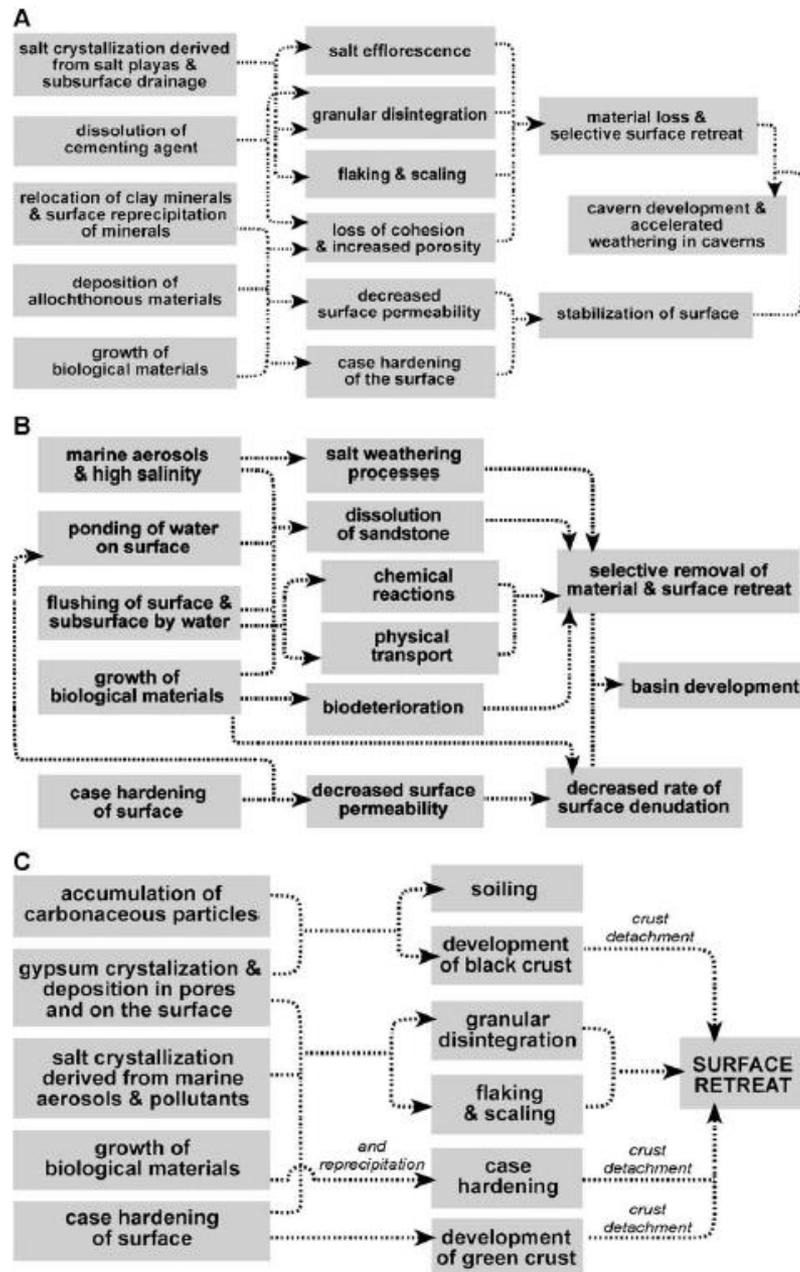


Fig. 4. Sandstone weathering processes producing (A) cavernous weathering, (B) solution basins and (C) building stone retreat.

# UTILIZZO DI STRUTTURE DI ETÀ NOTA

- × Edifici, monumenti, ecc di età nota possono dare l'opportunità di valutare i tassi di degradazione in condizioni semi-controllate
- × E' possibile valutare sia il tipo di degrado (descrizione e misurazione delle forme) che l'eventuale intensità (tassi)



# CASTELLO DI MIRAMARE (1856-1860)

- ✘ L'età di costruzione è nota, il muro di arenaria è stato costruito forse qualche anno più tardi;
- ✘ I blocchi, presumibilmente sani al momento della messa in opera sono interessati da numerosi tipi di forme di alterazione superficiale;
- ✘ I blocchi sono in posto da 160 anni.

## Castello di Miramare, cedono i muraglioni di sostegno



Tutti i muri di sostegno e contenimento del castello di Miramare si stanno sgretolando, i blocchi di pietra arenaria si stanno scollando. La Soprintendenza, anche allertata dal Wwf che gestisce la Riserva marina, ha fatto sopralluoghi ravvicinati dal mare

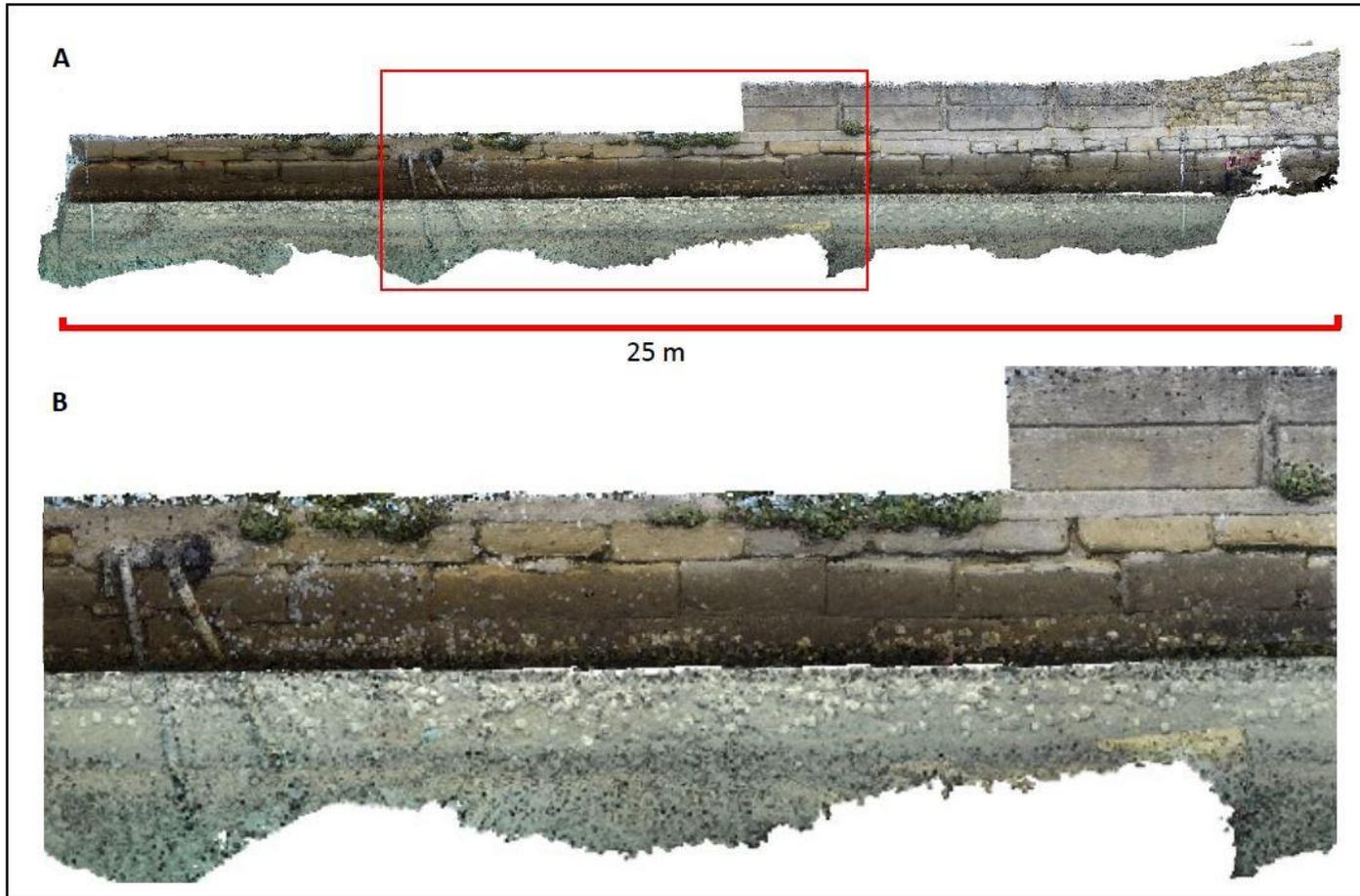


# LAZZARETTO, MUGGIA (1867-1869)

- × Età di costruzione è nota, il muro di arenaria è stato finito nel 1869;
- × I blocchi, presumibilmente sani al momento della messa in opera, sono interessati da numerosi tipi di forme di alterazione superficiale. Alcuni forse sono stati cambiati;
- × I blocchi sono in posto da 150 anni.



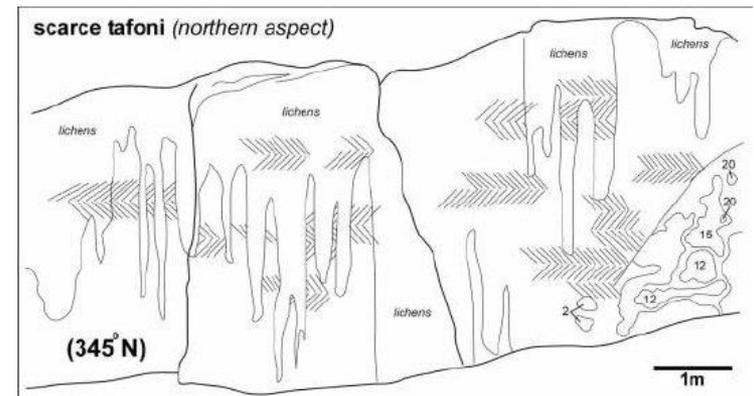
# MODELLI 3D



Furlani et al. (submitted), Remote Sensing

# MAPPATURA DEL DEGRADO

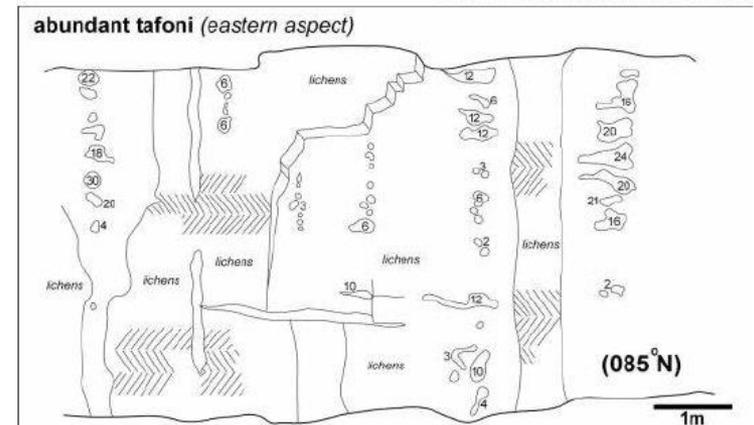
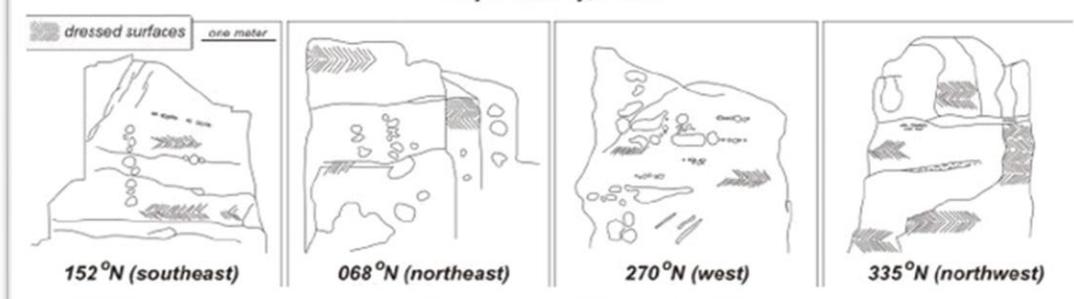
- ✘ Procedura per cui si individuano aree con diversa intensità del degrado, o forme diverse di degrado



numbers represent maximum feature depth (cm)

Da Paradise (2013)

## Comparative Sandstone Surfaces and Tafoni Anjar Quarry, Petra



# MAPPATURA DEL DEGRADO: INTENSITÀ

WEATHERING FORMS	INTENSITIES						
------------------	-------------	--	--	--	--	--	--

Back weathering (W)	Intensities according to depth d of back weathering (cm)						
	Intensity 1 $d \leq 0.2$	Intensity 2 $0.2 < d \leq 0.5$	Intensity 3 $0.5 < d \leq 1$	Intensity 4 $1 < d \leq 3$	Intensity 5 $3 < d \leq 5$	Intensity 6 $5 < d \leq 10$	Intensity 7 $d > 10$
sW							
cW							
zW							

Relief (R)	Intensities according to depth d of relief (cm)						
	Intensity 1 $d \leq 0.2$	Intensity 2 $0.2 < d \leq 0.5$	Intensity 3 $0.5 < d \leq 1$	Intensity 4 $1 < d \leq 3$	Intensity 5 $3 < d \leq 5$	Intensity 6 $5 < d \leq 10$	Intensity 7 $d > 10$
Ro							

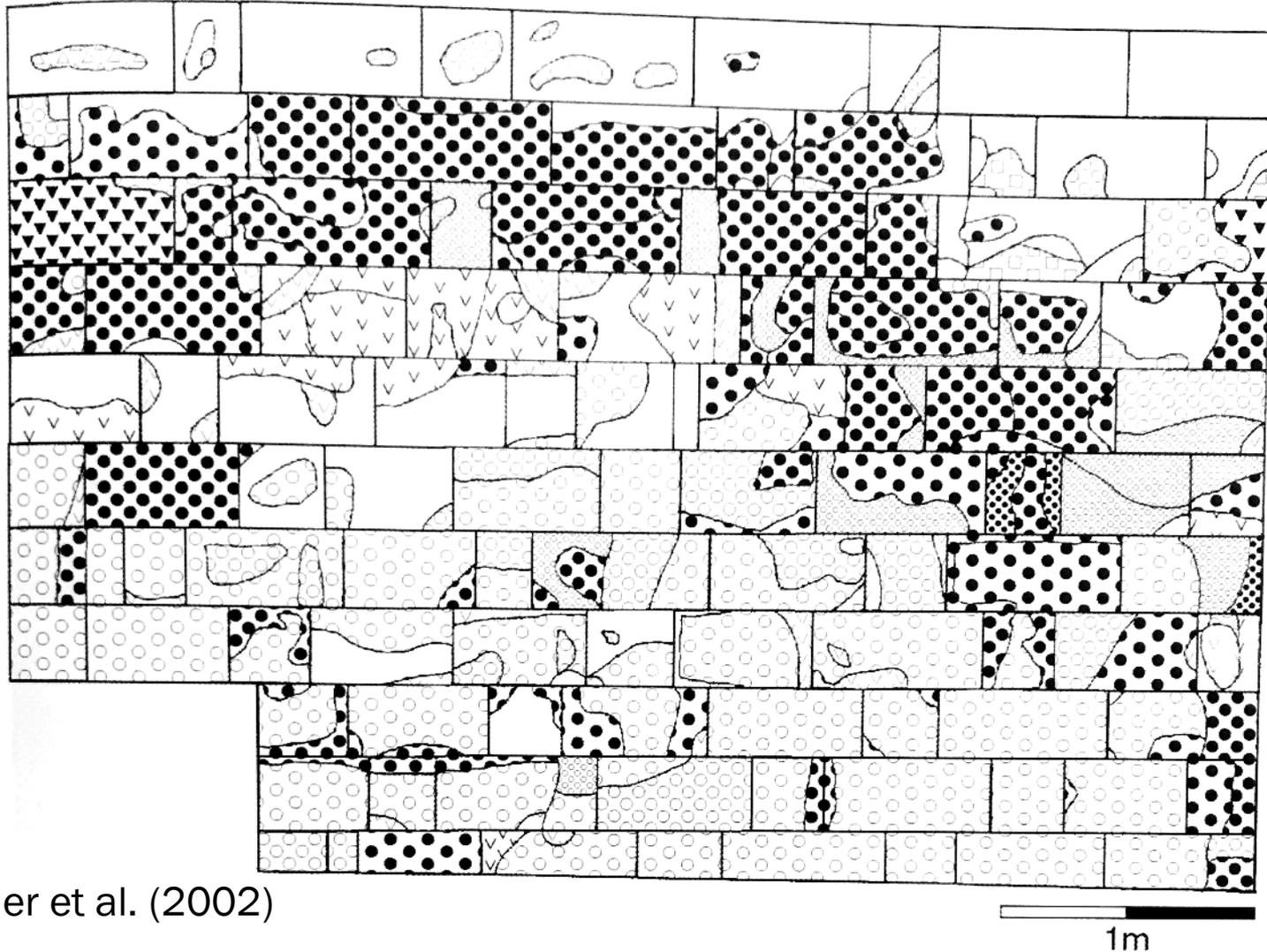
Break out (O)	Intensities according to volume v of break out (dm <sup>3</sup> )				
	Intensity 1 $v \leq 0.01$	Intensity 2 $0.01 < v \leq 0.125$	Intensity 3 $0.125 < v \leq 0.5$	Intensity 4 $0.5 < v \leq 1$	Intensity 5 $v > 1$
oO					

# MOSCHEA DI EL-MERDANI (CAIRO)



Fitzner et al. (2002)

# CARTA DELL'INTENSITÀ DEL DEGRADO



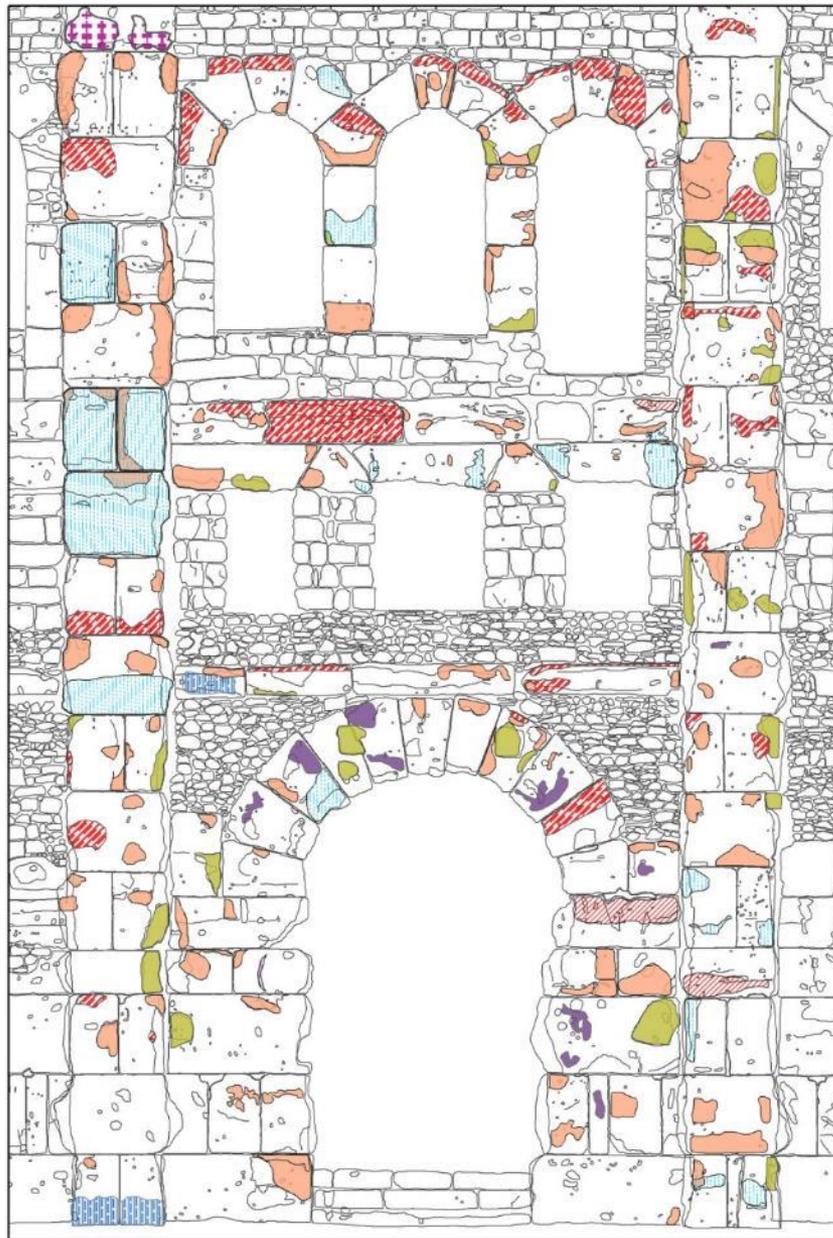
Fitzner et al. (2002)

# MAPPATURA DEL DEGRADO



Per una più approfondita analisi e comprensione delle forme di degrado presenti sul manufatto, si è deciso di mappare in modo più preciso una sola arcata, in particolare quella centrale.

-  DEPOSITO SUPERFICIALE
-  AREA SOGGETTA DA OSSIDAZIONE DEL FERRO
-  MANCANZA
-  AREA SOGGETTA PER IL 40% DA CROSTE E PER IL 20% DA EFFLORESCENZE
-  PATINA BIOLOGICA
-  FESSURAZIONI
-  AREA INTERESSATA DA EROSIONE



- |   |   |   |
|---|---|---|
|  mancanza        |  fessurazione  |  crosta                |
|  alveolizzazione |  macchia       |  incrostazione         |
|  erosione        |  patina        |  deposito superficiale |
|  scagliatura     |  efflorescenza |   |

# VIALE CASTRENSE



TRATTO I VIALE CASTRENSE PROSPETTO OVEST:  
DEGRADO E PROGETTO

Alle tipologie di degrado si dovrà rispondere sia con un'azione di restauro e consolidamento volumetrico puntuale delle parti riconfigurabili per assicurare una restituita funzionalità costruttiva di singoli elementi del manufatto, sia con un'azione conservativa delle superfici che riacquistino la funzione di tegumento delle masse murarie monumentali, sia con un'azione di pulitura e protezione che nel rimuovere incrostazioni e depositi indesiderati non distruggano tracce e parti importanti del monumento. Nella scelta degli interventi è richiesta la preliminare anamnesi dello stato di degrado e conseguentemente prudenza e consapevolezza tecnica nel determinare tempi, materiali e procedure di cantiere.

DEGRADO	DISERBO ED OPERE PRELIMINARI	PULITURA	INTERVENTO PRECONSOLIDAM. E CONSOLIDAM.	RIMOZIONI	REINTEGRAZIONI	PROTEZIONE
<b>Muratura in laterizio</b> Depos. sup.coer. e incoer. Manc. di malta nei giunti Incrostazioni Presenza puntuale di vegetazione erbacea	NP 15_Disinfestaz. con biocida e rimoz. manuale.	CS61_Pulitura con acqua nebulizz. e spazz. di saggina. A discrez. della D.L. potrà effettuarsi anche a secco. NP 9_Pulitura con impacchi.			CS39_Stuccatura di cortine antiche con sostituzione fino a 10 elementi. CS 8_Revisione e sistemazione del paramento.	CS 59d_Protezione con preparati e base di resine a integrazione delle aree non trattate con CS 59b. CS 59d_Protezione con preparati e base di resine a integrazione delle aree non trattate con CS 59b.
<b>Muratura in pietrame (tufo, travertino e peperino)</b> Depos. sup.coer. e incoer. Decoes diffusa del param. Fratturaz.del cocciopesto Manc. di protez. in cresta Distac.- decoes. - esfoliaz. Presenza punt. di veg. erb. Pres. di vegetaz. erbacea Incrostazioni	NP 15_Disinfestaz. con biocida e rimoz. manuale. NP 13_Pulizia e diserbo.	CS61_Pulitura con acqua nebulizz. e spazz. di saggina. A discrez. della D.L. potrà effettuarsi anche a secco. CS61_Pulitura con acqua nebulizz. e spazz. di saggina. A discrez. della D.L. potrà effettuarsi anche a secco. NP 9_Pulitura con impacchi.	CS 59b_Interventi di consolidam. a base di resina NP 8_Riadres. di scaglie con cemento in veltronema. NP 14_Microstuccat. con malta		CS 8_Revisione e sistemaz. del paramento. NP 4_Revisione e reintegraz. del cocciopesto. CS 8_Revisione e sistemaz. del paramento. CS 8_Revisione e sistemaz. del paramento.	CS 59d_Protezione con preparati e base di resine a integrazione delle aree non trattate con CS 59b. CS3_c_Intonachino a cocciopesto. CS 59d_Protez. con preparati e base di resine a integratz. delle aree non trattate con CS 59b. CS 59d_Protezione con preparati e base di resine a integrazione delle aree non trattate con CS 59b.
<b>Intonaci</b> Dep. superf. coerenti e incoer. Distacchi ai bordi Aggiunte moderne Incrostazioni		CS61_Pulitura con acqua nebulizz. e spazz. di saggina. A discrez. della D.L. potrà effettuarsi anche a secco. NP 9_Pulitura con impacchi.			NP 10_Bordatura intonaco (80% perimetro indicato). CS 8_Revisione e sistemaz. del paramento.	CS 59d_Protez. con preparati e base di resine a integratz. delle aree non trattate con CS 59b. CS 59d_Protez. con preparati e base di resine a integratz. delle aree non trattate con CS 59b.
<b>Altro</b> Incrostazioni calcaree congruenti		CS61_Pulitura con acqua nebulizz. e spazz. di saggina.				

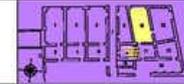
A - 20.01.20.b. Protettivo idro e oleorepellente o protettivo anticrittina su tutti i prospetti per un'altezza di mt 2,00 con prodotti a scelta della D.L. in fase di esecuzione dell'appalto

# OSTIA ANTICA

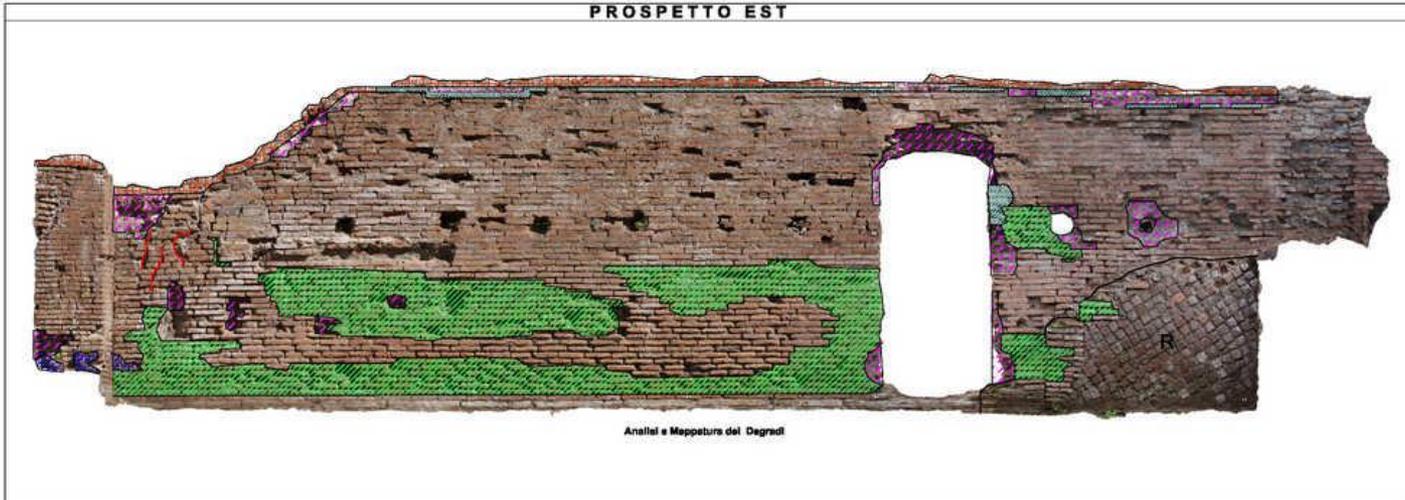
MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO - SOPRINTENDENZA SPECIALE PER I BENI ARCHEOLOGICI DI ROMA

"Interventi Urgenti nelle aree archeologiche e nelle sedi di pertinenza di Ostia Antica"

REGV  
INSXII  
2\_10  
Est



## PROSPETTO EST



Analisi e Mappatura dei Degradi

0 2 m

ANALISI E MAPPATURA DEI DEGRADI (UNI 11182/2006)				INTERVENTI		MAPPATURA INTERVENTI	
RIPRODUZIONE	PATOLOGIA	DEGRADO	CAUSA		RIPRODUZIONE	DESCRIZIONE	
	Degradazione	Affievolimento e/o modificazione della compattezza materica	- Divergenze acque meteoriche - Agenti atmosferici	1. Rimozione elementi distaccati 2. Rifiutamento strati superficiali con malta idraulica compatibile con quella esistente 3. Ricooperazione coarctata di protezione		Stuccature giunti	<b>R</b> _____ Restituisce un'area di restauro inteso come oggetto con finalità architettoniche di recupero e non in opere senza criteri di distorsione.
	Lacune	Decurti e perdite degli elementi costruttivi	- Esposizione all'acqua battente - Accumuli termici - Fenomeni di umidità - Interruzioni in sezione	1. Pulitura manuale delle zone inondate tramite spazzolatura 2. Integrazione della parte mancante 3. Ricooperazione lussureggiante con "tutti e tutti"		Curi e scudi	
	Dilataco	Soluzioni di continuità tra gli strati superficiali del manufatto, da un lato che rispetto al substrato con cui si è formato	- Fenomeni di umidità ascendente - Costante presenza di infiltrazioni saline - Dilatazioni differenziali tra i materiali di supporto - Errori di posa in opera ed utilizzo di stucchi o malte poco idonee	1. Rifacimento del diletto con malta idonea (non il diletto non ha maggiore livello di dissestazione accidentale ed irregolare) 2. Inasprimento di stucchi come diletto per la ricomposizione della struttura muraria		Rivestimento e Protezione	
	Fessurazione	Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale che può implicare lo spezzamento reciproco delle parti	- "Tutti e tutti" e "tutti e tutti" - Disservizio dell'appoggio murario di supporto - Presenza di infiltrazioni di acqua nei laterizi - Esposizione all'acqua battente - Fenomeni di umidità	1. Ricooperazione lussureggiante con "tutti e tutti"		Spazzolatura e lavaggio ad acqua Diserbo chimico	
	Erisione	Affievolimento del materiale della superficie dovuto a processi di cospicuo di natura chimica	- Fenomeni di umidità ascendente o da trasudamento - Costante presenza di infiltrazioni saline - Ossidazione differenziale	1. Pulitura manuale delle zone inondate tramite spazzolatura 2. Ricooperazione a regola d'arte con malta idraulica			
	Apparsi radicali	Presenza di licheni, muschi e piante	- Misure a contatto col terreno - Presenza di umidità e acqua - Creazione e proliferazione dei giunti di malta	1. Pulitura manuale delle zone inondate tramite spazzolatura 2. Ricooperazione a regola d'arte con malta idraulica compatibile			
	Patine biologiche	Strato sottile, molle ed omogeneo, aderente alle superfici e di consistenza lattiginosa, di colore variabile, per lo più verde. E' costituito prevalentemente da microrganismi (colonia alghe verdi, batteri, ecc.)	- Azione di microorganismi sottili - Presenza di umidità e acqua - Condizioni morfologiche del substrato (postumi, spaccati, fratture)	1. Trattamento biocida e pulizia con lavaggio a mano			

# EX-OSPEDALE MILITARE, TRIESTE (1863-1866)



# MURO ATTUALE



# MODELLO 3D - LATO VICOLO OSPEDALE MILITARE



vertices: 91,323

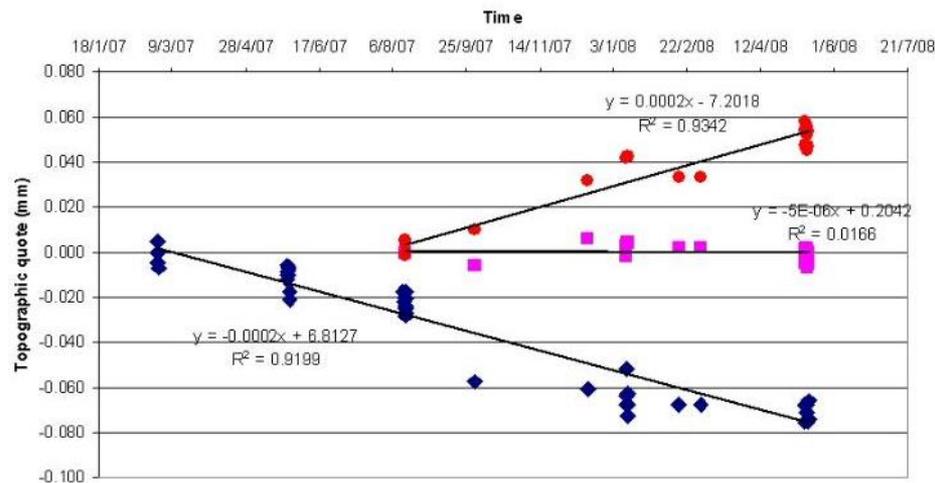
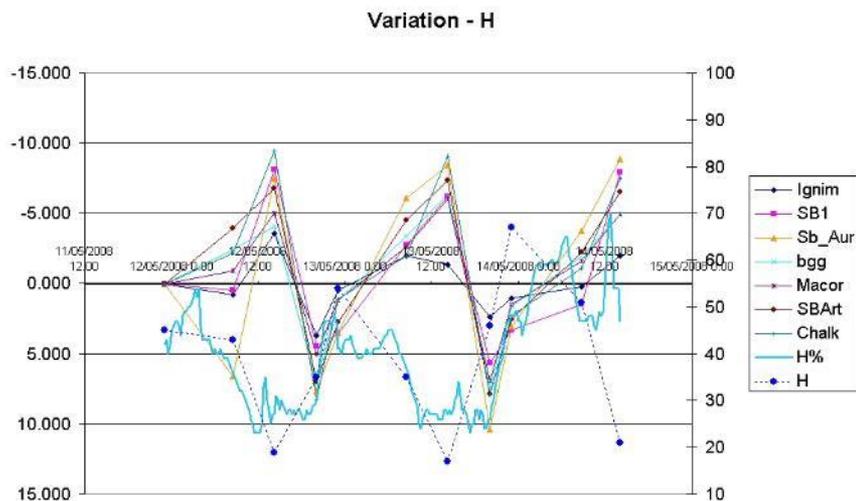


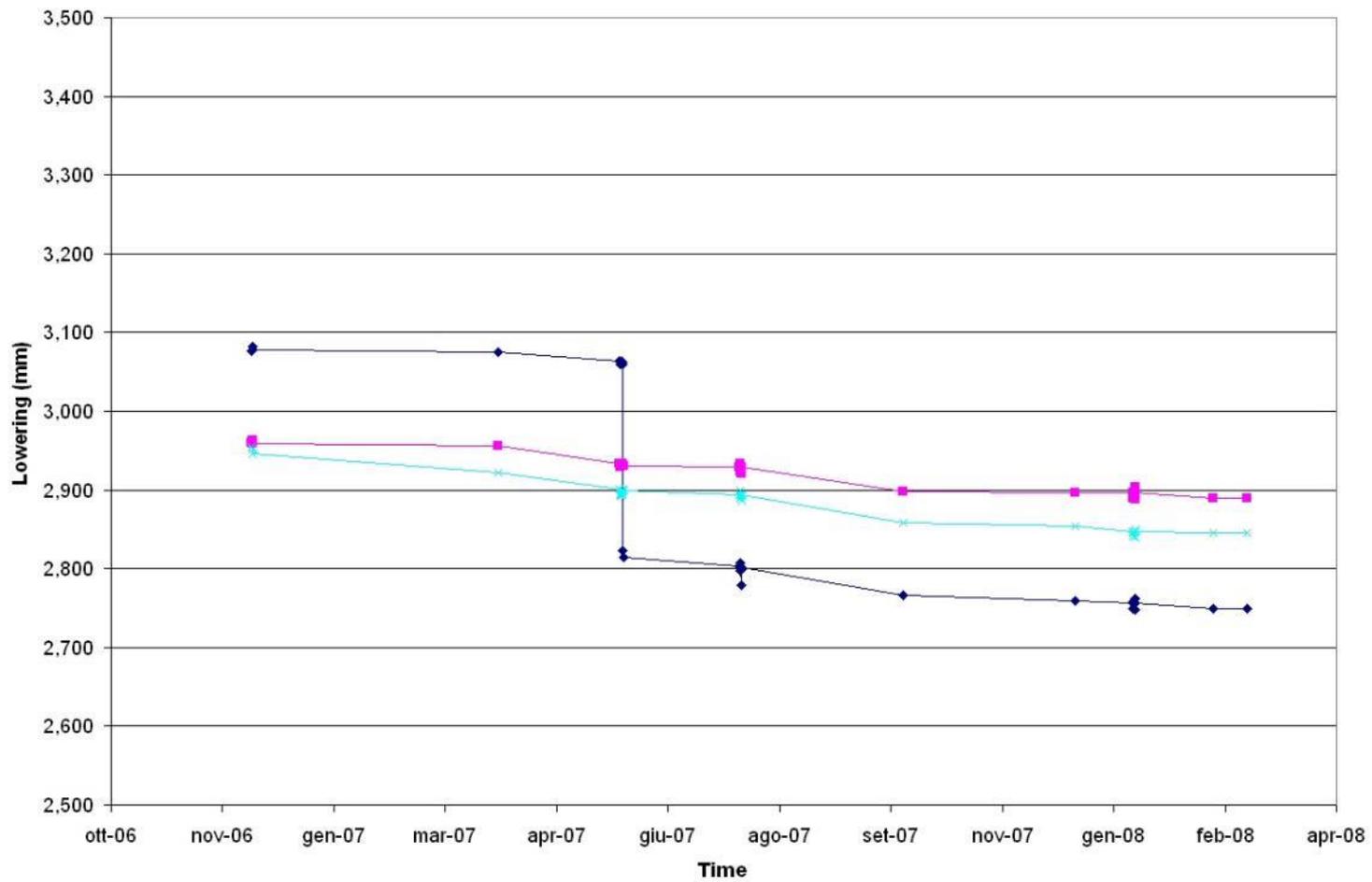
# MODELLO 3D - LATO VIA FABIO SEVERO



# MISURE SUI TASSI DI EROSIONE DELLE ARENARIE LOCALI

- ✘ I tassi di erosione variano da 0.01 mm/a fino a 0.1 mm/a, ma sono evidenti ciclicità microtopografica diurne sulla superficie della roccia;
- ✘ L'erosione può essere influenzata da eventi particolari, come incendi, grandinate, ecc.





grandinata