

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO

INTERVENTI GEOTECNICI PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO STORICO: CRITERI ED ESEMPI APPLICATIVI

Geotechnical Engineering for the preservation of
cultural heritage:
intervention criteria and case histories

RELATORE:

Ch.mo Prof. Ing. Flora Alessandro

CORRELATORI:

Ch.mo Prof. Ing. C. Viggiani

Ch.mo Prof. Ing. M. Ramondini

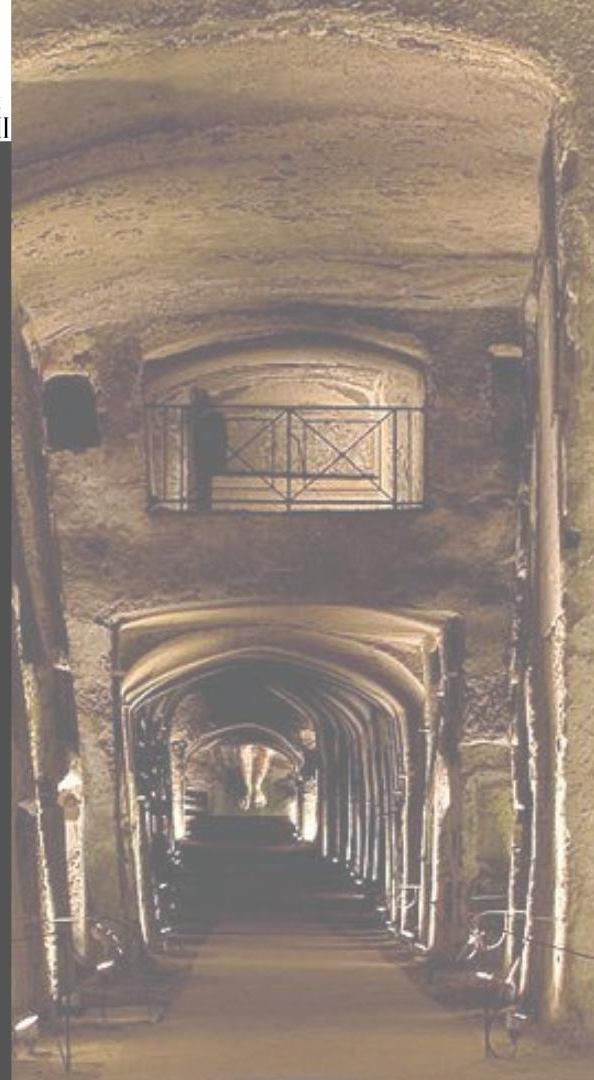
Prof.ssa Ing. M. N. Ilies

CANDIDATE

Esposito Piera M67/340

Ferrara Federica M67/361

Anno accademico 2017/2018



INDICE

01

Introduzione.

L'importanza della
salvaguardia dei beni
culturali nel campo
ingegneristico

02

Palazzo storico in Romania.

Mikes Palace, Cluj Napoca.

03

Basilica benedettina.

Basilica di Sant'Angelo in
Formis, Caserta.

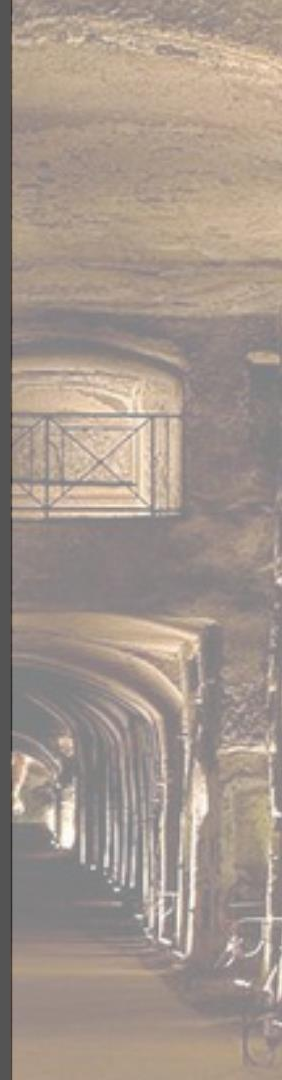
04

Cavità nel sottosuolo di Napoli.

Catacombe di San Gennaro,
Rione Sanità.

05

Conclusioni.





01

Introduzione.

L'importanza della
salvaguardia dei beni
culturali nel campo
ingegneristico



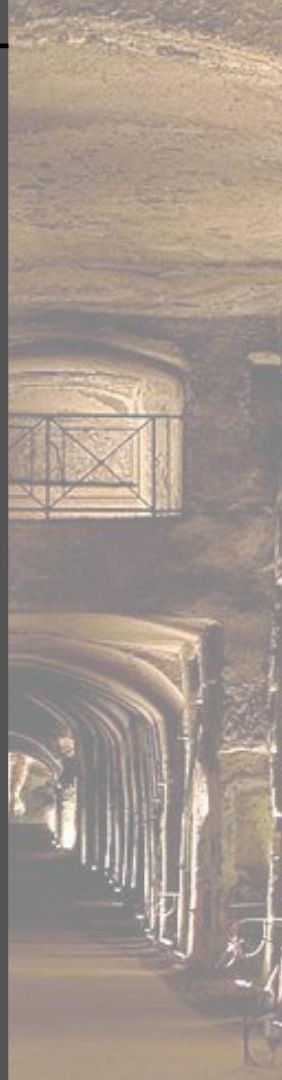
GENERALMENTE LA CONSERVAZIONE
DEL PATRIMONIO CULTURALE VIENE
ASSOCIATA A PROFESSIONI COME:

- Restauratori
- Storici dell'arte
- Archeologi
- Architetti

Ci sono però anche gli ingegneri geotecnici!

**TECHNICAL COMMITTEE ON
PRESERVATION OF MONUMENTS
AND HISTORIC SITES**

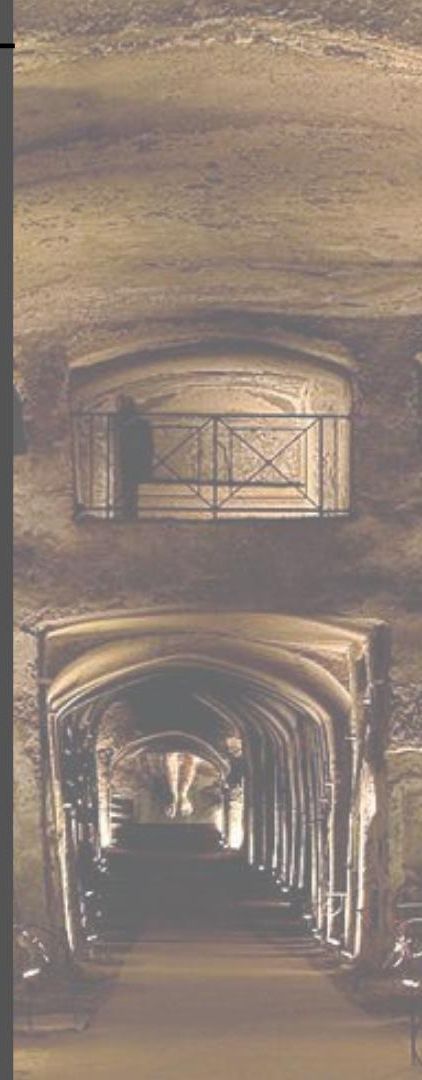
TC301



INTEGRITÀ

un concetto
estremamente elusivo

- Integrità formale o iconica
- Integrità materiale
- Integrità storica
- Armonioso inserimento nel paesaggio



GROUND-MONUMENT SYSTEM



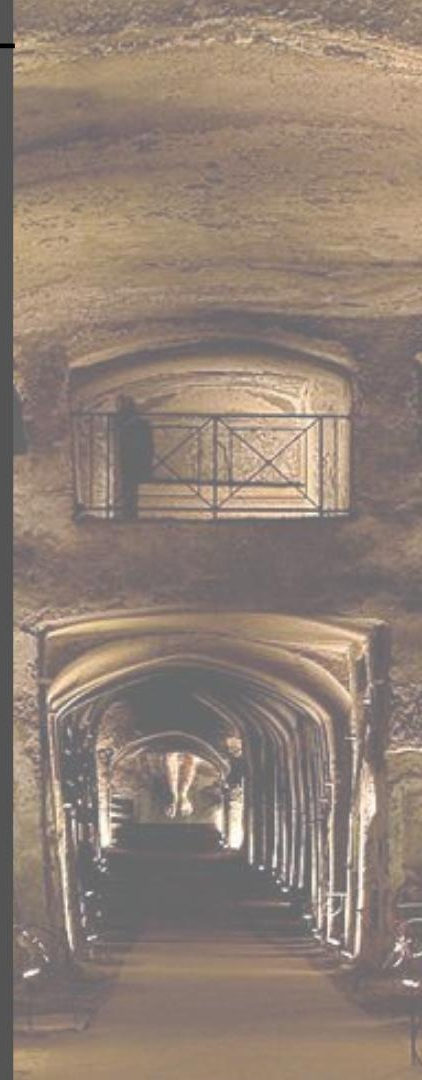
Articolo 1 della Carta di Venezia, 1964

"La nozione di monumento storico comprende tanto la creazione architettonica isolata quanto l'ambiente urbano o paesistico che costituisca la testimonianza di una civiltà particolare, di un'evoluzione significativa o di un avvenimento storico. questa nozione si applica non solo alle grandi opere ma anche alle opere modeste che, con il tempo, abbiano acquistato un significato culturale."

OBIETTIVO

DELLA TESI

Confronto tra vari esempi applicativi
al fine di definire le linee guida per
un corretto approccio geotecnico.





02

Palazzo storico in Romania.

Mikes Palace, Cluj Napoca



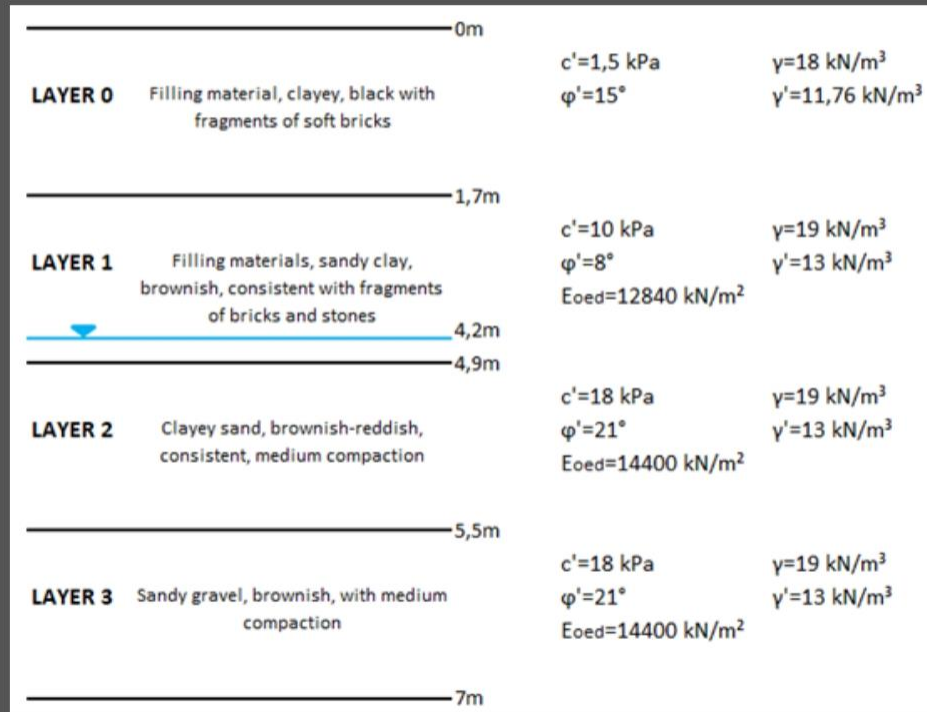
Mikes Palace, Cluj Napoca



RICOSTRUZIONE

STRATIGRAFICA

Caratterizzazione
molto scadente!



ANALISI PARAMETRICA

CALCOLO CEDIMENTI

VARIAZIONE DEL PELO LIBERO DELLA FALDA

Limite superiore - 0.5 m
Limite inferiore - 4.2 m

z_w [m]	0,5	1	1,5	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2
q_{net} [kPa]	211	216	221	223	228	233	238	243	247
w_{tot} [cm]	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5

Risultati:
aumento non apprezzabile
dei cedimenti

ANALISI PARAMETRICA

CALCOLO
CEDIMENTI

Modelli di calcolo implementati

Original parameters		
MODEL 0	Eoed 1,0	12840 kPa
	Eoed 2,0	14400 kPa
Eoed 1,1 = 80% Eoed 1,0		
MODEL 1	Eoed 1,1	10272 kPa
	Eoed 2,1	14400 kPa
Eoed 1,2 = 60% Eoed 1,0		
MODEL 2	Eoed 1,2	10272 kPa
	Eoed 2,2	14400 kPa

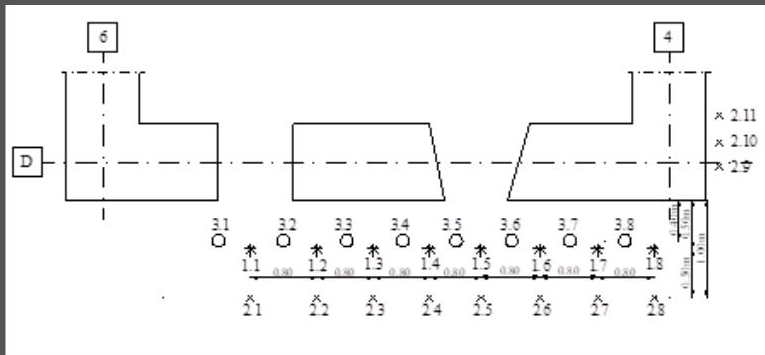
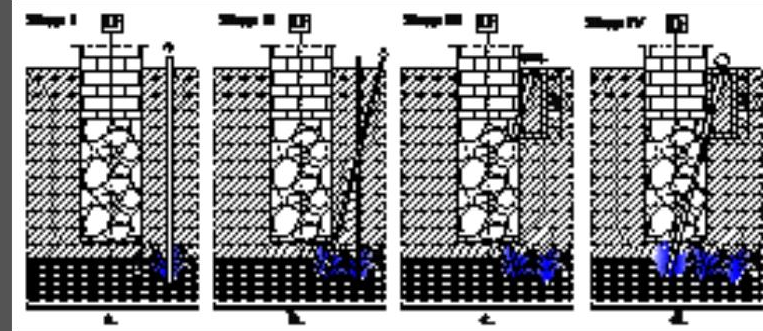
Eoed 1,3 = 50% Eoed 1,0		
MODEL 3	Eoed 1,3	6420 kPa
	Eoed 2,3	14400 kPa
Eoed 1,4 = 50% Eoed 1,0 Eoed 2,4 = 80% Eoed 2,0		
MODEL 4	Eoed 1,4	6420 kPa
	Eoed 2,4	11520 kPa
Eoed 1,5 = 50% Eoed 1,0 Eoed 2,5 = 60% Eoed 2,0		
MODEL 5	Eoed 1,5	6420 kPa
	Eoed 2,5	8640 kPa

Wtot [cm]						
zw [m]	MODEL 0	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4	MODEL 5
0,5	1,3	1,5	1,8	2,1	2,2	2,4
1	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,5
1,5	1,3	1,5	1,9	2,1	2,3	2,5
1,7	1,3	1,5	1,9	2,2	2,3	2,5
2,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,3	2,5
2,7	1,4	1,6	2,0	2,3	2,4	2,6
3,2	1,4	1,6	2,0	2,3	2,4	2,7
3,7	1,4	1,7	2,0	2,4	2,5	2,7
4,2	1,5	1,7	2,1	2,4	2,5	2,8

RISULTATI

INTERVENTO EFFETTUATO

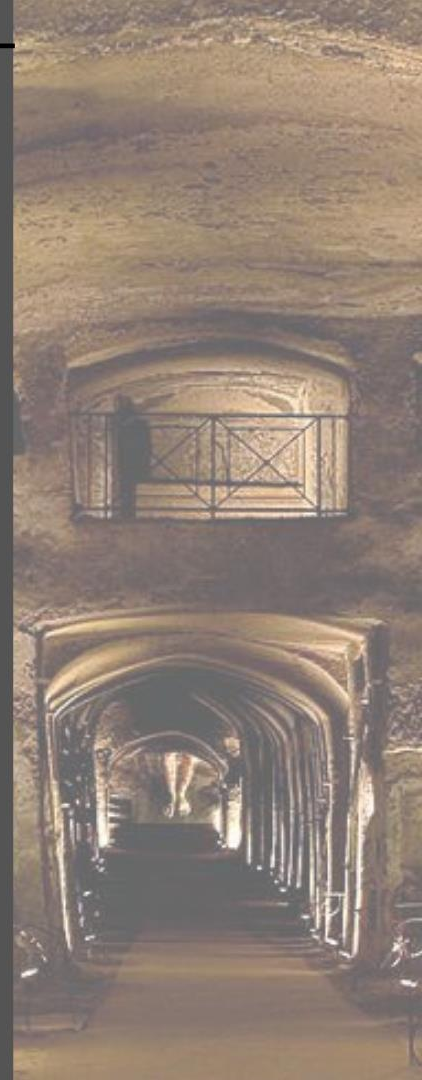
INIEZIONI
LOCALIZZATE



DISPOSIZIONE
IN PIANTA

CONCLUSIONI 1

- Modellazione del sottosuolo scadente
- Proprietà meccaniche poco credibili
- Interpretazione del meccanismo assente
- Esito dell'intervento: cementazione



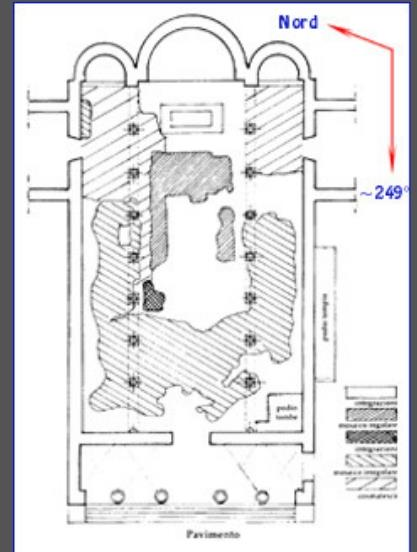


03

Basilica benedettina.

Basilica di Sant'Angelo in
Formis, Caserta.

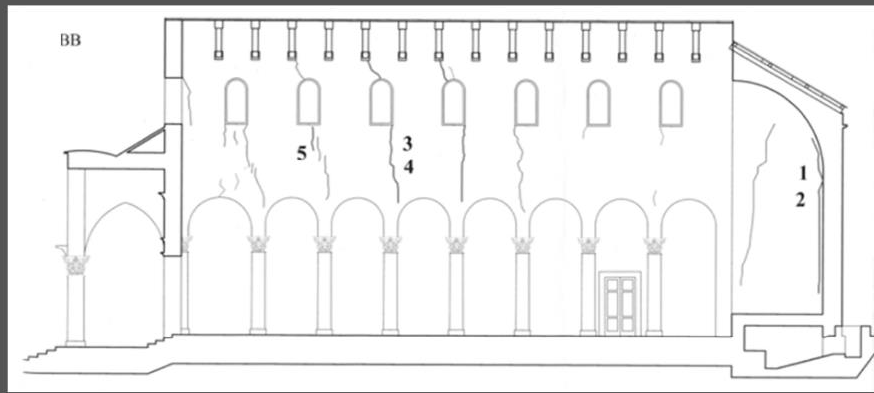
Basilica di Sant'Angelo in Formis



Ciclo pittorico

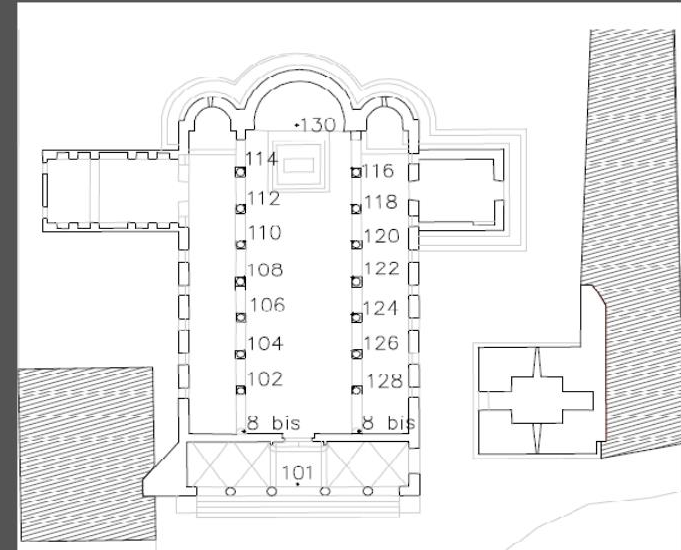
Basilica di Sant'Angelo in Formis



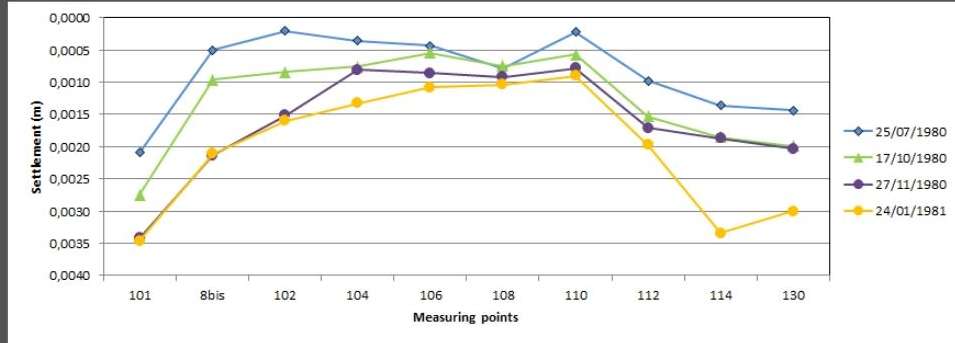


SCHEMA DELLE LESIONI

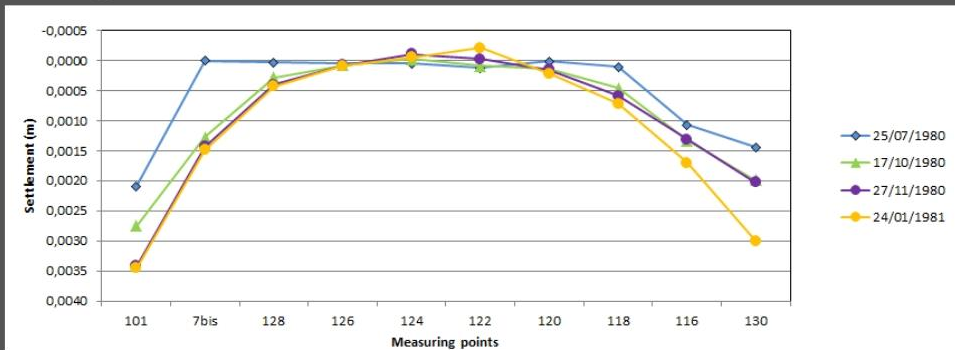
PIANTA DEI CAPISALDI INTERNI



COLONNE A SINISTRA



COLONNE A DESTRA



MISURE
ANNI
'80

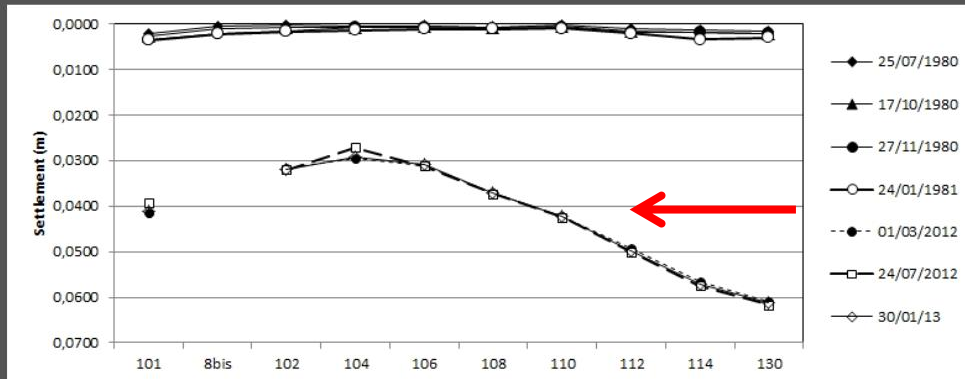
MISURE ANNI
'80

Possibili cause

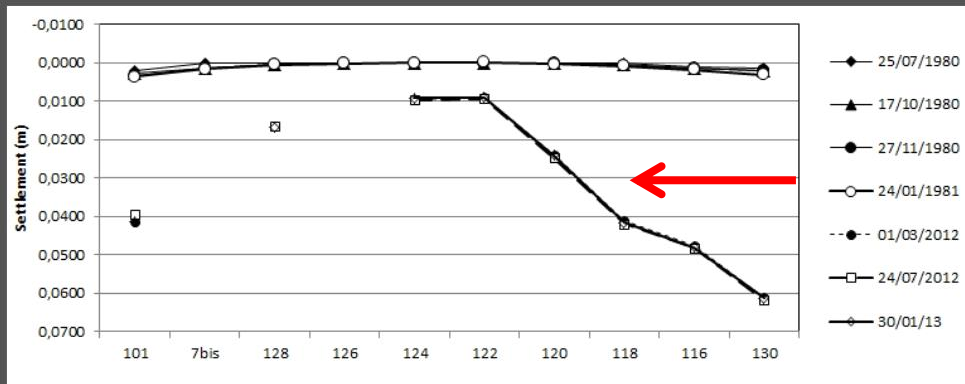
- Movimenti franosi nell'area della basilica
- Abbassamento della falda idrica
- Vibrazioni per scoppio di mine
- Terremoti
- Idoneità fondazioni



COLONNE A SINISTRA



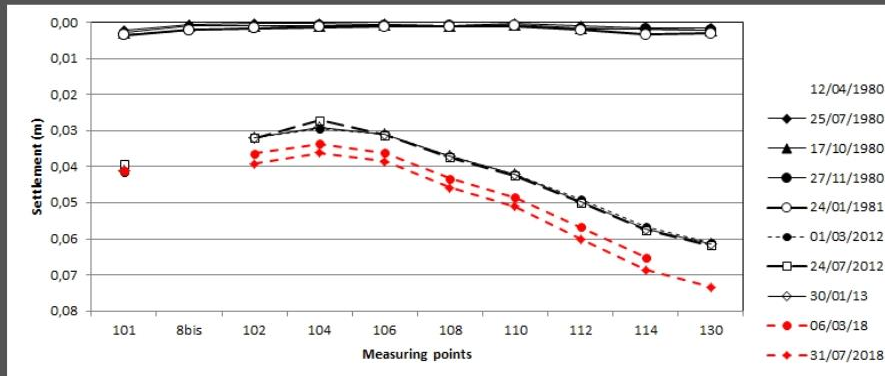
COLONNE A DESTRA



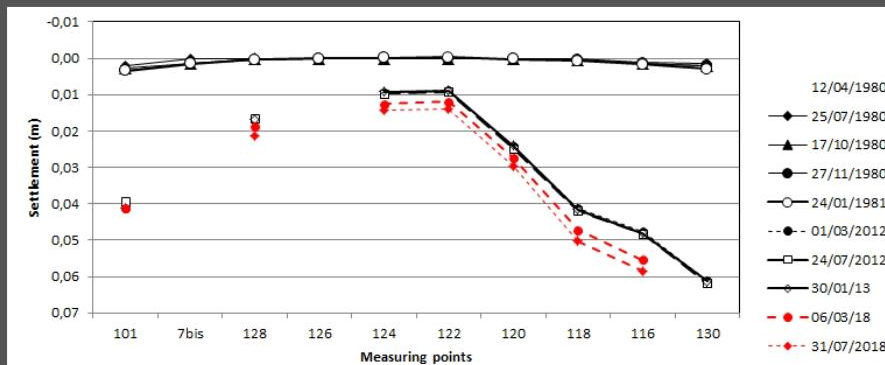
MISURE

ANNO 2012

COLONNE A SINISTRA



COLONNE A DESTRA



MISURE

ANNO 2018



INTERVENTI POSSIBILI

Nessuno...per il
momento!



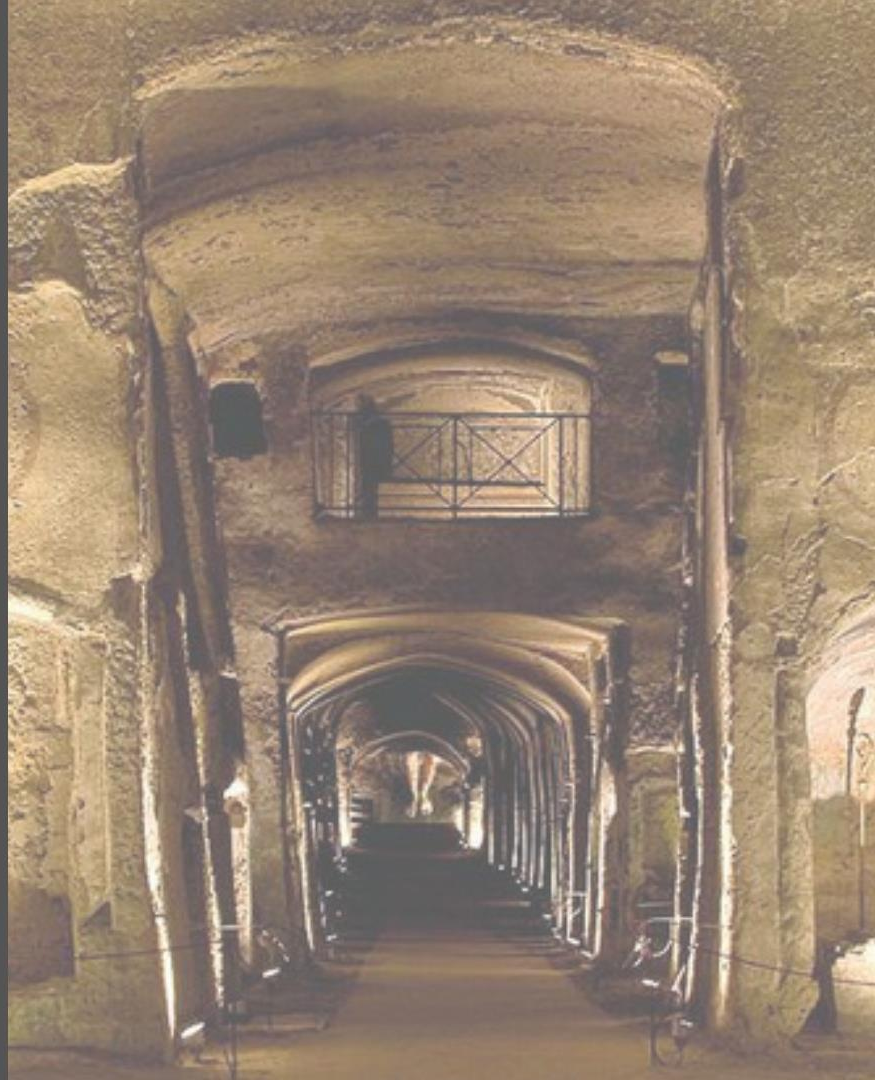
CONCLUSIONI 2

- Modellazione del sottosuolo affidabile
- Indagini approfondite
- Attenta interpretazione del meccanismo
- Incertezza sull'esito degli interventi

04

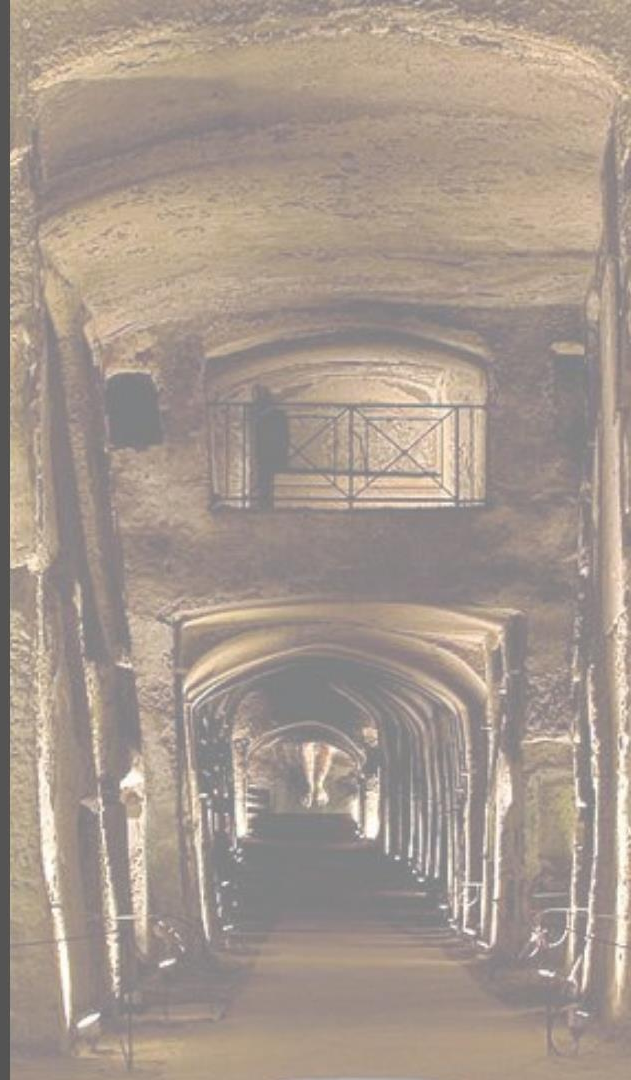
Cavità nel sottosuolo di Napoli.

Catacombe di San Gennaro,
Rione Sanità.





*"Tra la Neapolis greca e la città di oggi
non ci sono millenni, ma metri di
sottosuolo"*



CAVITÀ IN TUFO

Proprietà del tufo :

- Porosità elevata
- Isolante termico
- Buone caratteristiche meccaniche

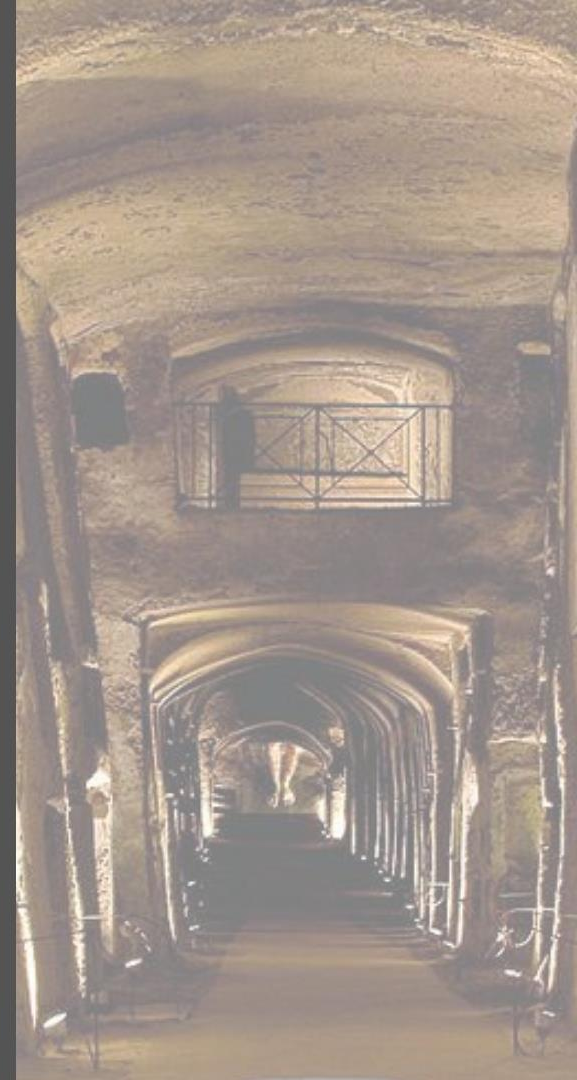
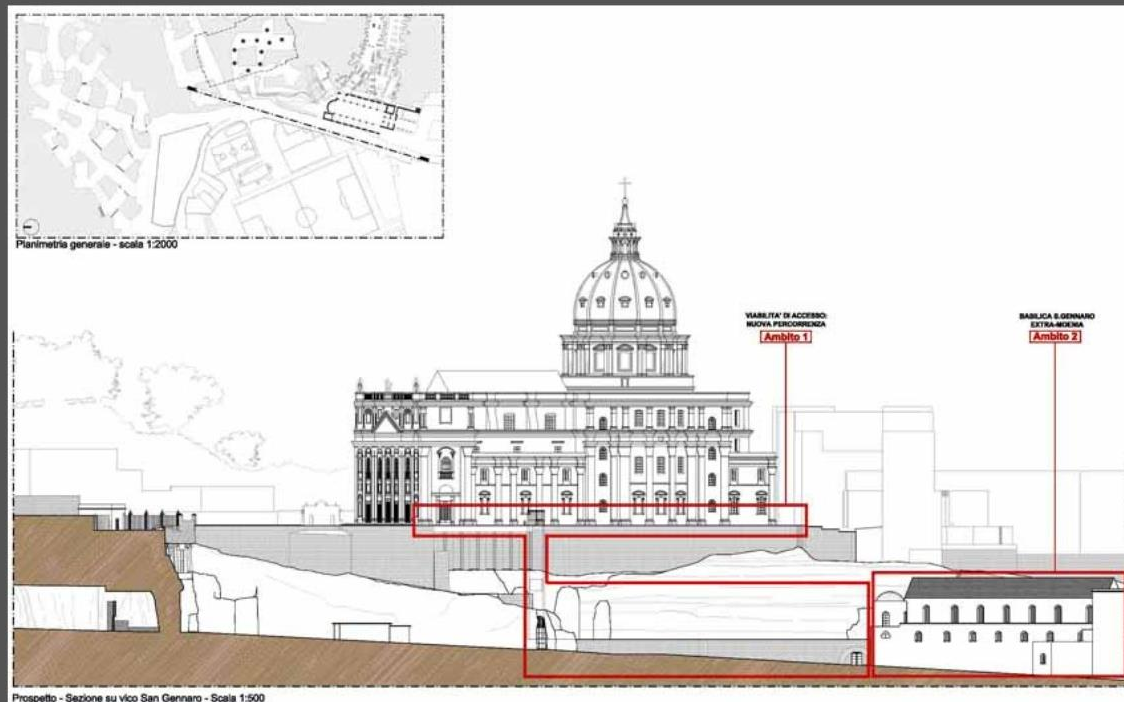


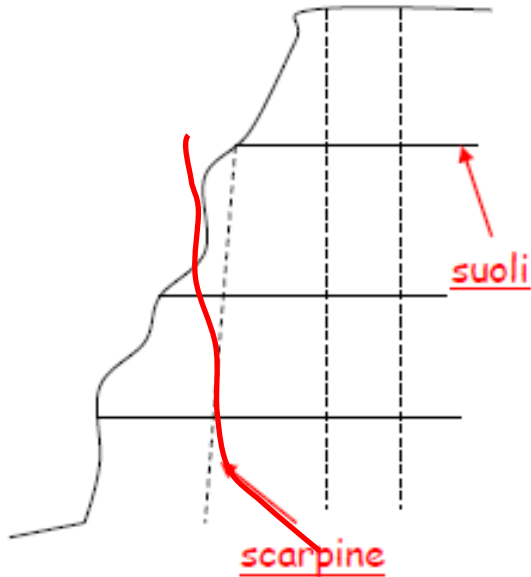
Sistema di
cave diffuso



PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE

Napoli Rione Sanità: una porta verso il futuro





CAVITÀ DI
INTERESSE

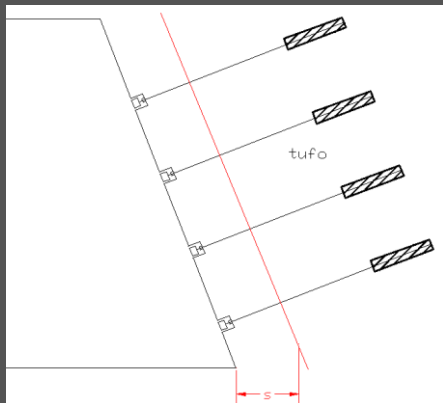


INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO

Due diversi approcci progettuali

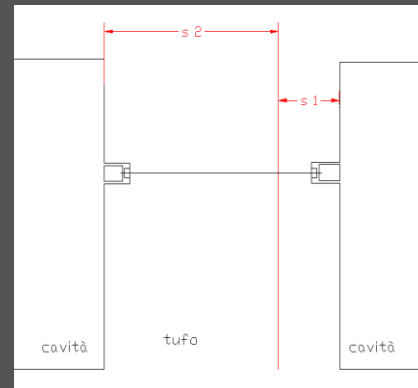
Parete

Chiodature ancorate

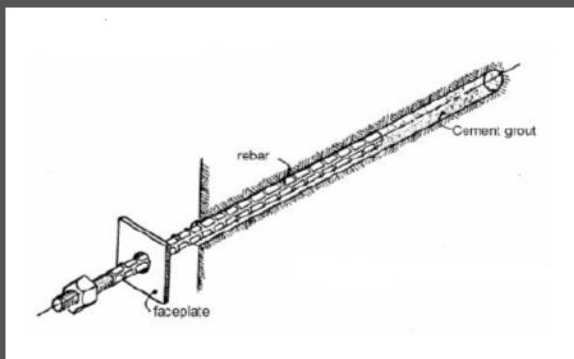


Pilastro

Chiodature passanti di
precompressione



CHIODATURE ANCORATE



VERIFICHE EFFETTUATE

- Verifica a sfilamento
- Verifica a tranciamento
- Verifica a trazione



VERIFICA ALLO SFILAMENTO

$$\gamma_F \cdot N_p \cdot \cos \theta \leq \frac{\chi \cdot A_L \cdot c'_d}{\gamma_R \cdot \xi_{a3}}$$

INCOGNITA
PROGETTUALE



c

ANALISI
PARAMETRICA

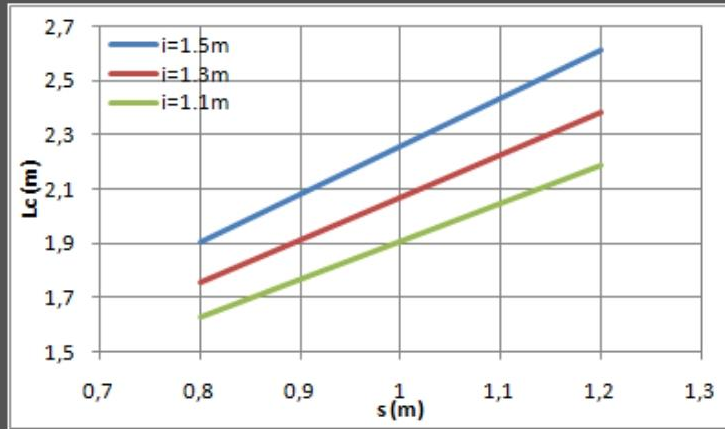


Coesione

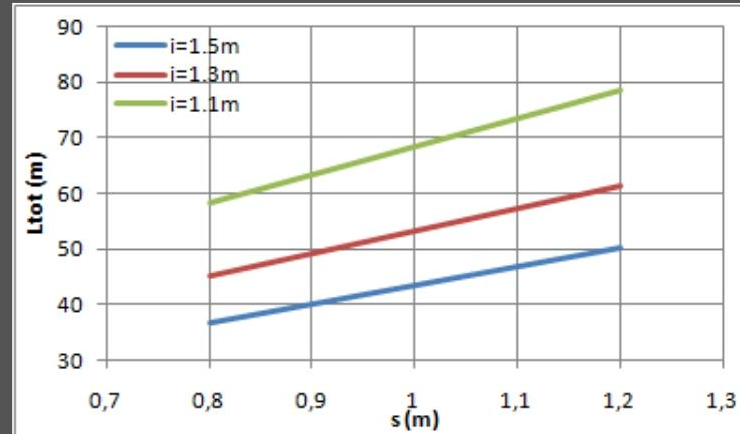
Dimensione massa instabile
(spessore, interasse)



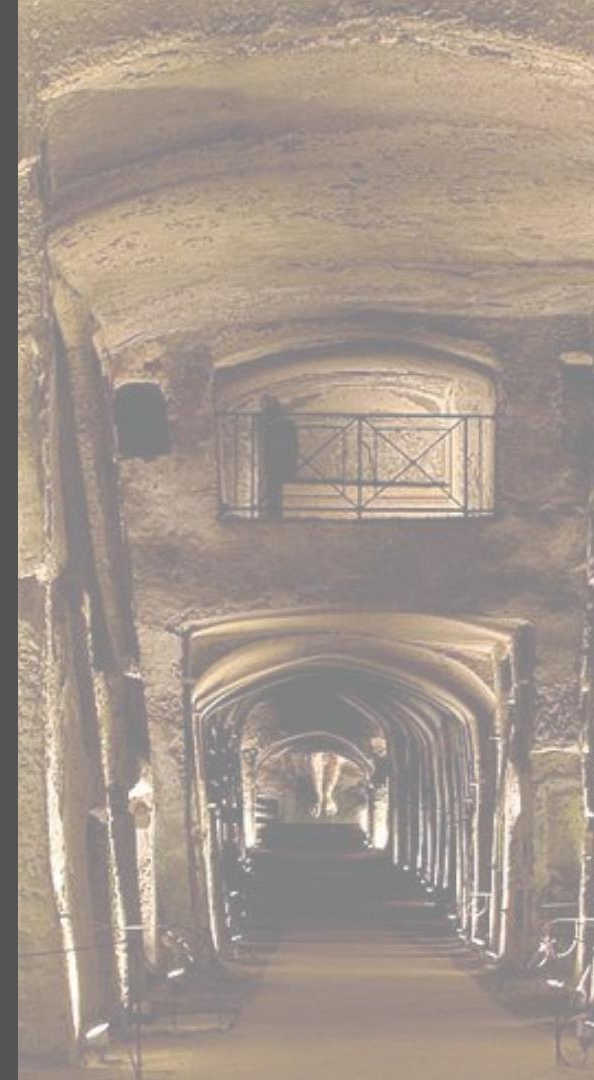
RISULTATI



LUNGHEZZA
SINGOLO CHIEDO



LUNGHEZZA
CHIODI TOTALI

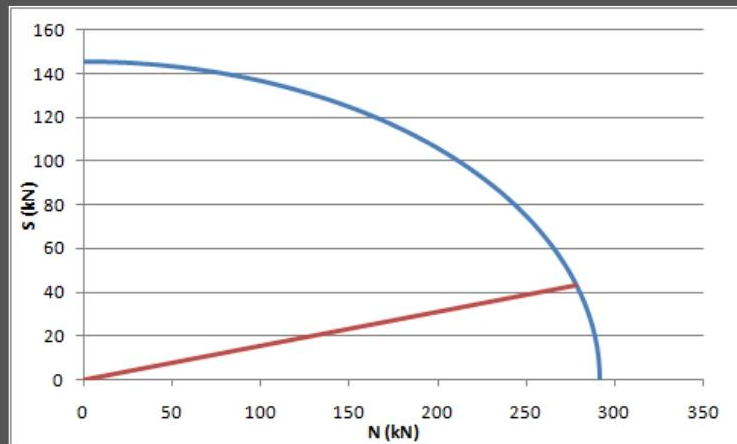


VERIFICA A TRAZIONE

$$\gamma_F \cdot N_p \cdot \cos \theta \leq \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_R \cdot \gamma_S}$$

Φ32 ✓

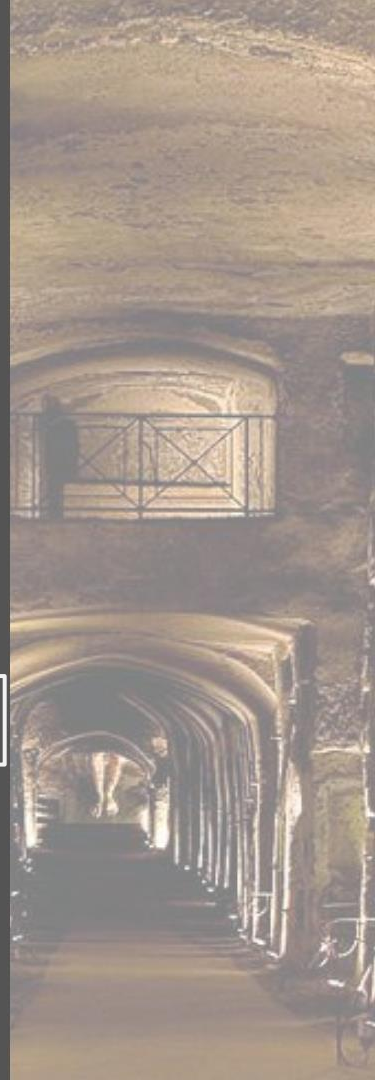
VERIFICA A TRINCIAMENTO



$$\gamma_F \cdot P_b \cdot \sin \theta \leq (N \cdot \cos \theta + S \cdot \sin \theta) / \gamma_R$$

N = 278 kN

S = 43 kN





RISCHIO
IMMINENTE!

$La_{cal} = 30 \text{ cm}$



$La_d = 50 \text{ cm}$

$FS = 1.2$



$FS = 2$



~~CHIODATURE PASSANTI~~ di precompressione

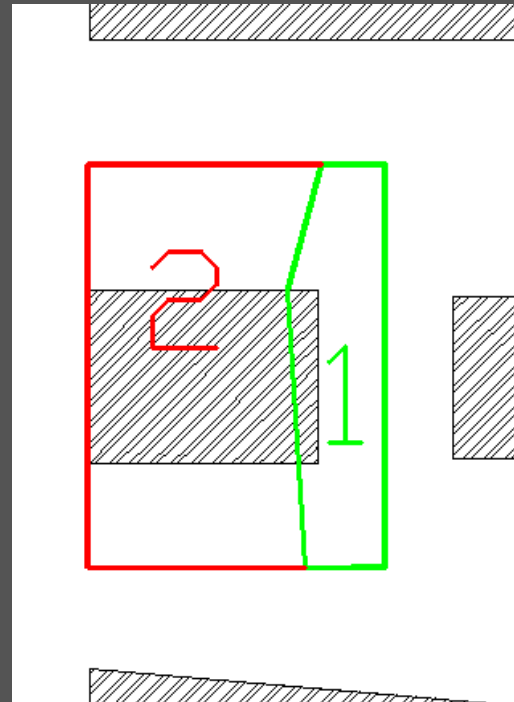
AREE DI INFLUENZA

$$\sigma_1 = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 2 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{\sigma_c}{\sigma_1}$$



VERIFICA ALLO SFILAMENTO

$$\gamma_F \cdot N_p \cdot \cos \theta \leq \frac{\chi \cdot A_L \cdot c'_d}{\gamma_R \cdot \xi_{a3}}$$

$L_c = 1.8 \text{ m}$

$L_a = 0.5 \text{ m}$

- Limiti tecnologici
- Sicurezza

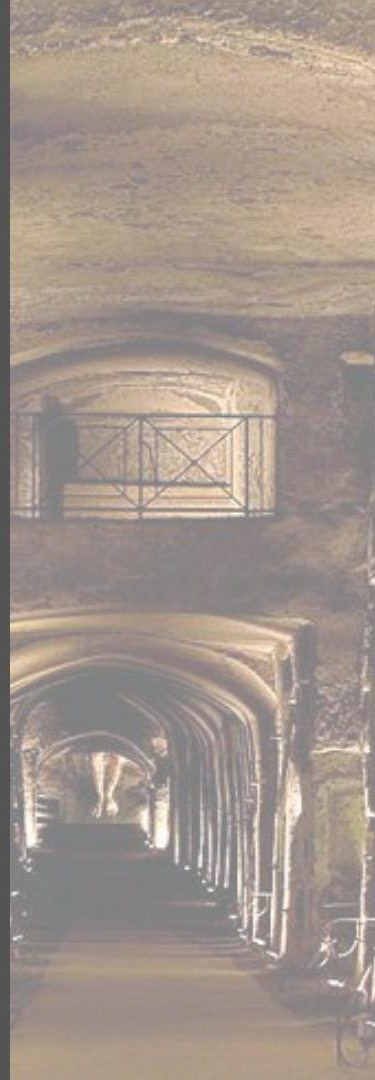
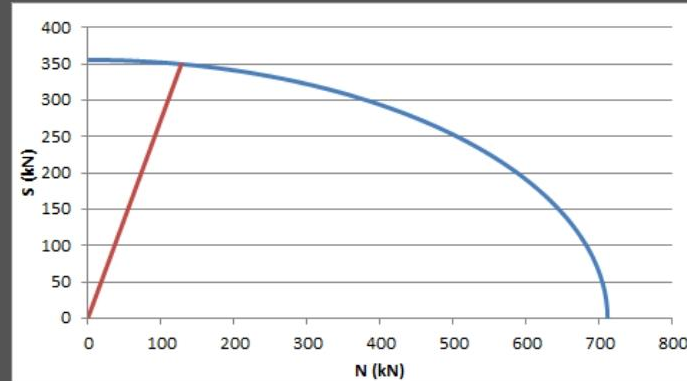
VERIFICA A TRINCIAMENTO

$$\gamma_F \cdot P_b \cdot \sin \theta \leq (N \cdot \cos \theta + S \cdot \sin \theta) / \gamma_R$$

$N = 128 \text{ kN}$

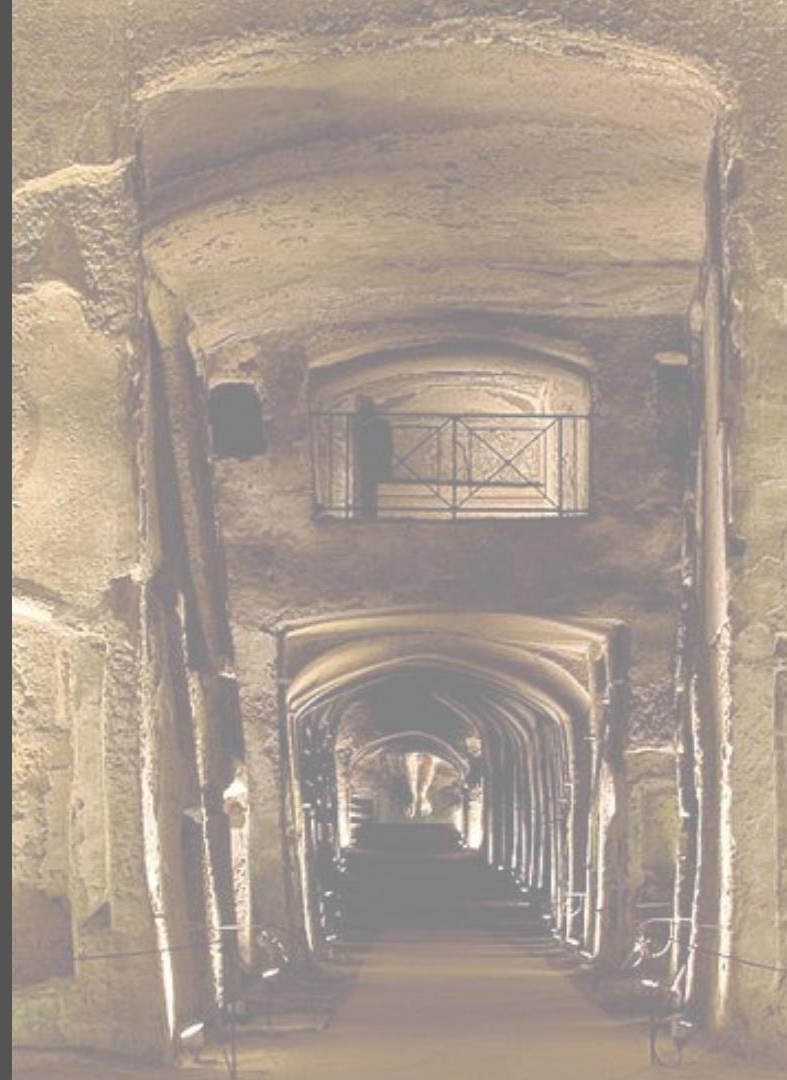
$S = 350 \text{ kN}$

→ $\Phi 50$



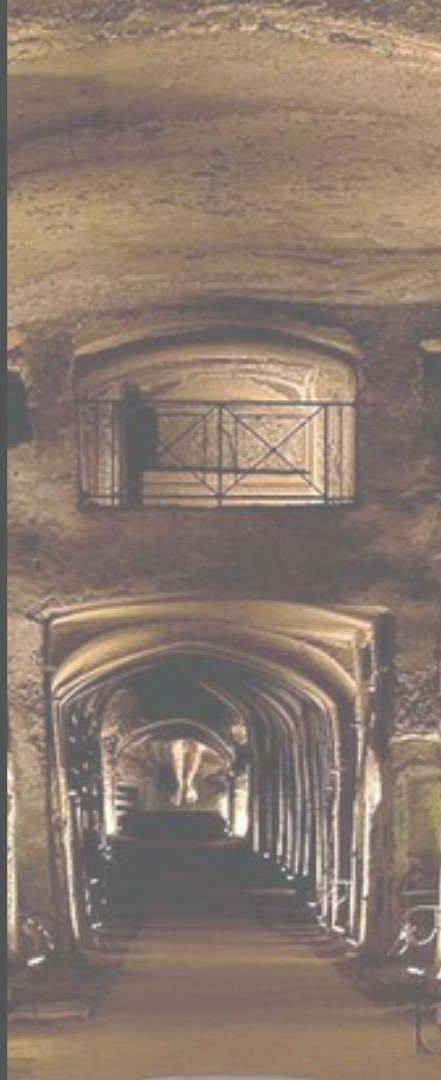
CONCLUSIONI 3

- Corretta modellazione del sottosuolo
- Indagini pregresse affidabili
- Chiara interpretazione del meccanismo
- Interventi necessari





05 Conclusioni.



Confronto casi studio

	Stratigrafia	Conoscenza materiali	Monitoraggio	Interventi
Palazzo storico	✗	✗✗✗	✗	✗✗
Basilica benedettina	✓✓	✓	✓✓✓	✓✓
Catacombe di San Gennaro	✓✓	✓✓✓	✓	✓✓

PROTOCOLLO DI PROCEDURA

- 01 Attenta ricostruzione delle fasi costruttive
- 02 Caratterizzazione stratigrafica e meccanica
- 03 Attenta osservazioni di tutti i possibili dissesti
- 04 Interventi
 - Assenza di compressione
 - Chiara compressione
 - Monitoraggio prolungato
 - Intervento rispettoso





*Grazie per
l'attenzione!*

