



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

# Progetto, costruzione e monitoraggio dei piani interrati di un edificio a Roma

Storia di uno scavo in ambiente urbano

*Commissione Geotecnica  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*

*Relatore  
Prof. Ing. Salvatore Miliziano*



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

21 Marzo 2014

# **PRINCIPALI PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DI UNO SCAVO IN AMBIENTE URBANO**

---

**- GARANTIRE LA SICUREZZA DELLO SCAVO**

**- EVITARE DANNI AGLI EDIFICI ADIACENTI**



# PRINCIPALI PROBLEMATICHE CONNESSE ALLA REALIZZAZIONE DI UNO SCAVO IN AMBIENTE URBANO

---

- Indagini geotecniche per definire un corretto modello geotecnico di sottosuolo;
- tecnologia costruttiva;
- definizione delle fasi costruttive;
- verifiche della stabilità del fondo scavo (sollevamento – sifonamento);
- monitoraggio dell'opera: spostamenti delle strutture di sostegno e degli edifici;
- monitoraggio delle pressioni interstiziali;
- indicazioni di progetto.



# CASO DI STUDIO: EDIFICIO MULTIPIANO – VIA PANFILO CASTALDI, ROMA

---

- difficile contesto geologico: **vicinanza al Fiume Tevere;**
- esempio di **Top-down** che consente di minimizzare gli effetti deformativi indotti;
- paratia di **pali trivellati di grande diametro** realizzati con l'uso di fanghi bentonici;
- **fasi costruttive opportune;**
- **scavo sotto falda**: necessità di garantire la stabilità al **sollevamento del fondo dello scavo;**



# CASO DI STUDIO: EDIFICIO MULTIPIANO – VIA PANFILO CASTALDI, ROMA

---

- monitoraggio dell'opera:

- X problema connesso al **cattivo funzionamento della strumentazione/piezometro;**
- ✓ confronto tra campo di spostamenti previsto in progetto e monitoraggio durante l'esecuzione;

- indicazioni di progetto:

- X danni indotti sulle strutture di un edificio in muratura a causa della **non corretta esecuzione di alcuni pali durante la fase di realizzazione** dei pali stessi e prima ancora di cominciare ad eseguire gli scavi;
- ✓ **buon funzionamento delle opere di presidio** predisposte per minimizzare i rischi nei riguardi dei fenomeni di instabilità del fondo scavo in occasione della piena del Tevere del 2008.





ROMA

# Progetto, costruzione e monitoraggio dei piani interrati di un edificio in Roma storia di uno scavo in ambiente urbano

*Prof. Ing. Salvatore Miliziano*



21 Marzo 2014

# INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO



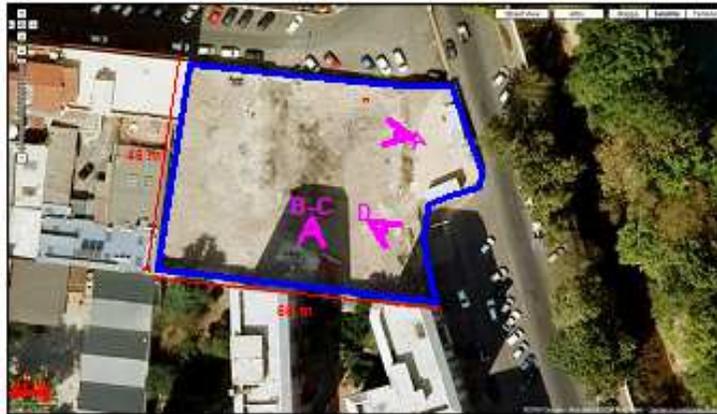
AREA DI INTERVENTO



# PARTICOLARE AREA DI SCAVO E PREESISTENZE



**VISTA A**  
**EDIFICIO IN MURATURA**  
(struttura in muratura con fondazioni superficiali del tipo a sacco)



**VISTA B) foto prima delle demolizioni.**



**VISTA C) foto durante le demolizioni**

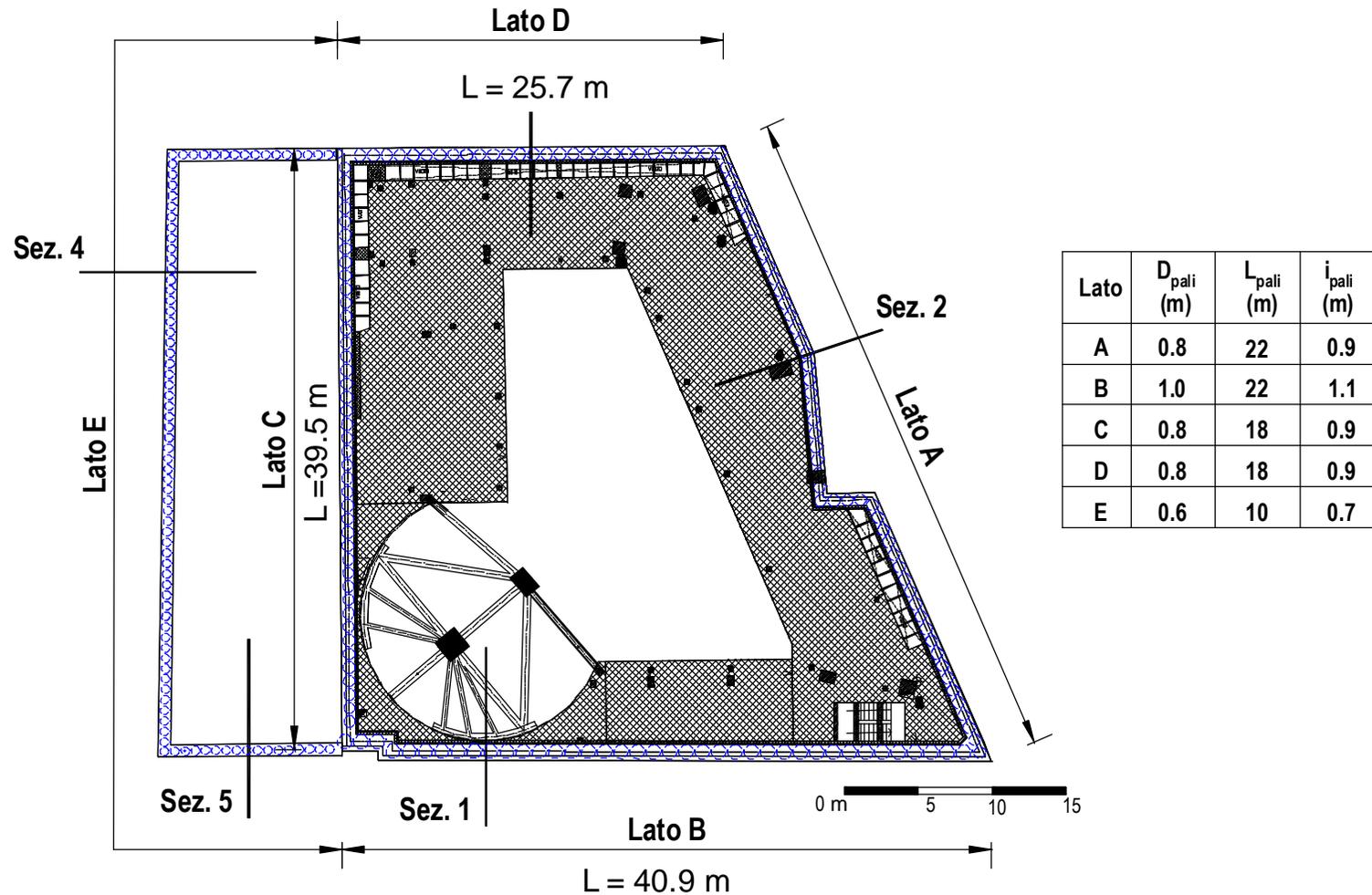


**VISTA D**  
**SCARPATA PROSPICIENTE IL LUNGOTEVERE**



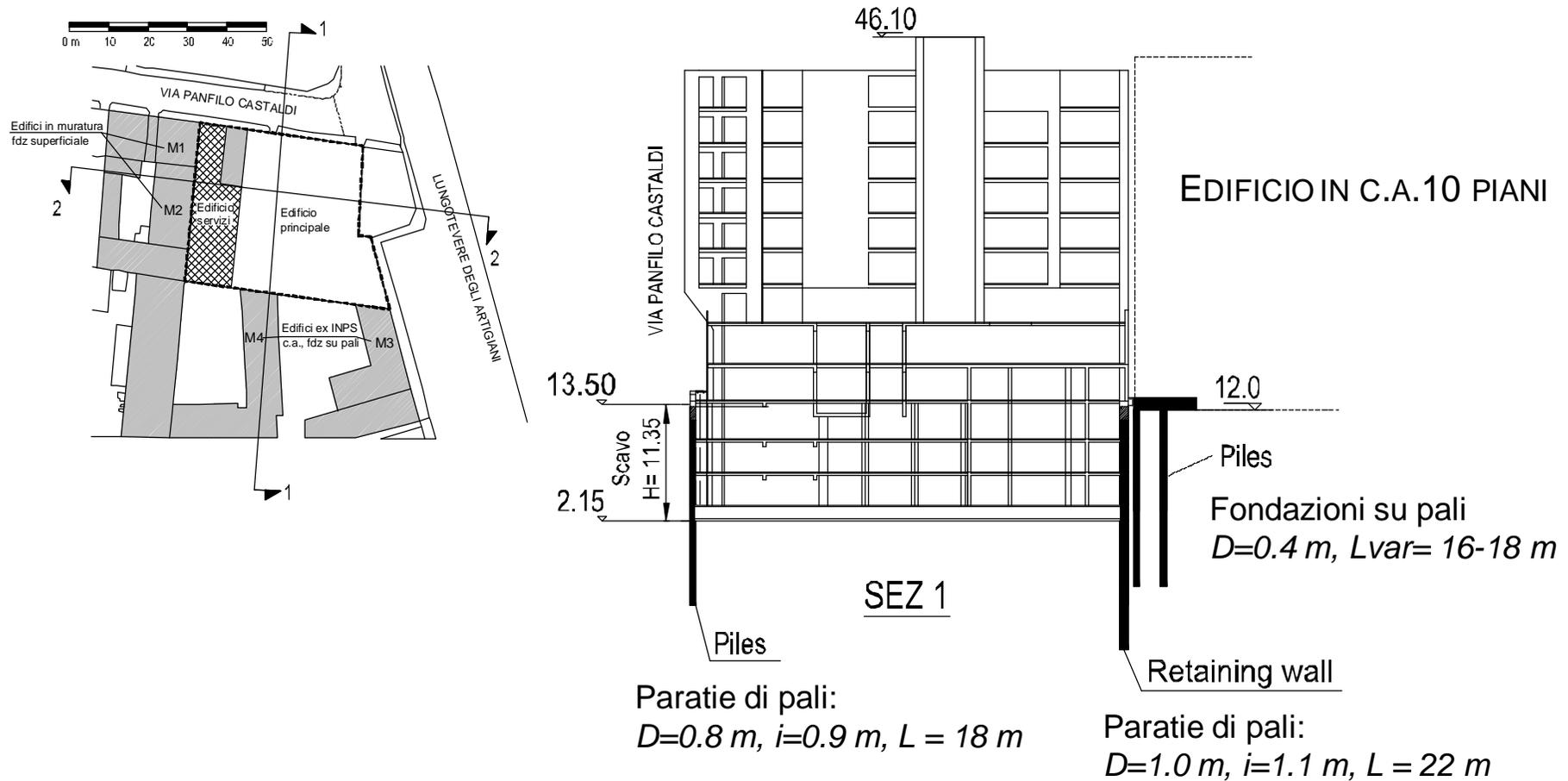
# DESCRIZIONE DELL'OPERA

## Strutture perimetrali di sostegno - PLANIMETRIA



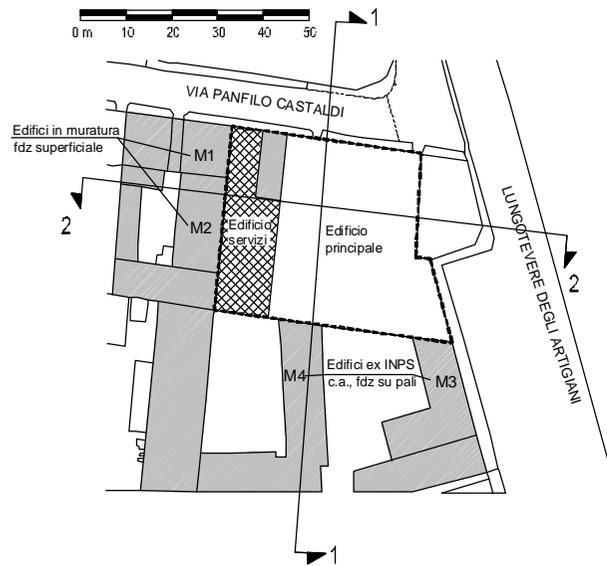
# DESCRIZIONE DELL'OPERA

## Struttura in elevazione: SEZIONE 1

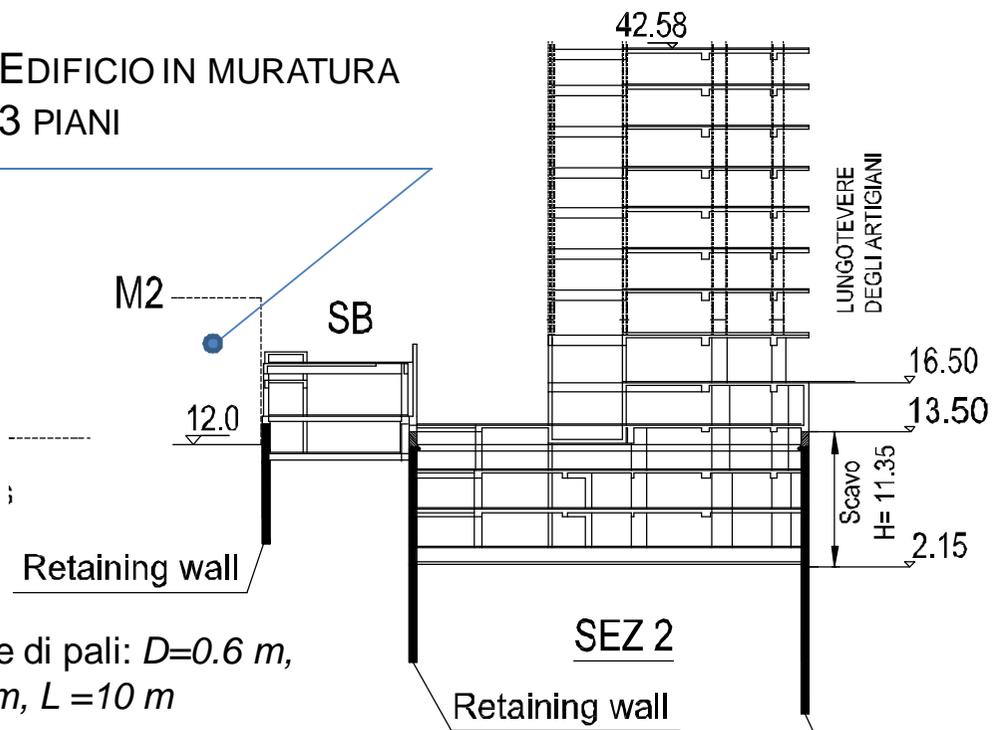


# DESCRIZIONE DELL'OPERA

## Struttura in elevazione: SEZIONE 2



EDIFICIO IN MURATURA  
3 PIANI



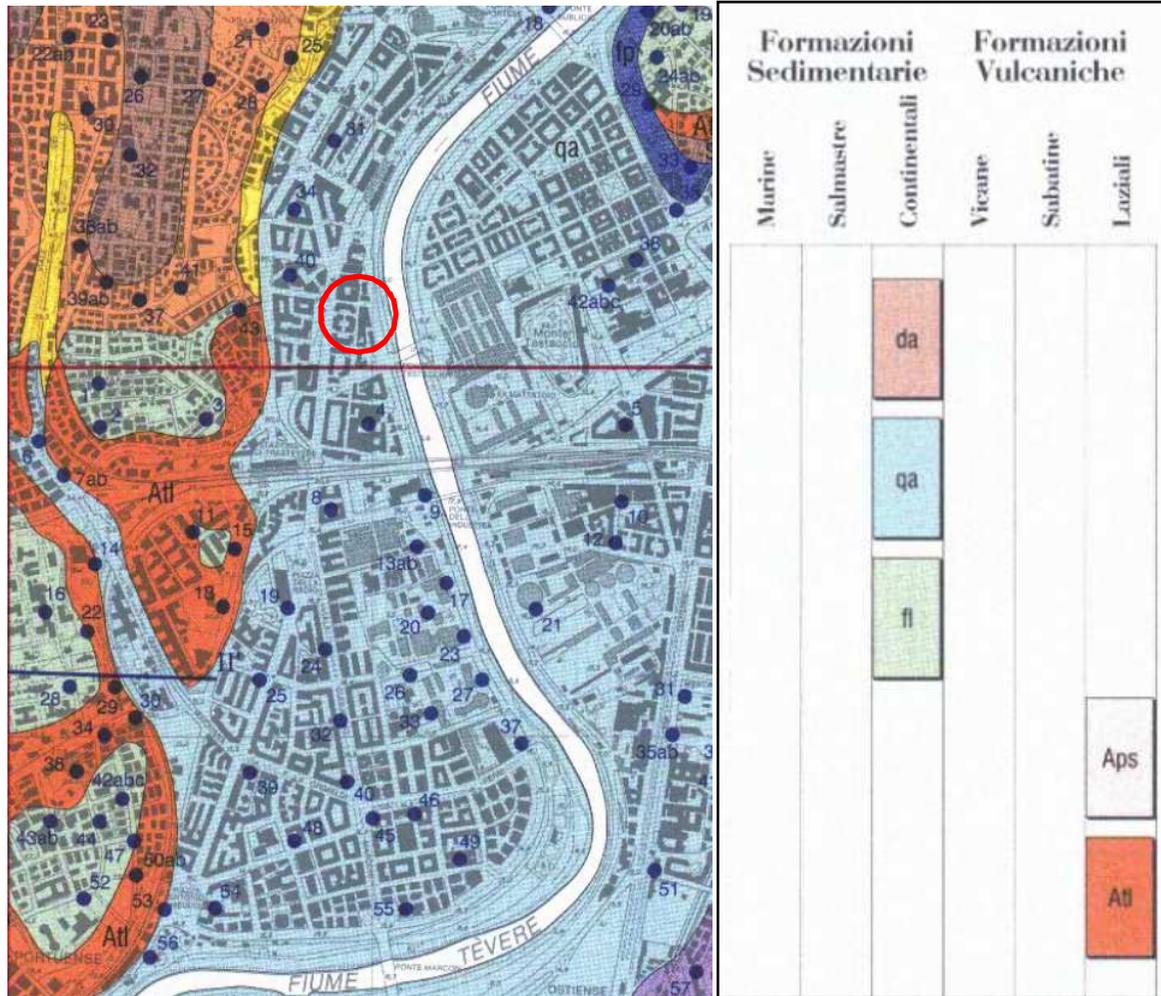
Paratie di pali:  $D=0.6\text{ m}$ ,  
 $i=0.7\text{ m}$ ,  $L=10\text{ m}$

Paratie di pali:  $D=0.8\text{ m}$ ,  
 $i=0.9\text{ m}$ ,  $L=22\text{ m}$

Paratie di pali:  $D=0.8\text{ m}$ ,  
 $i=0.9\text{ m}$ ,  $L=22\text{ m}$



# INQUADRAMENTO GEOLOGICO



**da:** scariche di scavo di cave: Argini del Tevere e terrapieni

**qa:** alluvioni attuali: argille, limi, sabbie e ghiaie. Depositi eluviali di fondo alveo

**fi:** formazione fluvio-lacustre: argille, limi diatomiti, sabbie e ghiaie con intercalate lenti e croste travertinose

**Aps:** Pozzolana grigia: Tufo di colore grigio rossastro, violaceo o grigio scuro; incoerente nella zona NO, O e SO (pozzolana grigia o pozzolanella), coerente nelle Zone NE, E e SE (tufo litoide detto tufo di Giulianello) di aspetto simile al sottostante tufo lionato.

**Ati:** tufo lionato: Tufo coerente, litotide, comunemente di colore rosso fulvo più o meno scuro a volte grigio o giallastro

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO AREA OGGETTO DELL'INTERVENTO (VENTRIGLIA, 2002)



Prof. Ing. Salvatore Miliziano

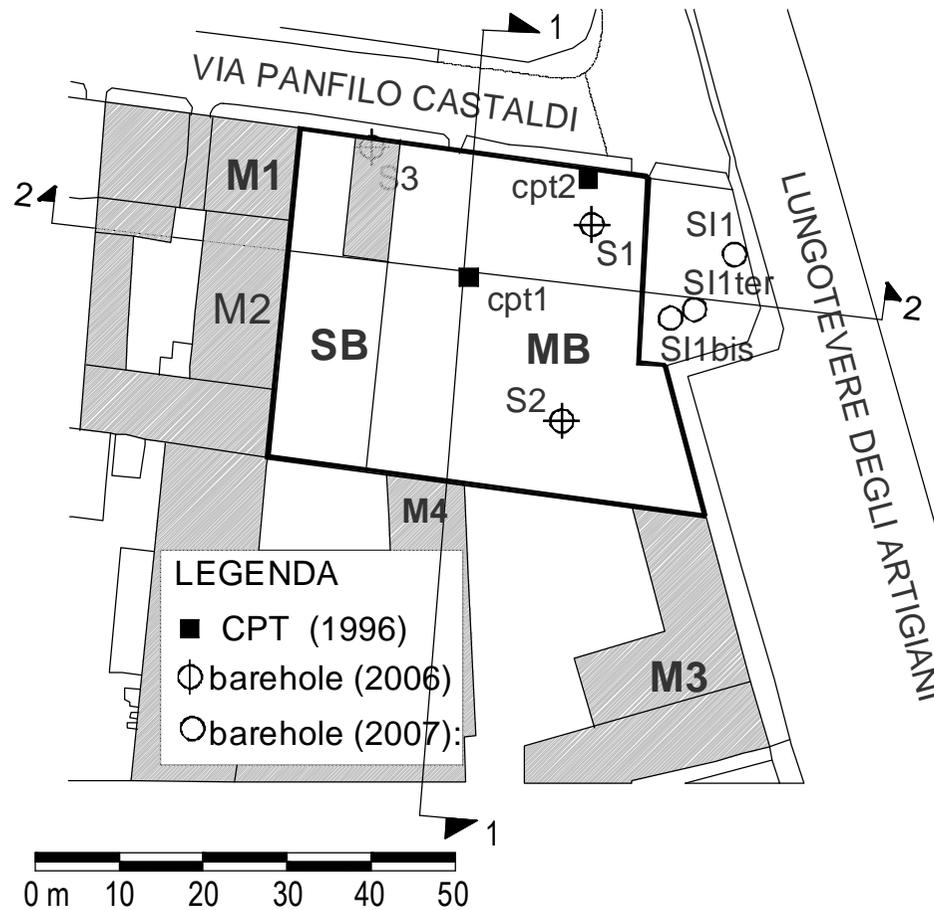
Storia di uno scavo in ambiente urbano – via Panfilo Castaldi in Roma



21 Marzo 2014

pag. 12

# INDAGINI GEOTECNICHE



## CAMPAGNA 1996:

Prove penetrometriche statiche (cpt1 – cpt2 )

## CAMPAGNA 2006:

Sondaggi a carotaggio continuo (S1 – S2 – S3)

Prove Dilatometriche (dmt1 – dmt2)

## CAMPAGNA 2007:

Sondaggi a carotaggio continuo (SI1)

Sondaggi a distruzione di nucleo (SI1bis – SI1ter)

## Strumentazione installata:

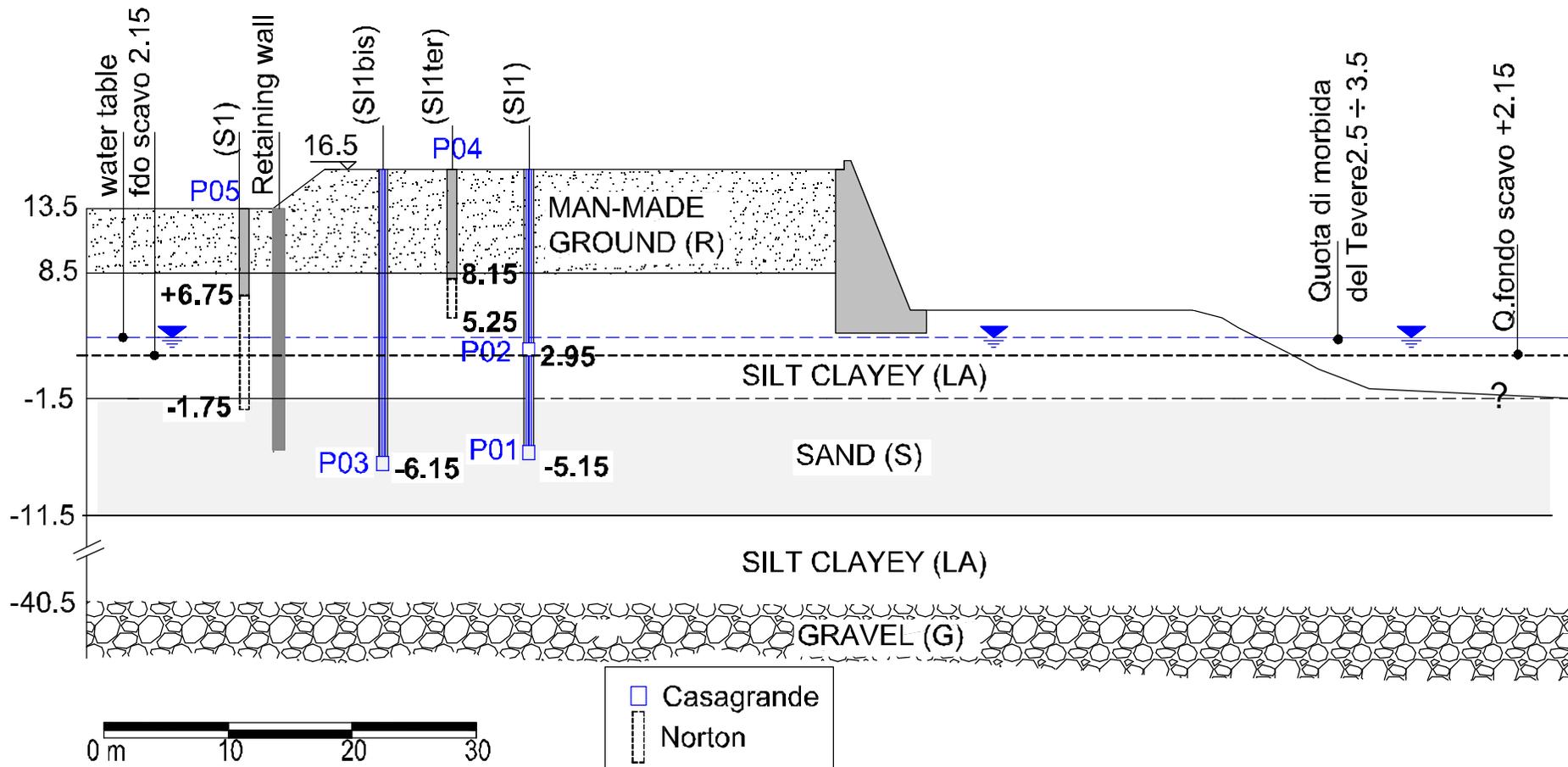
Piezometri TA: S1(2006) – SI1ter(2007)

Piezometri CAS: S1bis-SI1ter(2007)



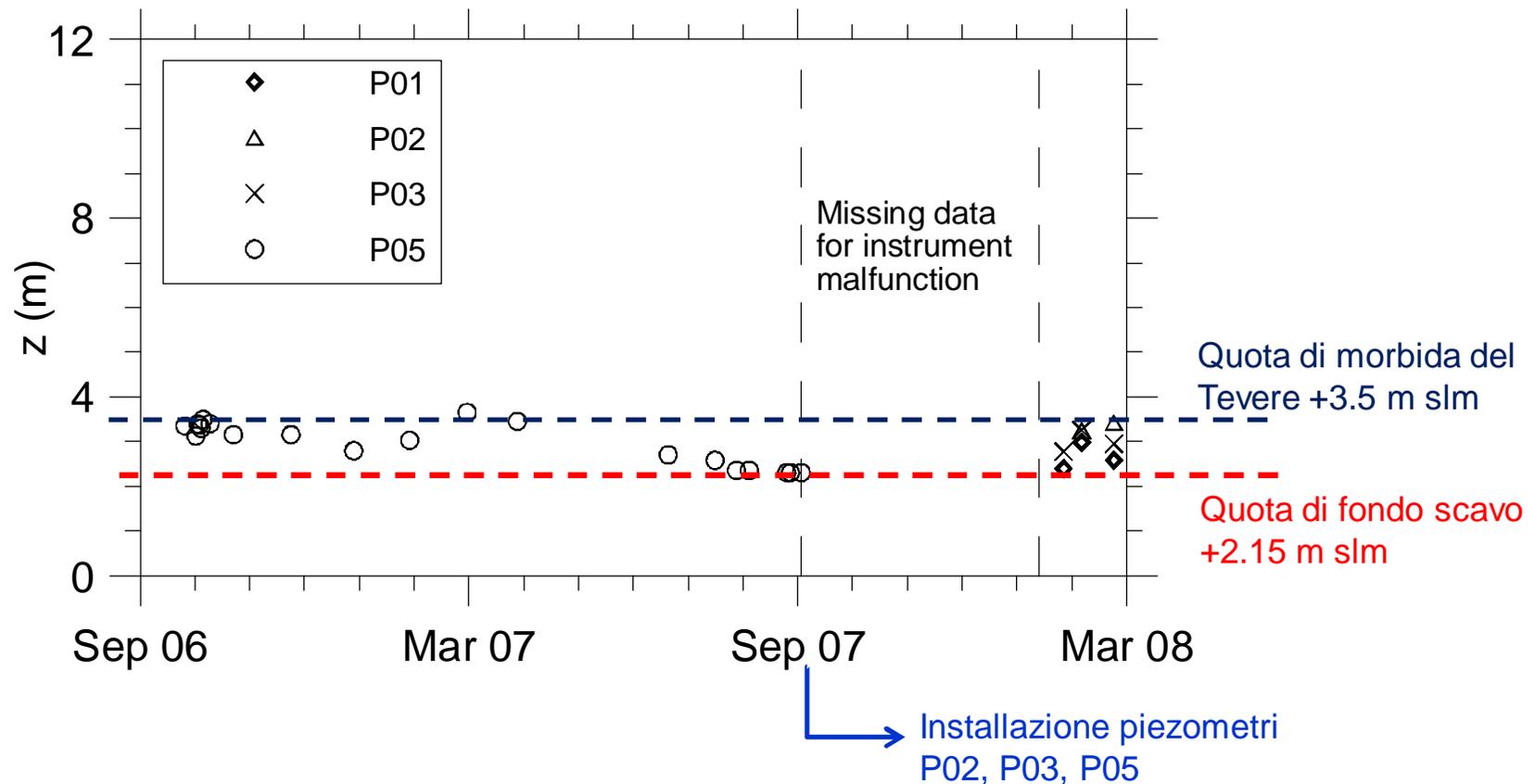
# INDAGINI GEOTECNICHE

## Ubicazione della strumentazione installata (sezione geotecnica)



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Andamento misure piezometriche (Anni 2006-2008)

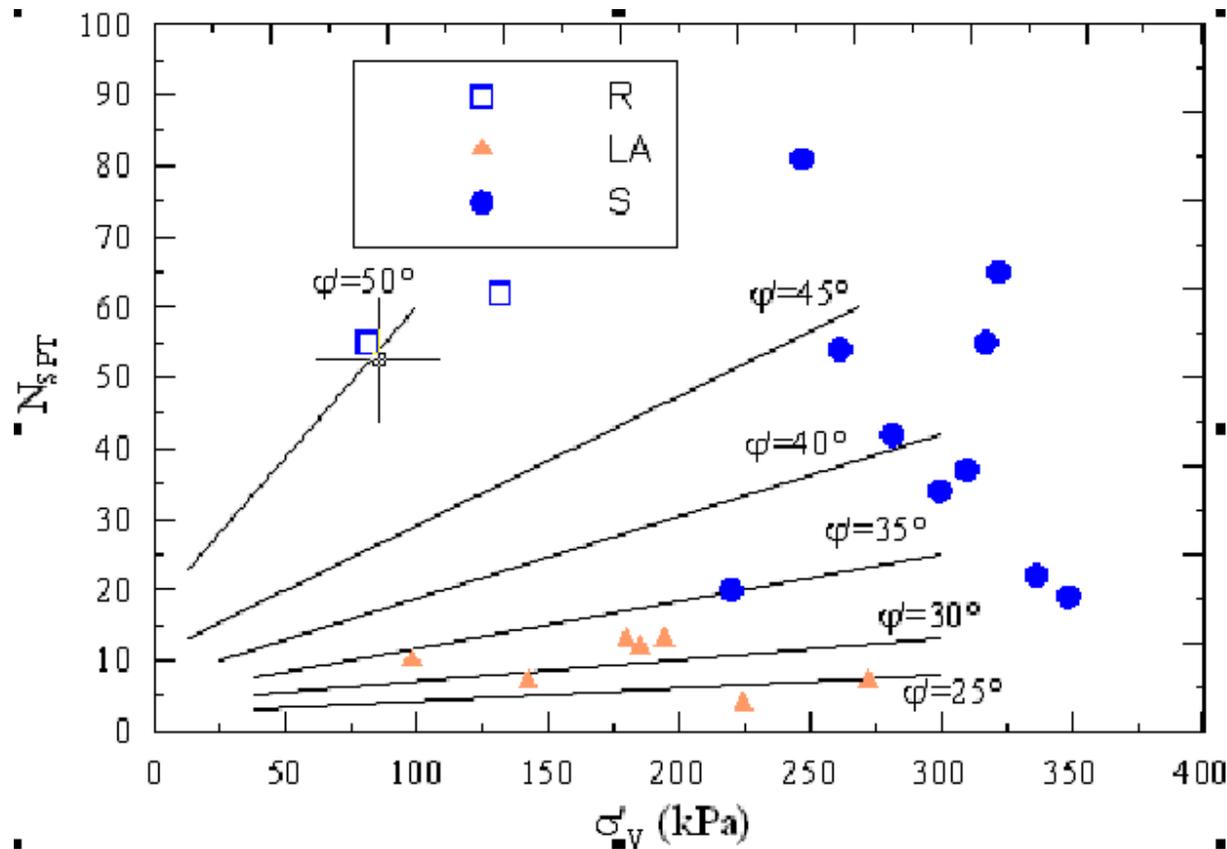


## IL MISTERO DELLA FALDA SCOMPARSA ???



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Prove in sito: interpretazione prove SPT (resistenza)

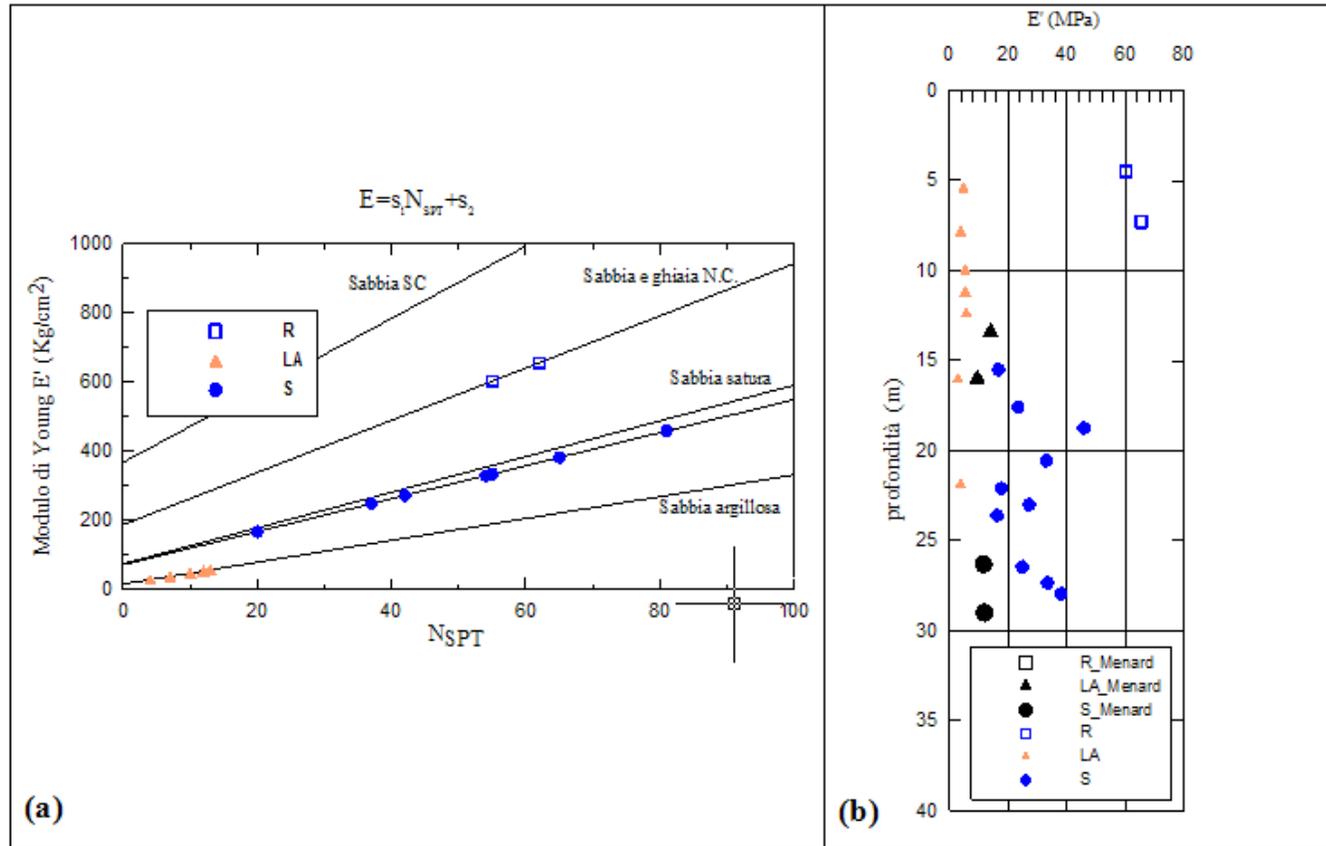


VALUTAZIONE RESISTENZA : INTERPRETAZIONE DI **DE MELLO (1971)**



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Prove in sito: interpretazione prove SPT (deformabilità) e pressiometriche Menard



VALUTAZIONE DEFORMABILITÀ: INTERPRETAZIONE DI **DENVER**(1982)

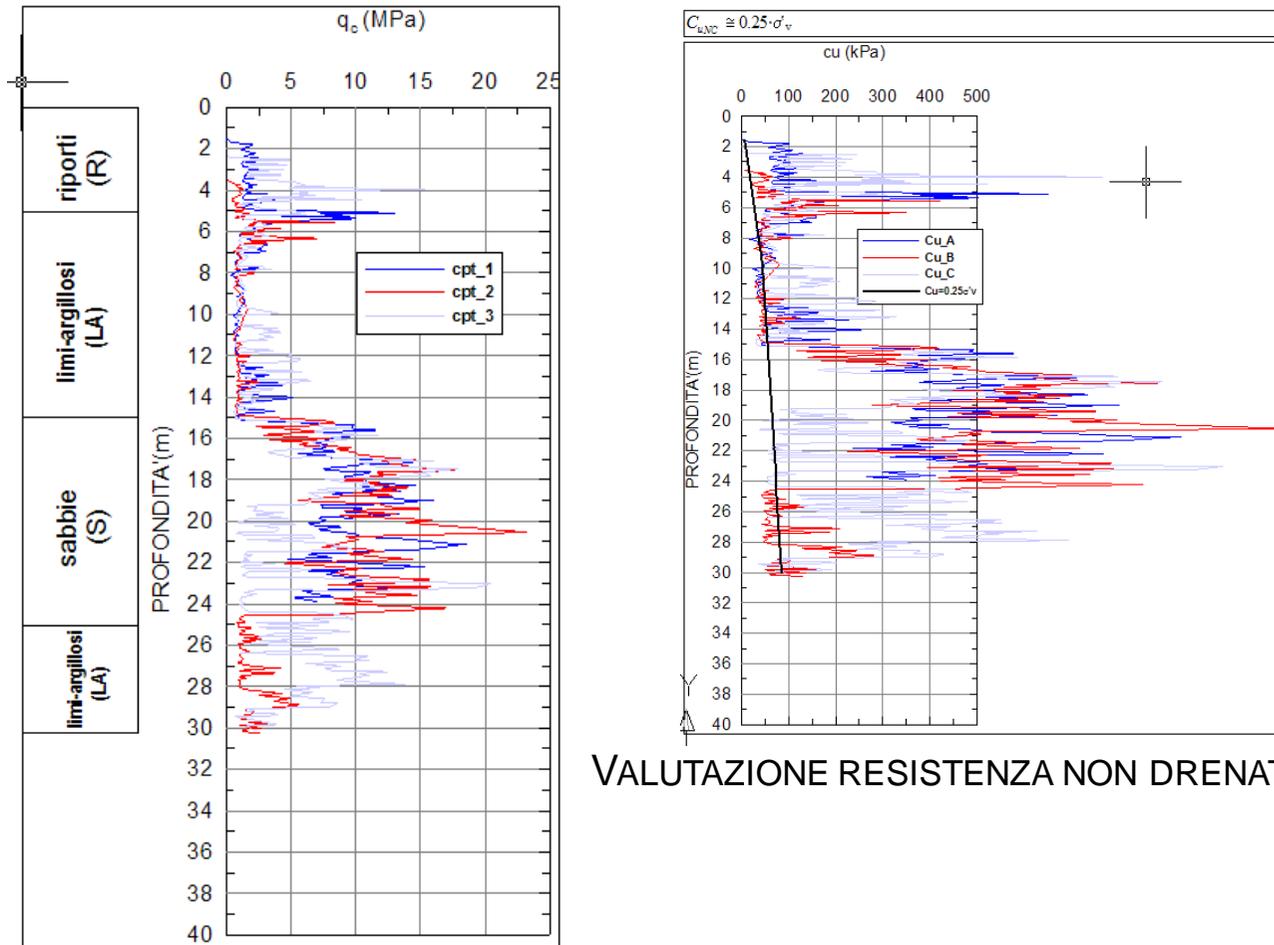
VALUTAZIONE DEFORMABILITÀ: PROVE PRESSIOMETRICHE **MENARD** (CAMPAGNA 2007)

Le profondità sono riferite alla quota media del piazzale 13.5 m s.l.m



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Prove in sito: Interpretazione prove CPT – Campagna 1996



VALUTAZIONE RESISTENZA NON DRENATA: AGI (1977)

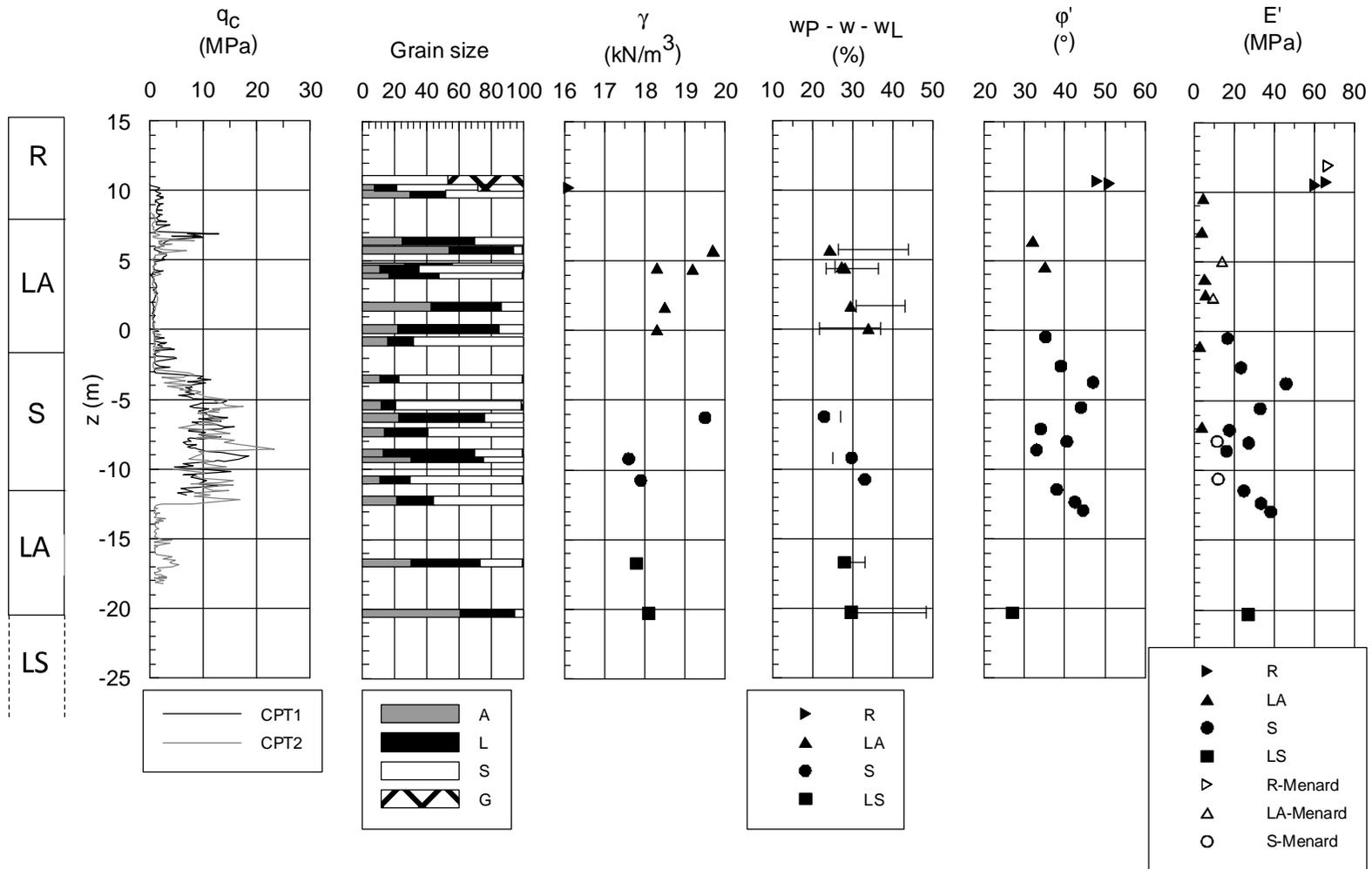
ANDAMENTO DELLA RESISTENZA ALLA PUNTA

Le profondità sono riferite alla quota media del piazzale 13.5 m s.l.m



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Principali caratteristiche fisiche e meccaniche



# CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

## Modello geotecnico

Unità	$z^*$ (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e$ (-)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$Cc/Cs$ (-)	$E'$ (MPa)
Riporti	0 – 5.0	16.0	1.0	0	30	-	20
Limi argillosi NC	5.0 – 15.0	18.5	0.8	0 - 5	25 - 30	0.3/0.05	10-14
Sabbie	15.0 – 25.0	18.0	-	0	35 - 38	-	25 - 35
Limi argillosi NC	25.0 – 30.0	18.5	0.9	0 - 5	28 - 32	0.25/0.04	15 - 20
Alternanza di limi e sabbie	> 30	18.0	0.9	-	-	-	-

Le profondità sono riferite alla quota media del piazzale 13.5 m s.l.m



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Verifiche geotecniche

- ✓ **SLE:** Le opere devono essere progettate garantendo che le **deformazioni indotte, in tutte le fasi costruttive, siano sufficientemente contenute** e tali da assicurare la **compatibilità e funzionalità delle opere stesse** rendendo **trascurabile il risentimento prodotto nelle strutture adiacenti**, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali
- ✓ **SLU:** Le opere devono essere progettate garantendo **i necessari margini di sicurezza nei confronti dei possibili fenomeni di collasso di tipo geotecnico e strutturale**



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Principali problematiche geotecniche

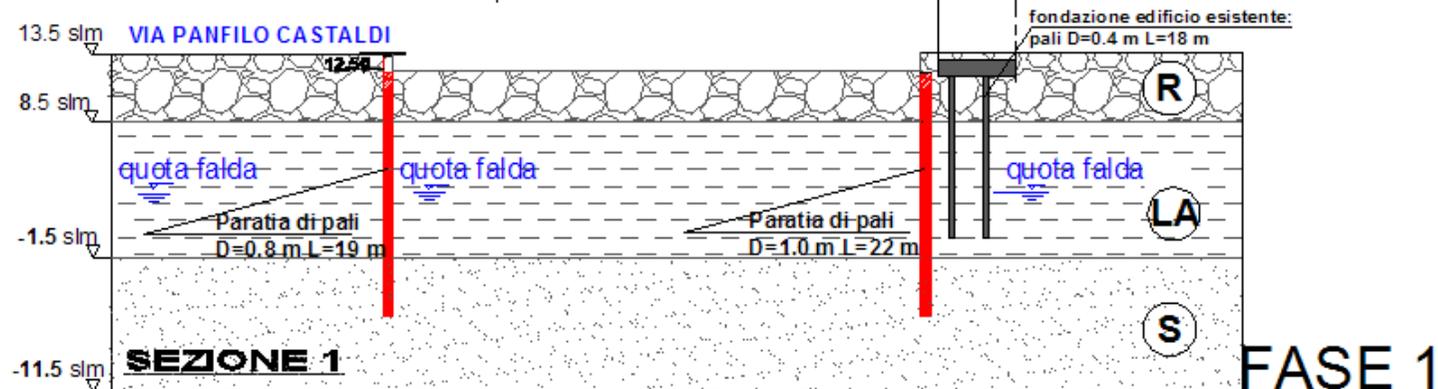
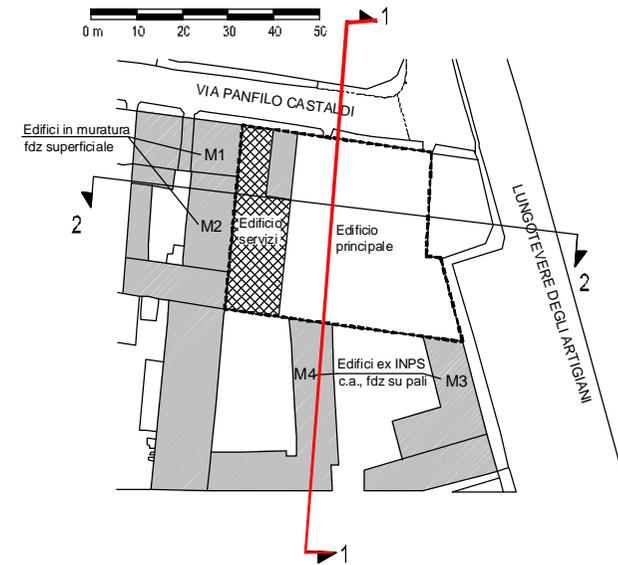
- ✓ **Limitare il campo di spostamenti** per evitare danni negli edifici adiacenti all'area di scavo
  - Modalità di scavo **TOP-DOWN**
  - Paratia di **pali trivellati di grande diametro** realizzati con l'uso di **fanghi bentonici**
  - Definizione di un'opportuna **sequenza delle fasi costruttive**
  
- ✓ Garantire la **stabilità del fondo scavo**
  - Realizzazione di **pozzi di presidio**
  
- ✓ **Scavo sotto falda**
  - Installazione di un sistema di **well points** per l'abbassamento temporaneo della falda



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

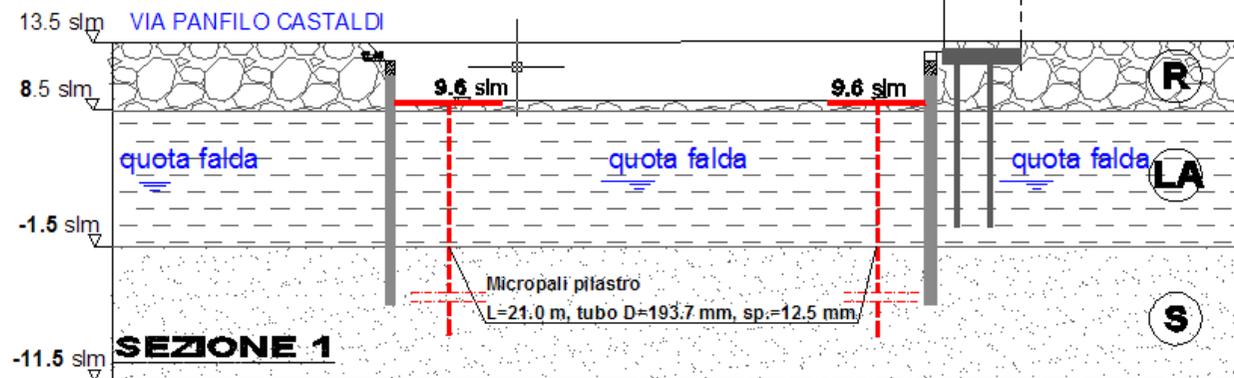
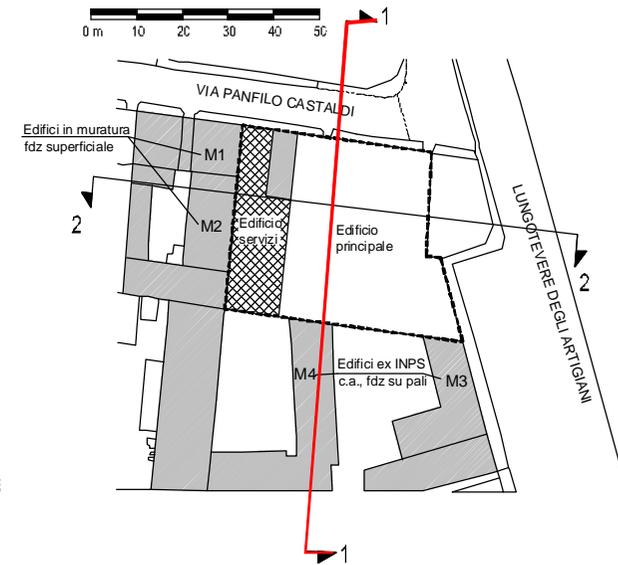
- PRESCAVO A QUOTA +12.50 m (1 m)
- REALIZZAZIONE PARATIE PERIMETRALI (PALI TRIVELLATI IN FANGHI BENTONITICI)
- REALIZZAZIONE CORDOLI DI TESTA
- REALIZZAZIONE DI DUE PUNTONI INCLINATI (c.a.) (paratia lato edifici M3 e M4)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

- SCAVO A QUOTA +9.60 m (QUOTA 1° SOLAIO)
- REALIZZAZIONE PALI-PILASTRO (MICROPALI)
- REALIZZAZIONE FASCIA SOLAIO PERIMETRALE (a quota +9.60 m)



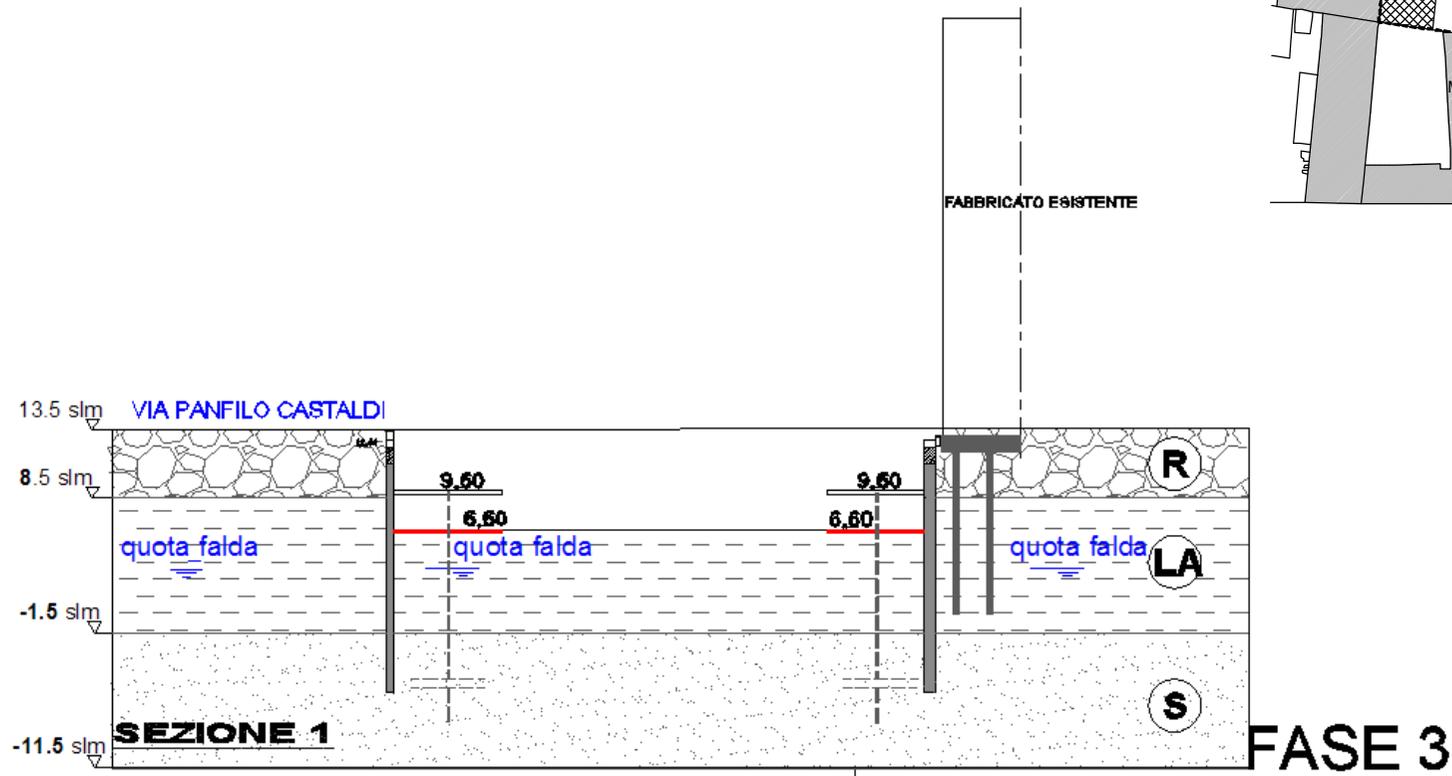
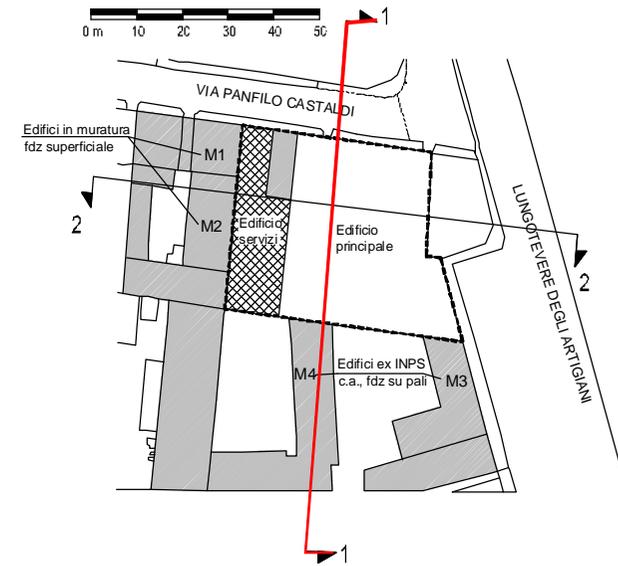
FASE 2



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

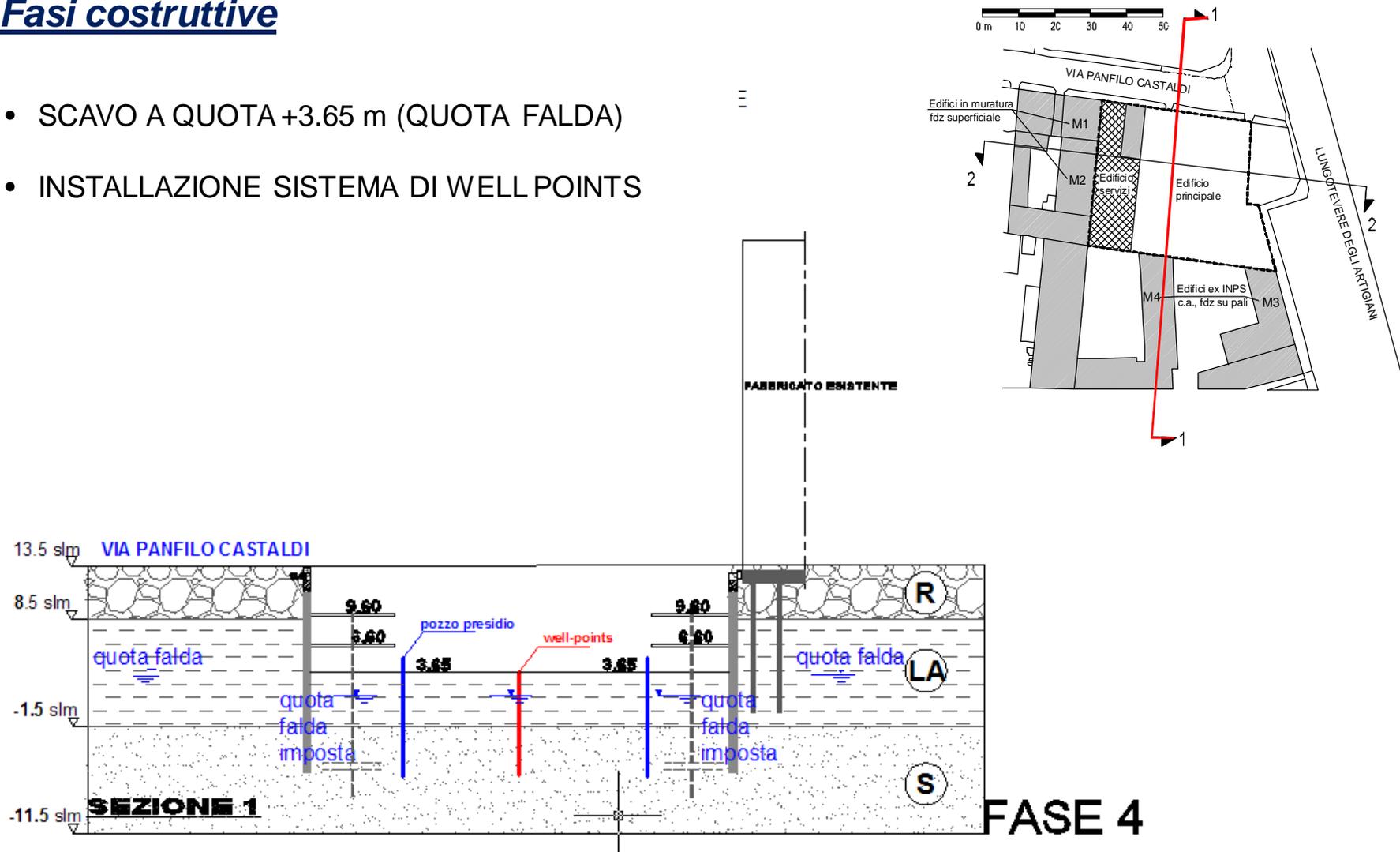
- SCAVO A QUOTA +6.60 m (QUOTA 2° SOLAIO)
- REALIZZAZIONE FASCIA SOLAIO PERIMETRALE (a quota +6.60 m)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

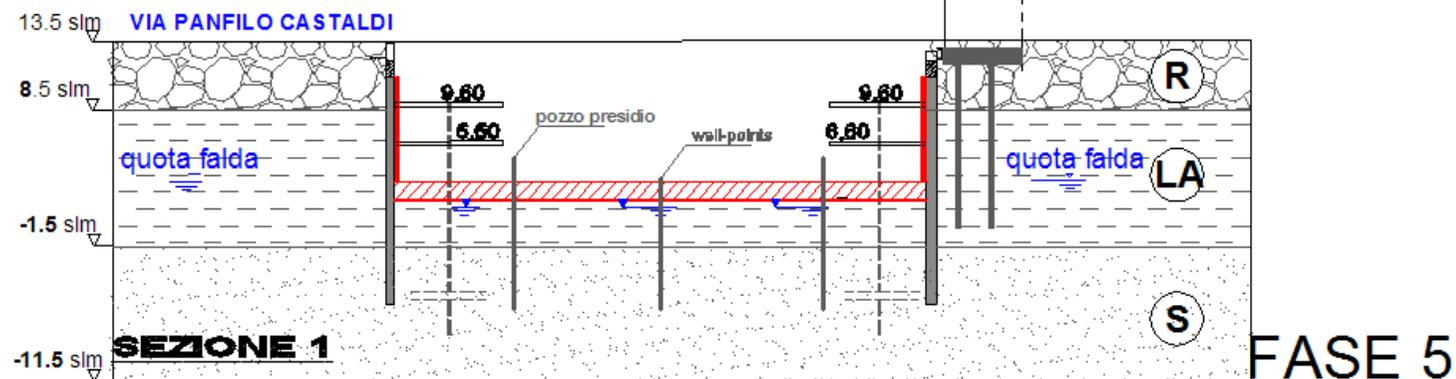
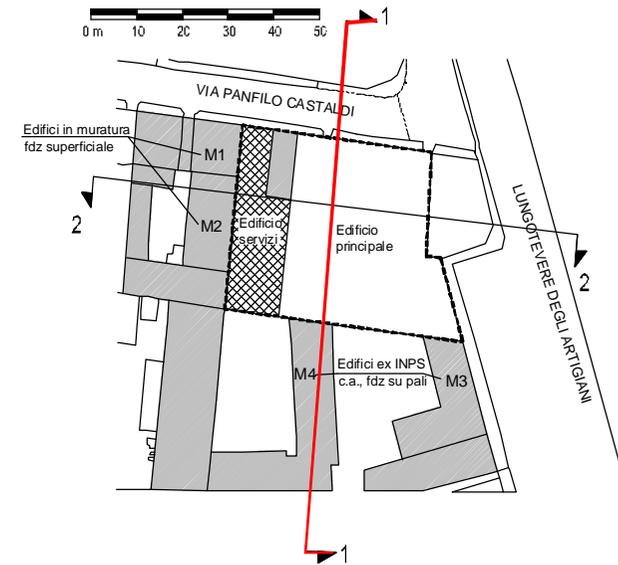
- SCAVO A QUOTA +3.65 m (QUOTA FALDA)
- INSTALLAZIONE SISTEMA DI WELL POINTS



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

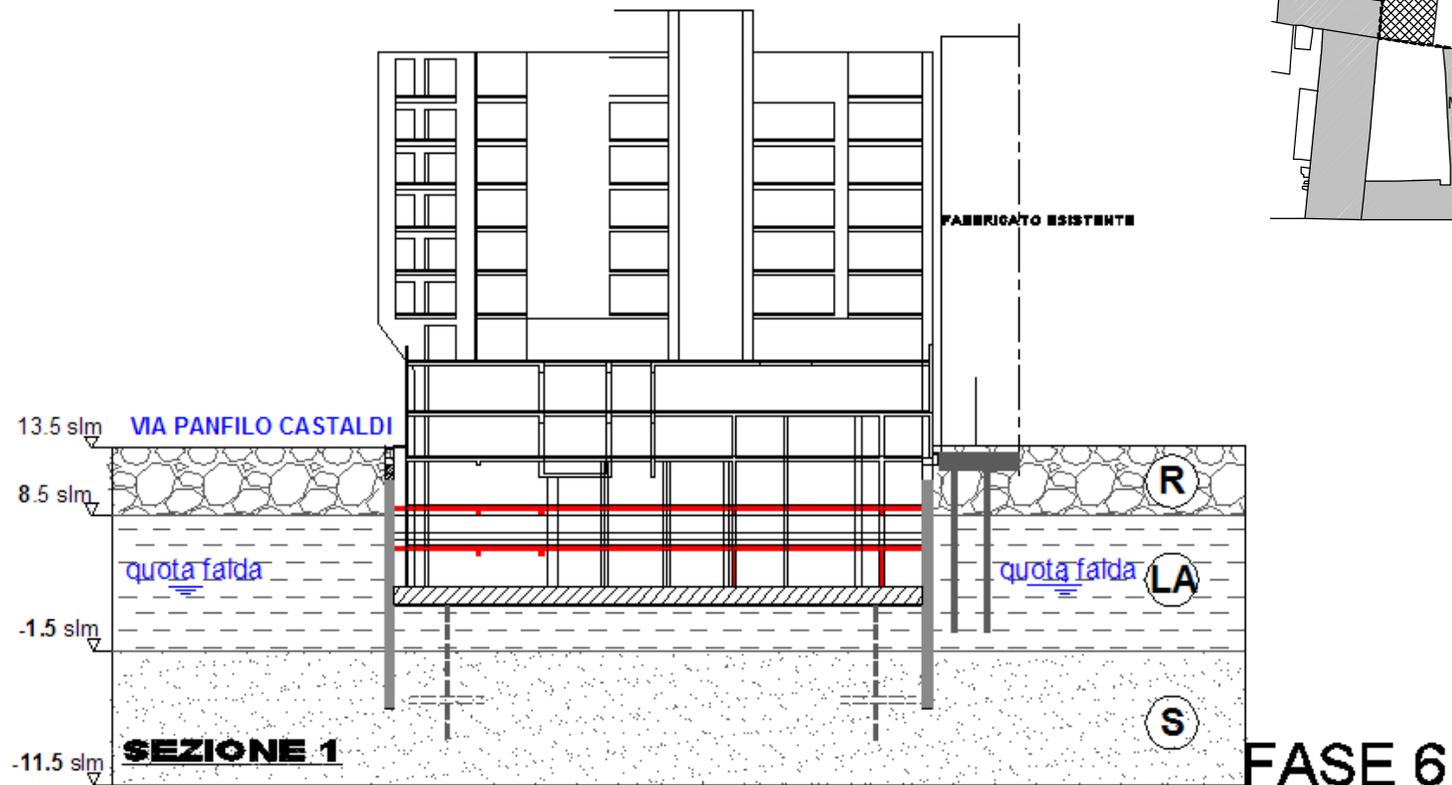
- ATTIVAZIONE DEI WELL POINTS (abbassamento falda)
- SCAVO A QUOTA +2.15 m (FONDO SCAVO)
- REALIZZAZIONE DEI POZZI
- REALIZZAZIONE DEL SOLETTONE DI FONDO, DELLE PARETINE PERIMETRALI E DELLE RELATIVE IMPERMEABILIZZAZIONI



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Fasi costruttive

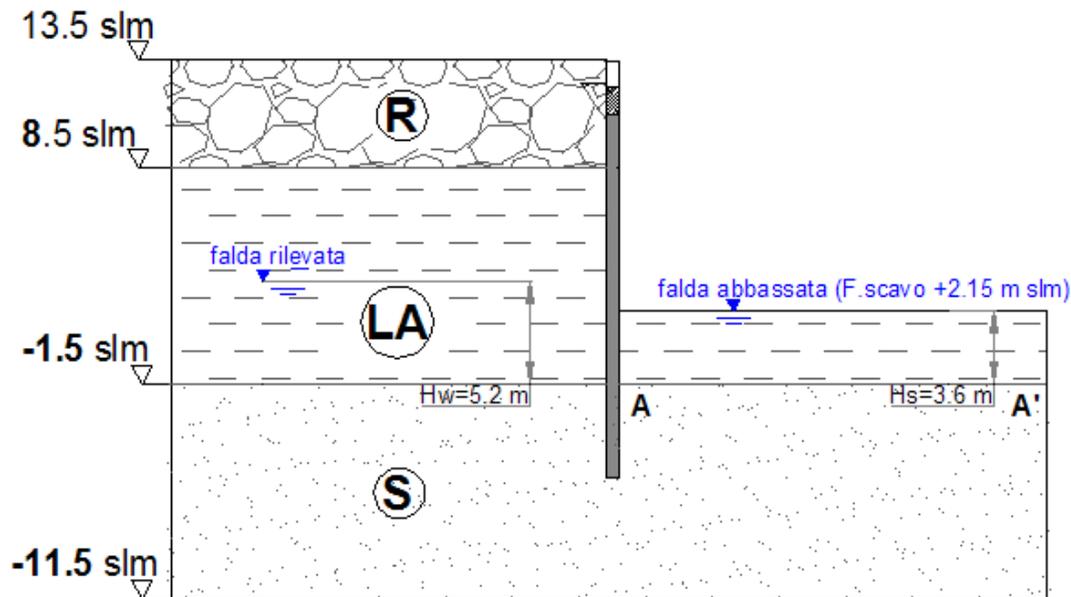
- COMPLETAMENTO DELLE STRUTTURE IN ELEVAZIONE
- DISMISSIONE DEL SISTEMA DI WELL POINTS E DEI POZZI



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Stabilità fondo scavo

Necessità di garantire la stabilità al **sollevamento del fondo** dello scavo in presenza di **possibili incrementi della quota piezometrica** (legati alle oscillazioni della quota del Tevere), durante le fasi costruttive



$$F_s = \sigma_v / u > 1.2-1.4$$

$\sigma_v$ : tensione litostatica  
 $u$ : pressione interstiziale

$$F_s = \sigma_v / u = \gamma \cdot H_s / \gamma_w \cdot H_w = 1.25$$

$$\gamma \cdot H_s = 18.5 \cdot 3.6 = 64.8 \text{ kPa}$$

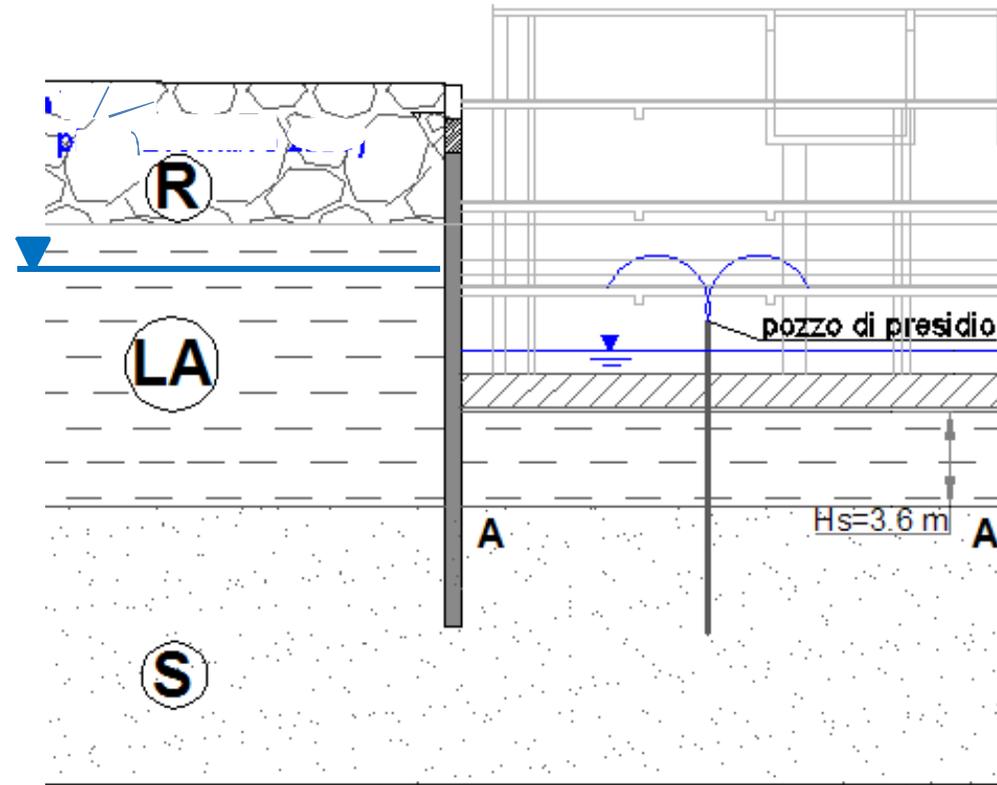
$$\gamma_w \cdot H_w = 10 \cdot 5.5 = 52.0 \text{ kPa}$$

$$F_s = \sigma_v / u = 64.8 / 52.0 = 1.25$$



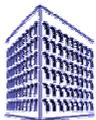
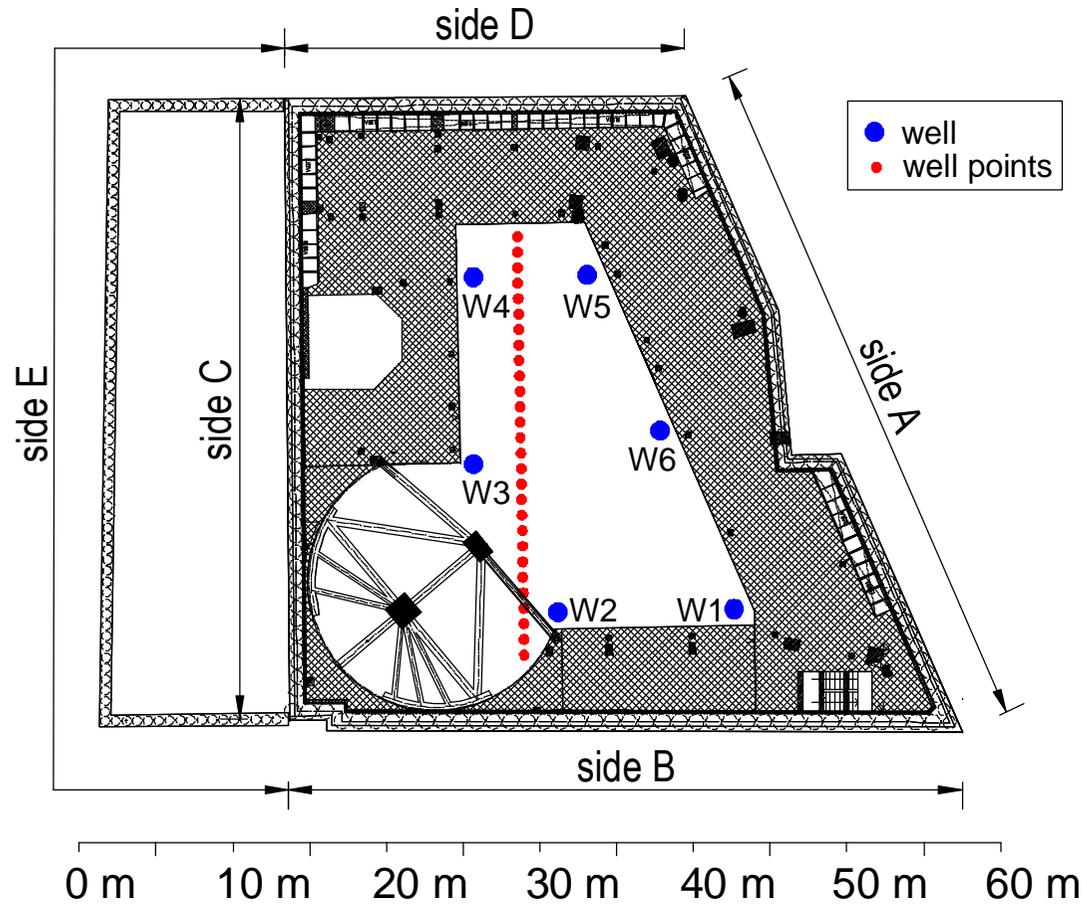
# DESCRIZIONE PROGETTO

## Funzionamento dei pozzi di presidio



# DESCRIZIONE PROGETTO

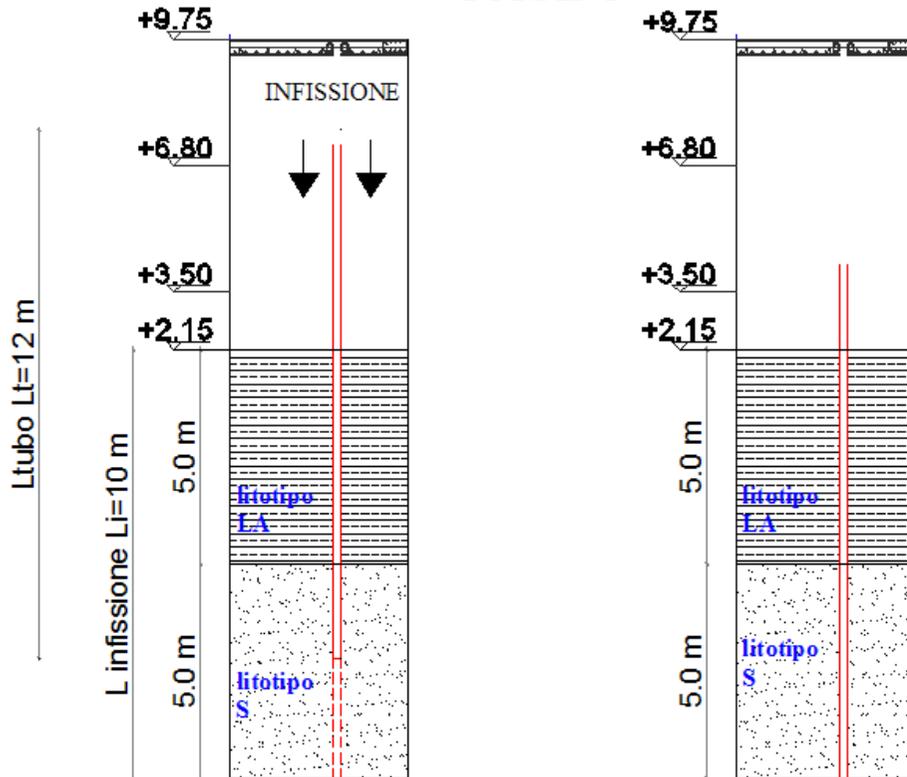
## Ubicazione pozzi di presidio e well points



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Schema installazione pozzi di presidio

### FASE 1



- INFISSIONE MEDIANTE VIBRATORE DI TUBO METALLICO CHIUSO CON FONDELLO A PERDERE

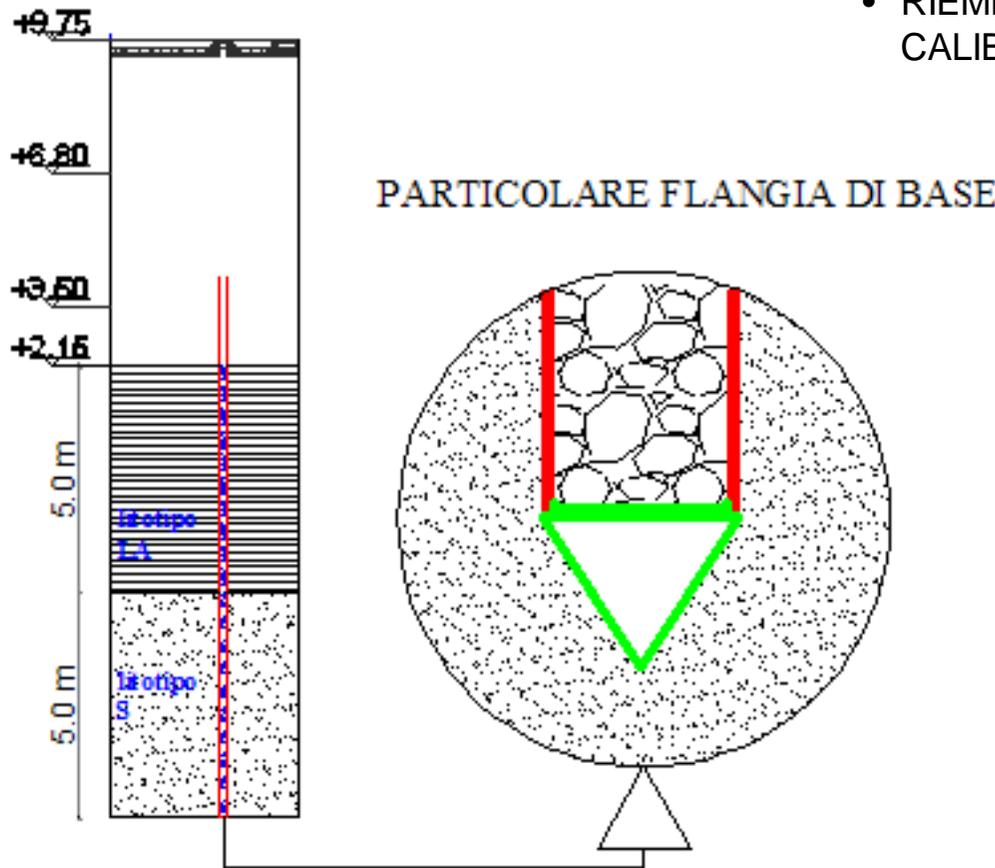
$L=12 \text{ m}$ ,  $D= 200 \text{ mm}$ ,  $s=8 \text{ mm}$



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Schema installazione pozzi di presidio

FASE 2



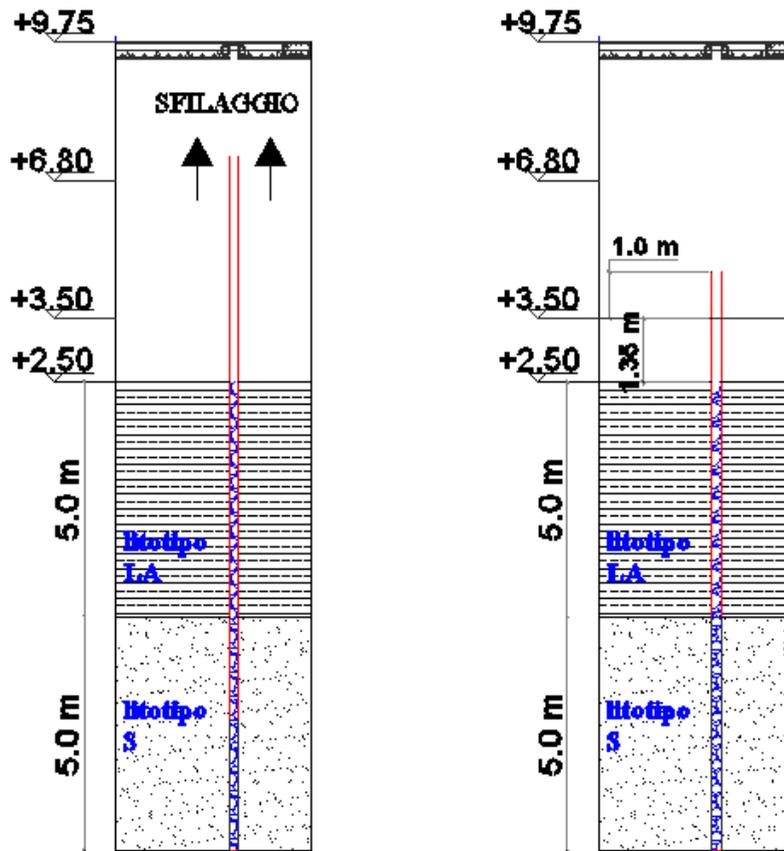
- RIEMPIMENTO DEL TUBO CON GHIAIETTO CALIBRATO A TUTTA ALTEZZA



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Schema installazione pozzi di presidio

### FASE 3

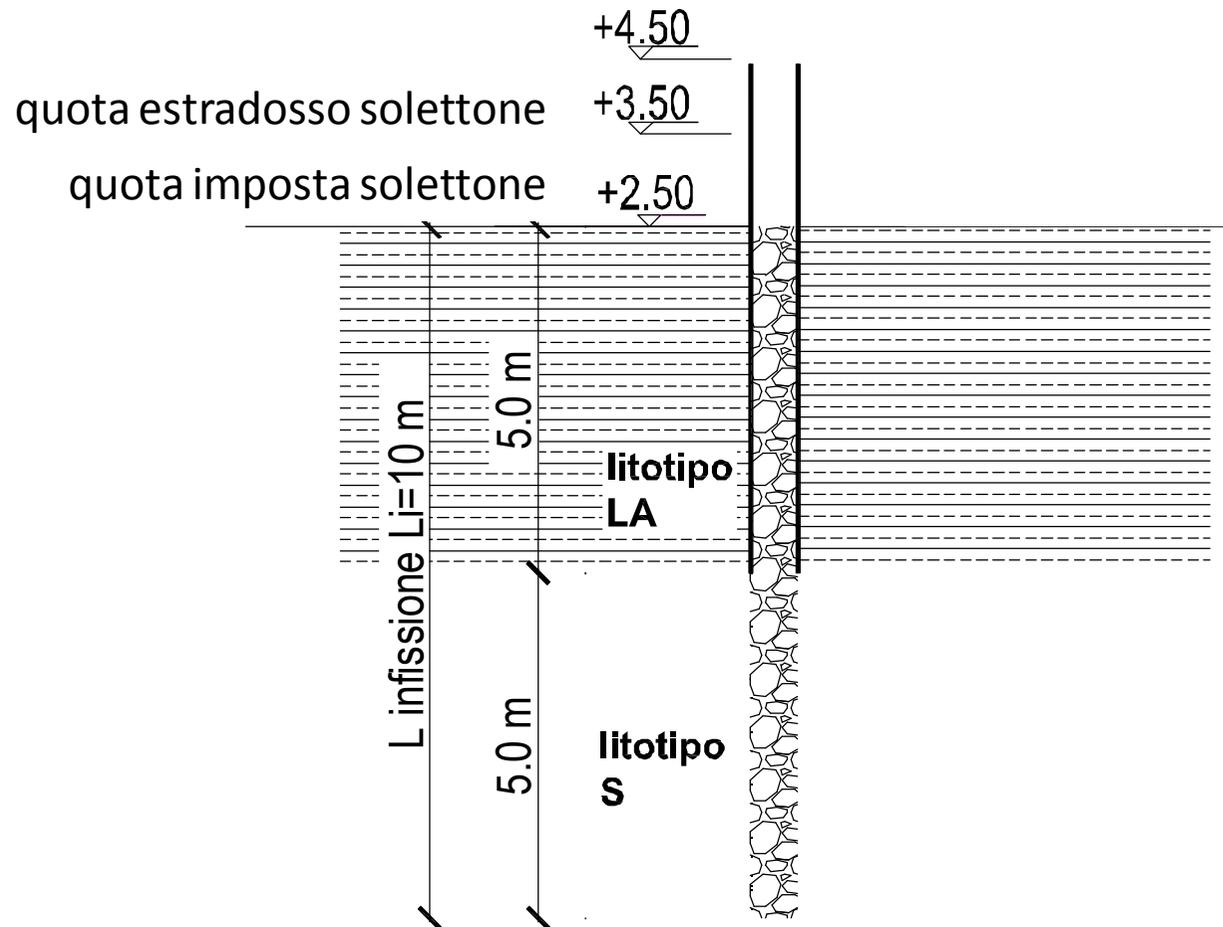


- ESTRAZIONE DEL TUBO PER UNA ALTEZZA PARI A 5 m
- TAGLIO DEL TUBO A QUOTA 4.5 m (1 m più in alto dell'estradosso del solettone)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Pozzi di presidio: configurazione finale



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



AREA DEL CANTIERE PRIMA DELLE DEMOLIZIONI



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

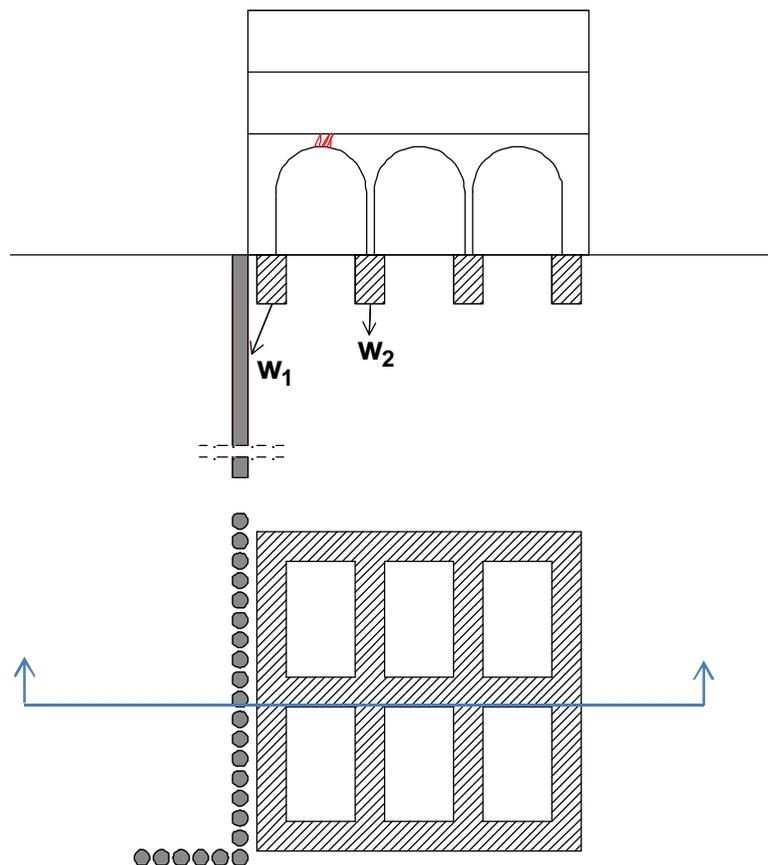
## Documentazione fotografica



AREA DEL CANTIERE DOPO LE DEMOLIZIONI



# DESCRIZIONE PROGETTO



## VIA PANFILO CASTALDI

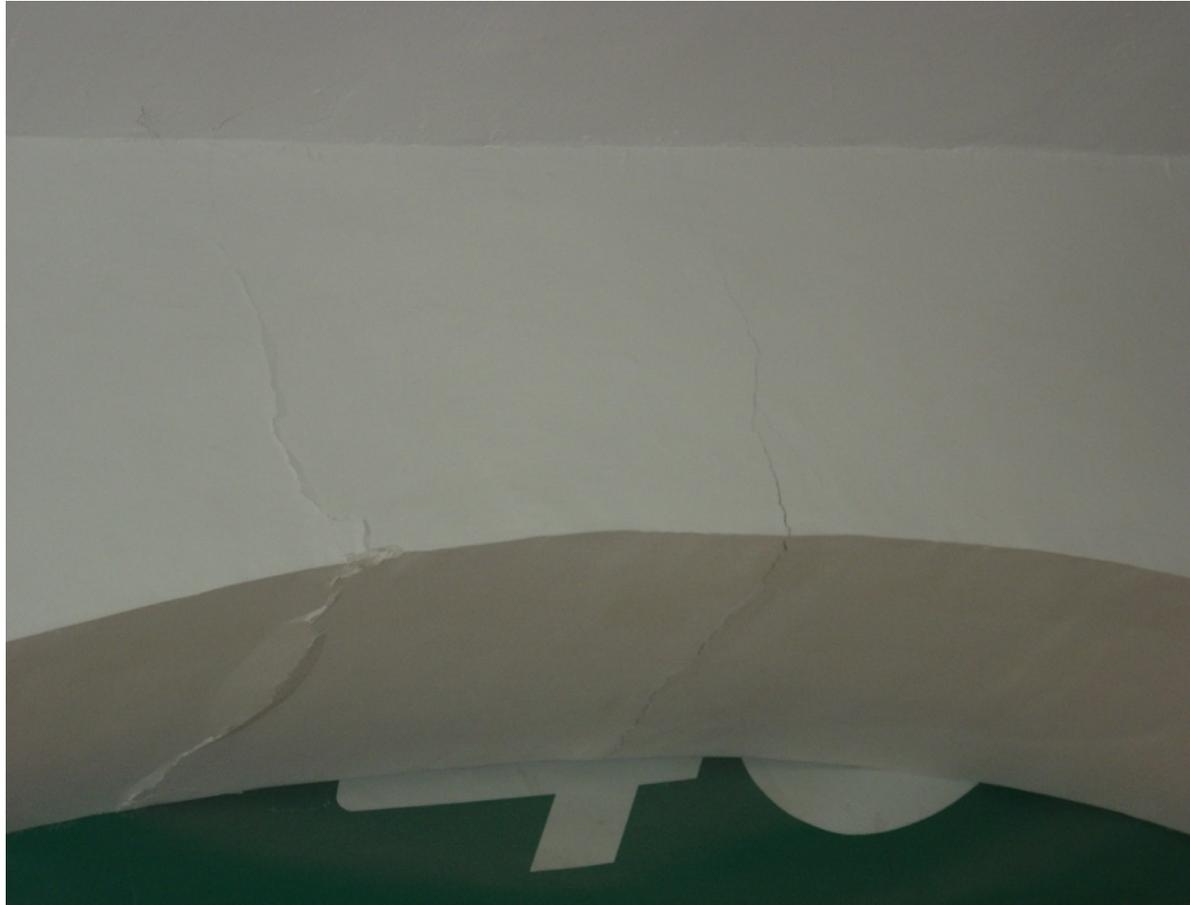
EFFETTI INDOTTI SULL'EDIFICIO IN MURATURA DALLA SOLA REALIZZAZIONE  
DEI PALI IN ASSENZA DI SOSTEGNO DEL FORO



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



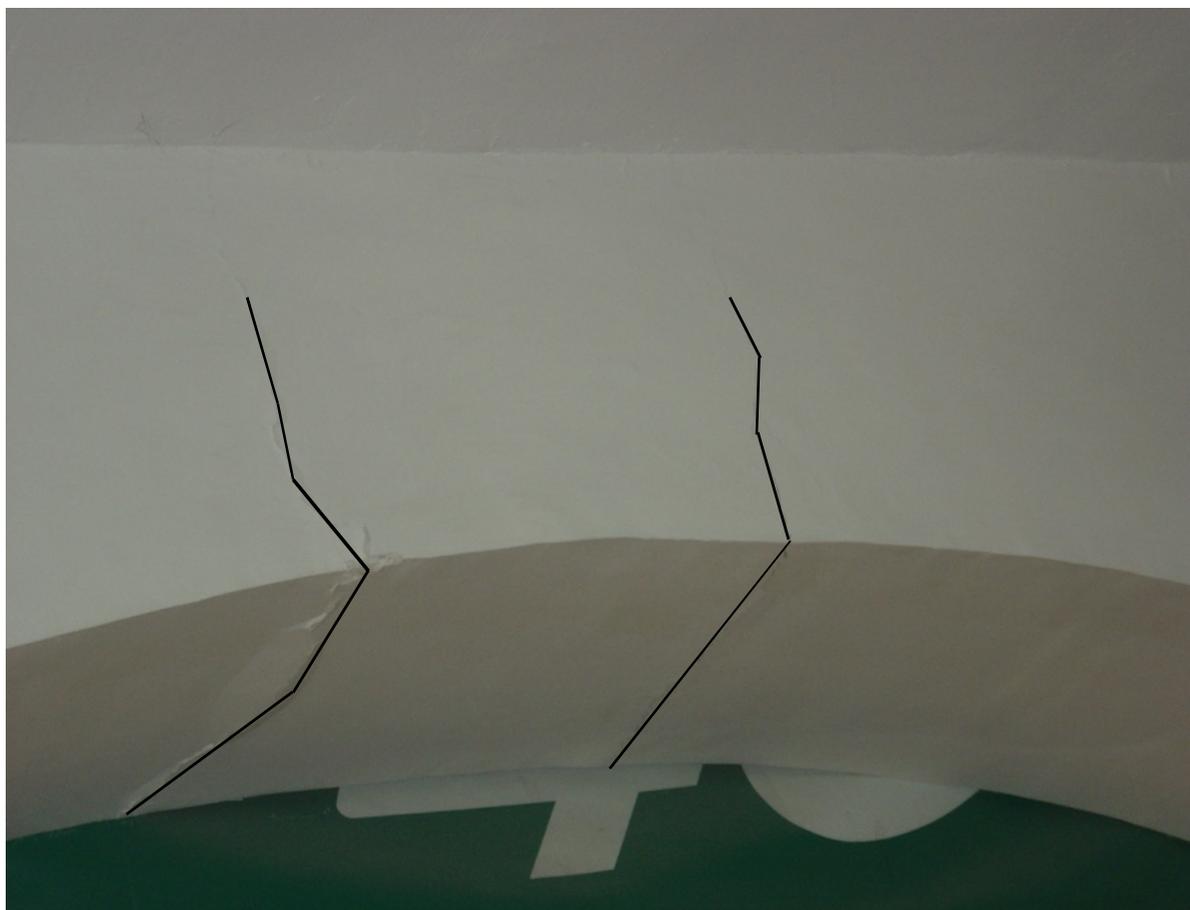
EFFETTI INDOTTI SULL'EDIFICIO IN MURATURA DALLA SOLA REALIZZAZIONE  
DEI PALI IN ASSENZA DI SOSTEGNO DEL FORO



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



EFFETTI INDOTTI SULL'EDIFICIO IN MURATURA DALLA SOLA REALIZZAZIONE DEI PALI IN ASSENZA DI SOSTEGNO DEL FORO



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



AREA DI CANTIERE DURANTE IL 1° SCAVO



PARTICOLARE AREA DI CANTIERE DURANTE IL 1° SCAVO: PUNTONAMENTI D'ANGOLO (IN C.A.)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



1° SCAVO: REALIZZAZIONE ELEMENTO DI CONTRASTO ZONA RAMPA



1° SCAVO: REALIZZAZIONE FASCIA SOLAIO DI CONTRASTO



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



SISTEMA DI SMARINO



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



2° SCAVO: MICROPALI PILASTRO



2° SCAVO



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



2° SCAVO: ALLAGAMENTO SCAVO MAGGIO 2008



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



SCAVO A QUOTA FALDA (+3.65 M) - LUGLIO 2008  
PRIMA DELLA REALIZZAZIONE DEI WELL POINTS



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



DURANTE LA REALIZZAZIONE DEI WELL POINTS



PARTICOLARE PUNTE DRENANTI (WELL POINTS)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



REALIZZAZIONE DEI POZZI DI PRESIDIO: FONDOSCAVO (AGOSTO 2008)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



REALIZZAZIONE DEI POZZI DI PRESIDIO



FONDOSCAVO (AGOSTO 2008)



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



POSA IN OPERA DELL'ARMATURA DEL SOLETTONE (SETTEMBRE 2008)



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



PARTICOLARE PIENA TEVERE – FOTO DA LUNGOTEVERE DEGLI ARTIGIANI



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



PARTICOLARE PIENA TEVERE – FOTO DA LUNGOTEVERE DEGLI ARTIGIANI



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



PARTICOLARE PIENA TEVERE – FOTO INTERNO EDIFICIO ALLAGATO  
(1 LIVELLO FUORI TERRA REALIZZATO)



# DESCRIZIONE PROGETTO

## Documentazione fotografica



PIENA TEVERE – BOCCAFORO POZZO

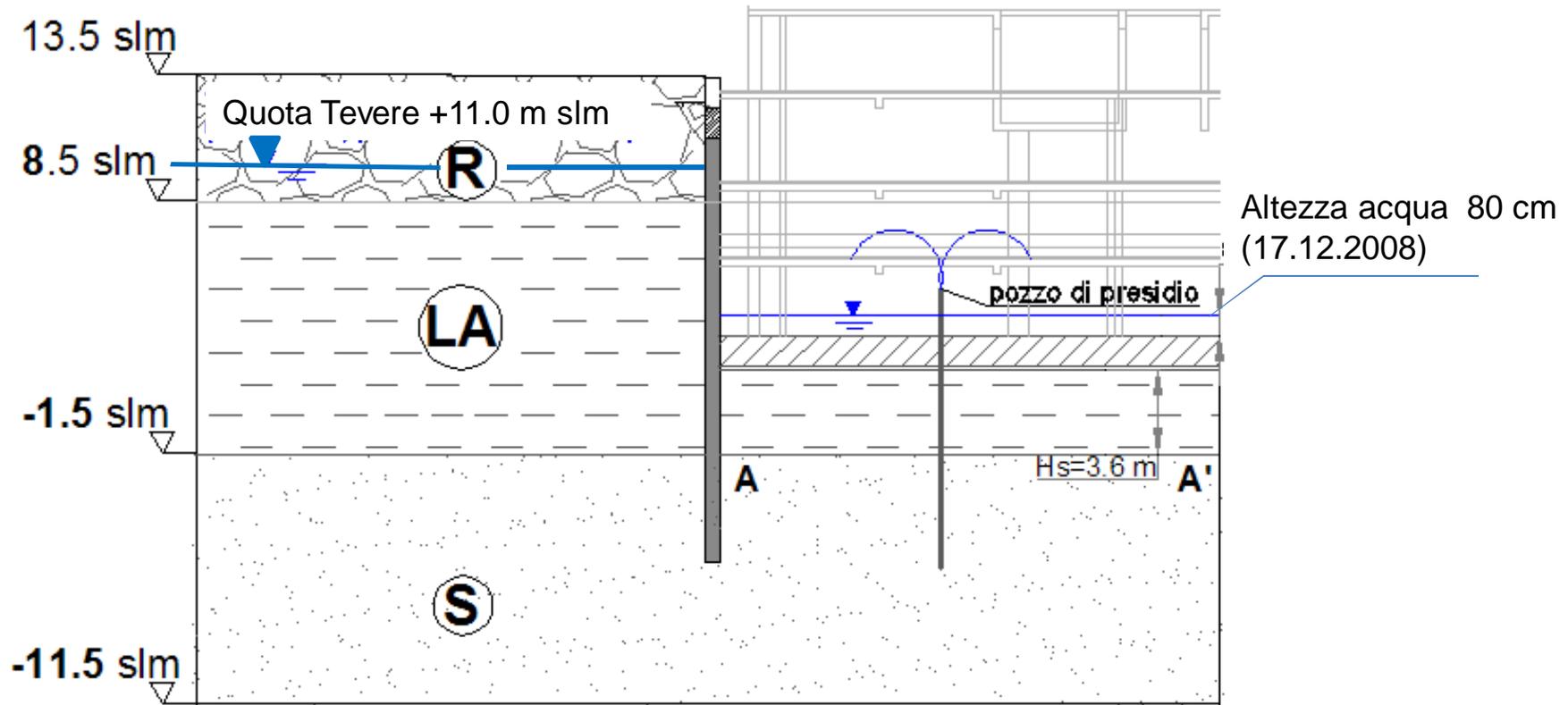


PIENA TEVERE – LIVELLO ACQUA  
12.12.2008



# DESCRIZIONE PROGETTO

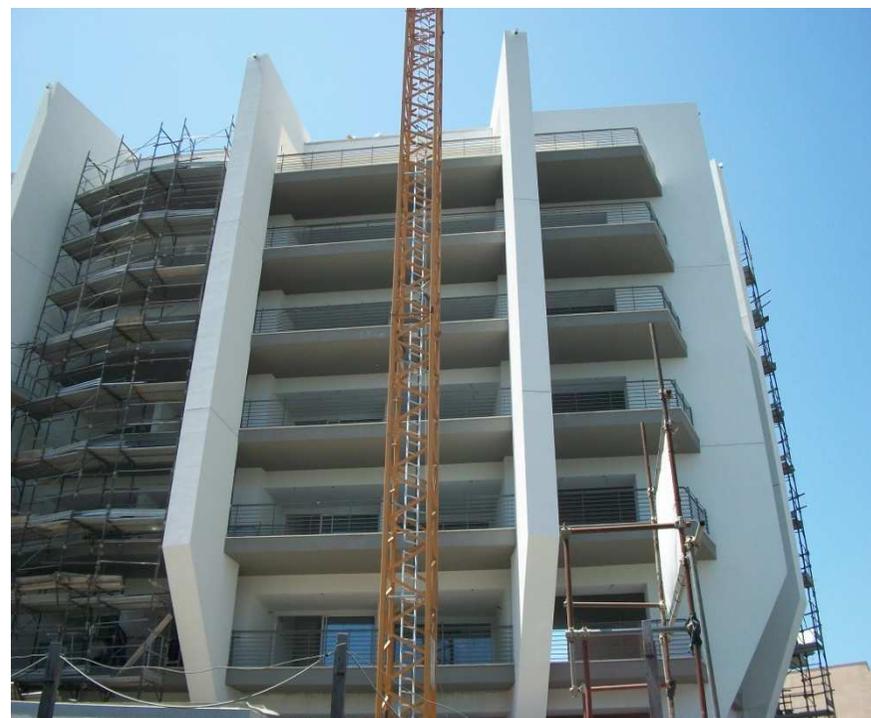
## Funzionamento dei pozzi di presidio



# DESCRIZIONE PROGETTO

---

## Documentazione fotografica



EDIFICIO COMPLETAMENTE REALIZZATO



Prof. Ing. Salvatore Miliziano

Storia di uno scavo in ambiente urbano – via Panfilo Castaldi in Roma



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

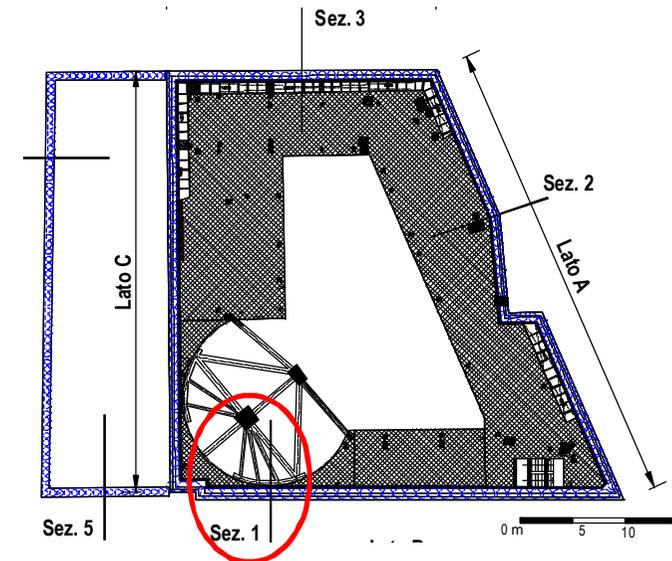
21 Marzo 2014

pag. 56

# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Valutazione campo di spostamenti e sollecitazioni nelle strutture

- Analisi numeriche alle differenze finiti: codice di calcolo **FLAC 2D v. 5.0**
- Sezione studiata: **Sez.1**
- La **mesh** alle differenze finite si estende in **larghezza** per 40 m a monte della paratia e per 20 m all'interno dell'area di scavo, in **altezza** per una profondità di 50 m dal piano del piazzale (+13.5 m slm)
- Il terreno è assimilato a un **mezzo elasto-plastico perfetto** con criterio di resistenza di Mohr Coulomb
- Condizioni drenate
- **Condizioni iniziali:**
  - ✓ Distribuzione **idrostatica** delle **pressioni interstiziali**
  - ✓ **Stato tensionale** iniziale **litostatico** ( $k_0$ )
  - ✓ **Edificio a monte** della paratia:  
**fondazioni:** elementi *beam* orizzontali e verticali  
**struttura in elevazione:** carico uniformemente distribuito la cui risultante coincide con il peso proprio dell'edificio



# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

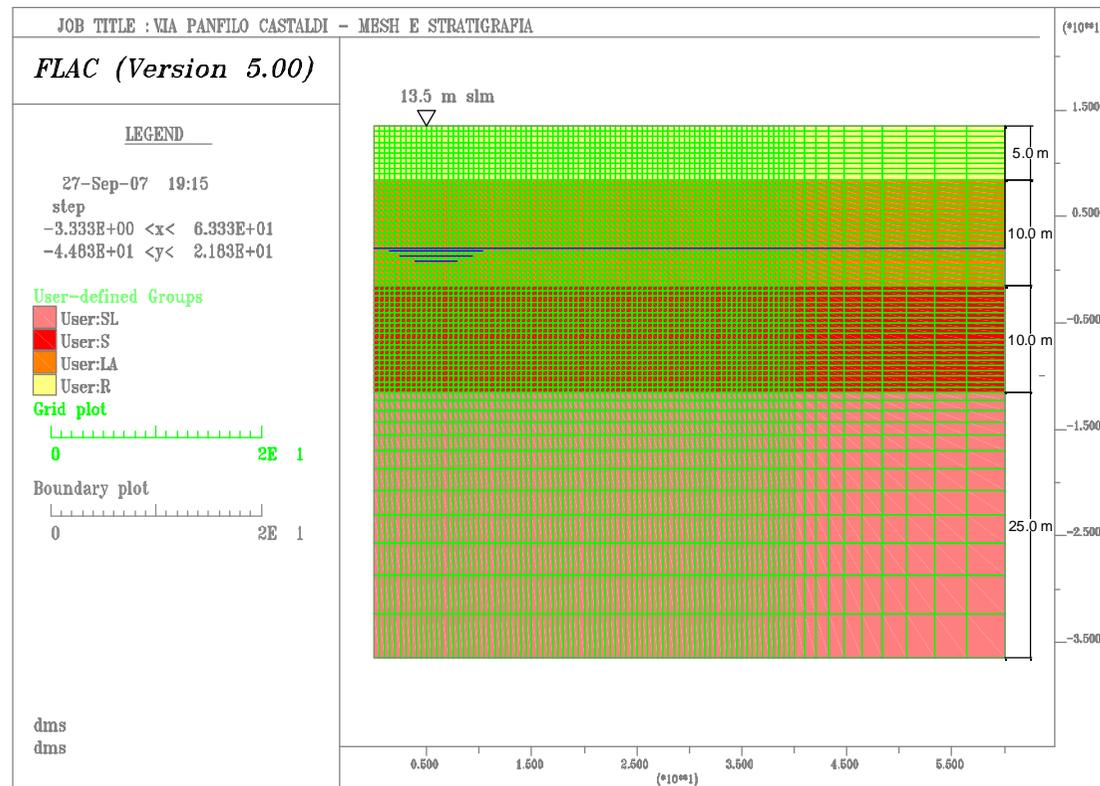
## Fasi simulazione numerica

1. Condizioni iniziali *ante-operam*
2. Prescavo di un 1.0 m; inserimento **elemento beam** lungo 22 m collegato alla mesh tramite **interfacce attritive** con valore dell'angolo d'attrito coincidente con quello del terreno (paratia)
3. Inserimento primo livello di puntonamento in testa alla paratia (puntoni inclinati) in c.a.
4. Primo scavo fino a +9.6 m
5. Inserimento del livello di contrasto (soffitto) a quota (+9.6 m slm)
6. Secondo scavo a quota +6.6 m
7. Inserimento del livello di contrasto (soffitto) a quota (+6.6 m)
8. Terzo scavo a quota 2.15 m
9. Realizzazione del solettone di base



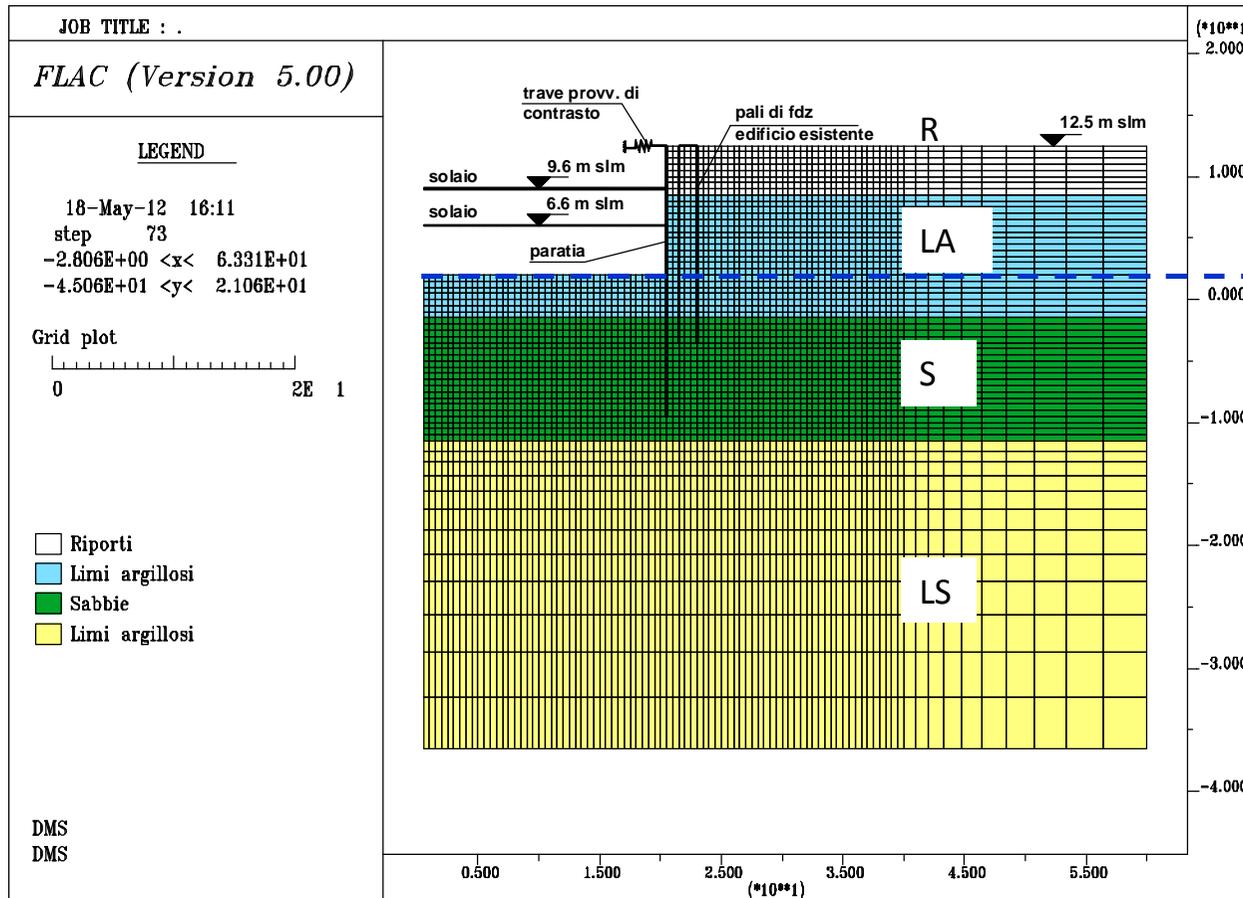
# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Modello numerico



# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Modello numerico



Sup. piezometrica +2.15 m

layer	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	E' (MPa)
R	16	30	20
LA	18.5	27	12
S	18	35	30
LS	18.5	32	35



# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Livelli di contrasto

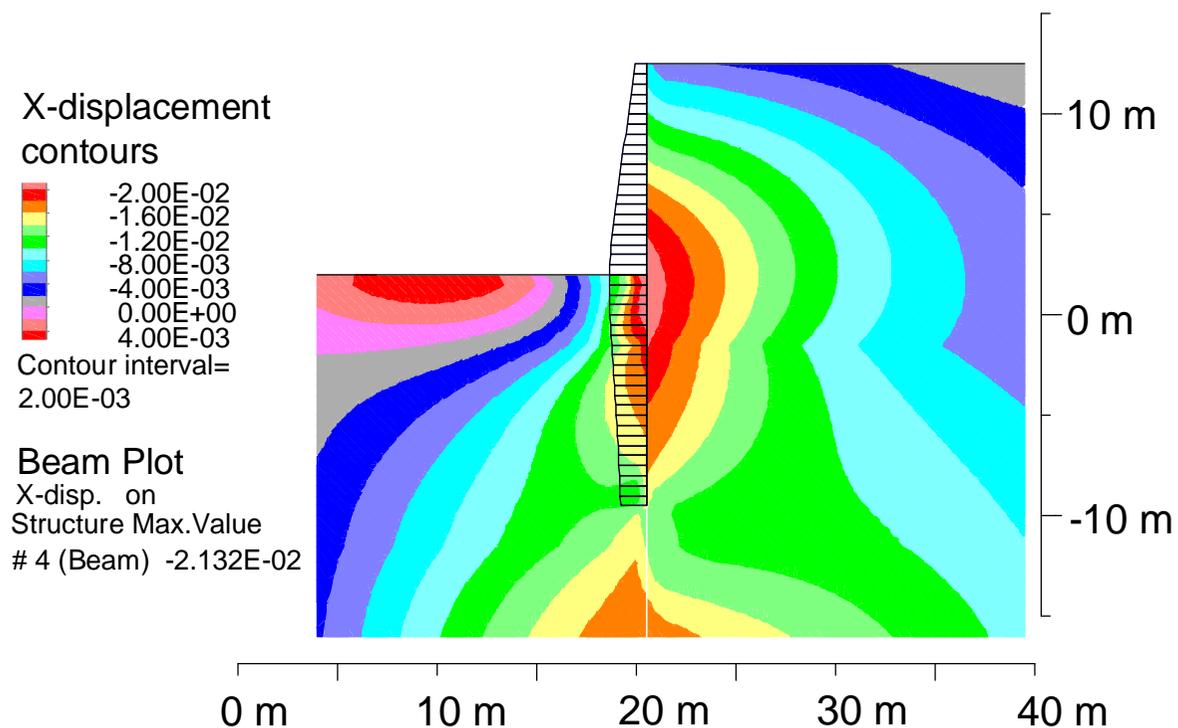
- ✓ I **livelli di contrasto** sono simulati con **molle con rigidezza, K**
- K è calcolata come:  $K = 1/f$ , con  $f$  = freccia corrispondente a una carico di 1 kN/m, uniformemente distribuito sull'elemento di contrasto
  - Livello di puntamento **in testa**  $K=25000$  kN/m
  - Livelli di puntamento **intermedi**  $K=60000$  kN/m
  - Livello di puntamento **solettone**  $K=\infty$

$$s=N/K=10/25000=0.0004 \text{ m (0.4 mm)}$$



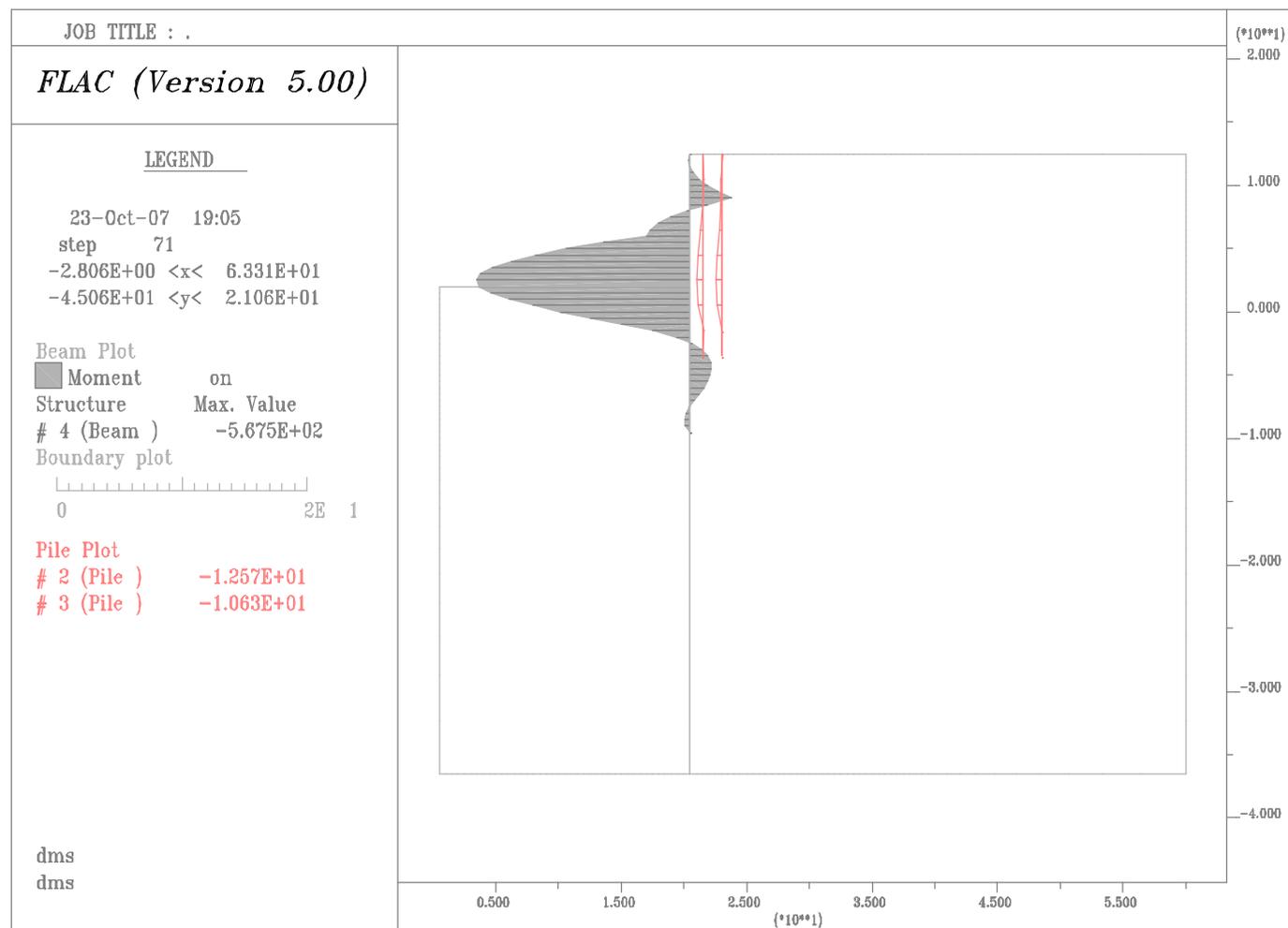
# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Risultati: spostamenti orizzontali (fondo scavo)



# ANALISI DI PROGETTO: MODELLAZIONE NUMERICA 2D

## Risultati: sollecitazioni flettenti (fondo scavo)



# MONITORAGGIO

---

## Piano di monitoraggio

### ✓ FINALITÀ

- confermare la rispondenza con quanto previsto in progetto
- scongiurare problemi di instabilità
- ottimizzare il progetto in corso d'opera: vantaggi economici e/o nei tempi di realizzazione

### ✓ CONTENUTI

- le grandezze da monitorare e gli strumenti da impiegare
- l'esatta ubicazione degli strumenti
- il preciso momento in cui gli strumenti devono essere installati
- la frequenza delle letture
- le modalità di elaborazione e rappresentazione dei risultati
- i valori attesi (range) almeno nelle fasi più significative del processo costruttivo



## Piano di monitoraggio

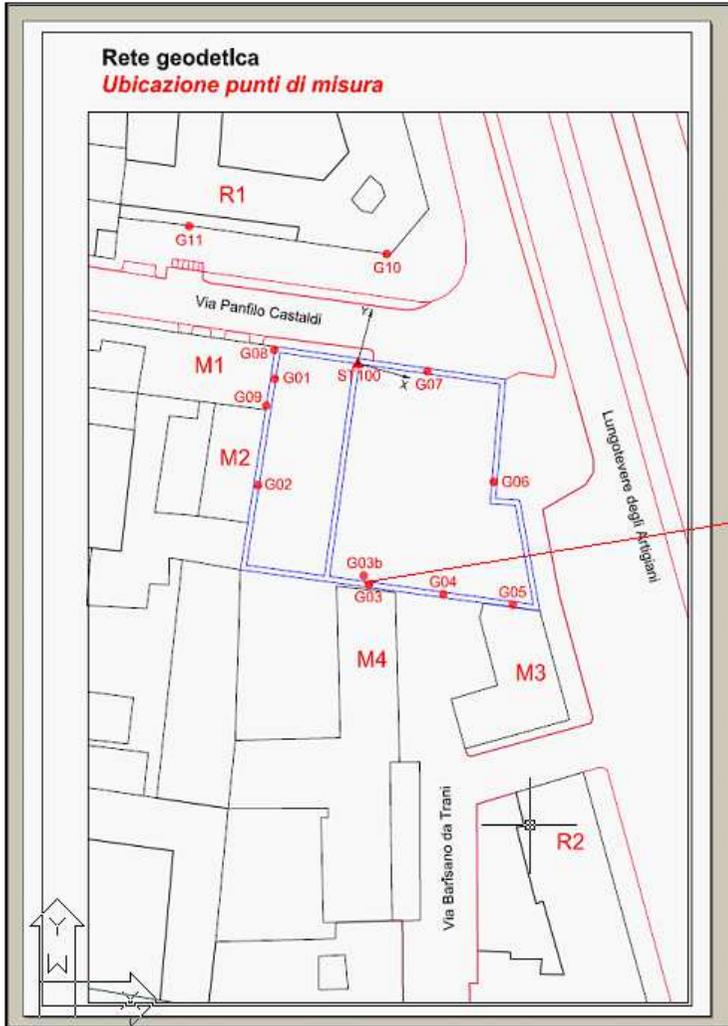
### ✓ CONTENUTI SPECIFICI

- **spostamenti orizzontali e verticali** delle strutture di sostegno e degli edifici limitrofi (**prismi ottici**)
- **spostamenti verticali** in corrispondenza delle strutture limitrofe (**capisaldi**)
- **spostamenti orizzontali** del terreno a tergo delle strutture di sostegno in profondità (**inclinometri**)
- **pressioni interstiziali** nei terreni di fondazione (**piezometri**)
- Letture in corrispondenza delle stesse fasi simulate nel modello numerico (paratie ed edifici)



# MONITORAGGIO

## Sistema di monitoraggio - PRISMI



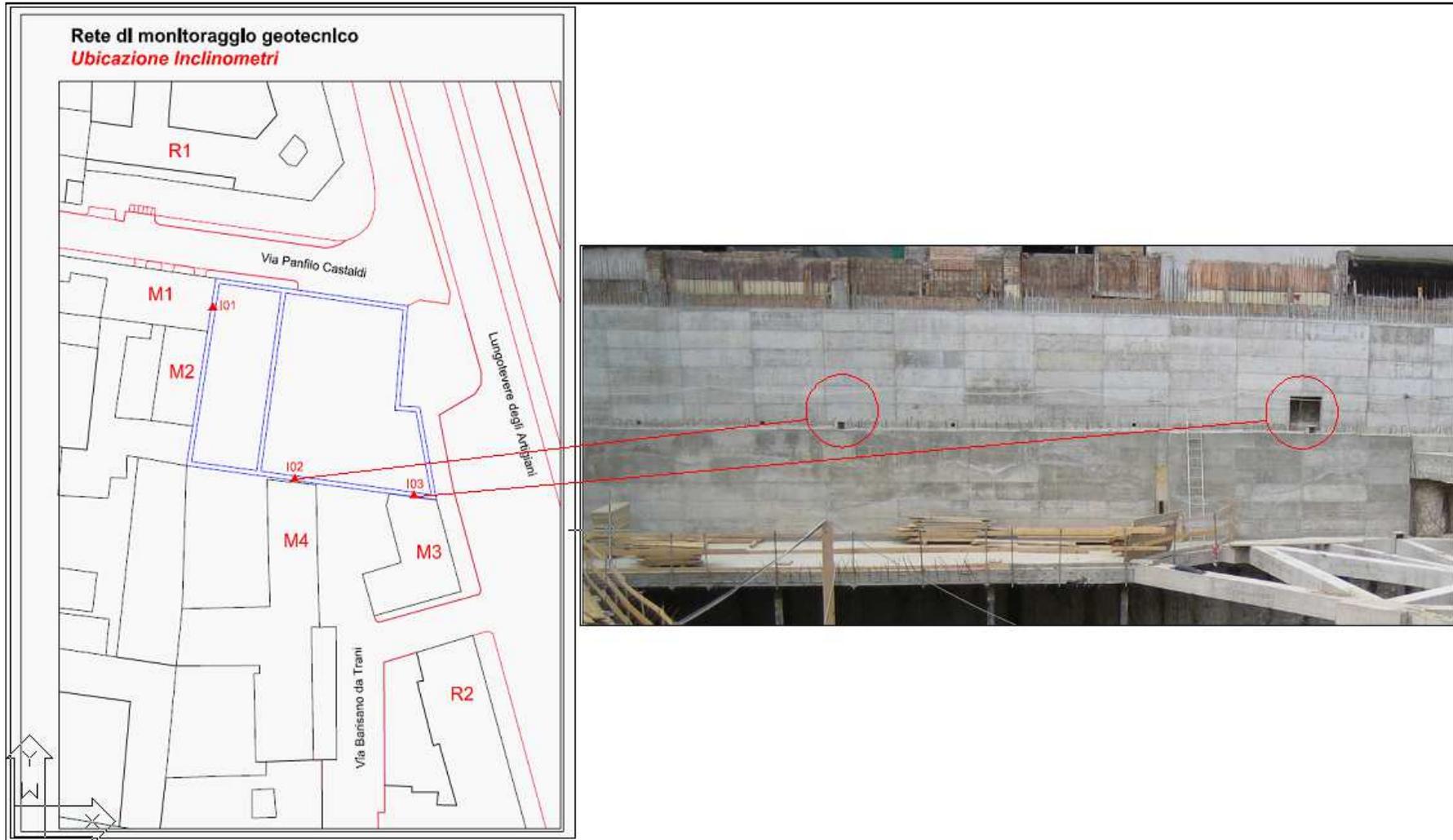
# MONITORAGGIO

## Sistema di monitoraggio - CAPISALDI



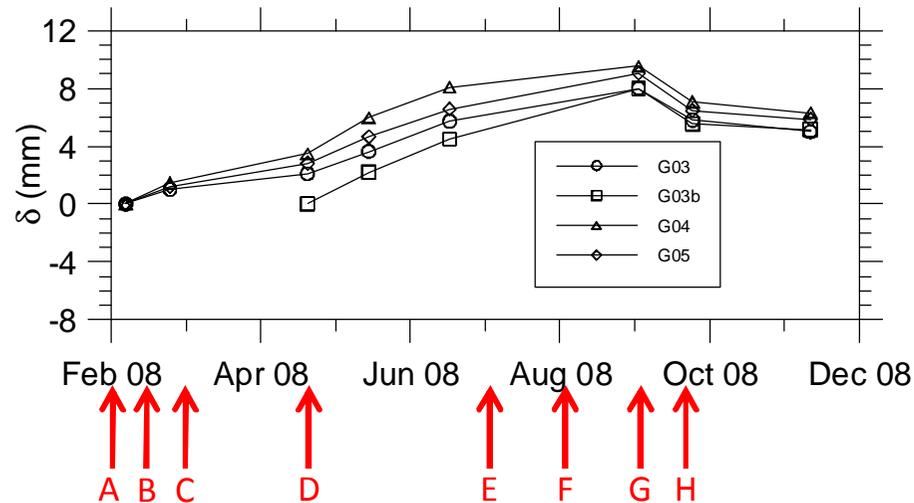
# MONITORAGGIO

## Sistema di monitoraggio - INCLINOMETRI



# MONITORAGGIO

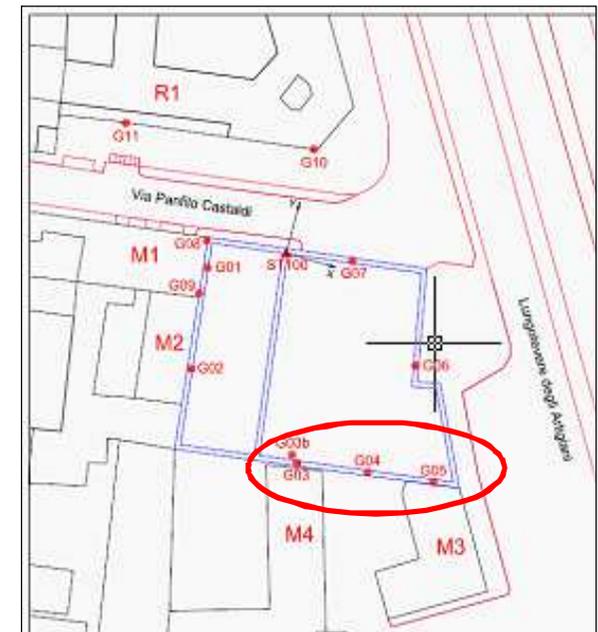
## Misure eseguite – Prismi cordolo della paratia



### INSTALLAZIONE PRISMI (07.02.2008)

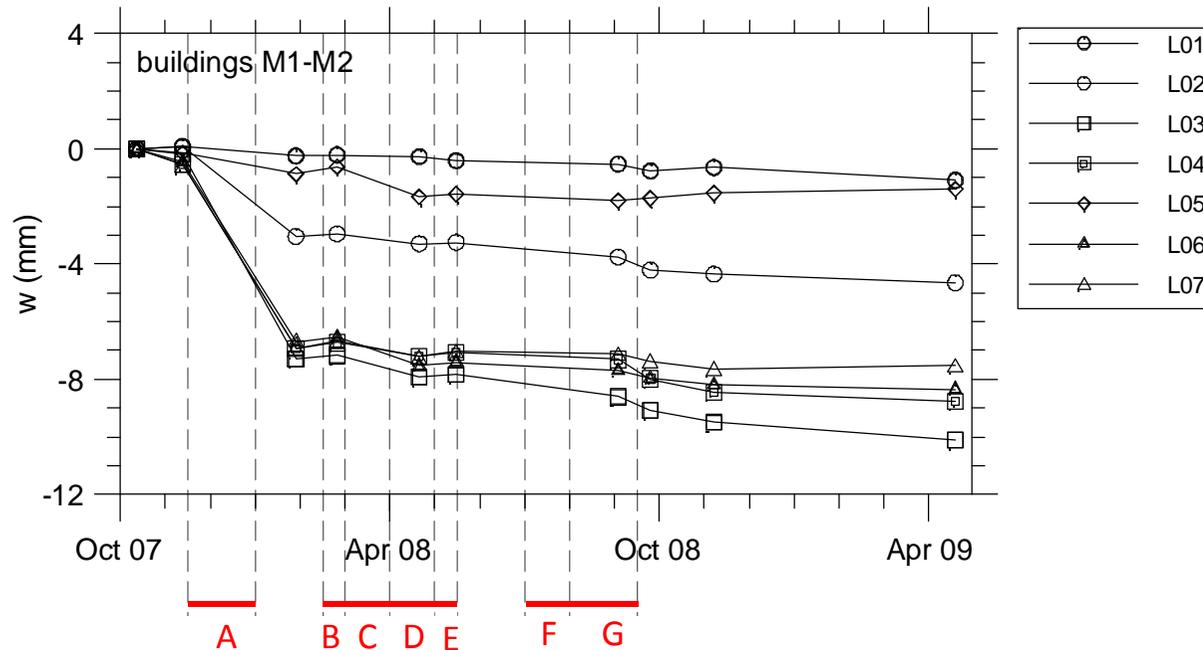
#### MACROFASI:

- A: realizzazione pali paratia perimetrale (27.09.07-31.01.08);
- B: realizzazione 1° scavo (13.02.08 -21.02.08);
- C: realizzazione solaio di contrasto (03.08);
- D: realizzazione 2° scavo (04.08);
- E: realizzazione impianto well-points (07.08);
- F: realizzazione 3° scavo (fondo scavo) (08.08);
- G: realizzazione pozzi di presidio (08.08);
- H: realizzazione solettone di fondo (09.08);



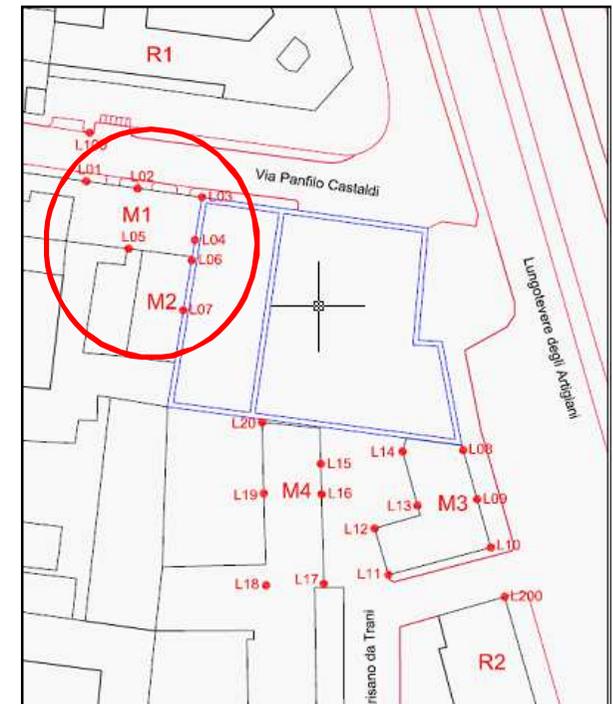
# MONITORAGGIO

## Misure eseguite – Caposaldi



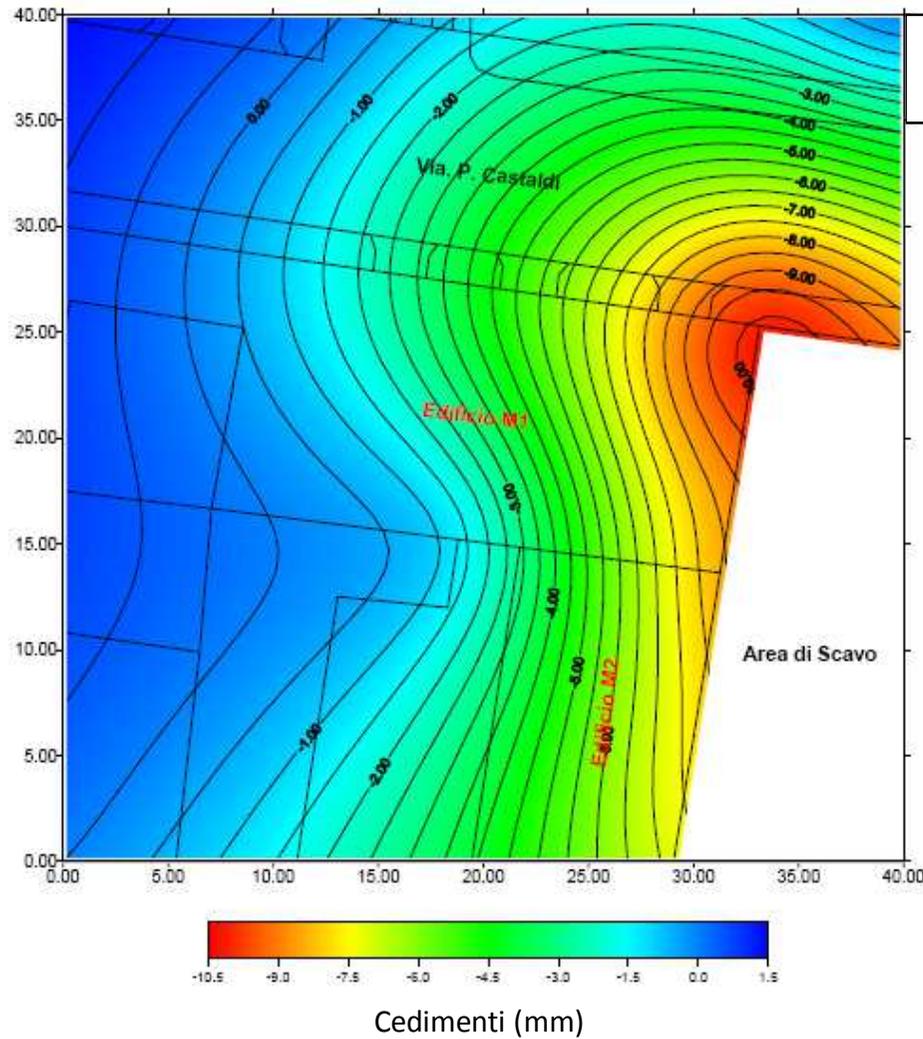
### MACROFASI:

- A:** realizzazione pali paratia perimetrale (27.09.07-31.01.08);
- B:** realizzazione 1° scavo (13.02.08 -21.02.08);
- C:** realizzazione solaio di contrasto (03.08);
- D:** realizzazione 2° scavo e secondo solaio di contrasto (04.08)
- E:** realizzazione 3° scavo
- F:** realizzazione impianto well-points (07.08), completamento fase di scavo (08.08) e realizzazione pozzi di presidio 08.08);
- G:** realizzazione solettone di fondo (09.08);



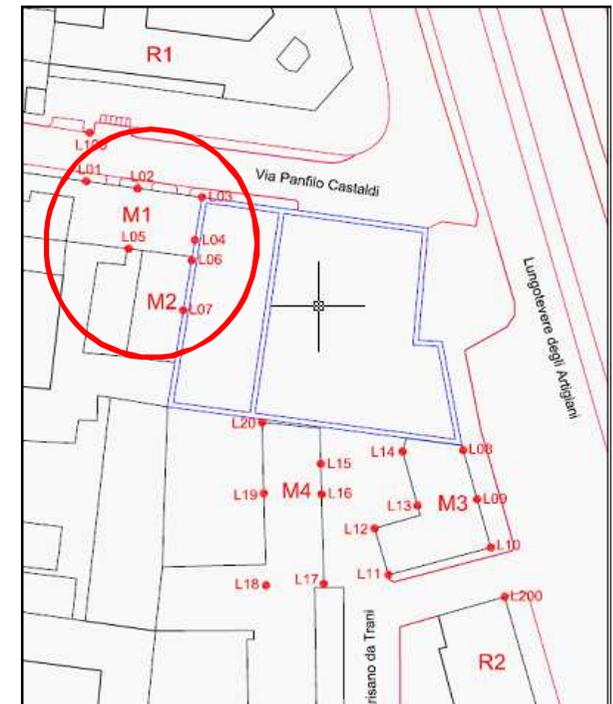
# MONITORAGGIO

## Misure eseguite – Caposaldi

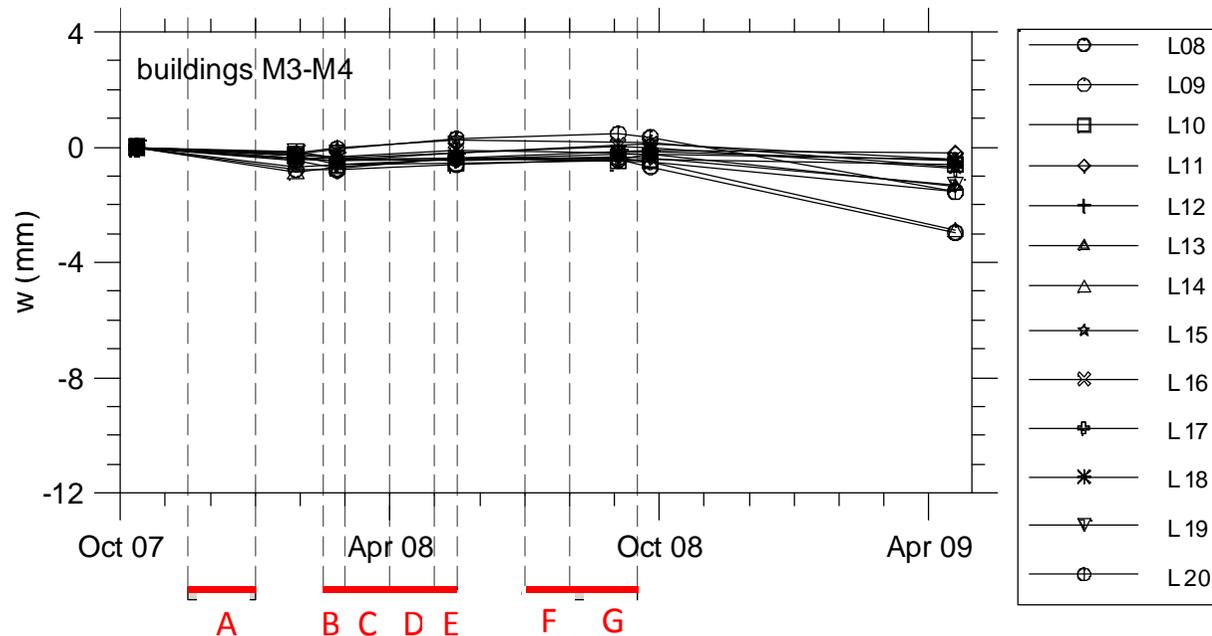


Data livellazione attuale: 20.04.2009

Data livellazione di base: 12.10.2007

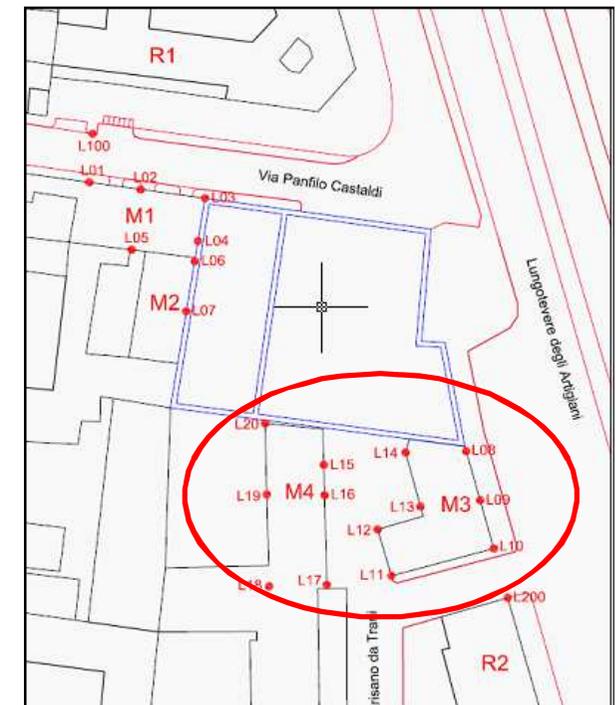


## Misure eseguite – Caposaldi



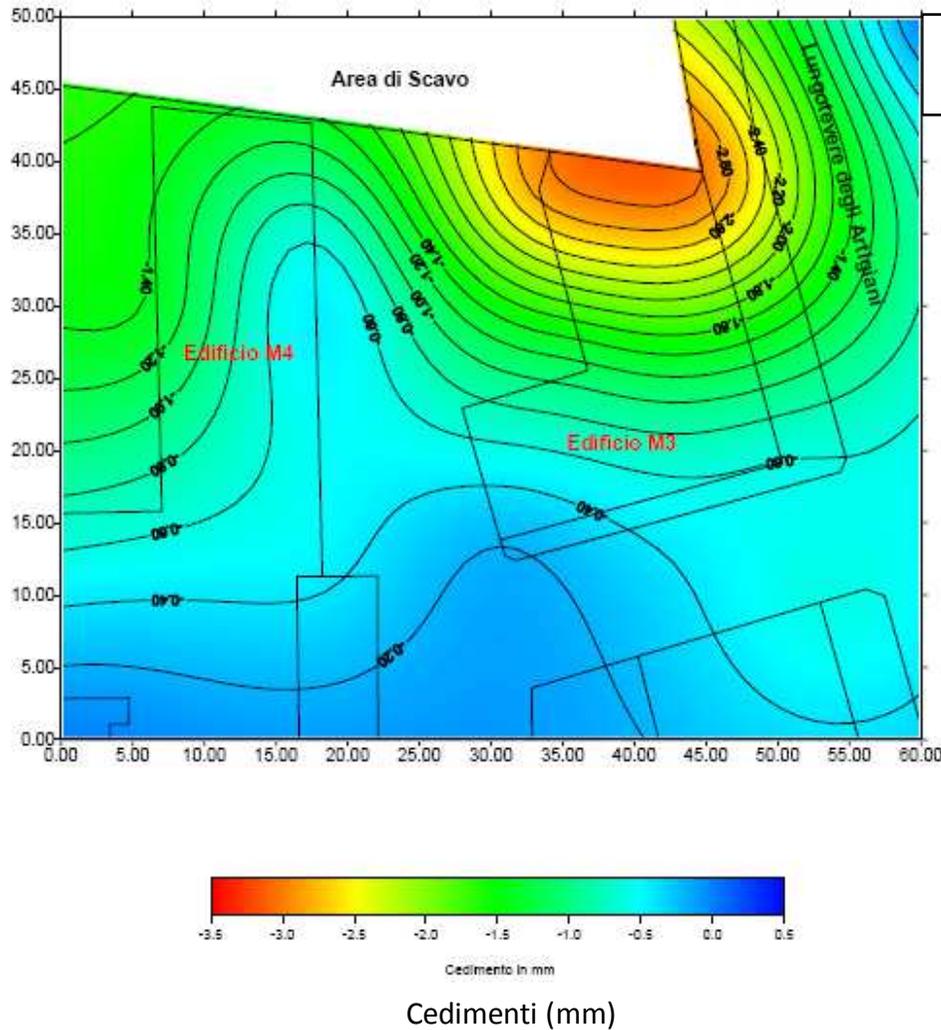
### MACROFASI:

- A:** realizzazione pali paratia perimetrale (27.09.07-31.01.08);
- B:** realizzazione 1° scavo (13.02.08 -21.02.08);
- C:** realizzazione solaio di contrasto (03.08);
- D:** realizzazione 2° scavo e secondo solaio di contrasto (04.08)
- E:** realizzazione 3° scavo
- F:** realizzazione impianto well-points (07.08), completamento fase di scavo (08.08) e realizzazione pozzi di presidio 08.08);
- G:** realizzazione solettone di fondo (09.08);

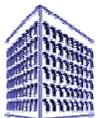
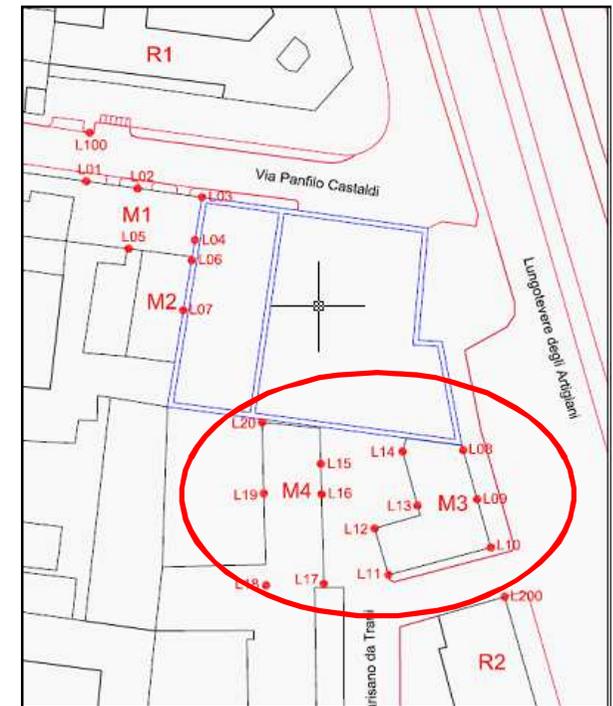


# MONITORAGGIO

## Misure eseguite – Caposaldi

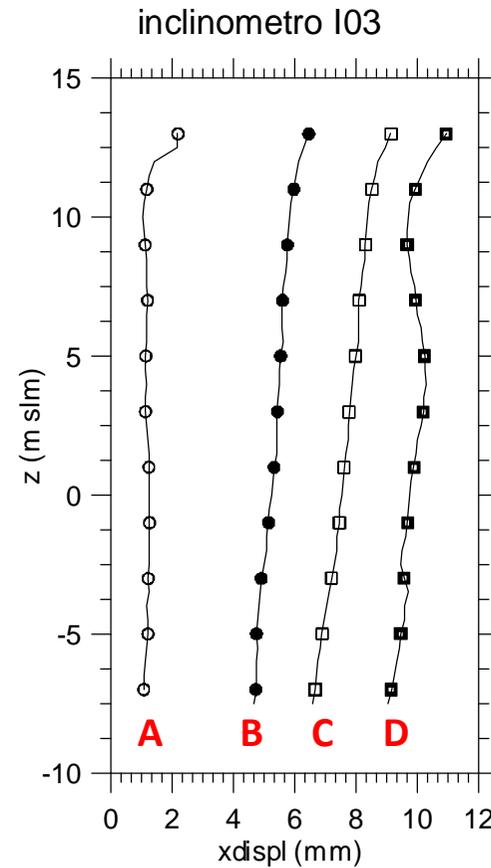
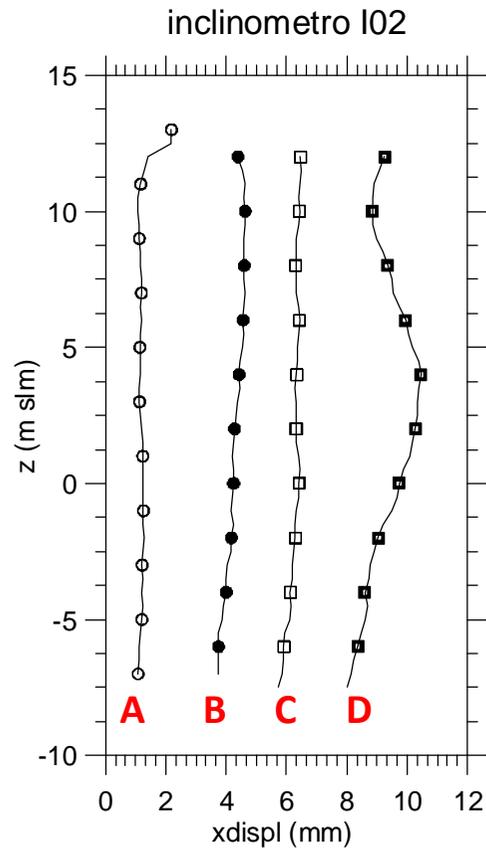


Data livellazione attuale:	20.04.2009
Data livellazione di base:	12.11.2007



# MONITORAGGIO

## Misure eseguite – Inclinatori

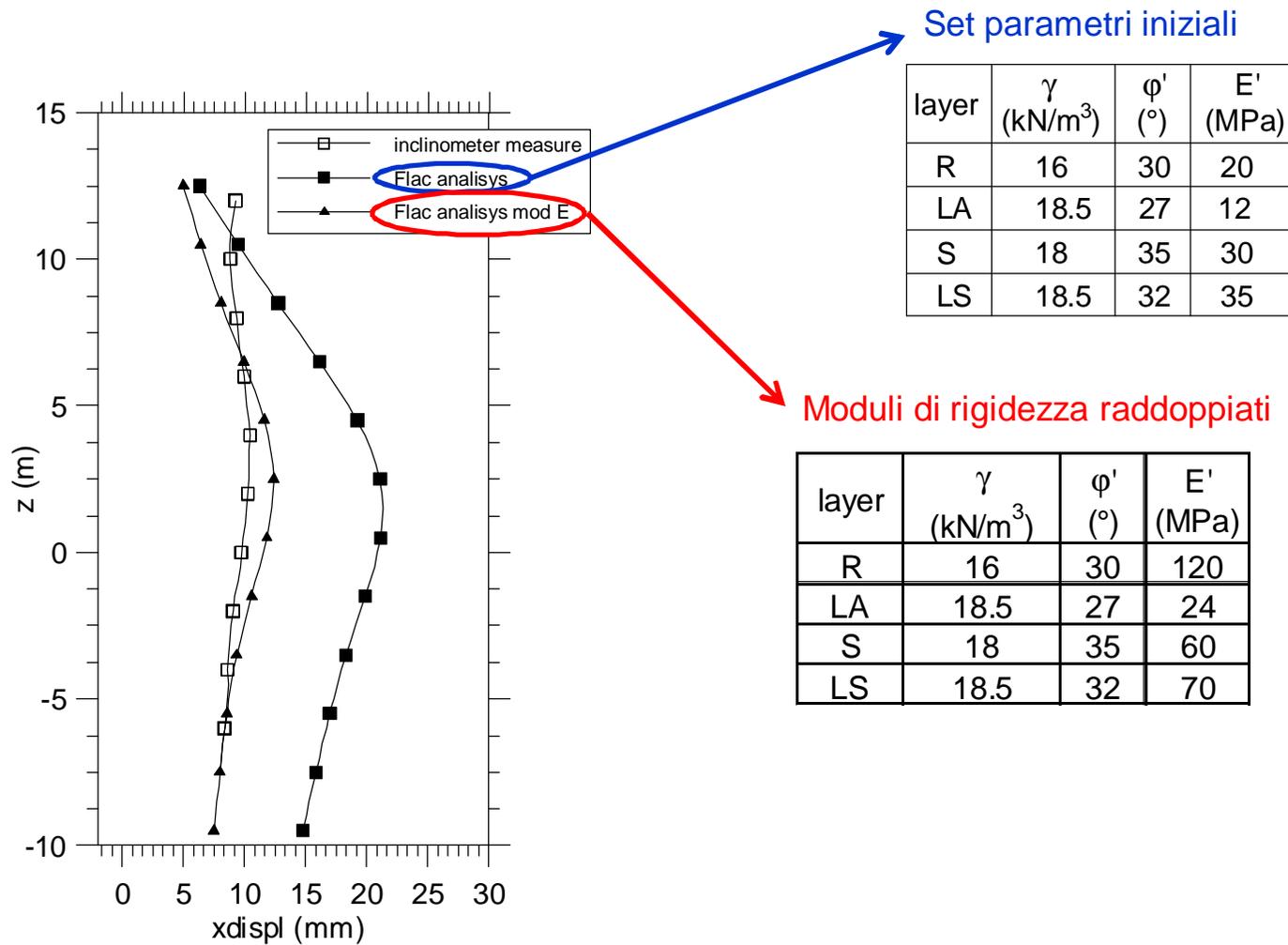


### **MACROFASI:**

- A:** realizzazione 1° scavo; **B:** realizzazione 2° scavo;  
**C:** realizzazione 3° scavo; **D:** realizzazione solettone di fondo;

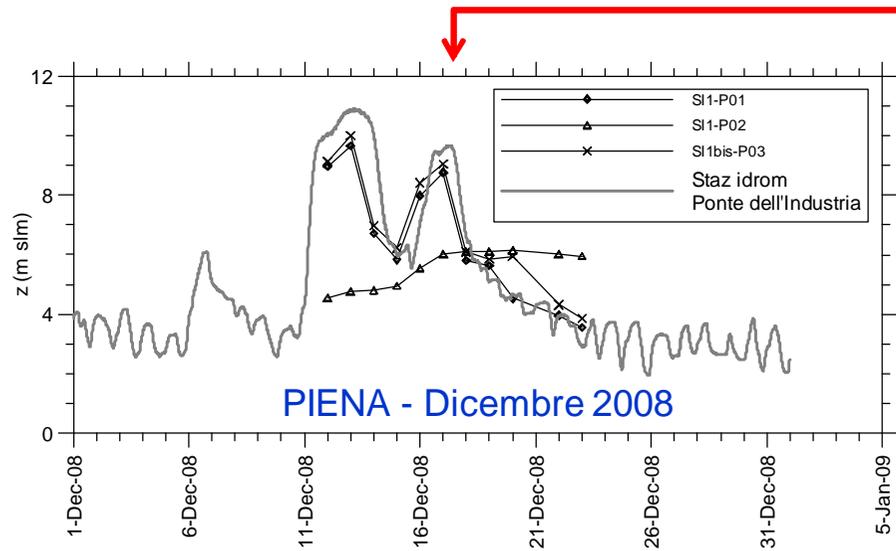
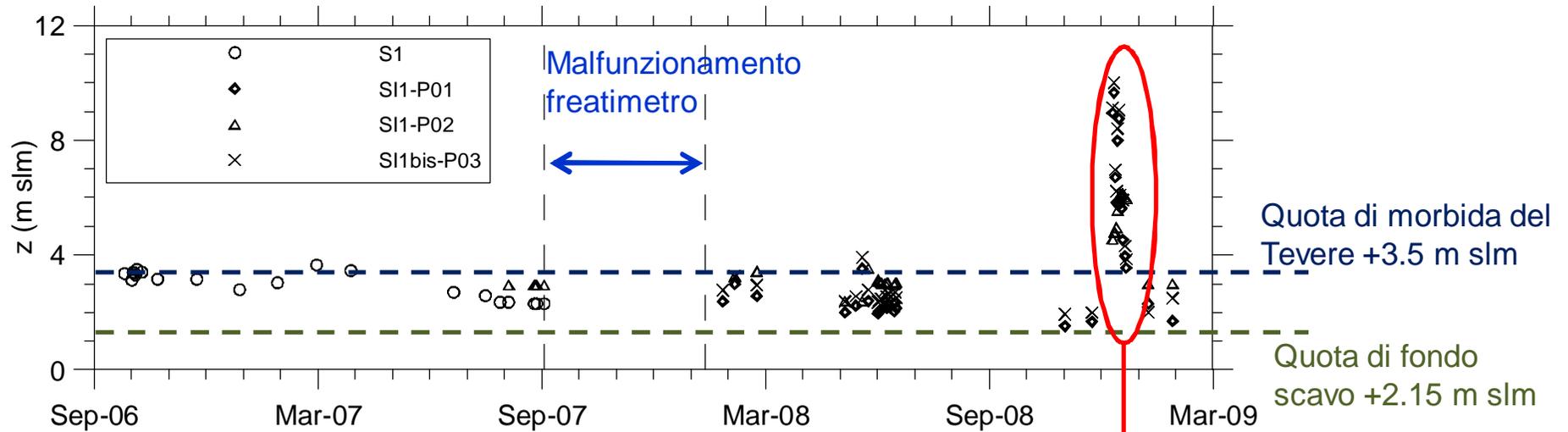


# CONFRONTI MISURE – PREVISIONI DI PROGETTO



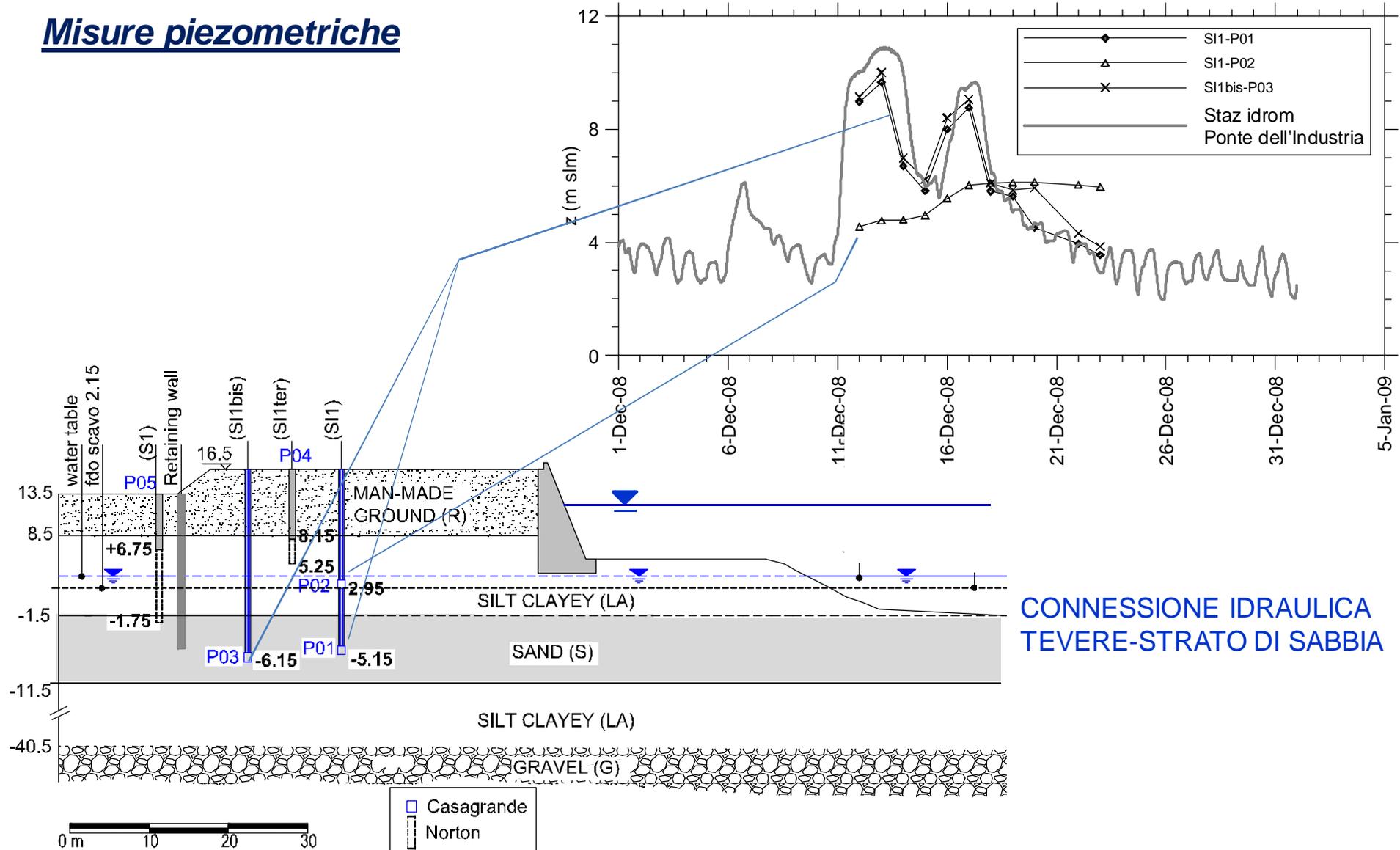
# MONITORAGGIO

## Misure piezometriche



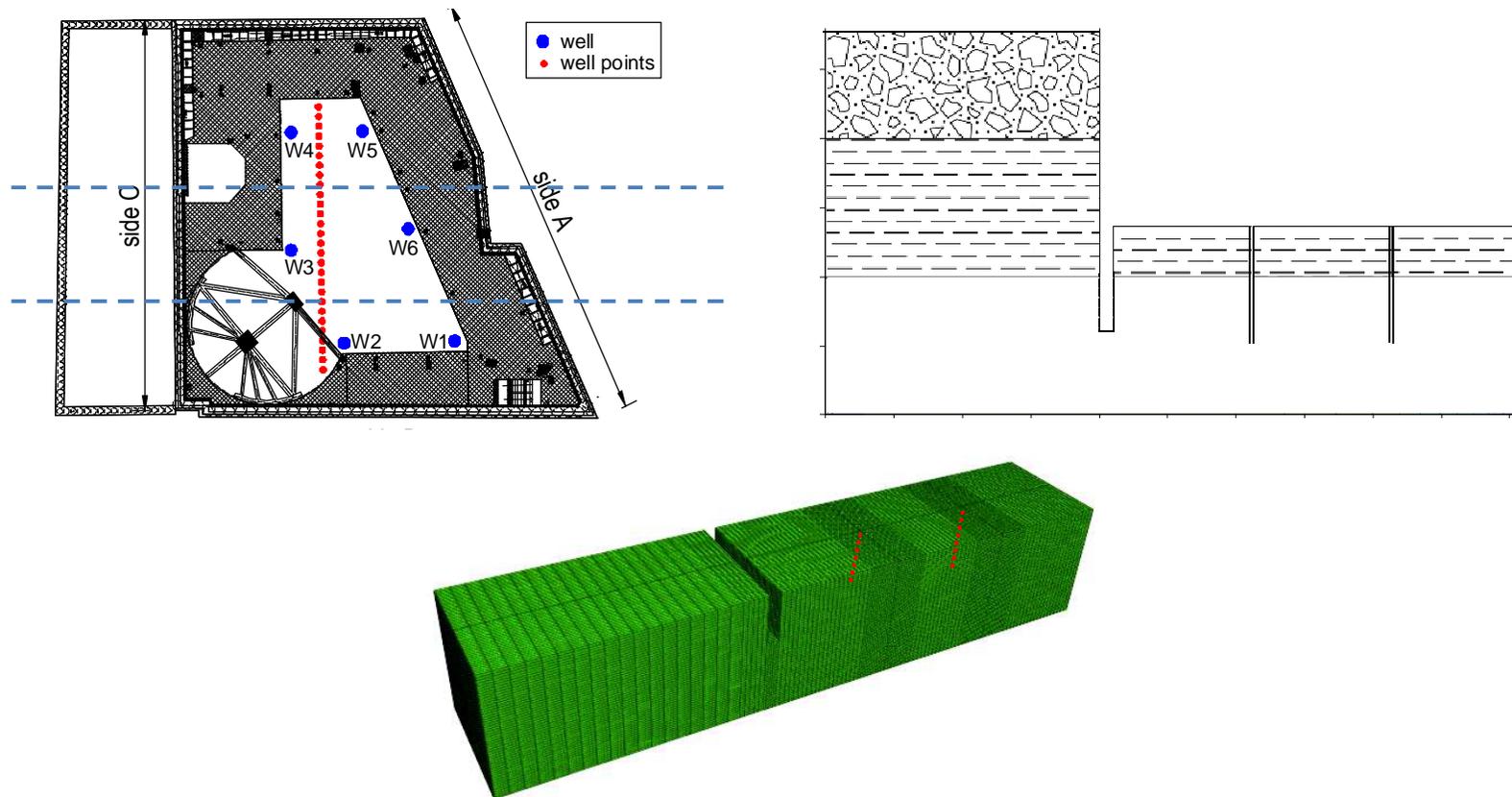
# MONITORAGGIO

## Misure piezometriche



# EFFICIENZA POZZI: MODELLAZIONE NUMERICA 3D

- ✓ Codice di calcolo alle differenze finite **FLAC 3D v. 4.0**
- ✓ La **mesh** ha una **larghezza** di 10 m (interasse tra i pozzi)  
una **lunghezza** di 20 m a monte della paratia e di 32 m nell'area di scavo  
una **altezza** di 10 m (spessore dello strato di sabbia)



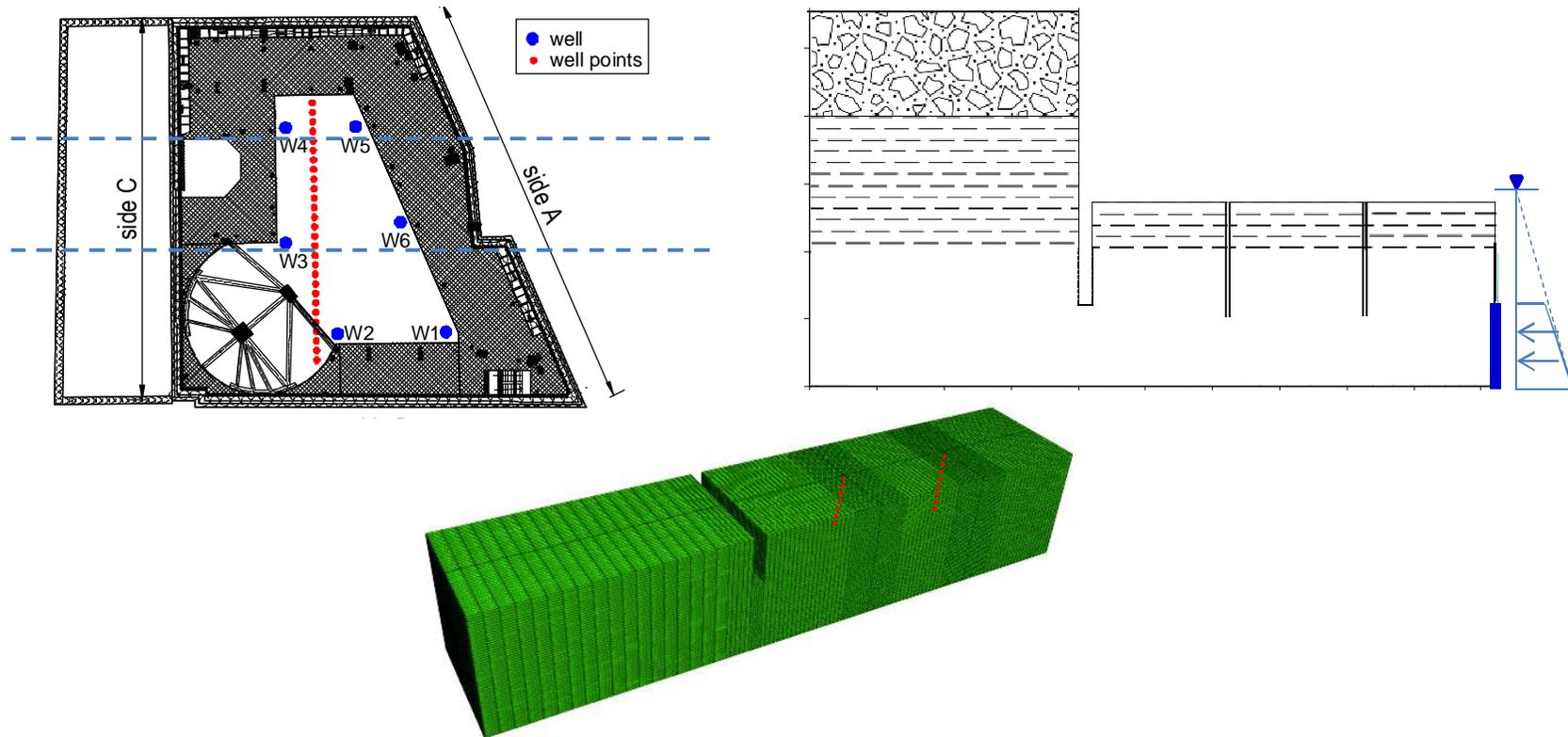
# EFFICIENZA POZZI: MODELLAZIONE NUMERICA 3D

- ✓ **Condizioni iniziali**

Distribuzione **idrostatica** delle **pressioni interstiziali**

- ✓ **Condizioni idrauliche al contorno**

Tutti i contorni sono **impermeabili**, ad eccezione del piano della paratia prospiciente il Fiume che è in parte impermeabile per i primi 4 m (paratia) e in parte drenante con carico idraulico costante per i restanti 6 m

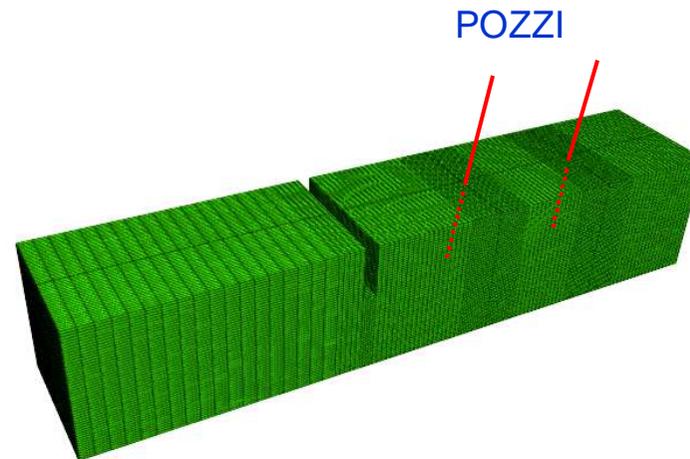


# MODELLAZIONE NUMERICA 3D

---

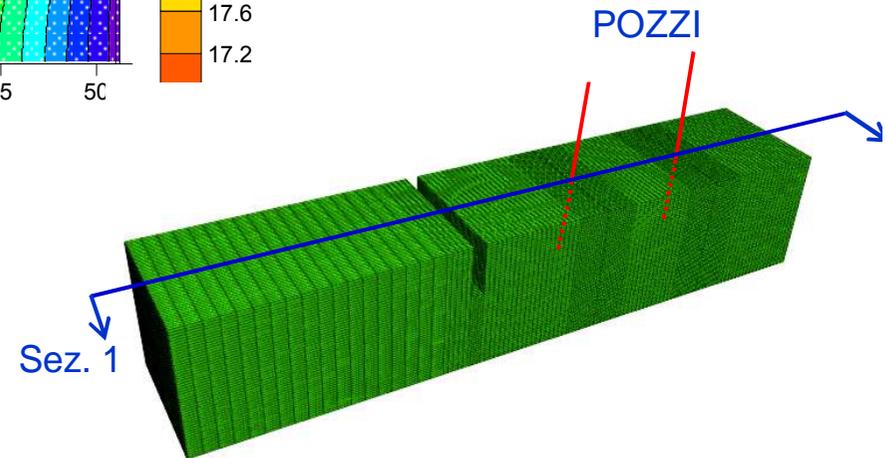
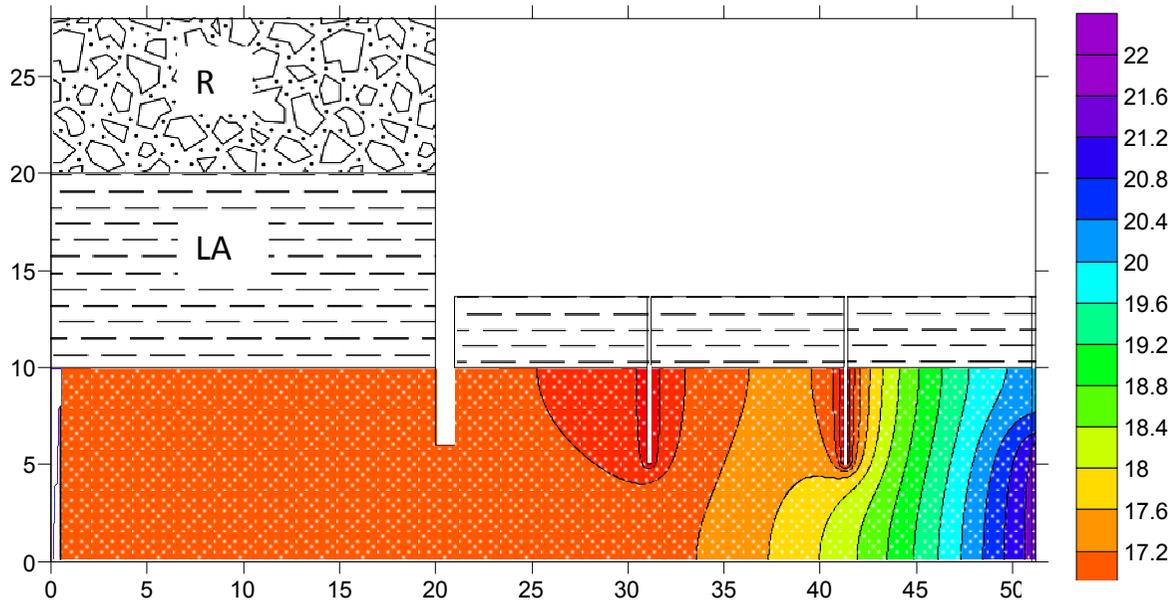
## Fasi simulazione numerica

1. Condizioni iniziali
2. Installazione **paratie**: model null + superfici laterali impermeabili;  
Realizzazione **pozzi di presidio**: model null + superfici laterali drenanti
3. Studio del moto **di filtrazione** innescato dall'innalzamento della quota del Tevere a **+10 m slm**, corrispondente al livello di piena raggiunto nel Dicembre 2008



# MODELLAZIONE NUMERICA 3D

## Risultati simulazione numerica – Distribuzione carico idraulico (sez. 1)



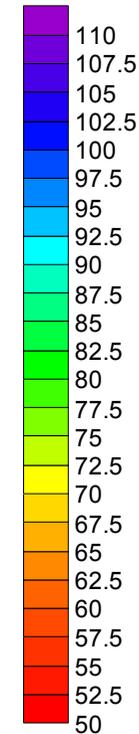
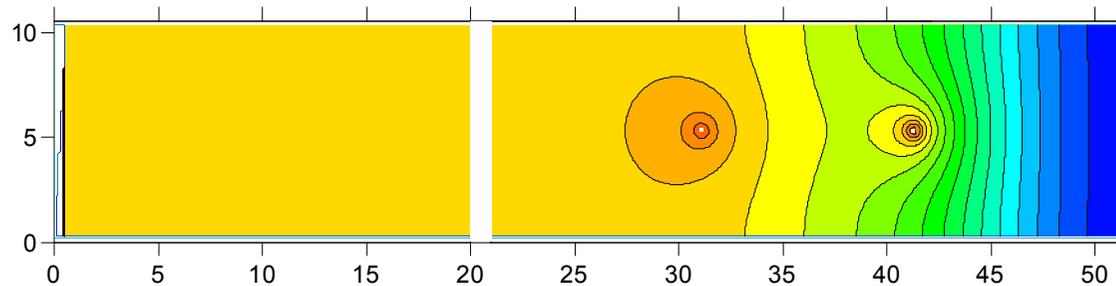
# MODELLAZIONE NUMERICA 3D

## Risultati simulazione numerica – Distribuzione pressioni interstiziali (sup. superiore strato di sabbia)

$u$  in assenza di pozzi = 115 kPa

$u_{pm}$  in presenza dei pozzi = 75 kPa

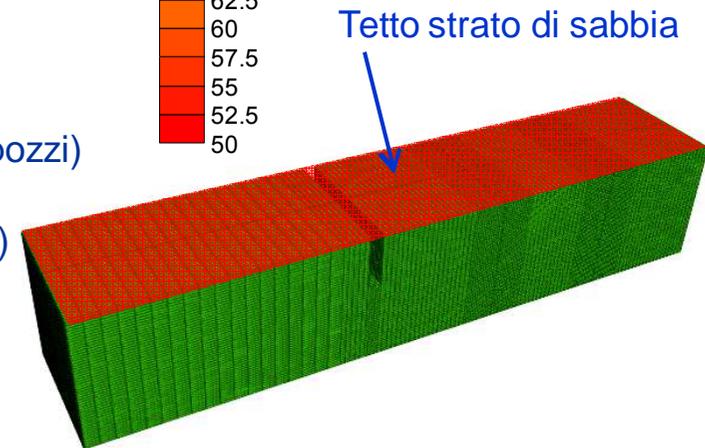
$E=(u-u_{pm})/u= (115-75)/115=0.35$  (35%)



$F_s = \sigma_v/u = 64.8/52 = 1.25$  in morbida

$F_s = \sigma_v/u = 64.8/115 = 0.56$  piena +10 m fondo scavo (no pozzi)

$F_s = \sigma_v/u = 64.8/75 = 0.86$  piena +10 m fondo scavo (pozzi)





# Progetto, costruzione e monitoraggio dei piani interrati di un edificio in Roma storia di uno scavo in ambiente urbano

*Prof. Ing. Salvatore Miliziano*



*21 Marzo 2014*