RETE STRADALE PROVINCIA DI MANTOVA

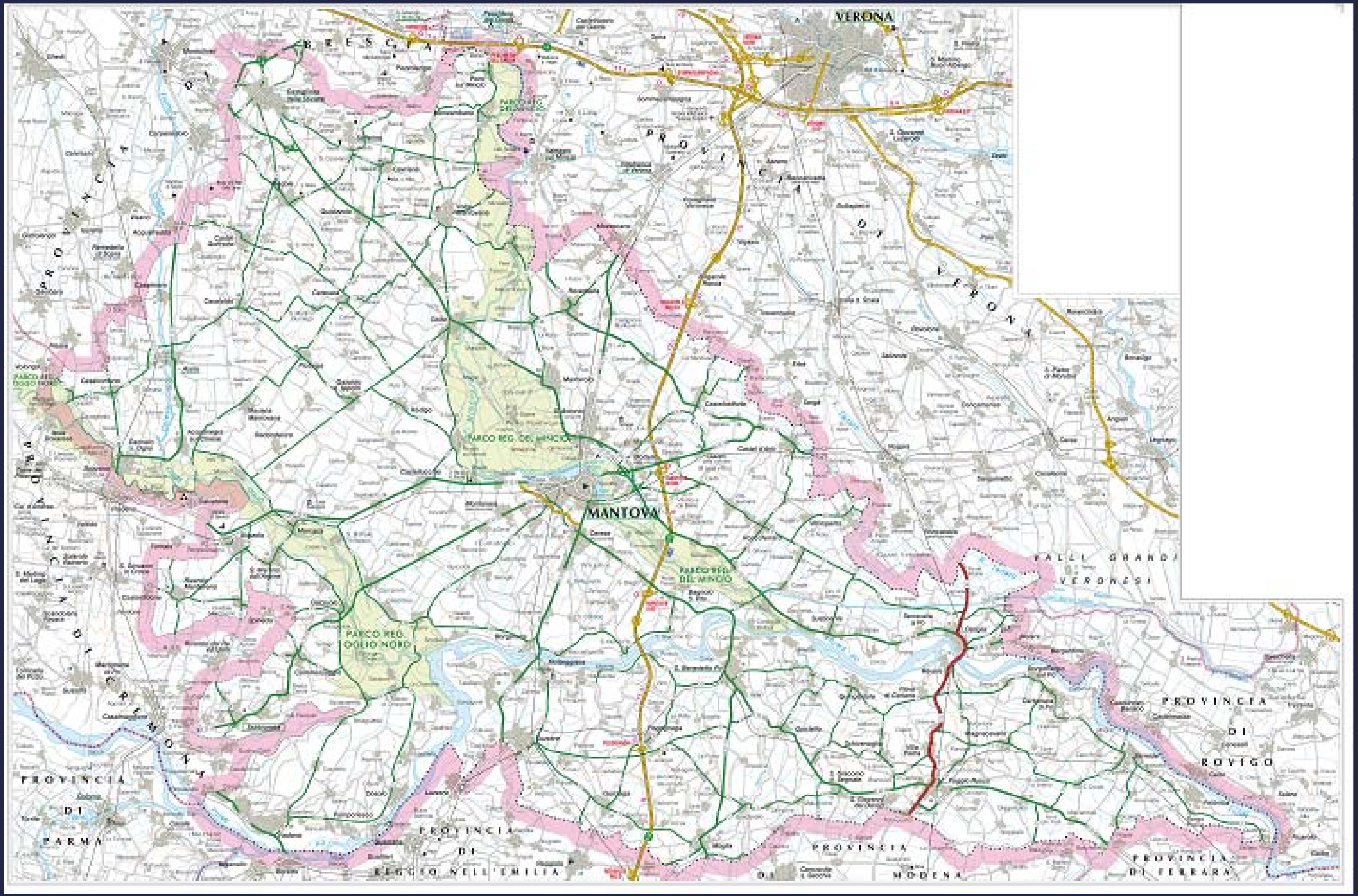
Strade

- Superficie territoriale : Kmq 2’339,00
- Km di strade: 1’120,00
- Superficie pavimentata circa: Kmq 8,400
- Km di piste ciclabili : 64,00

Manufatti

- N. ponti sul Po: 5
- N. ponti sul Mincio, Oglio, Secchia, Chiese : 24
- N. Viadotti su ferrovie: 22
- N. Viadotti su altre strade : 19
- N. Ponticelli su corsi d’acqua : 110
- Valorizzazione economica approssimata in difetto del patrimonio stradale : **Euro 2,5 miliardi**

RETE STRADALE DELLA PROVINCIA DI MANTOVA

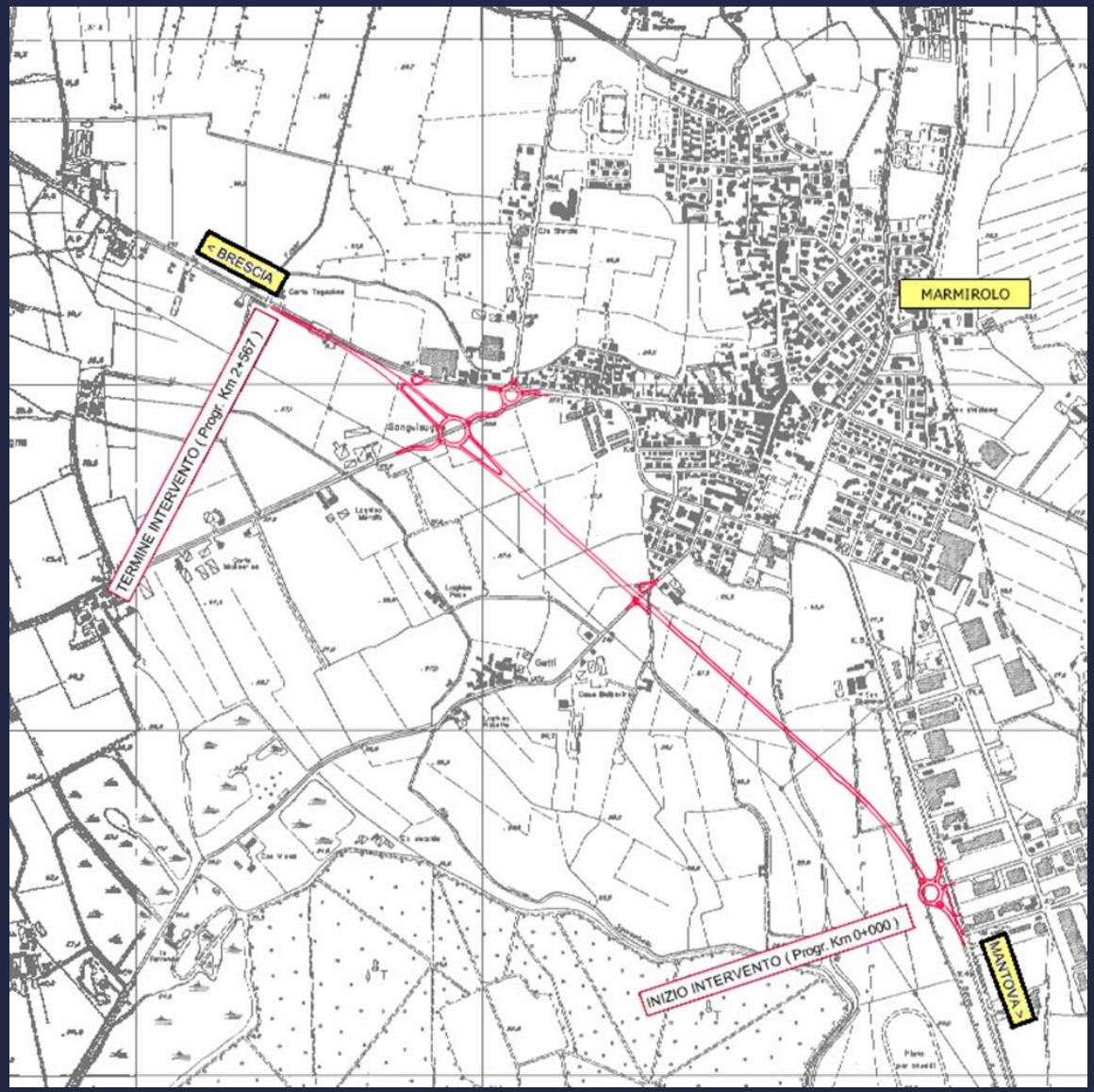


Casi di studio ed esperienze nella realizzazione di opere stradali nella Provincia di Mantova.

- TANGENZIALE DI MARMIROLO
- LOTTO 0 DELLA TANGENZIALE DI MANTOVA DI COLLEGAMENTO TRA EX SS N. 62 ED EX SS N. 236
- PRIMO LOTTO DELLA TANGENZIALE DI QUISTELLO

TANGENZIALE DI MARMIROLO

- Caratteristiche dell'opera



Planimetria di progetto

ROTATORIA 1 Ri= 25 m

ROTATORIA 2 Ri=25 m

ASTA PRINCIPALE Categoria C1

PONTE SUL FOSSO PARCARELLO

PISTA CICLOPEDONALE

RAMPE MONOSENSO PER SOAVE

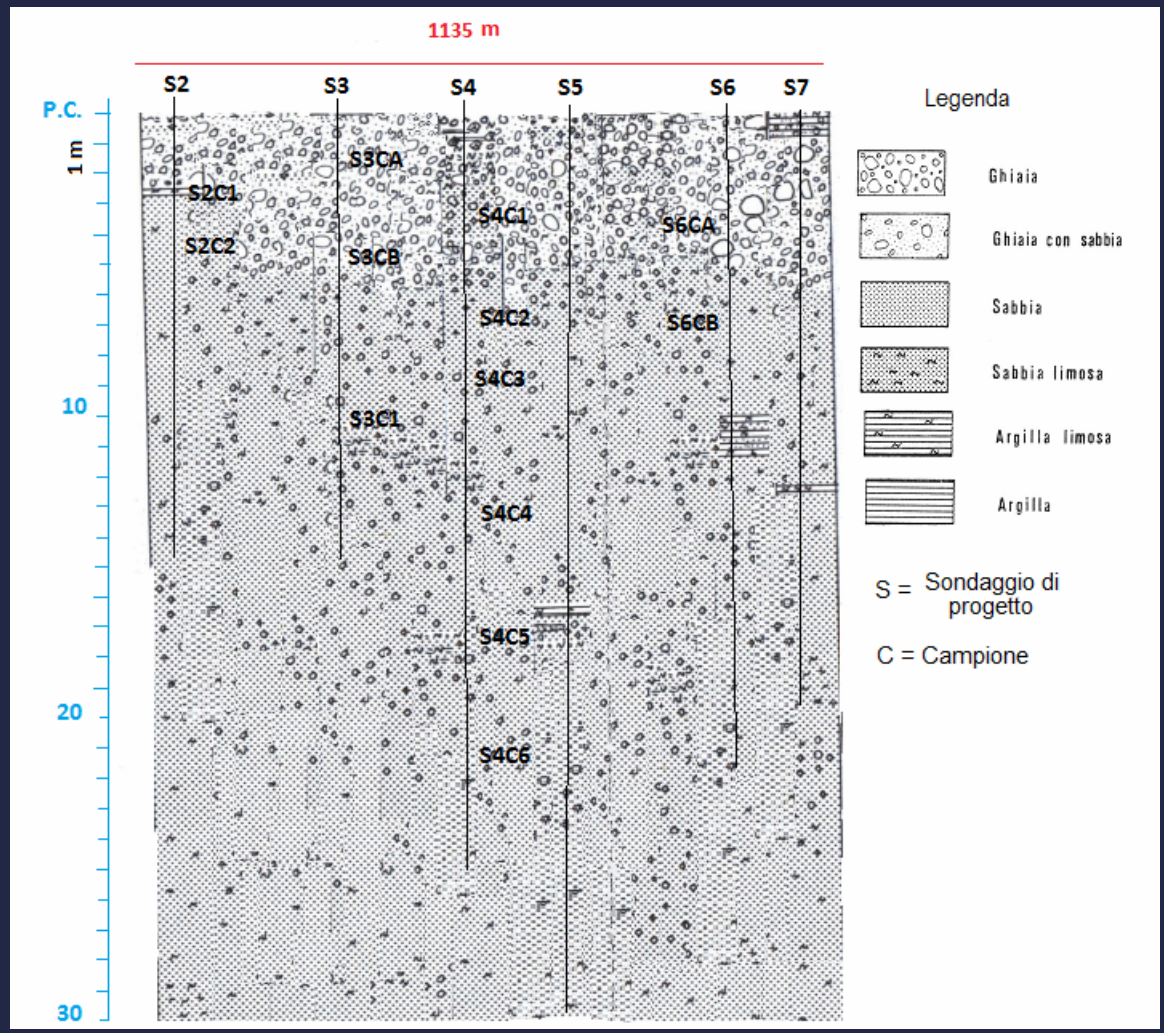
ROTATORIA SULL'INCROCIO TRA SS 236 E SP 21

Indagini geotecniche di progetto

Modello litostratigrafico del terreno

Ghiaia media e media fine con sabbia

Sabbia medie e medie fini, a volte con poca ghiaia. Presenti livelli di natura limosa e/o argillosa



Controlli in corso d'opera

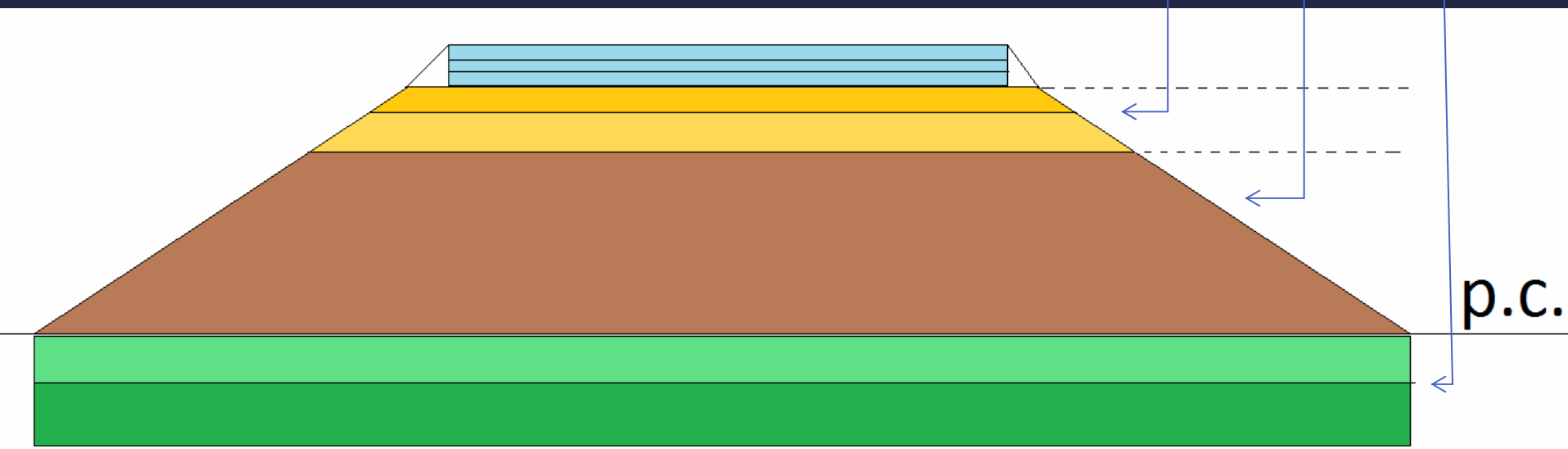
- OBBLIGATORI per legge
- VERIFICA della corretta esecuzione dei lavori
- ACCERTAMENTO delle caratteristiche dei materiali adoperati dall'impresa → da confrontare con quelle prescritte dal capitolato

Controlli in corso d'opera

Controlli effettuati:

PROVE SULLE TERRE:

- PIANO DI POSA DEI RILEVATI
- RILEVATI
- FONDAZIONI DELLE PAVIMENTAZIONI



Piano di posa dei rilevati

Corpo d'opera : Piano di posa dei rilevati	Prove in situ	Prove di laboratorio
	Prove di piastra statiche	Analisi granulometriche e classificazione
sottofondo naturale presente sul piano di scotico a 0,2 m	X	X
sottofondo bonificato	X	X

Inizio dei lavori: FASE DI SCAVO DI SBANCAMENTO del terreno presente

Problema: INIDONEITA' DEL PIANO DI APPOGGIO DEL RILEVATO sottostante allo scotico vegetale a circa 20 cm dal piano campagna:

Presenza di zone con alto contenuto di materiale fine e con alta percentuale di sostanze organiche

} COMPRESSIBILE
POCO PORTANTE

SEZIONE 5 SVINCOLO N.1
FOTO SCATTATA PRIMA DELLE
OPERAZIONI DI SCOTICO
100 cm
60 cm
45 cm
0.00 cm

SEZIONE 8 ASSE PRINCIPALE
-130 cm

MEZZERIA TRA SEZ 9 E 10
ASSE PRINCIPALE
-90 cm

Piano di posa dei rilevati

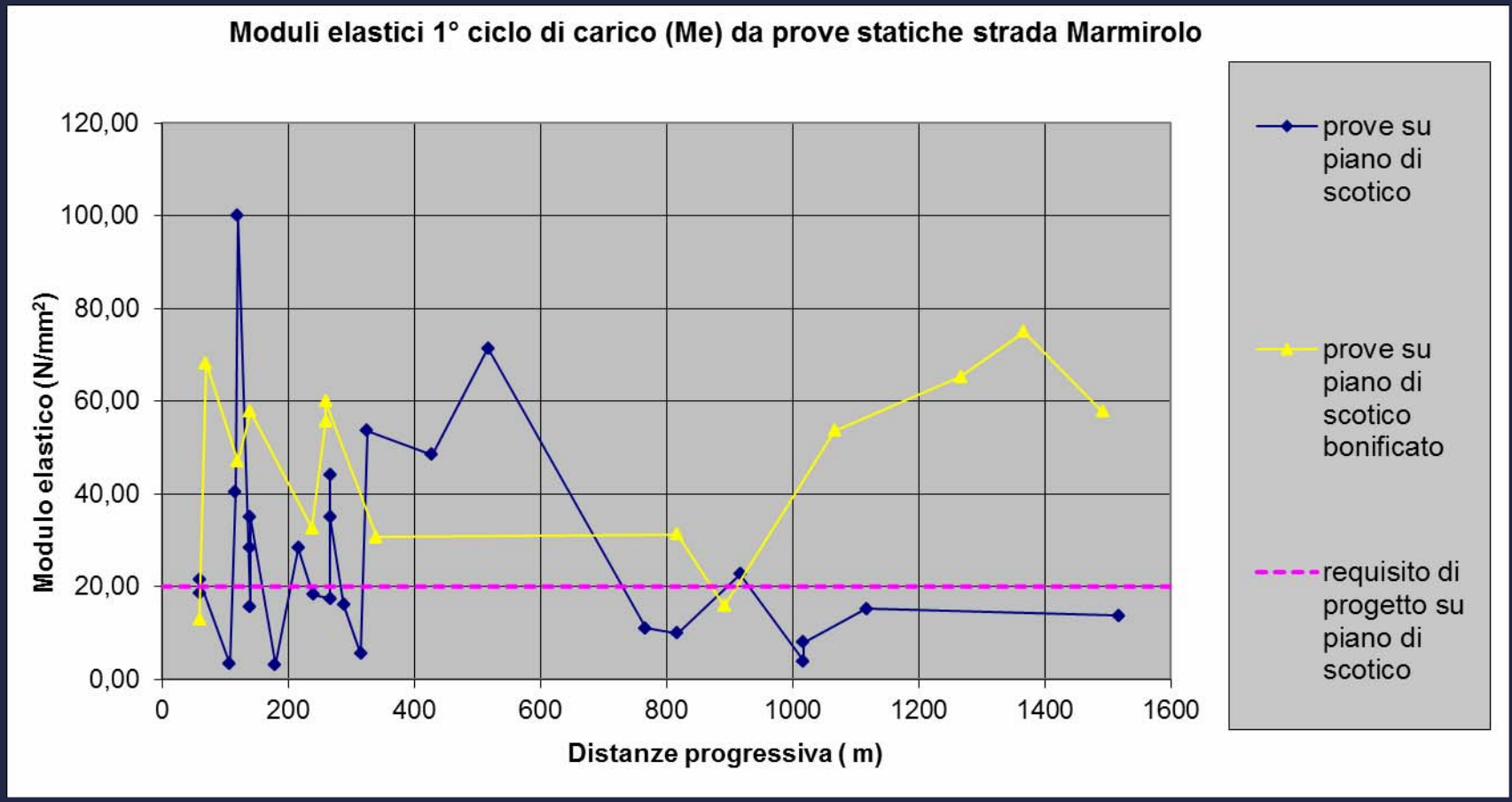
Come si è risolto il problema:

- Aumentare lo scavo di sbancamento per una profondità variabile da 0,30 a 1,00 m a seconda delle zone
- Sostituire la parte di terreno compressibile con altro materiale idoneo
- Costipare il materiale fino al raggiungimento di valori di modulo elastico (Me) superiori a quelli minimi prescritti dal capitolato
- Rieffettuare controlli sul materiale (materiale bonificato)

→ ASSOLUTA NON PLASTICITÀ DEL MATERIALE

→ CLASSIFICAZIONE ACCETTABILE DEL MATERIALE POSTO IN OPERA

Prove effettuate sul piano di posa dei rilevati



Dove Me risulta inferiore alle prescrizioni minime di capitolato, il terreno non era stato rullato correttamente. Si è provveduto a rimediare con ulteriori passate con rullo vibrante per aumentare il grado di costipamento

Prove sui rilevati

Corpo d'opera : Rilevati	Prove in situ			Prove di laboratorio
	Prove di piastra statiche	Prove SPT	Sondaggi	Analisi granulometriche e classificazione
rilevato stradale	X			X
rilevato di appoggio alle spalle del ponte	X	X	X	X

Uno degli aspetti più delicati è stata la realizzazione del rilevato di appoggio sulle spalle del ponte sul fosso Parcarello

Due prove penetrometriche dinamiche (SPT)

- lato Mantova soddisfacente dal punto di vista del grado di costipamento
- lato Brescia esigeva altri costipamenti → necessario COSTIPARE ed eseguire un'altra prova SPT

Problemi sul rilevato

Dopo una lunga sospensione dei lavori, durata oltre un anno, sul rilevato lato Brescia sono comparse delle fessurazioni longitudinali sia sulla sponda destra sia sulla sponda sinistra a circa 1,50 m dal bordo del rilevato per una lunghezza di circa 70 misurata dalla parte terminale dei muri laterali della spalla nord.

Prove sui rilevati

Per comprendere la ragione di tali lesioni sono state eseguite ulteriori prove su entrambi i lati (lato Brescia del ponte sia corsia direzione MN che direzione BS)

↓

è risultata SCARSA CONSISTENZA E COMPATTAZIONE DEGLI STRATI SUPERFICIALI AI LATI DEL RILEVATO

Come si è risolto il problema:

- Intensa e continua rullatura per la ricompattazione fino ad ottenere dei valori di addensamento degli strati superficiali tali da garantire la stabilità della fondazione della pavimentazione per evitare futuri dissesti
- Verifica finale della compattazione con un ulteriore prova penetrometrica

COSTIPAMENTO PER RULLATURA

- La larghezza della scarifica è di circa mt 2.7 per permettere il passaggio del rullo.
- Rullo BOMAG VARIO CONTROL BW 226 DH-4 BVC
- Peso complessivo: 27,7 ton
- Peso asse : 17,59 ton
- Velocità max 10 km/h

- Attività di rullatura :
- giorni di lavoro 6 x 10 ore lavorative
- in un’ora si sono fatti 5 passaggi in marcia avanti con rullo che vibrava con sistema “automatico” (gestione automatica dell’angolazione della massa vibrante) e 5 passaggi in retro marcia con rullo senza vibrazione.

RULLO VIBRANTE

Prove sui rilevati

Collocazione delle prove SPT:

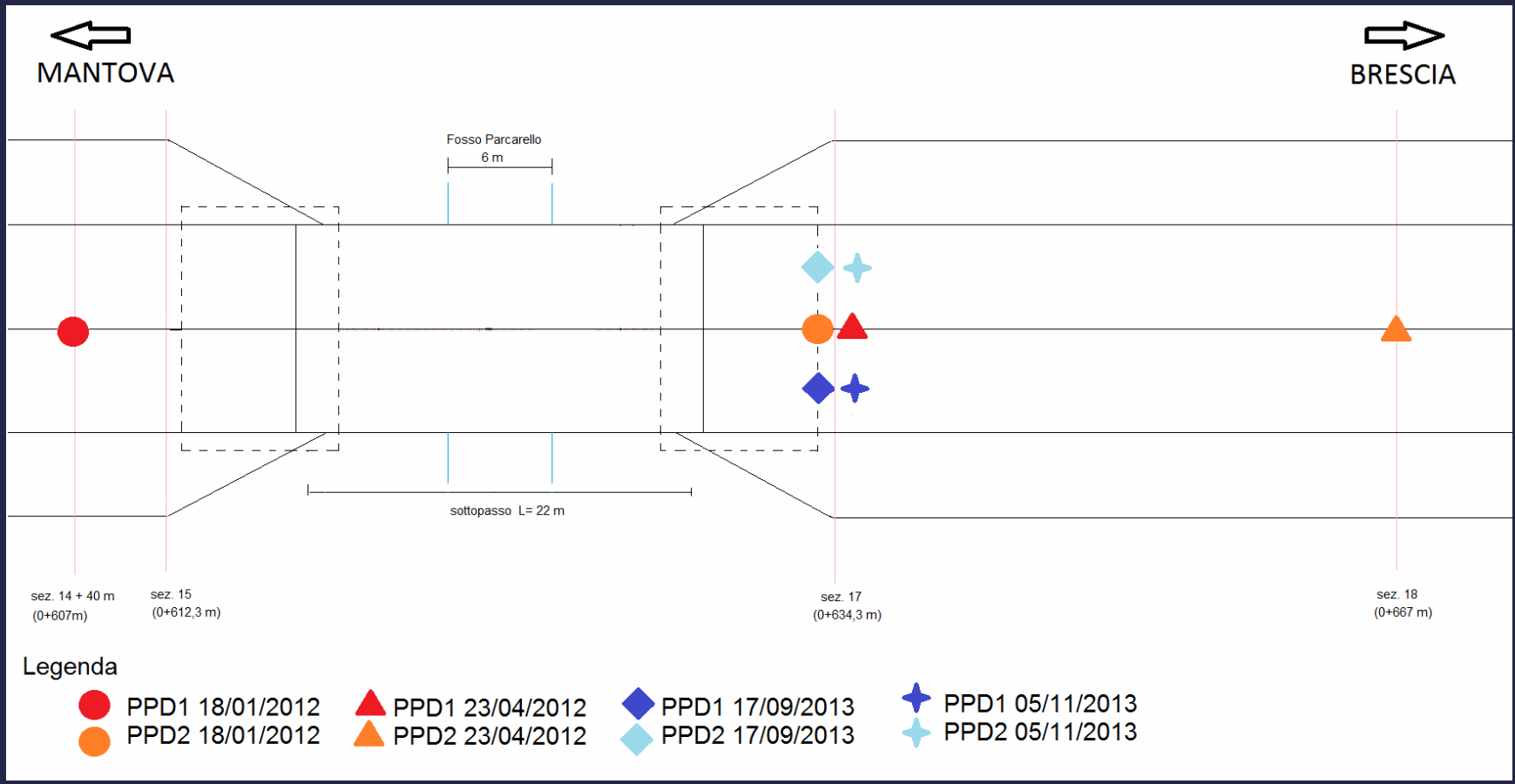


Diagramma prove penetrometriche prima e dopo l'operazione di costipamento

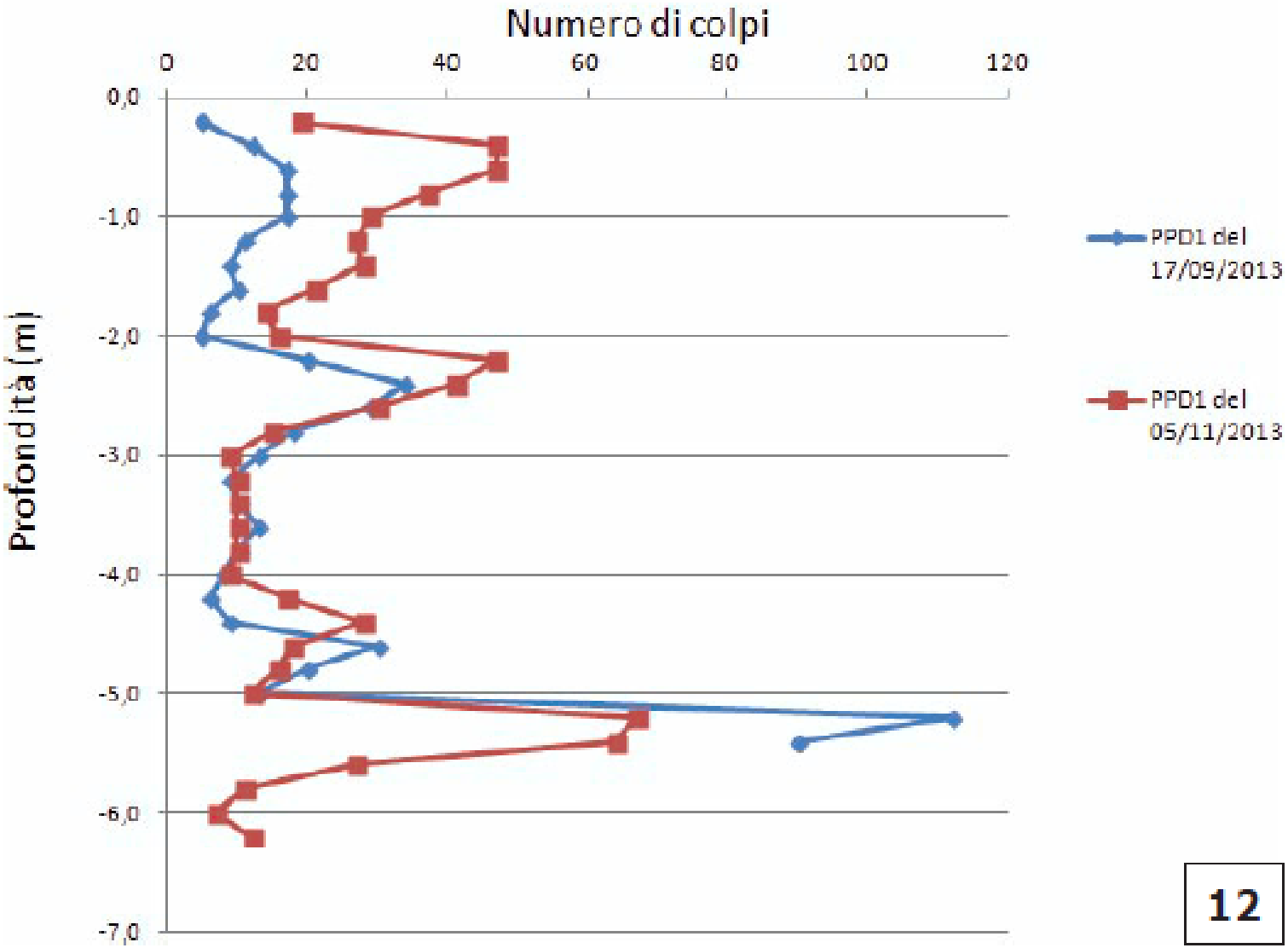
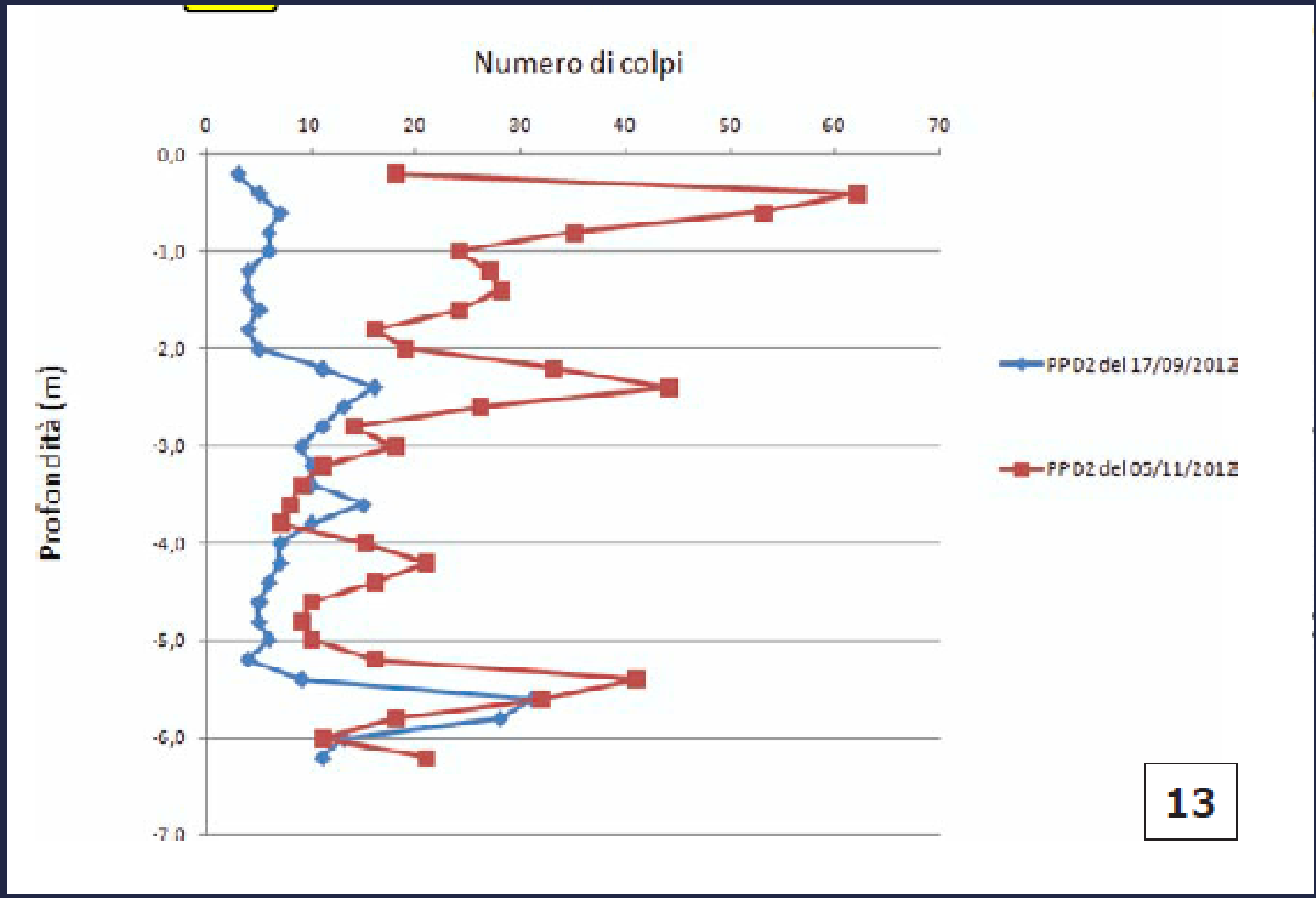


Diagramma prove penetrometriche prima e dopo l'operazione di costipamento



PROBLEMI RISCONTRATI IN CORSO D'OPERA

↓

CAUSA: PROGETTAZIONE APPROSSIMATIVA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE IN FASE DI PROGETTAZIONE.

↓

Non sufficienti in numero
Non ben distribuite
Poco rappresentative del comportamento dell'intero terreno

↓

Rallentamento nell'esecuzione dei lavori nonché una spesa aggiuntiva

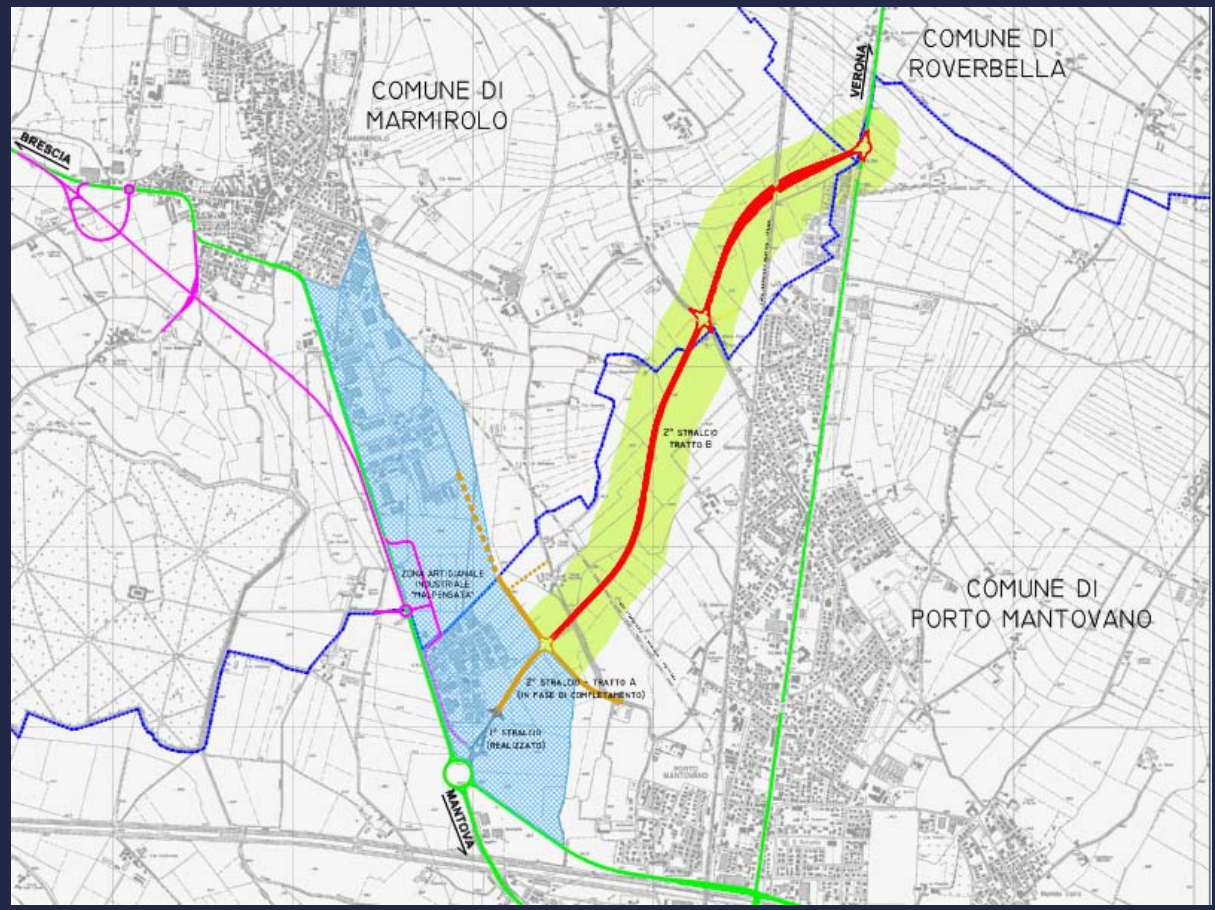
Casi di studio ed esperienze nella realizzazione di opere stradali nella Provincia di Mantova.

- Prendiamo in considerazione i controlli in c.o. dei rilevati stradali quali parti fondamentale di una arteria stradale che, se danneggiato da deformazioni dovute a cedimenti del terreno di fondazione o del corpo stesso del rilevato, può limitare od impedire la percorribilità.
- La previsione dell'entità dei cedimenti, a livello progettuale, ha un duplice scopo:
- a)durante al costruzione del rilevato, di definire il volume ed il costo del materiale necessario per raggiungere la quota del profilo di progetto;
- b)di verificare, a fine costruzione e prima della stesa della sovrastante pavimentazione, se l'entità dei cedimenti residui è circa il 10% del cedimento totale previsto a lungo termine.

Casi di collasso

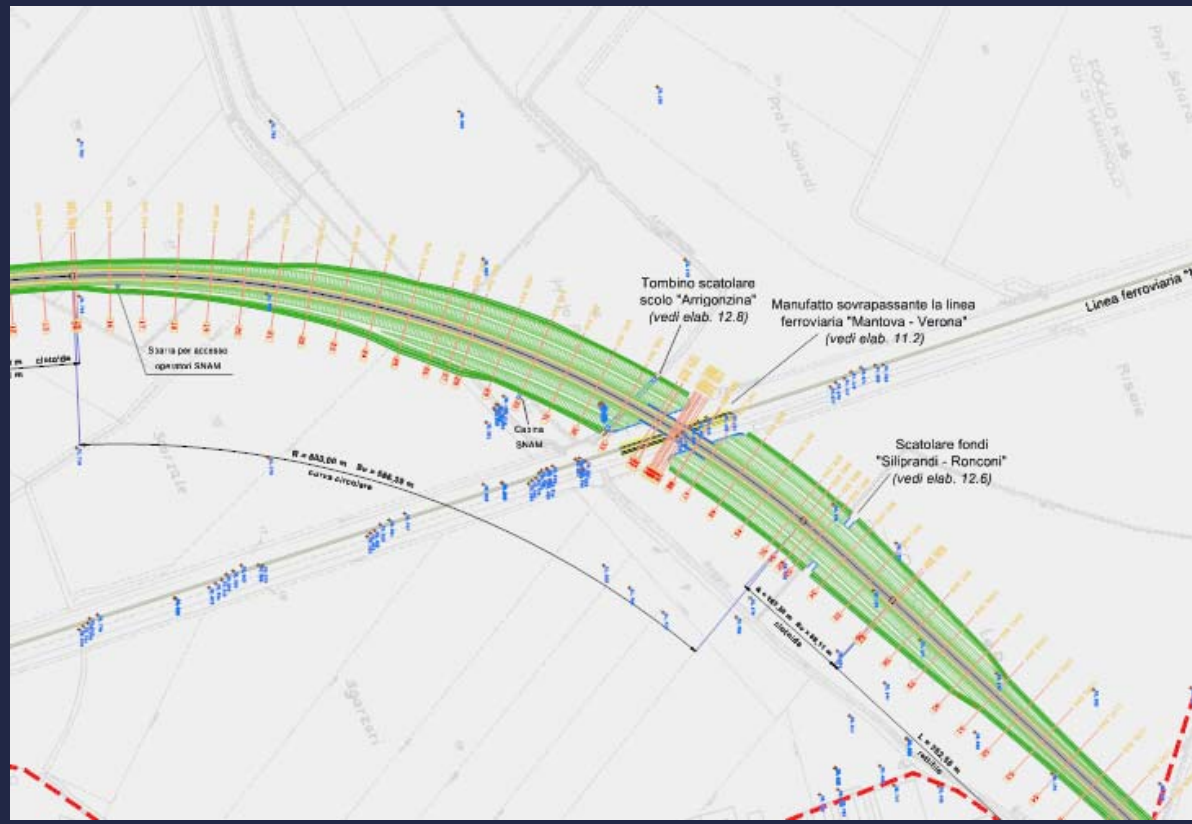
LOTTO 0 DELLA TANGENZIALE DI MANTOVA DI COLLEGAMENTO TRA EX SS N. 62 ED EX SS N. 236

- La tangenziale del lotto 0 ha lo scopo di evitare l'attraversamento del nucleo urbano di Porto Mantovano (frazioni di Bancole e di Sant'Antonio), mediante la connessione tra la ex S.S. n° 62 "della Cisa" e la ex S.S. n. 236

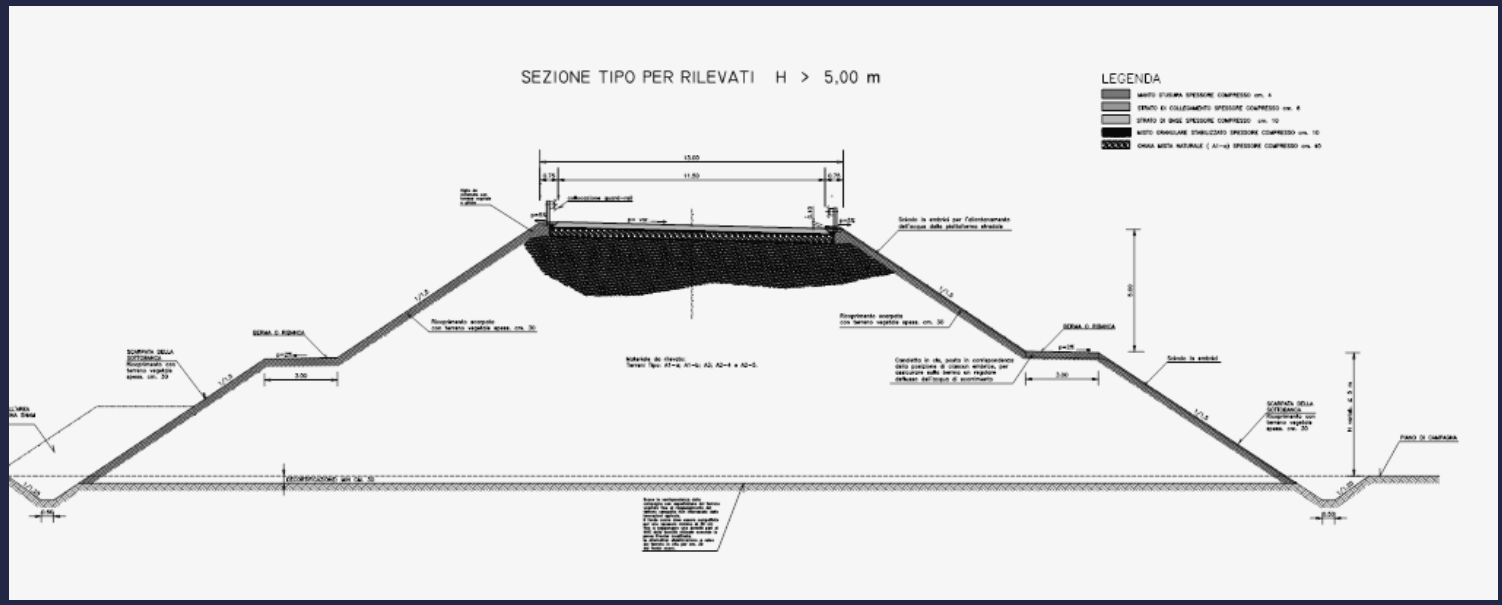


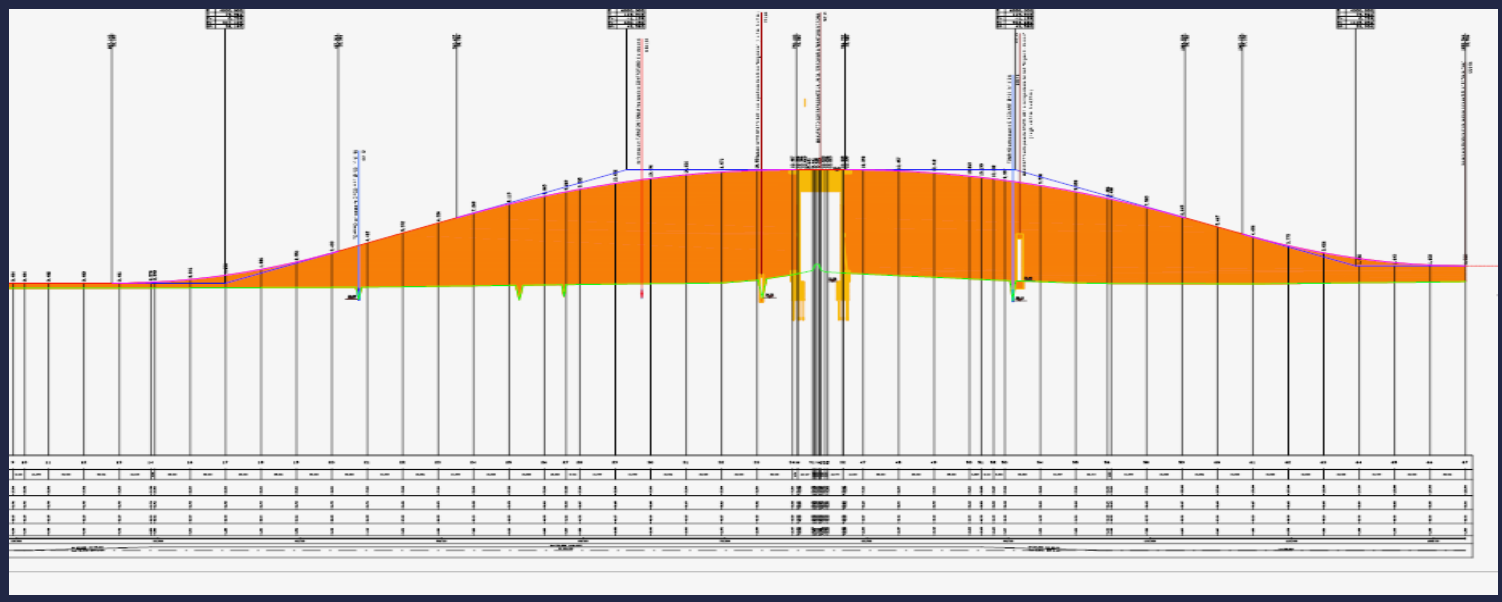
LOTTO 0 DELLA TANGENZIALE DI MANTOVA DI COLLEGAMENTO TRA EX SS N. 62 ED EX SS N. 236

- tracciato lungo circa 3’390 m con inserite tre curve circolari e svincoli realizzati per mezzo di rotatorie a raso
- uno scavalcamento della linea ferroviaria Mantova – Verona costituita da un ponte a travata
- un rilevato di appoggio alla struttura del sovrappasso
- sezione trasversale a forma trapezoidale H max m 10,90 con due ribanche laterali poste a circa 5,00 m di altezza e larghe 4,00 m, la base maggiore B e di m 49,00 circa e la base minore di m 13,00.

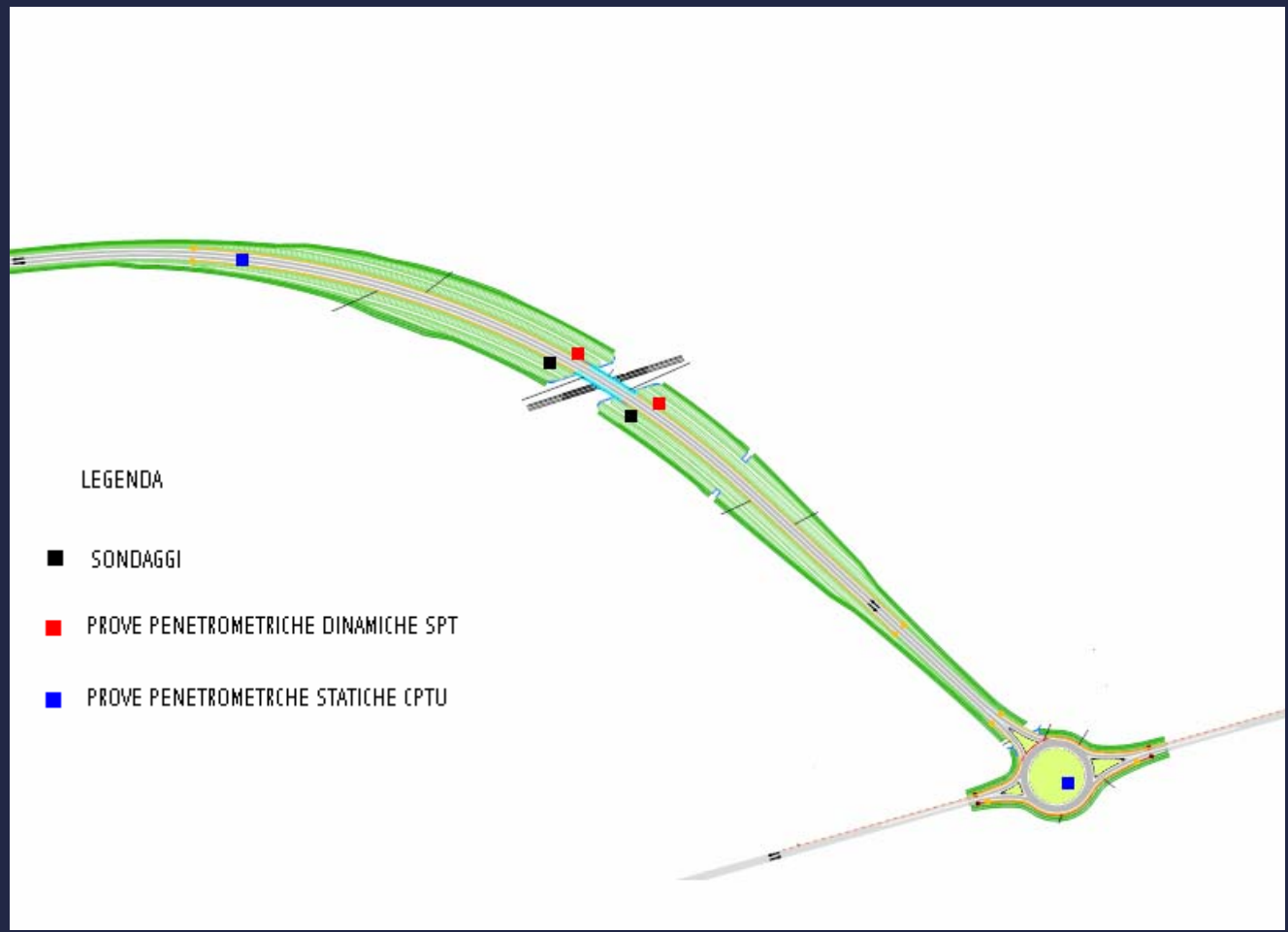


SS N. 236

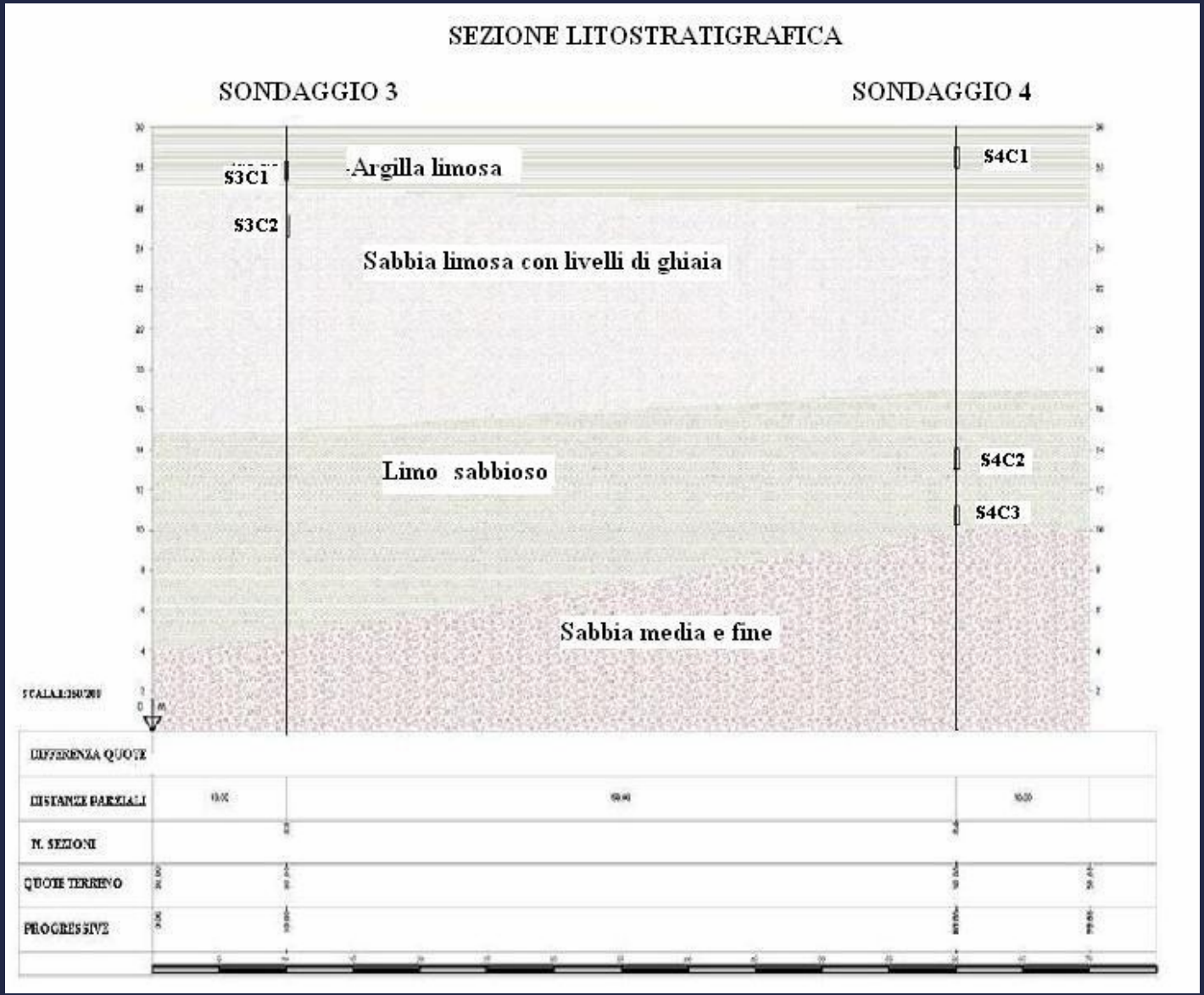




PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DEL SITO IN FASE DI PROGETTAZIONE



CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE GENERALI DEL SITO

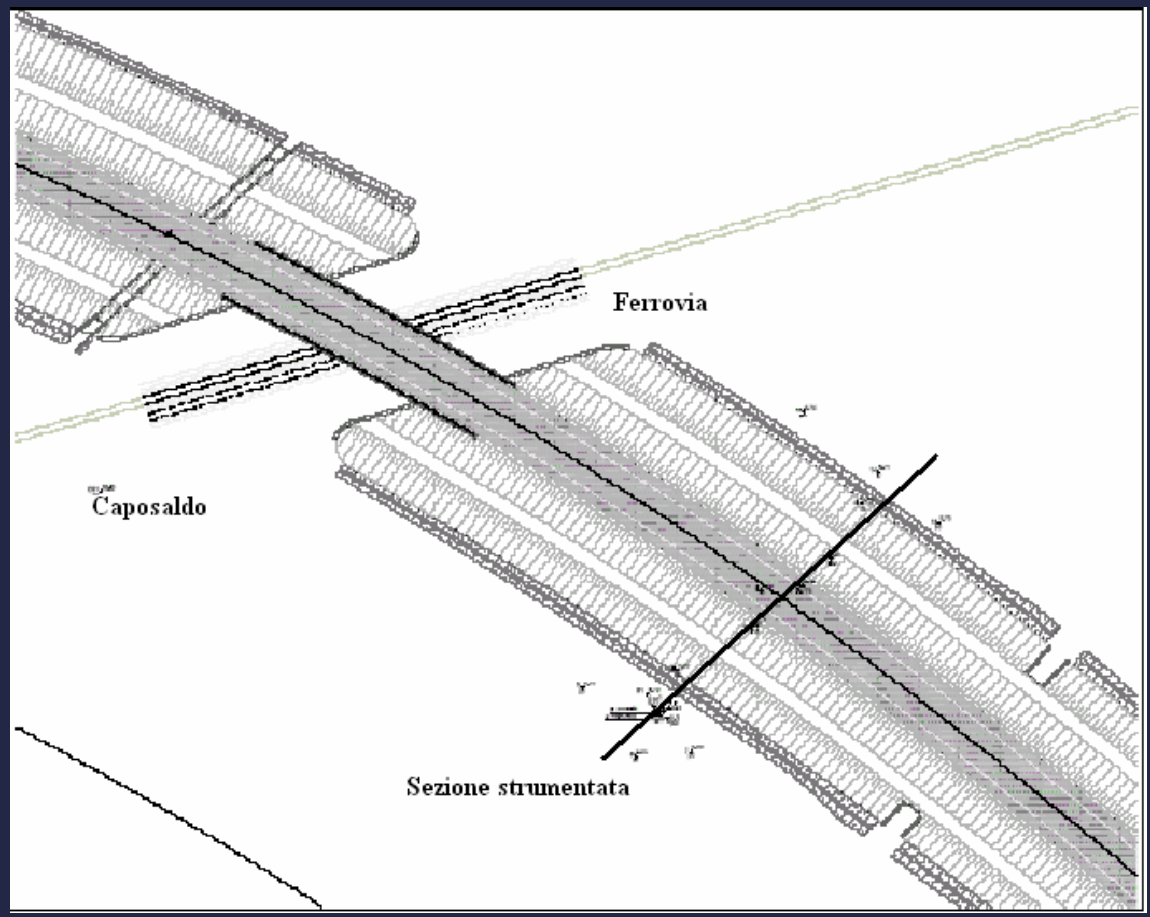


PREVISIONE DEI CEDIMENTI CON METODI TRADIZIONALI

Cedimenti totali

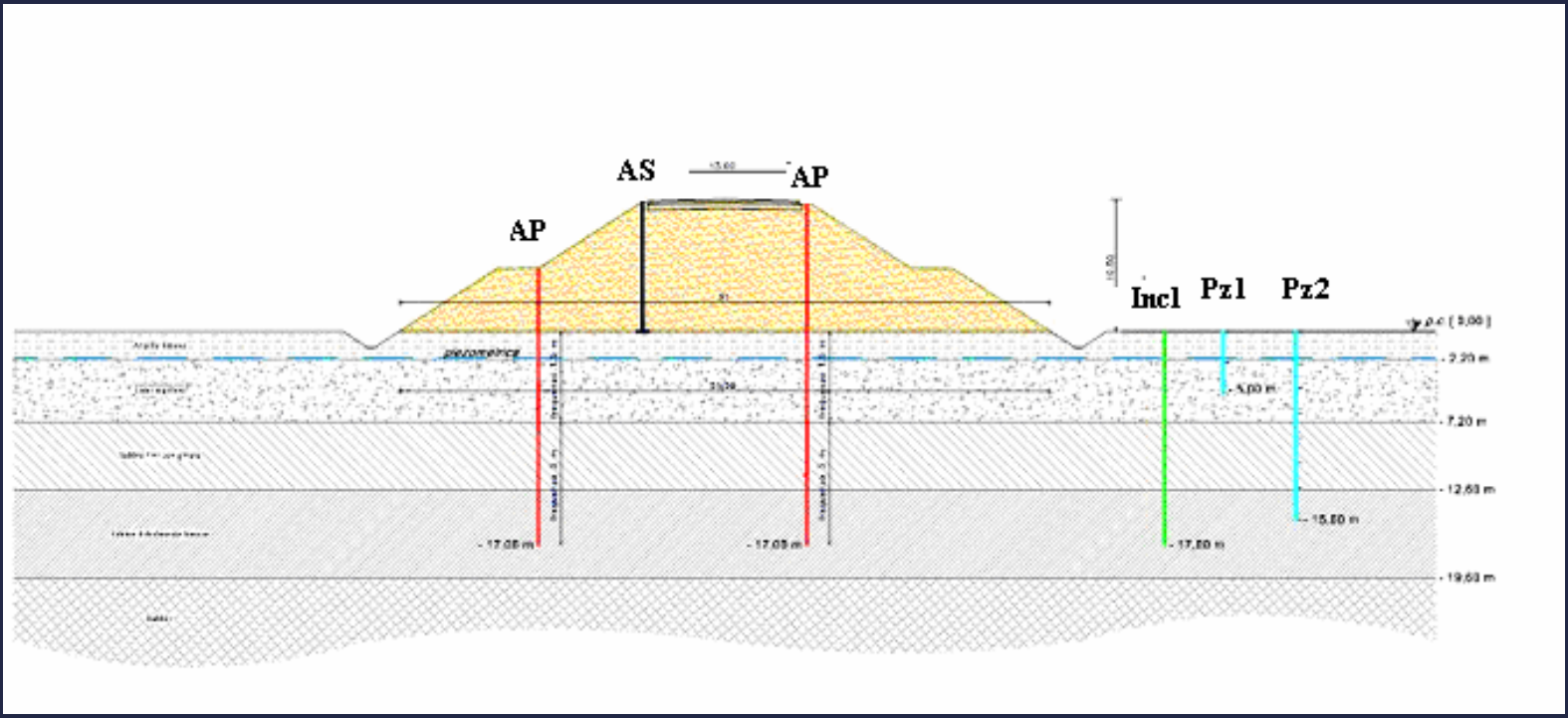
	PREVISIONE DEI CEDIMENTI CON METODI TRADIZIONALI				
		Sc	Si	Ss	
STRATO	TIPO DI TERRENO	CED.CONSOLIDAZIONE	CED. INIZIALE	METODO SCHMERTMANN	
m		m	m	m	
0 - 3,50	Argilla limosa	0,066	0,02	0,086	
3,50-12	Sabbia media e grossa			0,012	
12-20	Limo sabbioso	0,061	0,01	0,071	
20-40	sabbia media e fine			0,03	
				0,199	

MONITORAGGIO GEOTECNICO E CONTROLLO DELL'OPERA



- La strumentazione utilizzata per le misure è stata ubicata lungo la sezione trasversale in corrispondenza a circa 70 m dalla spalla del sovrappasso ferroviario dove l'altezza del rilevato raggiunge m 10,80 dal p.c

MONITORAGGIO GEOTECNICO E CONTROLLO DELL'OPERA



LEGENDA

AS Assistimetro a piastra superficiale

AP Assistimetro profondo

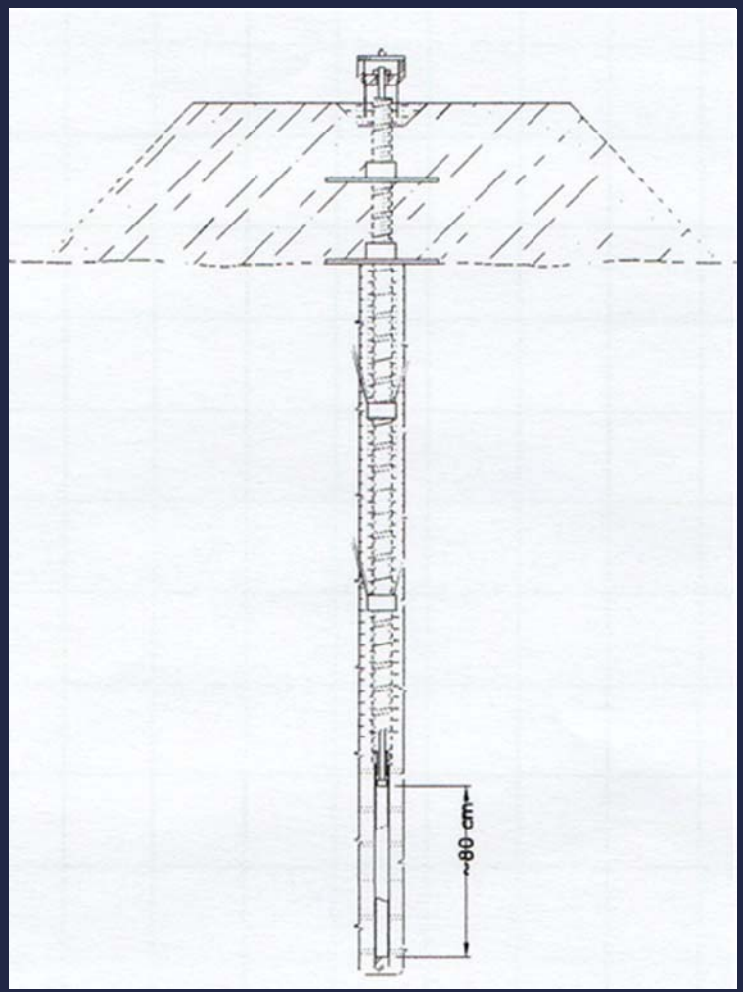
Incl Inclinometro

Pz1 **Pz2** Piezometri a diverse profondità

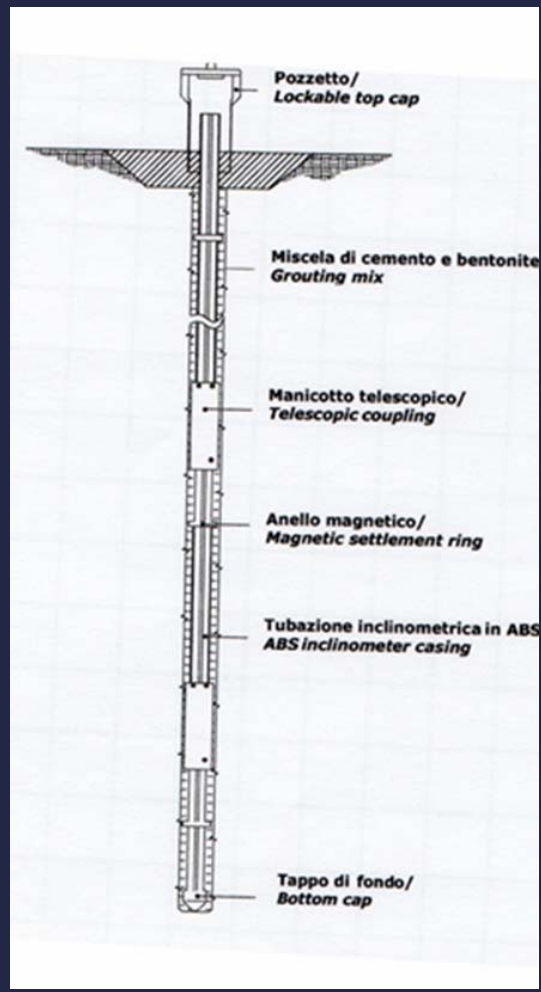
Sezione strumentata

Strumentazione

Assistimetro profondo



Inclinometro



ASSISTIMETRO PROFONDO

Principio: misurano lo spostamento relativo tra basi di misura installate solidalmente al terreno circostante

Elementi:

1. Basi di misura
2. Sonda di misura

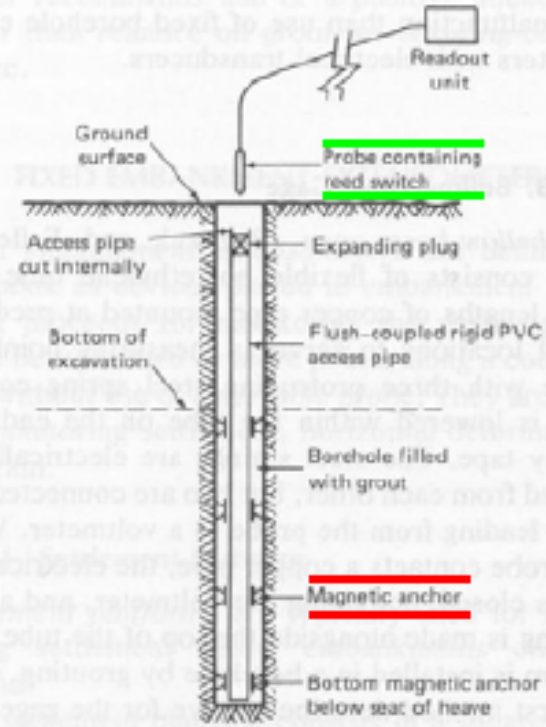
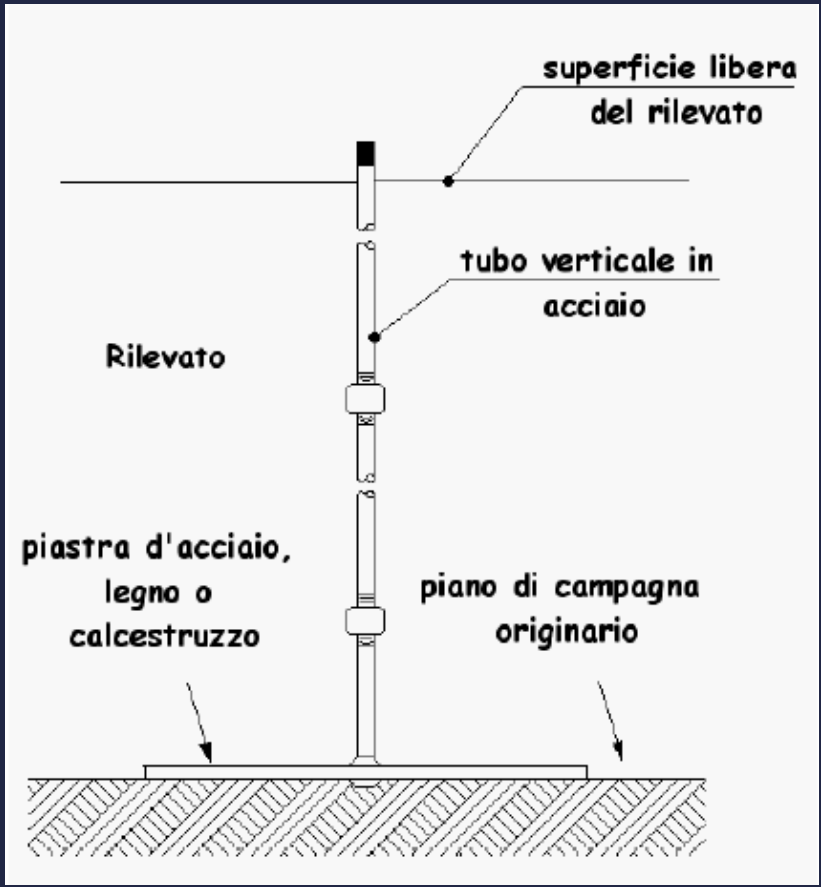


Figure 12.40. Schematic of probe extensometer with magnet/reed switch transducer, arranged for monitoring heave at the bottom of open cut excavations.

[Dunnicliff J., 1993]

Strumentazione



- Assistimetro a piastra
-

STRUMENTAZIONE INSTALLATA

Assistimetro multibase

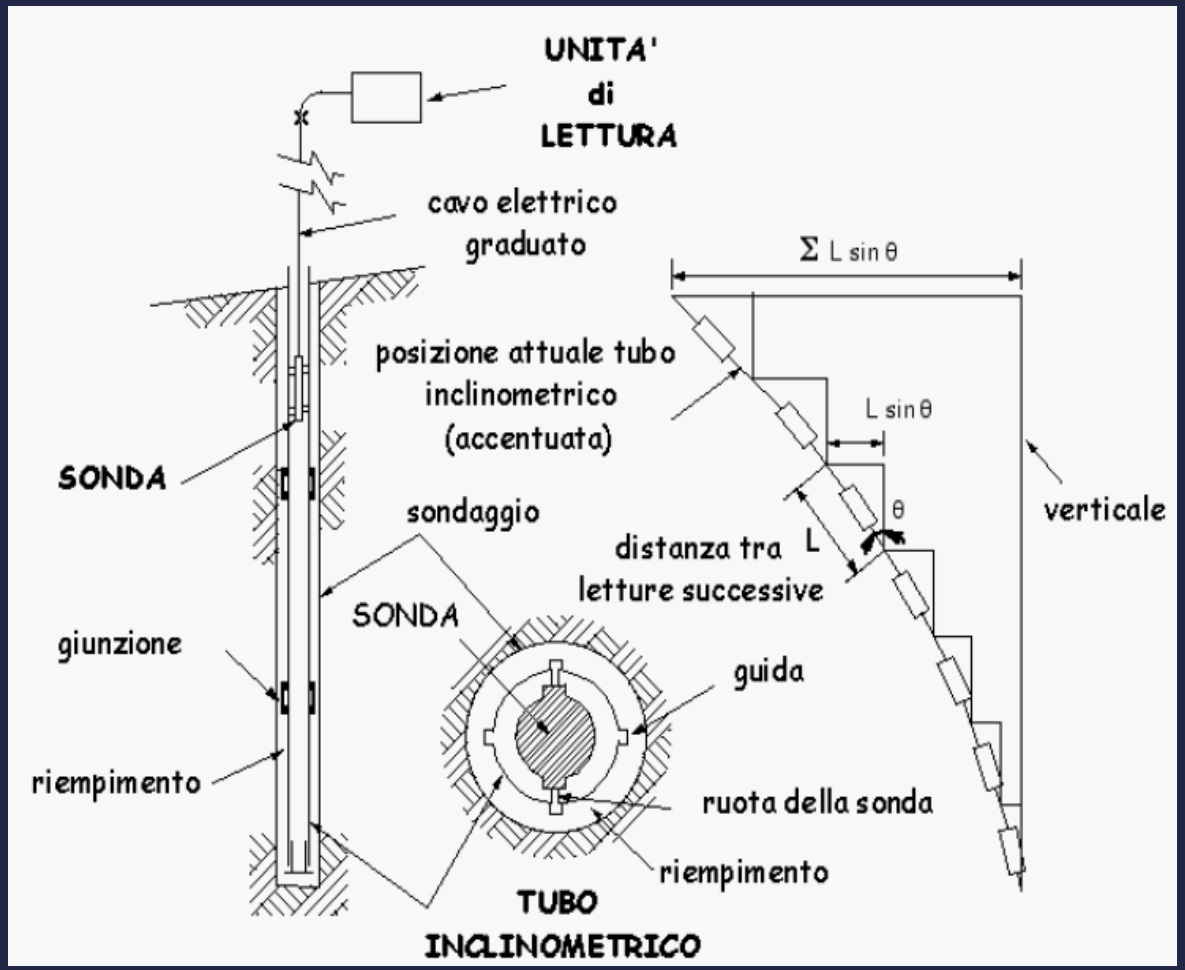
Inclinometro

Nastro graduato per misure assistimetriche

Centralina acquisizione dati inclinometrici

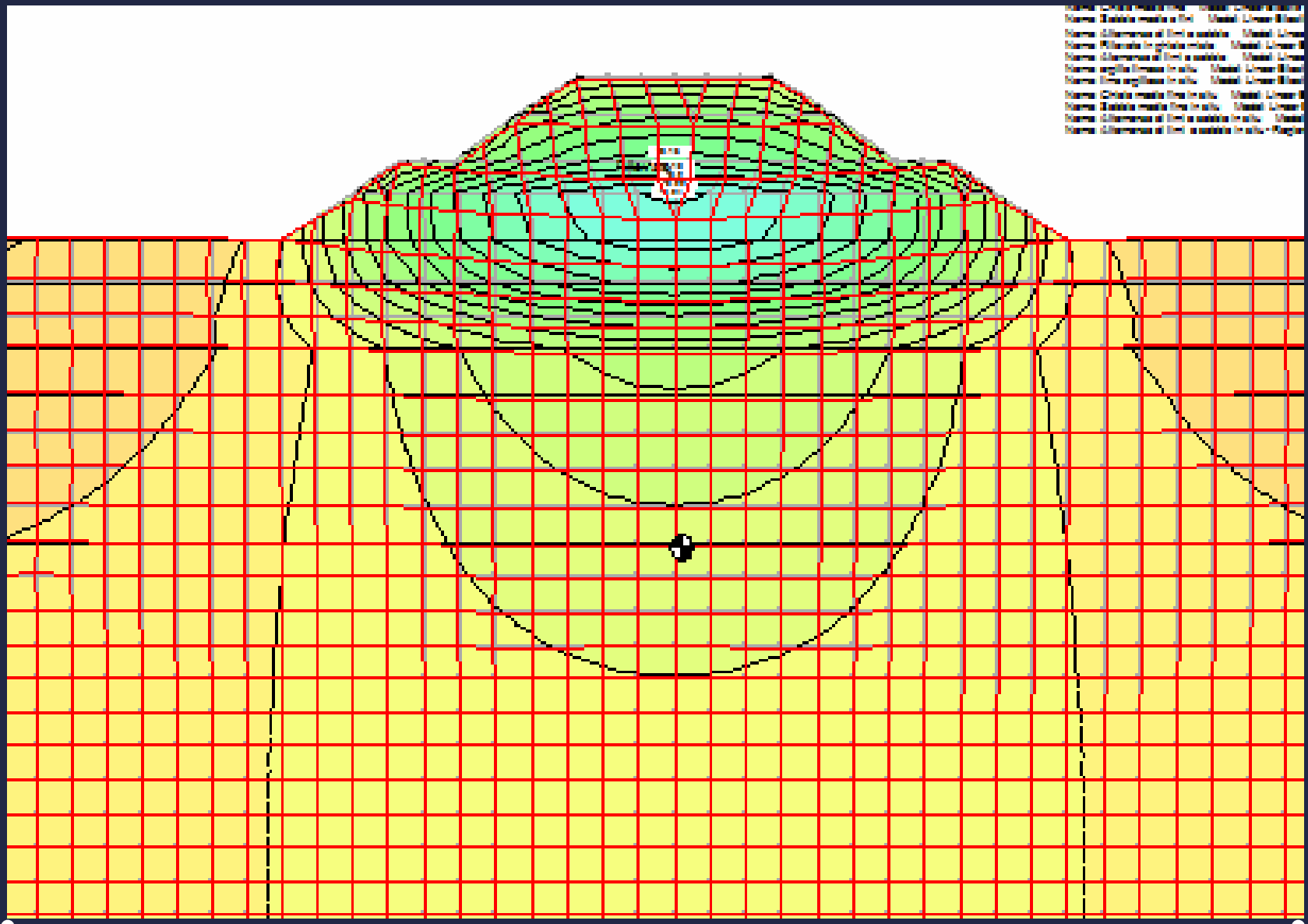
STRUMENTAZIONE INSTALLATA

Sonda per rilievo misure inclinometriche

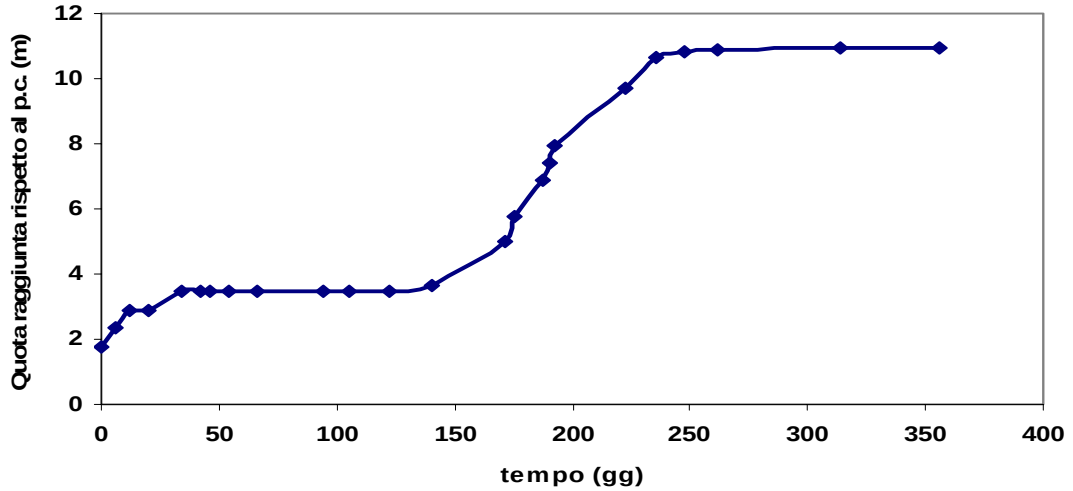


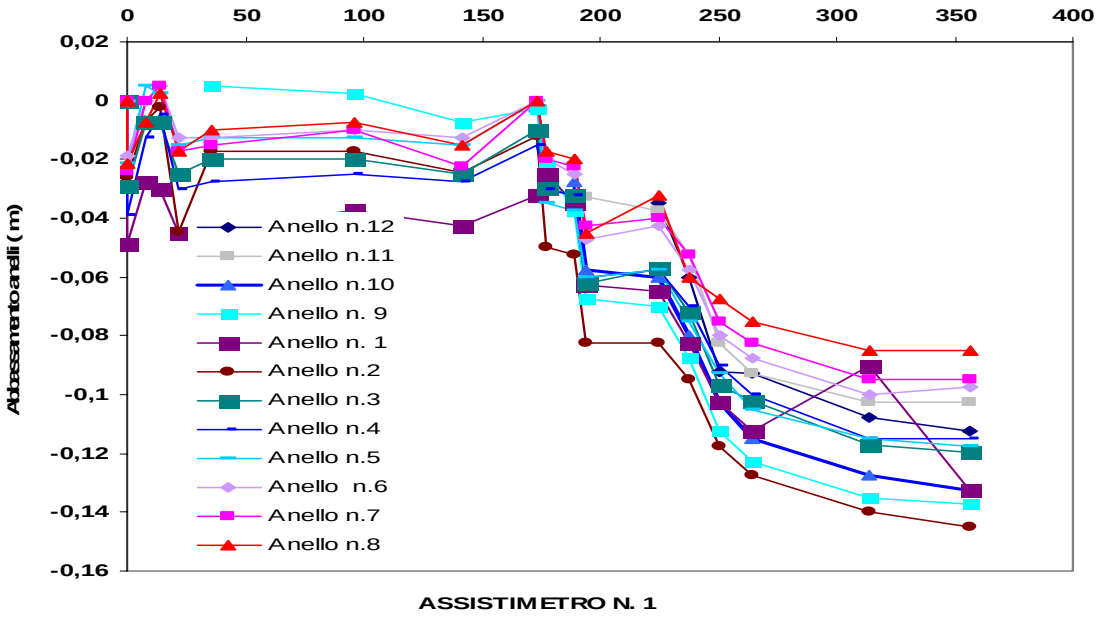
Sezione del tubo inclinometrico

SIMULAZIONE NUMERICA

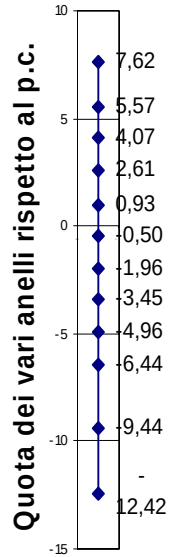


MONITORAGGIO GEOTECNICO E CONTROLLO DELL'OPERA



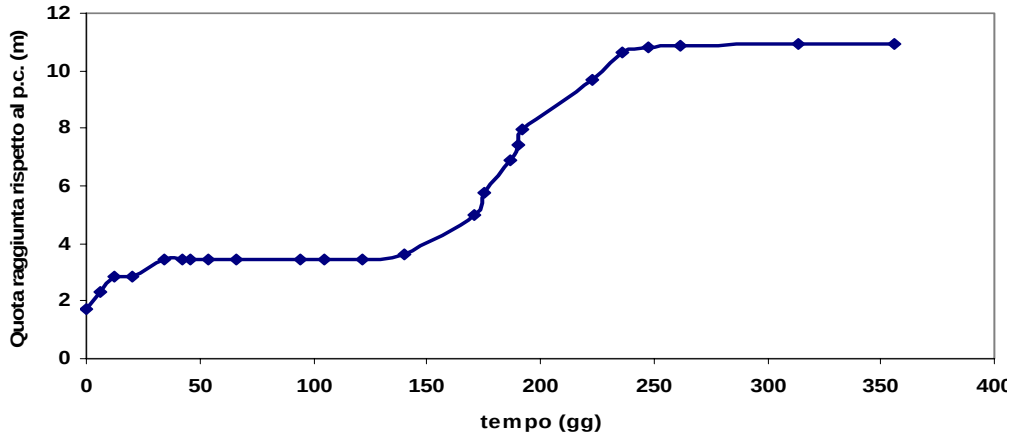


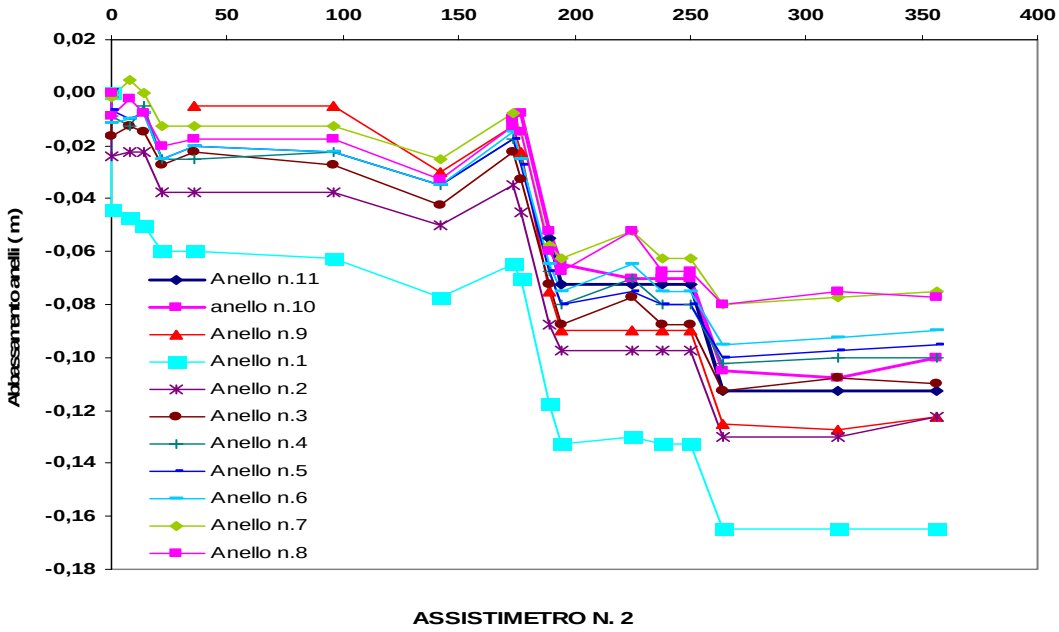
Assistimetro n.1



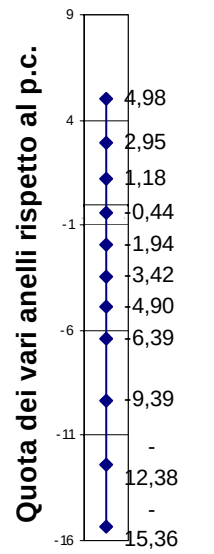
- Misure dei cedimenti per con l'assistimetro n.1 rilevate dal 06.02.2008 al 29.01.2009

MONITORAGGIO GEOTECNICO E CONTROLLO DELL'OPERA



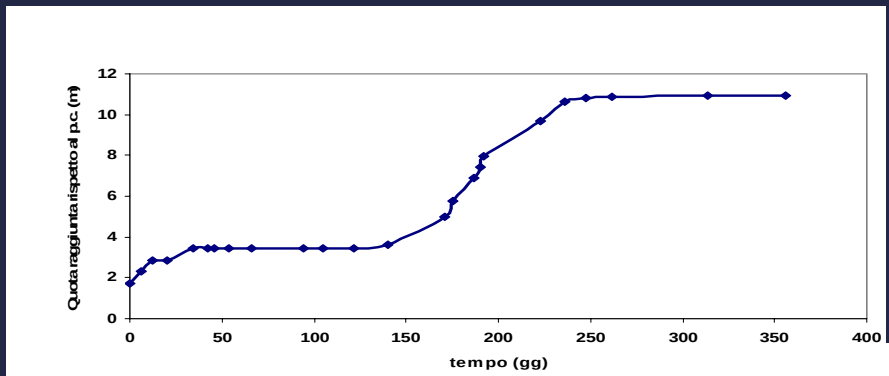


ASSISTIMETRO N. 2



Misure dei cedimenti per con l'assistimetro n.2 rilevate dal 06.02.2008 al 29.01.2009

DECORSO DEI CEDIMENTI : RAPPRESENTAZIONE ED ANALISI DELLE OSSERVAZIONI



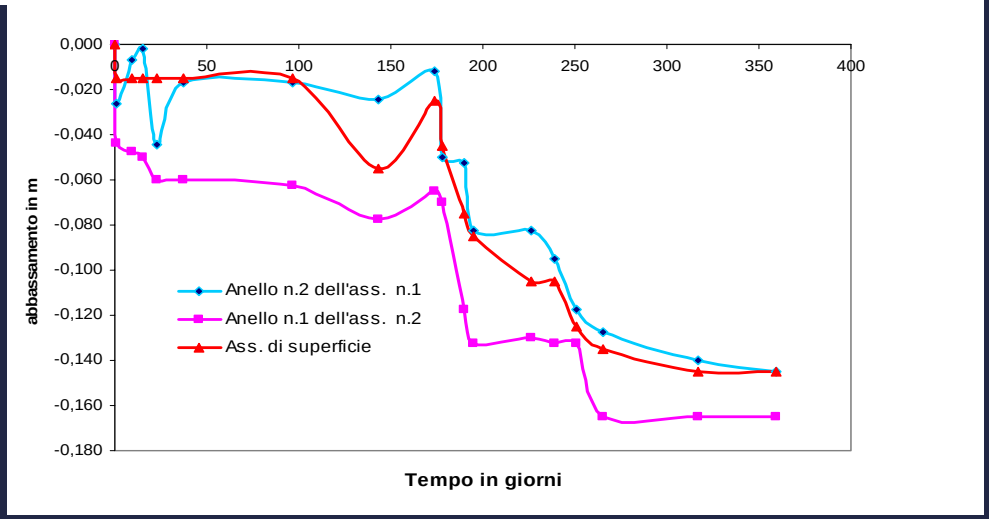


Grafico dei cedimenti misurati in corrispondenza del piano di posa del rilevato per il periodo di costruzione del rilevato fino al 29.01.2009

Max cedimento:

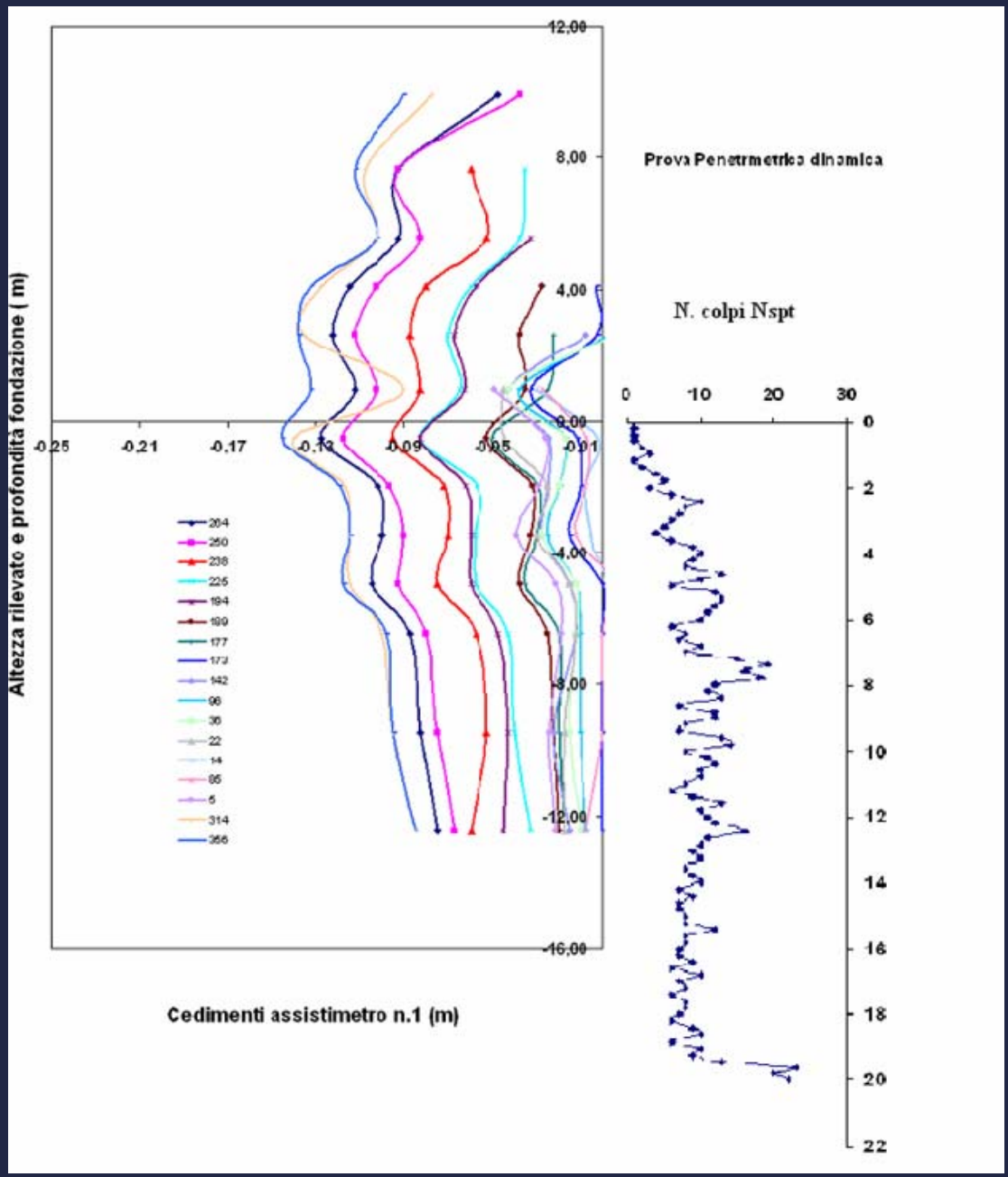
m 0,145 per l'assistimetro n.1 in corrispondenza dell'anello magnetico n. 2

m 0,165 per l'assistimetro n.2 in corrispondenza dell'anello magnetico n. 1

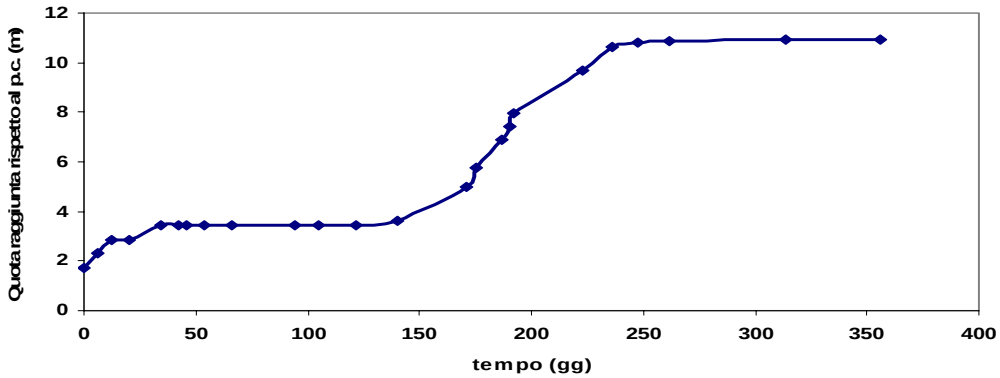
m 0,145 per l'assistimetro a piastra

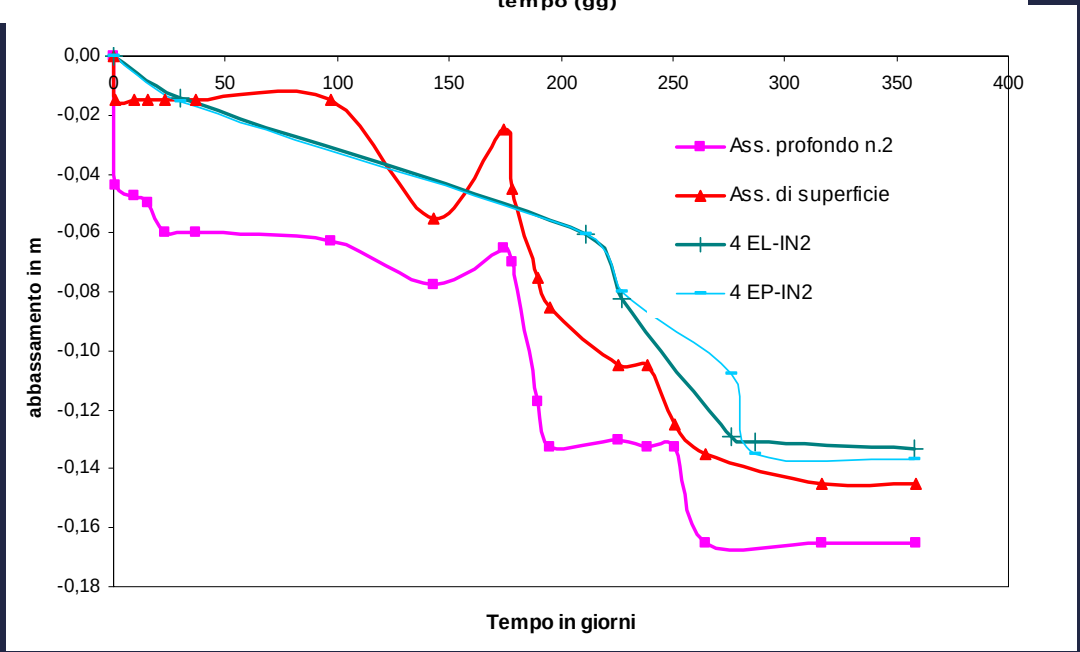
La distribuzione della deformazione nel tempo più regolare per la colonna assistimetrica di superficie rispetto alla 2

DISTRIBUZIONE DEI CEDIMENTI LUNGO LA VERTCALE DELL'ASSISTIMETRO



CONFRONTO TRA RISULTATI SPERIMENTALI E NUMERICI





- **ASSISTIMETRO N.2- anello n.1 (-0,45 m dal p.c.))**
- In questo caso i metodi numerici (EL e EP) sottostimano leggermente i cedimenti finali (0,133 m e 0,137 m contro 0,165 m e 0,145)
- Dunque differenze molto esigue.

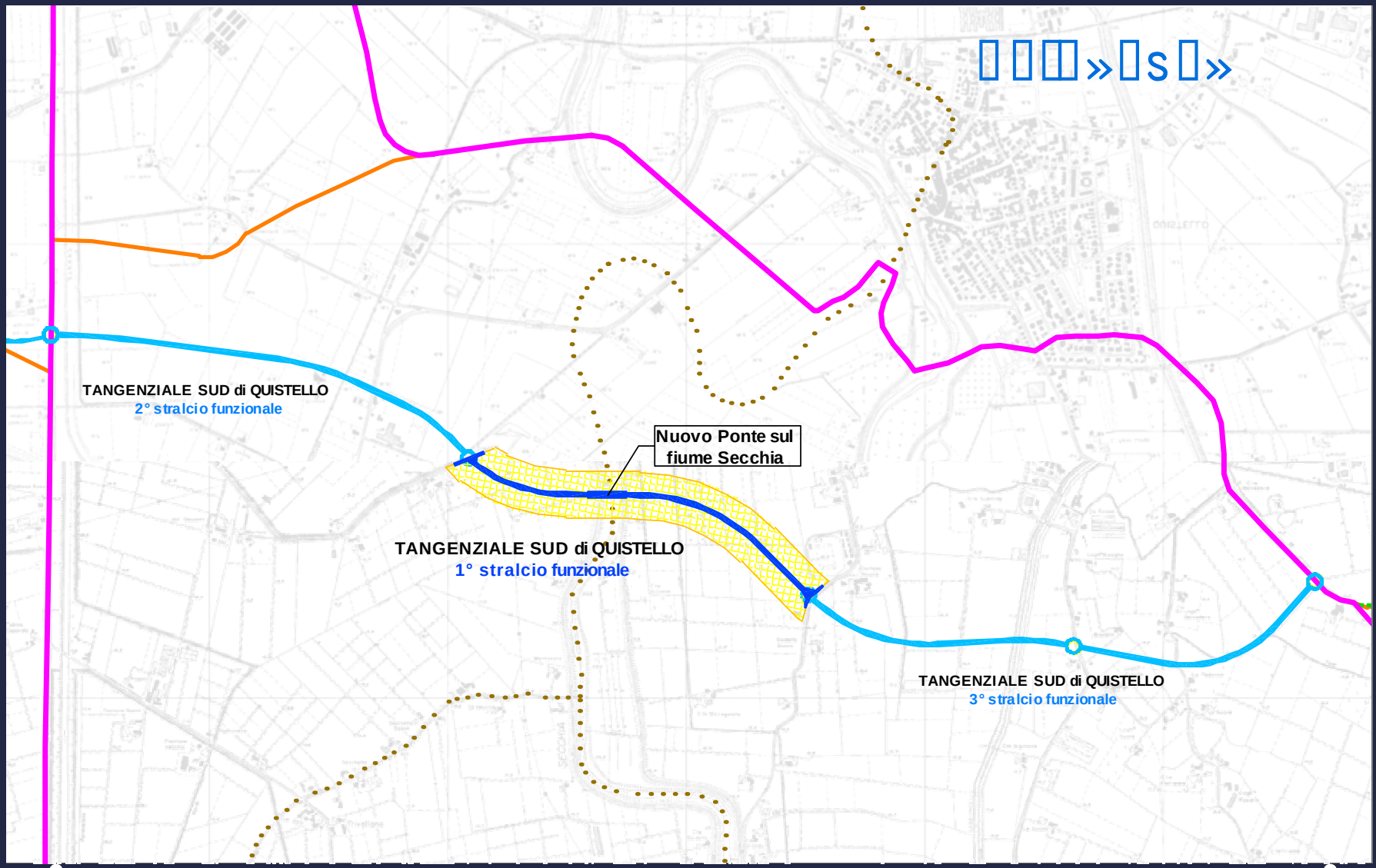
CONFRONTO TRA CEDIMENTI CALCOLATI E MISURATI

CEDIMENTI FINALI IN CORRISPONDENZA DEL PIANO DI APPOGGIO DEL RILEVATO		
	Comparazione risultati	m
METODI NUMERICI	4 EL	**0,170**
	4 EP	**0,182**
METODI TRADIZIONALI	Consolidazione + Schmertmann	**0,199**
VALORI SPERIMENTALI	da assistimetro di superficie	**0,145**
	assistimetro magnetico anello 2-IN1	**0,145**
	assistimetro magnetico anello 1-IN2	**0,165**

I valori sperimentali accertati alla data del 29.01.2009 sono del tutto congrui sia rispetto a quelli determinati numericamente sia con quelli derivanti dall'applicazione dei metodi tradizionali (consolidazione, Schmertmann) pur osservando per questi ultimi una sovrastima massima del 20%.

1° STRALCIO FUNZIONALE TANGENZIALE DI QUISTELLO – NUOVO COLLEGAMENTO TRA LE EX S.S. 413 “ROMANA” E LA N. 496 “VIRGILIANA”.

TRACCIATO DELLA TANGENZIALE



OPERE PRINCIPALI

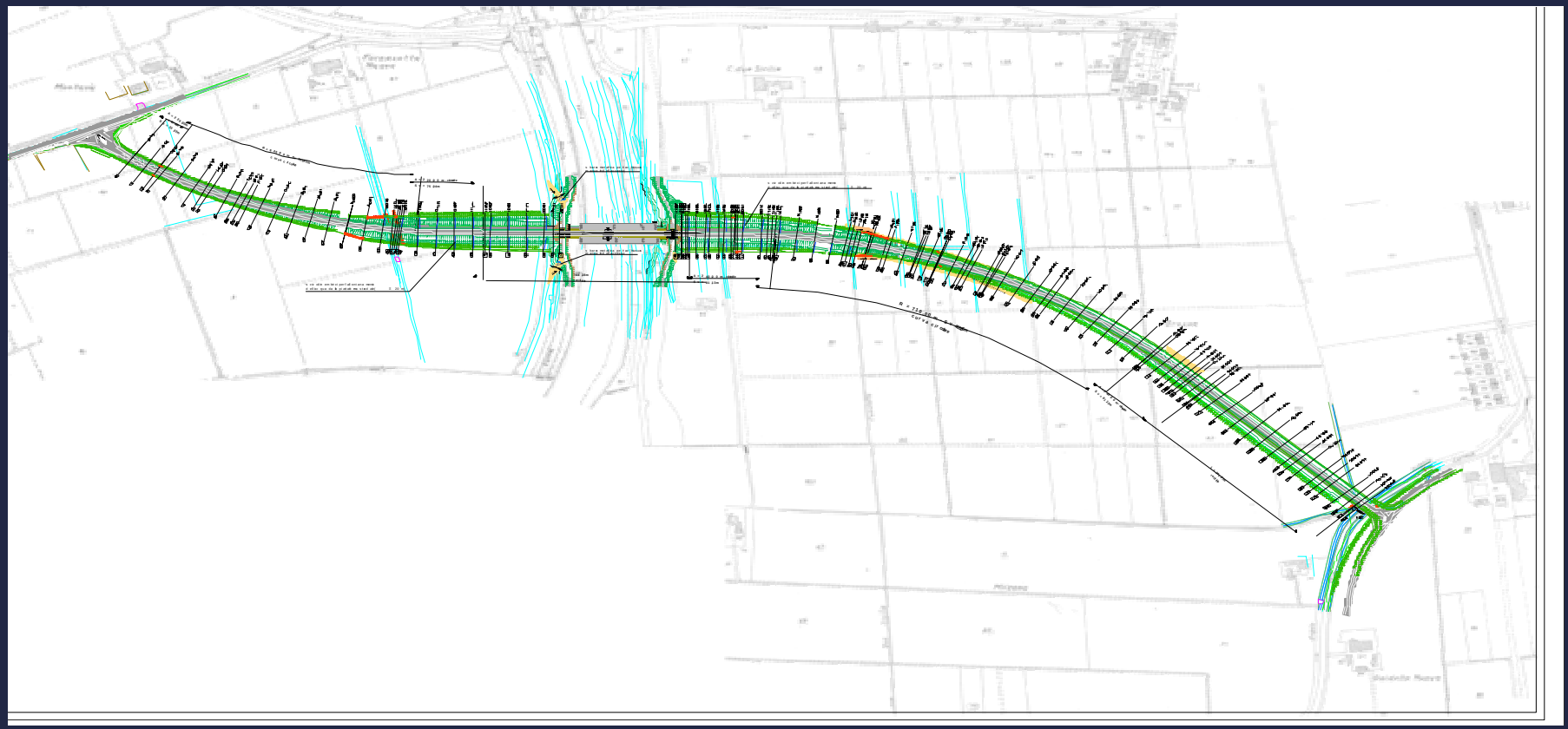
ROTATORIA sulla S.C. Palazzina in Comune di San Benedetto Po

PONTE sul fiume Secchia

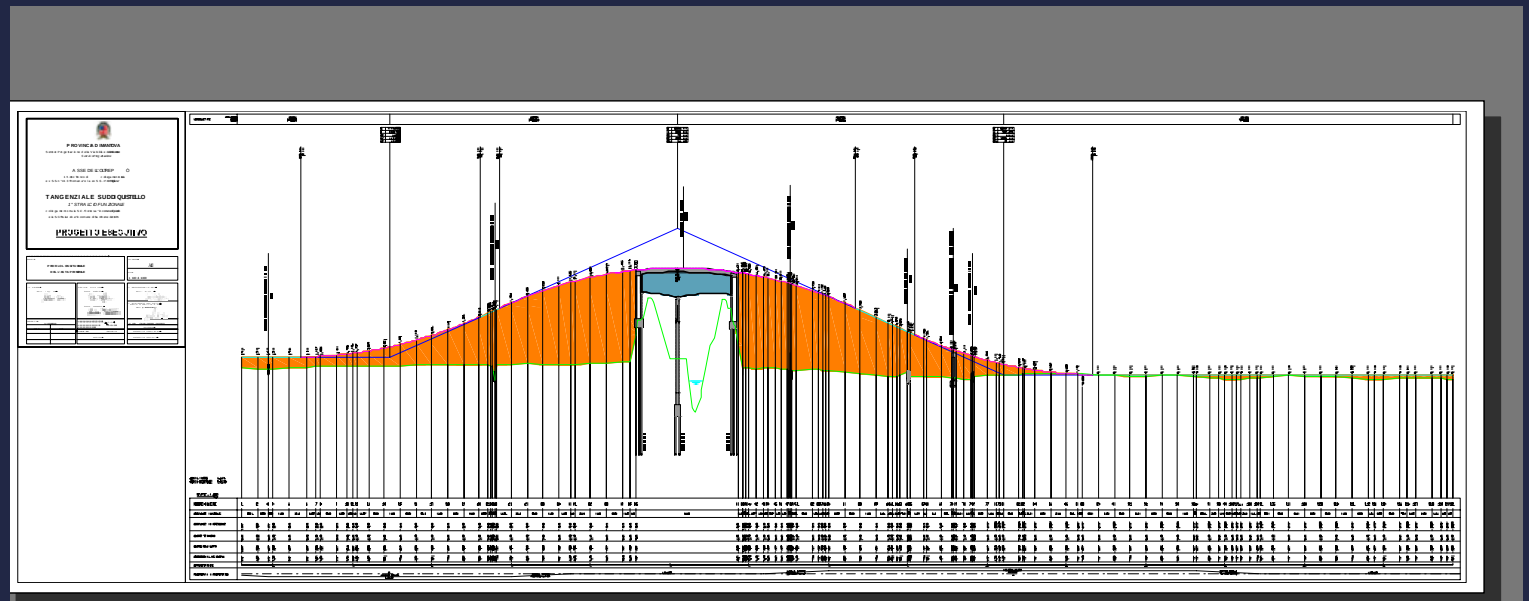
RILEVATI di accesso in terra da entrambi i lati degli argini

ROTATORIA sulla S.C. Cortesa in Comune di Quistello

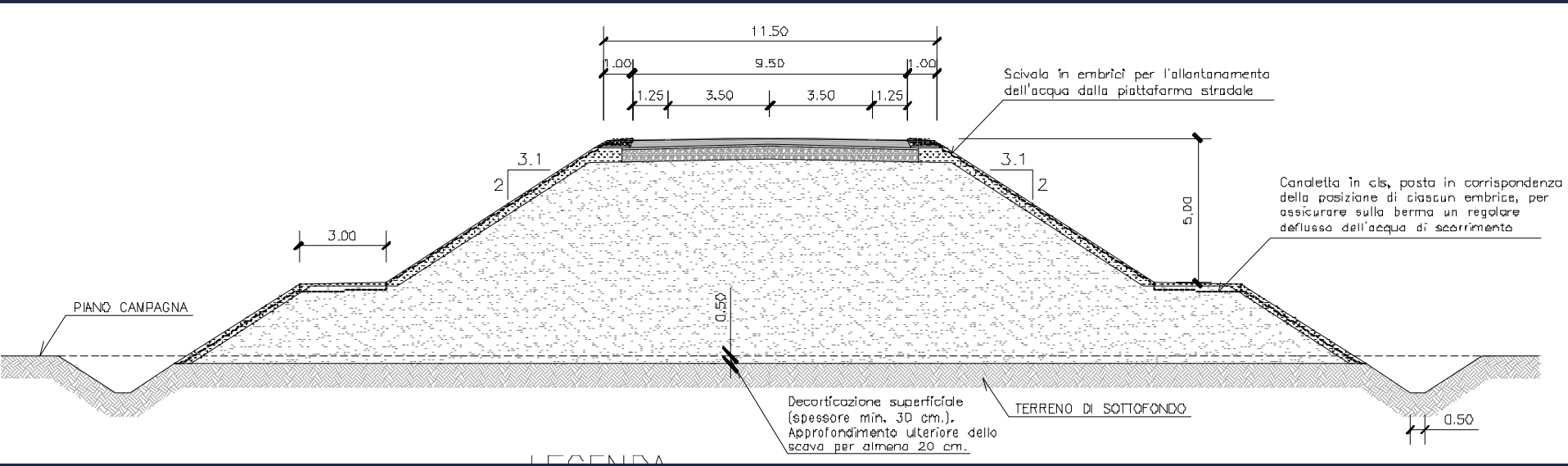
Planimetria di progetto



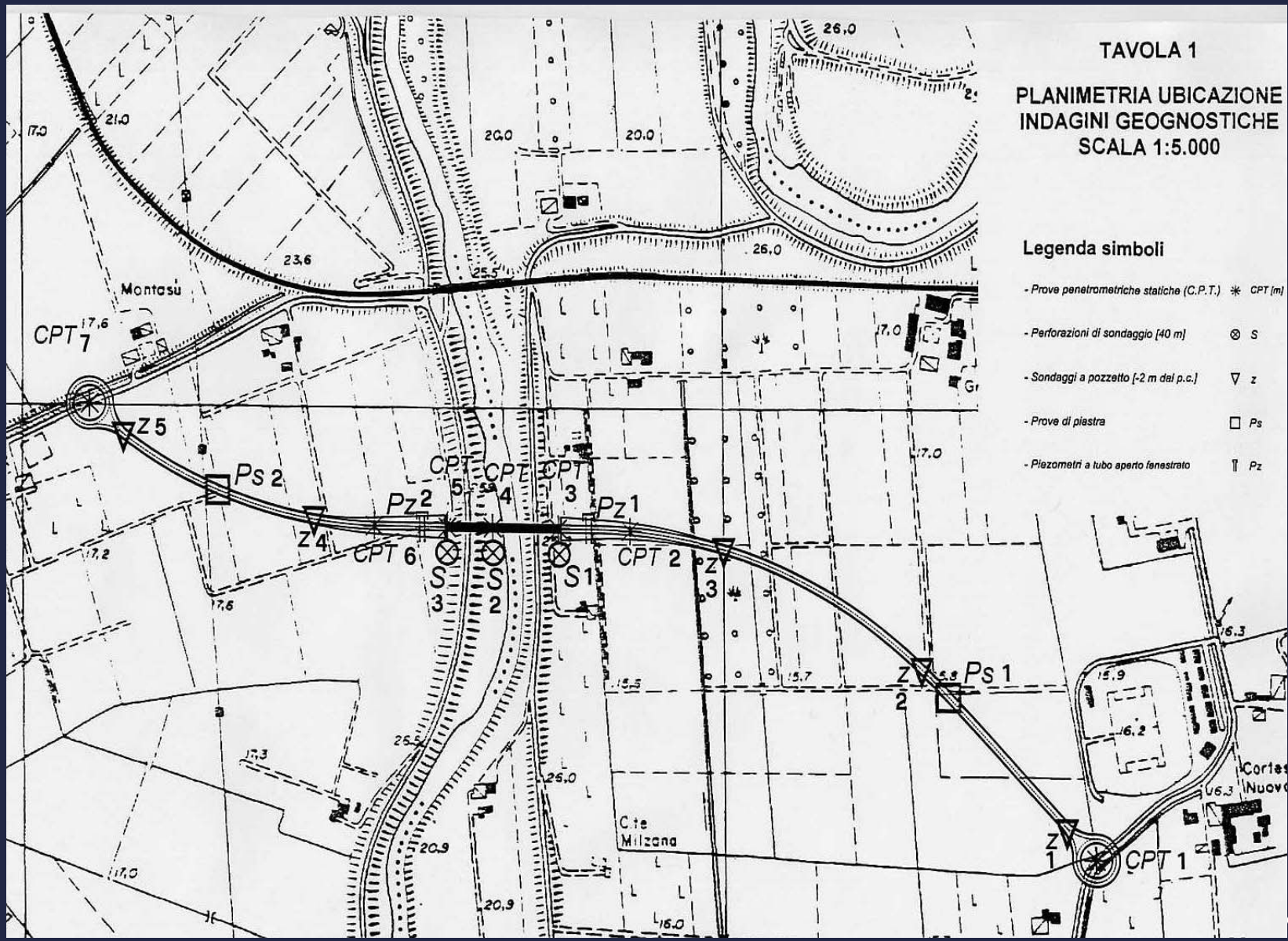
Profilo longitudinale



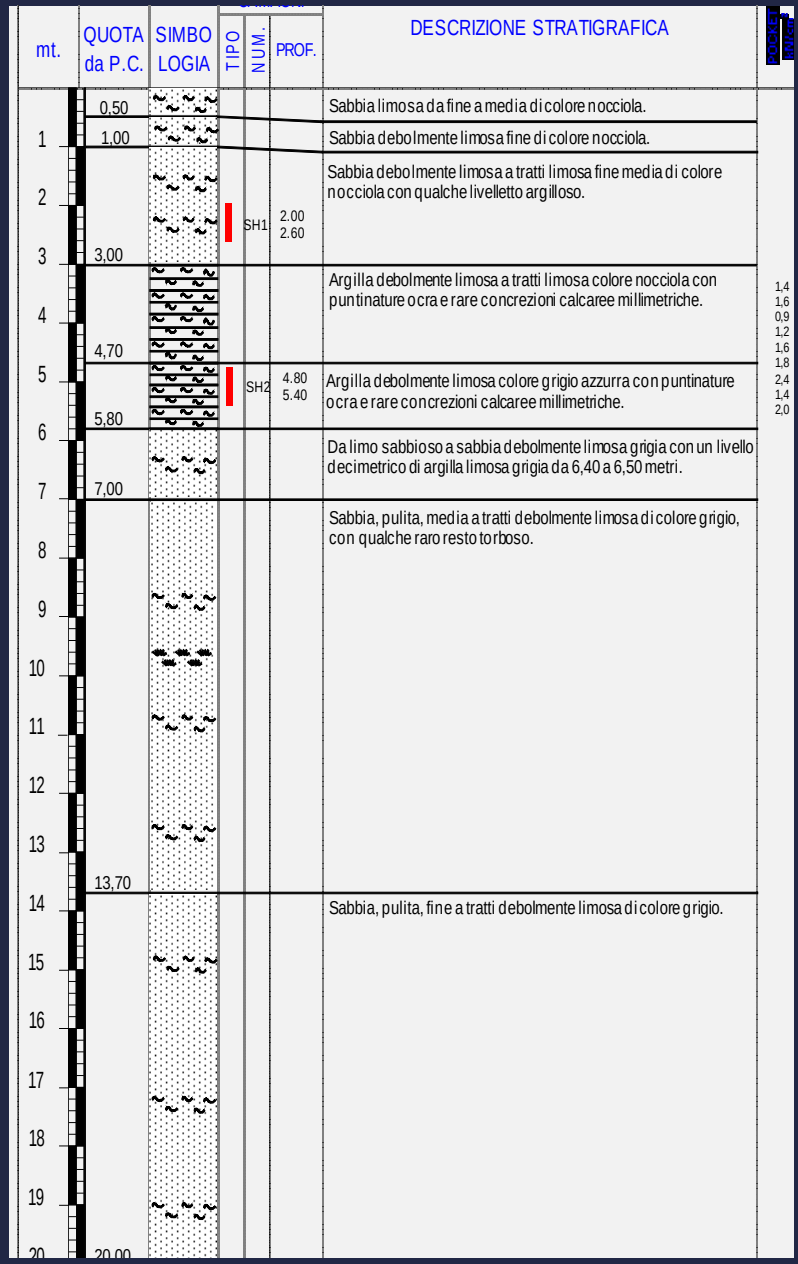
Sezione rilevato



Ubicazione prove geotecniche propedeutiche al progetto



Stratigrafia del sottosuolo in corrispondenza del rilevato



Parametri utilizzati per la modellazione geotecnica

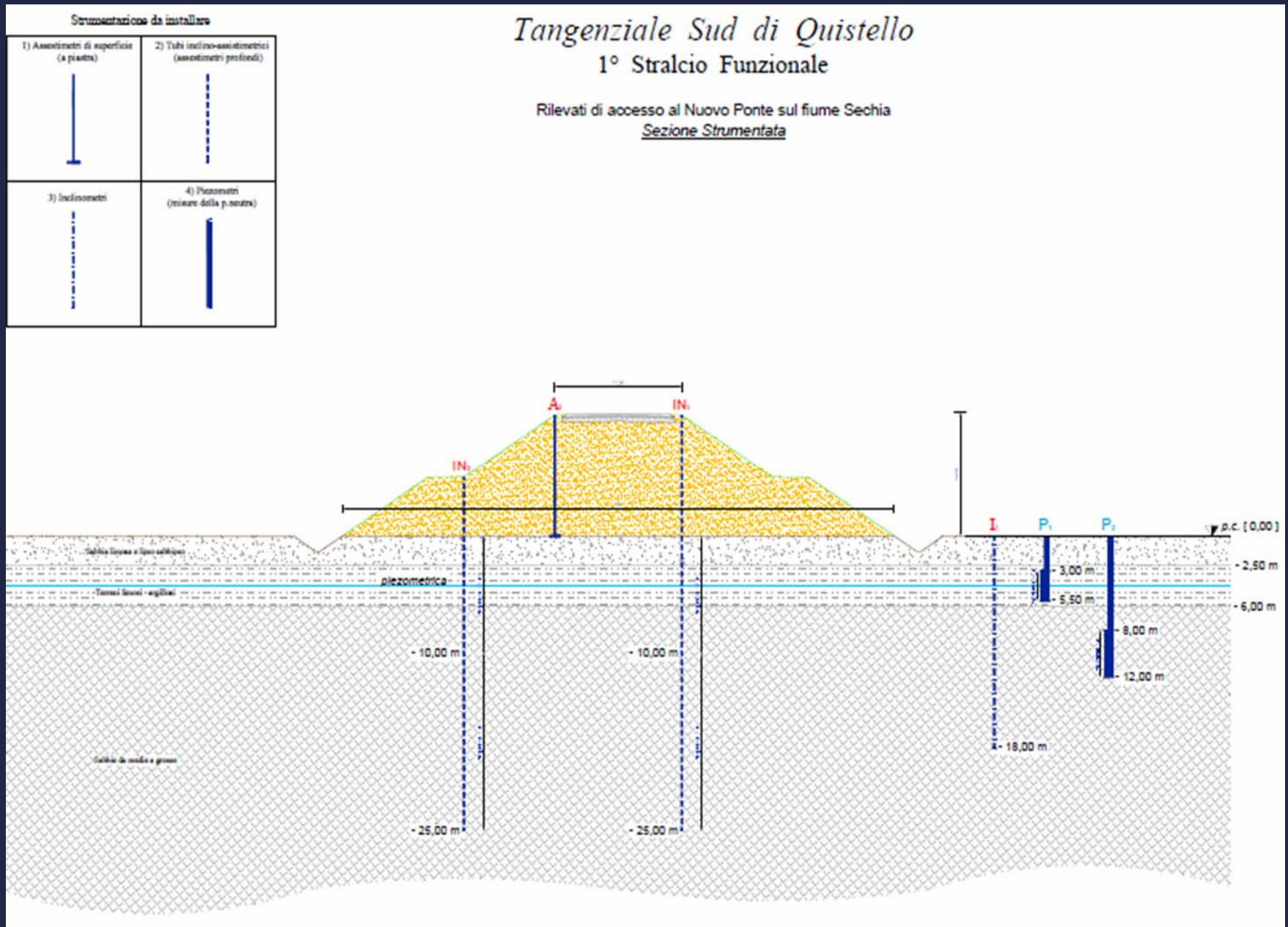
Profondità dello strato	**Parametri geotecnici identificati**			
Da 0,50 a – 2,50 m	*Classificazione granulometrica:*	*sabbia limosa e limo sabbioso*		
	Angolo di attrito efficace:	φ'	=	43 ÷ 45°
	Peso di volume efficace:	γ'	=	1,85 t/m^3
	Densità relativa:	D_r	=	70 ÷ 100 %
	Resistenza alla punta		=	31 ÷ 100 kg/cm^2
Da – 2,50 a – 6,00 m	*Classificazione granulometrica:*	*terreno limoso – argilloso*		
	Coesione non drenata:	Cu	=	0,40 ÷ 0,75 kg/cm^2
	Peso di volume efficace:	γ'	=	0,90 t/m^3
	Modulo edometrico:	M_{ed}	=	38 ÷ 56 kg/cm^2
	Resistenza alla punta		=	8 ÷ 18 kg/cm^2
Da – 6,00 a – 40,00 m	*Classificazione granulometrica:*	*sabbie da medie a grosse*		
	Angolo di attrito efficace:	φ'	=	38 ÷ 43°
	Peso di volume saturo:	γ_{sat}	=	1,07 t/m^3
	Densità relativa:	D_r	=	55 ÷ 75 %
	Resistenza alla punta		=	90 ÷ 240 kg/cm^2

Calcolo previsionale dei cedimenti

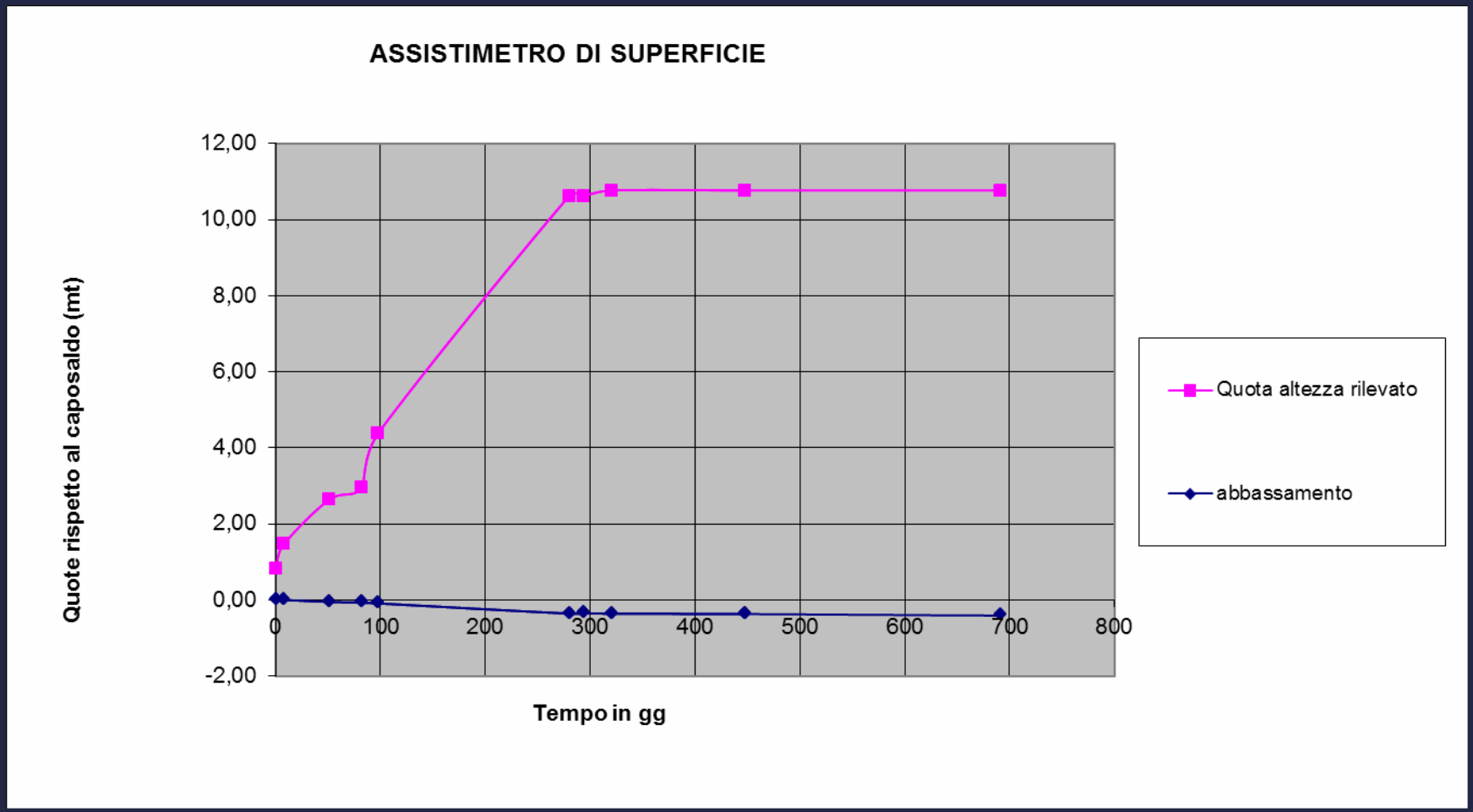
Cedimenti del rilevato lato Quistello

Sezione	*Base maggiore [m]*	*Base minore [m]*	*Altezza [m]*	*Cedimento totale in mezzeria [cm]*	*Cedimento immediato [cm]*	*Cedimento strati coerenti [cm]*	*Cedimento bordo sx [cm]*	*Cedimento bordo dx [cm]*
n° 1	55,32	11,50	12,10	32,92	16,33	16,59	– 9,80	– 9,79
n° 2	42,81	11,50	8,00	21,83	10,61	11,22	– 10,35	– 10,35
n° 3	36,41	11,50	6,00	15,54	7,83	7,71	– 10,70	– 10,63
n° 4	24,31	11,50	4,00	8,00	4,80	3,19	– 10,48	– 10,40
n° 5	18,11	11,50	2,00	4,56	2,22	2,33	– 5,57	– 5,53
n° 6	15,01	11,50	1,00	1,42	1,42	-	-	-

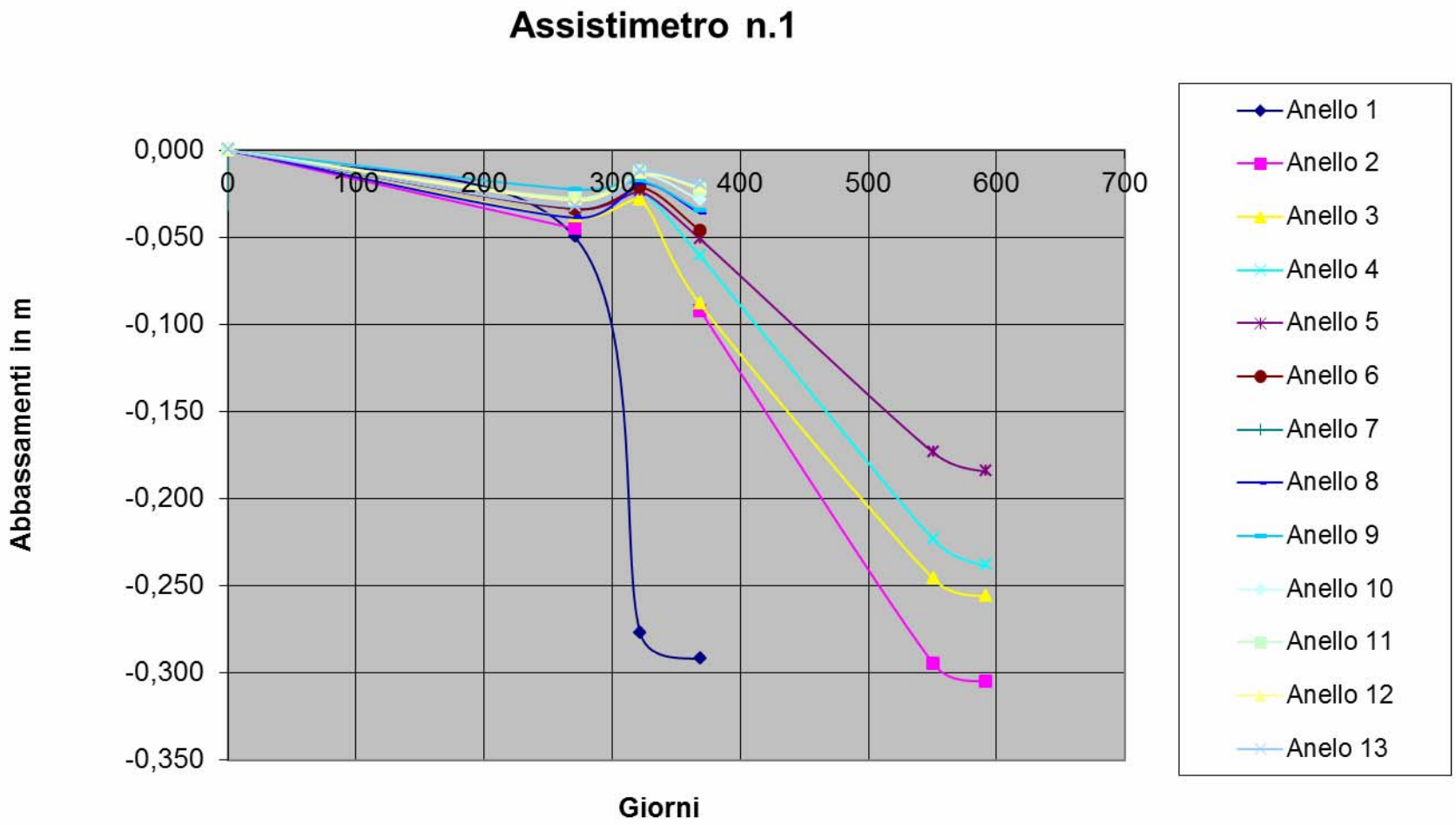
Sezione strumentata



Andamento dei lavori e decorso dei cedimenti misurati con assistimetro a piastra



Misure cedimenti a vari livelli di profondità



Cedimenti totali confronto tra previsioni e misure

CEDIMENTI PREVISTI FINALI

strati coesivi	strati granulari	Totale cm
metodo Terzaghi	metodo Schmertmann	
16,59	16,33	**32,92**

CEDIMENTI MISURATI DOPO 690 GG

Assistimetro a piastra	Assistimetro profondo	Assistimentro su ribanca
cm	cm	cm
41	**30,5**	**22**

CONCLUSIONI

- Grazie al rilievo eseguito mediante la strumentazione installata ed alla rappresentazione dei dati è stato possibile comparare le previsioni dei cedimenti nel tempo ed in profondità ottenuti dalle analisi numeriche e dai calcoli svolti con metodi tradizionali.
- Sebbene il periodo di osservazione post opera sia stato limitato, risulta che le previsioni numeriche, utilizzando il modello E L ed il modello E P (nel caso del lotto 0 della tangenziale di Mantova), catturano con buona approssimazione il comportamento reale del terreno e pure che i metodi di calcolo tradizionale sono validamente applicabili anche per fondazioni di rilevati stradali a geometria complessa su depositi molto eterogenei come i casi esaminati.

- **GRAZIE PER L’ATTENZIONE**