PROVINCIA DI MANTOVA

Servizio Progettazione Stradale, Ponti Strutture Complesse e Porto

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA BRETELLA DI COLLEGAMENTO TRA IL CASELLO AUTOSTRADALE DI MANTOVA NORD ED IL COMPARTO PRODUTTIVO "VALDARO"

2° STRALCIO
LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ASTA PRINCIPALE COL SOVRAPPASSO FERROVIARIO

CUP: G51B06000040003 - CIG: ZC617ABC09

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E INDAGINI IN SITO

ELABORATO	FORMATO
2	A4
SCALA	–
CODICE PROGETTO	

Rev.	Nome file	RELAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E INDAGINI IN SITO	Data	Redatto	Controllato	Approvato
C						
B						
A						
0		–				

IL PROGETTISTA

Ing. Giuliano Rossi

COLLABORAZIONI

Ing. Odino Rolli

Ing. Marco Guaita

Arch. Salvatore Mangione

Istr. Tec. Catia Bussolotti

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Antonio Covino

IL DIRIGENTE ad interim DEI LLPP

Dr. Giovanni Urbani

PROGETTO STRUTTURE E SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE STRADALE

STUDIO INGEGNERIA PIVETTA s.r.l.

VIALE DELL'INDUSTRIA n.38 – 37135 – VERONA

Tel./Fax. 045.582211/045.584411 – studio@ingegneriapivetta.it

Ing. Fausto Pivetta

PROVINCIA DI MANTOVA

SERVIZIO PROGETTAZIONE STRADALE, PONTI, STRUTTURE COMPLESSE E PORTO

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA BRETELLA DI COLLEGAMENTO TRA IL CASELLO AUTOSTRADALE DI MANTOVA NORD ED IL COMPARTO PRODUTTIVO "VALDARO"

2° STRALCIO LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ASTA PRINCIPALE COL SOVRAPPASSO FERROVIARIO

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Geologico Geotecnica e Indagini in Sito

Premessa

La relazione geologica-geotecnica, a firma del dott. F. Baraldi, allegata al progetto definitivo descrive le caratteristiche geologiche del sito all'interno del quale è prevista la realizzazione della nuova Bretella di collegamento tra il casello autostradale di Mantova Nord e la zona produttiva di Valdaro.

Detta relazione, oltre ad illustrare la situazione litostratigrafia locale, i lineamenti geomorfologici, la sismicità dell'area e lo schema della circolazione idrica sotterranea locale, presenta i risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio sui terreni interessati dai rilevati stradali e dalle fondazioni del sovrappasso ferroviario.

Il presente studio, sulla scorta delle informazioni già acquisite e riportate nella relazione citata, prende in esame i problemi geotecnici posti dalle opere in progetto e definisce i tipi di intervento per la realizzazione del rilevato stradale essendo le fondazioni già realizzate e collaudate suggerendo le indicazioni circa i procedimenti costruttivi da adottare soprattutto in situazioni particolari ed indica le prescrizioni tecniche ivi comprese quelle in relazione all'attività di monitoraggio e controllo in corso d'opera.

In particolare vengono presi in esame i seguenti aspetti:

1) verifica di stabilità delle scarpate anche alla luce della vigente normativa sismica;
2) previsione dei cedimenti con più metodi di calcolo;
3) qualità e provenienza dei materiali costituenti il rilevato e modalità di esecuzione dello stesso;
4) monitoraggio del comportamento del rilevato in corso d'opera e post opera.

Modellazione del terreno assunta alla base dei calcoli

Sulla base dei risultati delle indagini effettuate e dei criteri di valutazione di letteratura specializzata , si definisce la successione stratigrafica riportata nella tabella seguente con indicati i valori medi dei parametri fisico meccanici, relativi alle condizioni più critiche riscontrabili in corrispondenza della sezione del rilevato più elevata.

Profondità dello strato	**1) Parametri fisici e meccanici**		
Da 0,00 m a –0,40 m	**Terreno vegetale non considerato nel calcolo**		
da –0,40 a –1,50	**2) Formazione 1**	**Argilla limosa : 95% (A+L)**	
Riferimento a prova CTPU 4	qc=	Kpa	1160
	γ_{sat}	KN/mc	18.29
	Eu=	Kpa	2000
	Cu=	Kpa	48.4
	M0=	Kpa	6580
	OCR		3.6
	K=	Cm/sec	1*10^-7
da –1,50 a –4,40	**3) Formazione 2**	**Sabbia fine e media**	
Riferimento a prova CTPU 4 SPT in foro sondaggio 1	φ=	(°)	34
	$\gamma_{sat=}$	KN/mc	18.39
	Dr=	%	66
	OCR		2.4
	E'	Kpa	21290
	N SPT/30cm		46
	qc=	Kpa	13950
	K=	Cm/sec	1*10^-4
	M0=	Kpa	6280

da – 4,40 a – 6,40 mt	**4) Formazione 3**	**Argilla limosa e limo argilloso: 100% (A+L)**	
Riferimento prova: CPTU4 e SH1			
CPTU4	Cu=	Kpa	48.4
CPTU4	γ_{sat}	KN/mc	18.29
CPTU4	Eu	Kpa	2000
CPTU4	K=	Cm/sec	1*10^-7
CPTU4	M0=	Kpa	4970

CPT4	qc=	Kpa	1320
CPT4	OCR		2.5
Prova di lab.	I.P.		29
Prova di lab	WLL	%	52
Prova di lab	Wp	%	23
Prova di lab	Wn	%	41.9
Prova di lab	Eu25	Kpa	3295
Prova di lab	Eu50	Kpa	2000
Prova di lab	Cu=	Kpa	12.8
Prova di lab	Cv=	(-)	2.18*10^-3
Prova di lab	P'c=	Kpa	300
Prova di lab	eo=	(-)	0.893
Prova di lab	Cv=	Cm^2/sec	2.18^-3
Prova di lab	Cα=		5.84*10^-6
Prova di lab	M0=	Kpa	6000
Prova di lab	Cc=		0.119
Prova di lab	Cr=		0.20
Prova di lab	OCR		3,75
Prova di lab	Eu25	Kpa	1597
Prova di lab	Eu50	Kpa	989

da – 6,40 a – 18,40 mt	**5) Formazione 4**	**Sabbia fine e media**	
Riferimento a prova CTPU 4 SPT in foro sondaggio 1			
CPTU4	φ=	(°)	33
CPTU4	$\gamma_{sat=}$	KN/mc	18.5
CPTU4	Dr=	%	54
CPTU4	OCR		1.3
CPTU4	E'	Kpa	19880
CPTU4	qc=	Kpa	13990
CPTU4	K=	Cm/sec	1*10^-4
CPTU4	M0=	Kpa	5980

da – 18,40 a – 28,40 mt	**6) Formazione 5**	**Alternanze di argille e elimi sabbiosi: 99% (A+L)**	
Tipo di correlazione Riferimento prova:			
CPTU4	Cu=	Kpa	50
CPTU4	γ_{sat}	KN/mc	18
CPTU4	K=	Cm/sec	1*10^-8
CPTU4	M0=	Kpa	6000

CPTU4	qc=	Kpa	3000
CPTU4	OCR		1,00
Prova di lab SH2	I.P.		19
Prova di lab SH2	WLL	%	45
Prova di lab SH2	Wp	%	26
Prova di lab SH2	Wn	%	34.6
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Eu25	Kpa	**3850**
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Eu50	Kpa	2597
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Cu=	Kpa	23.62
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Cv=	(-)	1.24*10^-2
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	P'c=	Kpa	190
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	eo=	(-)	0.8062
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Cα=		1.29*10^-5
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	M0=	Kpa	6900
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Cc=		0.119
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	Cr=		0,138
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	OCR		1.1
Media SH2,SH3,SH4,SH5,SH6	K=	Cm/sec	2.91*10^-8

da –28,40 a –34,00	**7) Formazione 6**	**Sabbia fine e media**	
Riferimento a prova CTPU 4	φ=	(°)	32
	$\gamma_{sat=}$	KN/mc	18.63
	Dr=	%	61
	OCR		2.4
	E'	Kpa	32470
	qc=	Kpa	16210
	K=	Cm/sec	1*10^-3
	M0=	Kpa	8960

Geometria del rilevato

Il tratto di rilevato stradale oggetto di esame riguarda una sezione posta alla massima quota di mt 12,20 dove esso viene raccordato con la struttura del sovrappasso ferroviario.
Ai fini del calcolo di ogni sezione è stato preso in esame un tratto di lunghezza di mt 50,00.
Le caratteristiche geometriche della sezione trapezoidale più alta che da luogo ai maggiori cedimenti sono le seguenti:
Base maggiore B = 58,90 mt
Larghezza sommità terrapieno b= 26,35
Altezza massima H = 12,20 mt

Verifica della stabilità delle scarpate del rilevato – Descrizione del metodo

Le verifiche di stabilità sono state eseguite in condizioni sismiche, in accordo con le vigenti norme tecniche sulle costruzioni.
L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite in cui si usa una legge costitutiva del terreno semplificata , modello rigido perfettamente plastico , e si risolve il problema mediante un'equazione di equilibrio globale del terreno, considerato come un corpo rigido, sopra una superficie di scivolamento preliminarmente individuata.
Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (Φ) costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico , quindi si suppone valido il criterio di rottura Mohr Coulomb . Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento è definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata .
La valutazione della stabilità è stata condotta mediante il programma SlopeCad della Concrete , in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. In particolare , in questa sede si è fatto riferimento al metodo Bishop che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento circolari.

Si assume che la superficie di scivolamento possa essere assimilata ad un arco di circonferenza. Se si considera la massa interessata dallo scivolamento suddivisa in *n* conci,il fattore di sicurezza può essere espresso in termini di momenti generati dalle forze agenti sui singoli conci rispetto al centro della circonferenza stessa

$$FS = \frac{M_S}{M_R}$$

In cui MR è il momento delle forze ribaltanti pari a

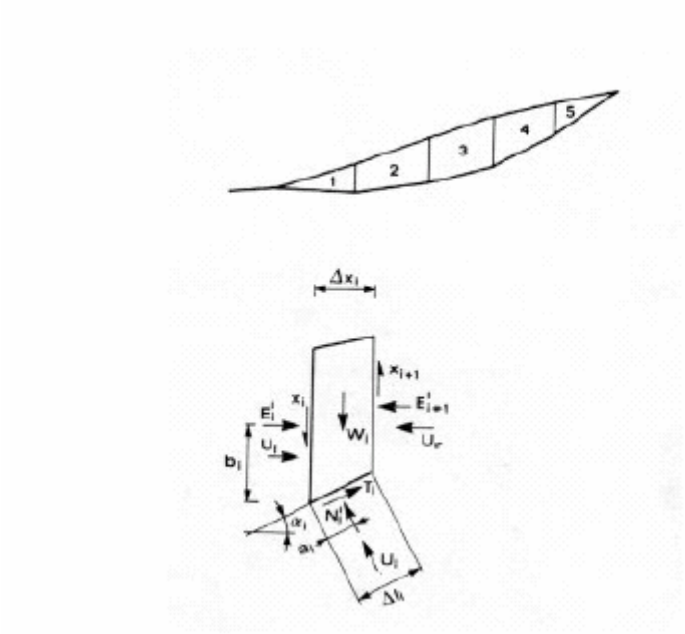
$$M_R = r \cdot \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot \sin \alpha_i$$

MS è il momento stabilizzante dato da

$$M_S = \sum_{i=1}^{n} \left(c + \sigma_i \cdot \tan \varphi_i\right) \cdot \Delta l_i$$

dove r e Δi l sono rispettivamente il raggio e la lunghezza della base del concio considerato.

Nel metodo di Bishop si assume che le azioni agenti all'interfaccia dei conci abbiano risultante orizzontale, perciò, se si esprime la resistenza mobilizzata Ti come un'aliquota della resistenza al taglio tramite il fattore di sicurezza FS (assunto uguale a quello dell'equazione generale), e si ricava Ni dall'equilibrio alla traslazione verticale:



$$N_i = \frac{W_i - u_i \cdot \Delta x_i - (1/FS) \cdot c \cdot \Delta x_i \cdot \tan\alpha_i}{\cos\alpha_i \cdot [1 + (\tan\alpha_i \cdot \tan\phi_i)/FS]}$$

ottenendo:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{n} [c \cdot \Delta x_i + (W_i - u_i \cdot \Delta x_i) \cdot \tan\phi_i] \cdot [1/M_i(\alpha)]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot \sin\alpha_i}$$

con

$$M_i(\alpha) = \cos\alpha_i \cdot \left(1 + \frac{\tan\alpha_i \cdot \tan\phi_i}{FS}\right)$$

Per la determinazione di FS è richiesta una procedura per successive approssimazioni: si fissa dapprima un valore di tentativo di FS pari ad 1 a secondo membro e si ricava un successivo valore da introdurre nelle sommatorie, fino a raggiungere attraverso iterazioni un grado di approssimazione pari a 0.001.

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo peseudostatico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuto all'accelerazione sismica (orizzontale e verticale. Tali valori dell'accelerazione sono valutati come una frazione di g ed i coefficienti moltiplicatori (Kv e Kx) variano con le caratteristiche della zona . Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni

interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Considerato un concio i-esimo si adotta la seguente simbologia:

- W= peso del concio
- c = coesione alla base del concio
- u = pressione neutrale alla base del concio
- α= angolo alla base del concio
- ϕ= angolo d'attrito interno alla base del concio
- σ = sforzo normale alla base del concio
- ΔX = larghezza del concio
- Δl = lunghezza della base del concio
- FS = fattore di sicurezza

Si assume che la superficie di scivolamento possa essere assimilata ad un arco di circonferenza. Se si considera la massa interessata dallo scivolamento suddivisa in *n* conci, il fattore di sicurezza può essere espresso in termini di momenti generati dalle forze agenti sui singoli conci rispetto al centro della circonferenza stessa

$$FS = \frac{M_S}{M_R}$$

in cui M_R è il momento delle forze ribaltanti pari a

$$M_R = r \cdot \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot \sin \alpha_i$$

M_S è il momento stabilizzante dato da

$$M_S = r \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(c + \sigma_i \cdot \tan \phi_i\right) \cdot \Delta l_i$$

dove r rappresenta il raggio dell'arco di circonferenza considerato. Nel metodo di Bishop si assume che le azioni agenti all'interfaccia dei conci abbiano risultante orizzontale, per cui, se si esprime T_i come un'aliquota della resistenza al taglio tramite il fattore di sicurezza FS (assunto uguale a quello dell'equazione generale), e si ricava N_i dall'equilibrio alla traslazione verticale:

$$N_i = \frac{W_i - u_i \cdot \Delta x_i - (1/FS) \cdot c \cdot \Delta x_i \cdot \tan\alpha_i}{\cos\alpha_i \cdot [1 + (\tan\alpha_i \cdot \tan\phi_i)/FS]}$$

si ottiene:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{n} [c \cdot \Delta x_i + (W_i - u_i \cdot \Delta x_i) \cdot \tan\alpha_i] \cdot [1/M_i(\alpha)]}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot \sin\alpha_i}$$

con

$$M_i(\alpha) = \cos\alpha_i \cdot \left(1 + \frac{\tan\alpha_i \cdot \tan\phi_i}{FS_i}\right)$$

Per la determinazione di FS è richiesta una procedura per successive approssimazioni: si fissa dapprima un valore di tentativo di FS, calcolato secondo il metodo di Fellenius, e si ricava un successivo valore da introdurre nelle sommatorie, fino a raggiungere attraverso iterazioni un grado di approssimazione pari a 0,001.

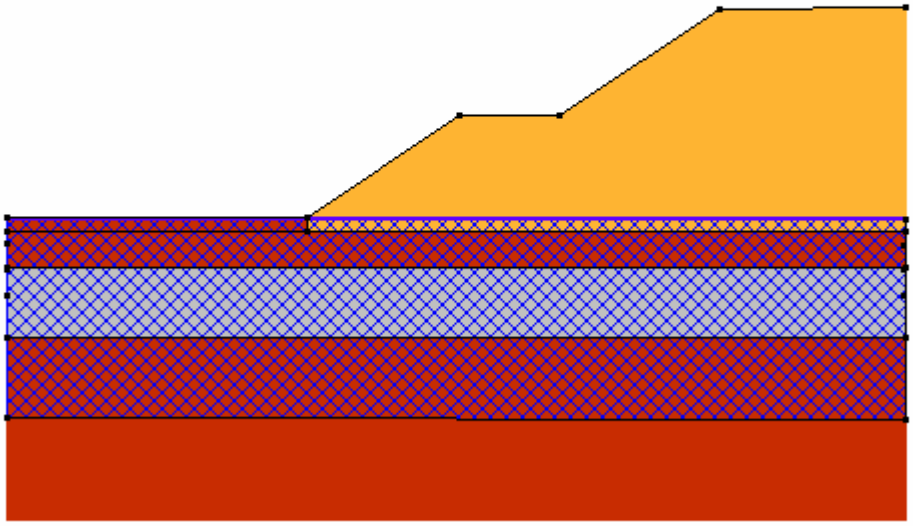
Verifica della stabilità delle scarpate del rilevato – Dati di base

1 Tabella dei terreni

N	Denominazione	Gamma sat	Gamma sec	Ang.attrito (ridotto secondo tab. 6.2.II – coeff. M2 delle NTC)	Coesione (ridotto secondo tab. 6.2.II – coeff. M2 delle NTC)
		daN/m^3	daN/m^3	(gradi)	daN/cm^2
1	Rilevato	2150	1950	32,00	0,05
2	Argilla superficiale	1950	1800	22,00	0,387
3	Sabbia limosa superficiale	2000	1900	28,35	0,05
4	Argilla intermedia	1950	1800	22,00	0,387

2 Geometria degli strati

Vengono mostrate in forma tabellare le sequenze di punti che costituiscono le poligonali di separazione degli strati di terreno.



Strato n.1, materiale sottostante: Argilla superficiale

Progressivo	N.	X	Y
		Cm	Cm
1	1	-1500	1930
2	3	0	1930

Strato n.2, materiale sottostante: Sabbia limosa superficiale

Progressivo	N.	X	Y
		Cm	cm
1	3	0	1930
2	4	0	2000

Strato n.3, materiale sottostante: Argilla intermedia

Progressivo	N.	X	Y
		cm	Cm
1	3	0	1930
2	2	3000	1930

Strato n.4, materiale sottostante: Ghiaia

Progressivo	N.	X	Y
		cm	cm
1	4	0	2000
2	5	765	2510
3	6	1265	2510
4	7	2065	3040
5	8	3000	3050

Strato n.5, materiale sottostante: Sabbia limosa superficiale

Progressivo	N.	X	Y
		cm	cm
1	15	-1500	1750
2	16	3000	1750

Strato n.6, materiale sottostante: Argilla intermedia

Progressivo	N.	X	Y
		cm	cm
1	17	-1500	1400
2	18	3000	1400

Strato n.7, Rilevato

Progressivo	N.	X	Y
		cm	cm
1	19	-1500	2000
2	4	0	2000

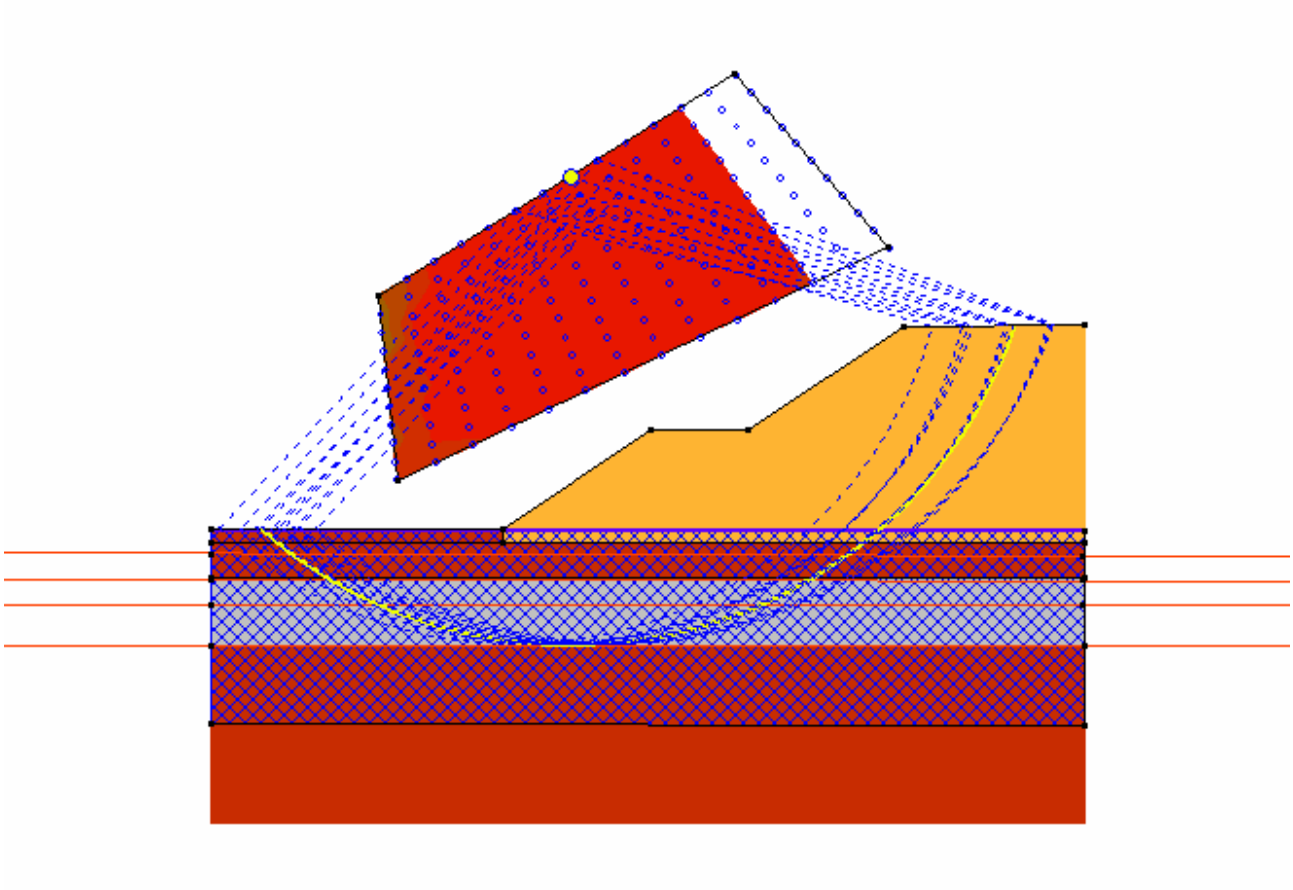
Normativa sismica

Sono stati adottati i seguenti parametri sismici, ai sensi del punto 7.11.3 delle NTC:

Accelerazione orizzontale massima : 0.05

Parametro S: 1

Verifica della stabilità delle scarpate del rilevato – Risultati di verifica



I risultati di verifica sono esplicitati in forma estesa in appendice.

Il valore minimo del fattore di sicurezza riscontrato è pari a:

FS = 1,27

Tale valore minimo del fattore di sicurezza risulta superiore al valore minimo richiesto dalla tab. 6.8.I delle NTC

R2 = 1,1

Calcolo dei cedimenti del rilevato stradale - Metodologia adottata

Come si evince dalle stratigrafie dei sondaggi S1,S2,S3 ed S4 di cui alla relazione geologico geotecnica allegata al progetto definitivo, se si trascura lo strato superficiale di terreno pedogenizzato, il sottosuolo è in gran parte costituito da alternanze di materiali coerenti ed incoerenti.

Il calcolo dei cedimenti è stato effettuato comparando due metodi diversi di calcolo. Sono stati utilizzati **i metodi tradizionali** basati sulla teoria della consolidazione e sulle prove edometriche per i terreni coesivi ed il metodo di Schmertmann per gli strati granulare del sottosuolo mentre, per quanto riguarda **i metodi numerici,** è stato utilizzato il codice di calcolo ad FEM per l'analisi del comportamento del terreno sotto carico. Esso proviene da un software commerciale abbastanza diffuso, sia in campo applicativo che in ambito di ricerca, "Sigma W" della della Geo-Slope International Ltd il quale ha in sé implementato una serie di relazioni costitutive dei materiali che possono essere direttamente utilizzate: modello elastico-lineare, elastico non lineare, Elasto Plastico, modello Cam-clay e Cam-clay modificato .

I risultati dell'analisi previsionale riguardano l'abbassamento del piano di posa del rilevato in mezzeria dalla fine dei lavori, cioè a carico completato ed altezza di progetto raggiunta, come somma degli schiacciamenti dei singoli strati granulari e coesivi considerati tra il piano di posa e la profondità di m 30, al di sotto della quale tali schiacciamenti diventano irrilevanti. Essi sono esposti in sintesi nella tabella 5 che riporta i valori dei cedimenti finali.

Le deformazioni delle formazioni coesive sono state calcolate secondo l'approccio convenzionale che consta di due fasi :

a)valutazione delle tensioni verticali indotte alle varie profondità usando la teoria dell'elasticità ;

b)calcolo dei cedimenti facendo riferimento ai parametri di compressibilità ricavati da prove edometriche previa verifica delle condizioni per l'applicabilità al caso specifico di detti parametri.

Essendo la base del rilevato (larghezza sezione rilevato =59,00 m circa) molto maggiore dello spessore dello strato compressibile sia di quello superficiale (2,00 m) sia di quello più

profondo (10,00 m) ed il carico applicato ripartito in maniera costante, sono verificate le condizioni per l'utilizzo del modulo edometrico in quanto le deformazioni laterali sono impedite così come avviene nella consolidazione monodimensionale della prova edometrica.

Il cedimento finale per una deformazione verticale di uno strato di potenza H , tenendo conto solo dell'effetto delle tensioni verticali $\Delta\sigma z$, deriva dalla somma del cedimento immediato e del cedimento di consolidazione: entrambi questi cedimenti possono essere calcolati separatamente.

Cedimenti immediati:

$Si=(q*B/Eu)* \mu o* \mu 1$ nella quale:

Si = cedimento immediato

Eu = modulo di deformazioni in condizioni non drenate

B= base della fondazione

q = pressione trasmessa al terreno

μ_o, $\mu_{1=}$ coefficienti correttivi dipendenti dalla forma e profondità del piano di posa della fondazione e dallo spessore dello strato compressibile (Christian e Carrier,1978) dedotti dalla figura seguente.

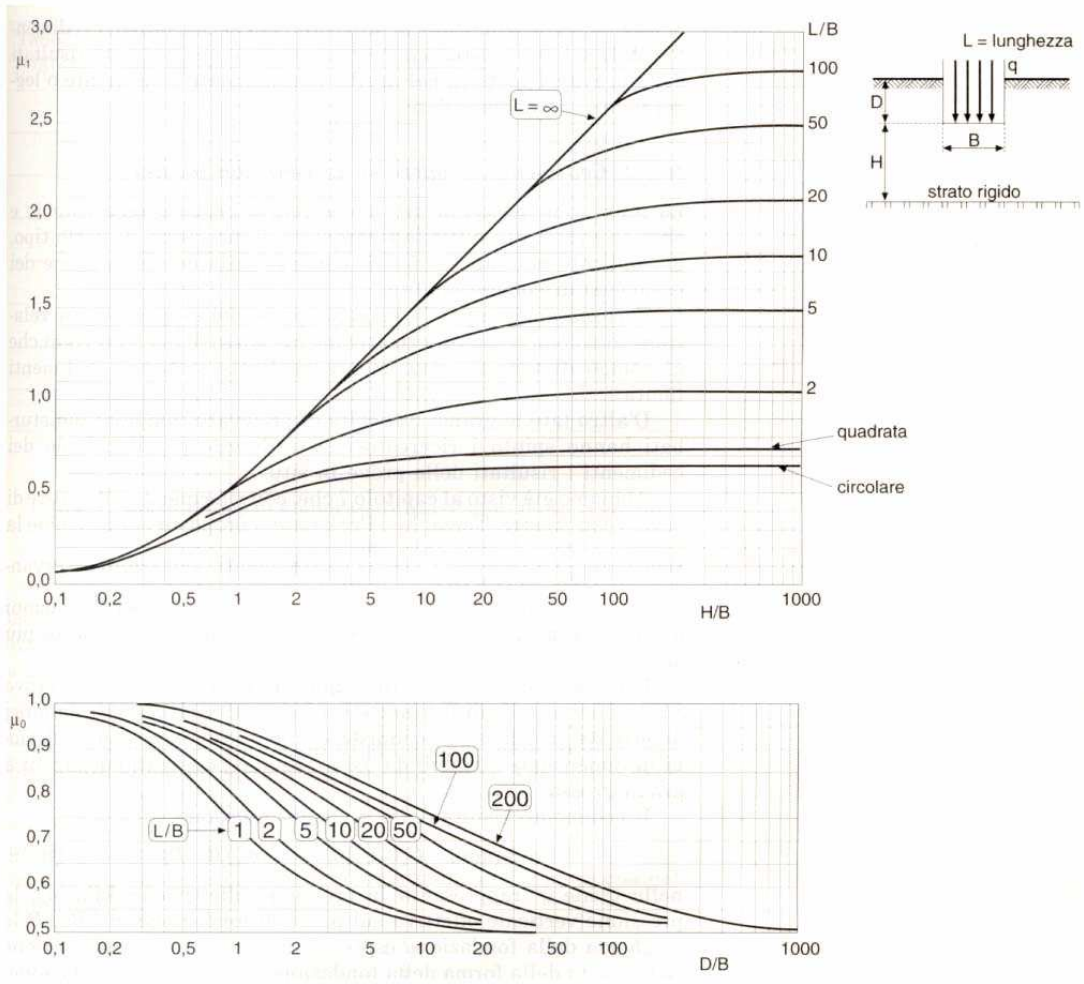


Fig. 1- Fattori μ_o, μ_1 per il calcolo del cedimento immediato di fondazioni su un'argilla satura

I cedimenti di consolidazione per gli strati coesivi sono stati calcolati secondo la seguente relazione:

a) se $\sigma'_c = \sigma'_{v0}$ (terreno N.C.):

$$\Delta H_i = \frac{H_i}{(1+e_0)} \cdot C_c \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}\right)$$

b) se $\sigma'_c > (\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v)$:

$$\Delta H_i = \frac{H_i}{(1+e_0)} \cdot C_s \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}\right)$$

c) se $(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v) > \sigma'_c > \sigma'_{v0}$:

$$\Delta H_i = \frac{H_i}{(1+e_0)} \cdot \left[C_s \cdot \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}}\right) + C_c \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_c}\right)\right]$$

utilizzando i valori Cc, Cr, eo delle prove edometriche di laboratorio ed applicando una correzione μ (fig. n.2) in funzione del parametro delle pressioni interstiziali A e della geometria del problema.

$$S_c = \mu \cdot S_{ed}$$

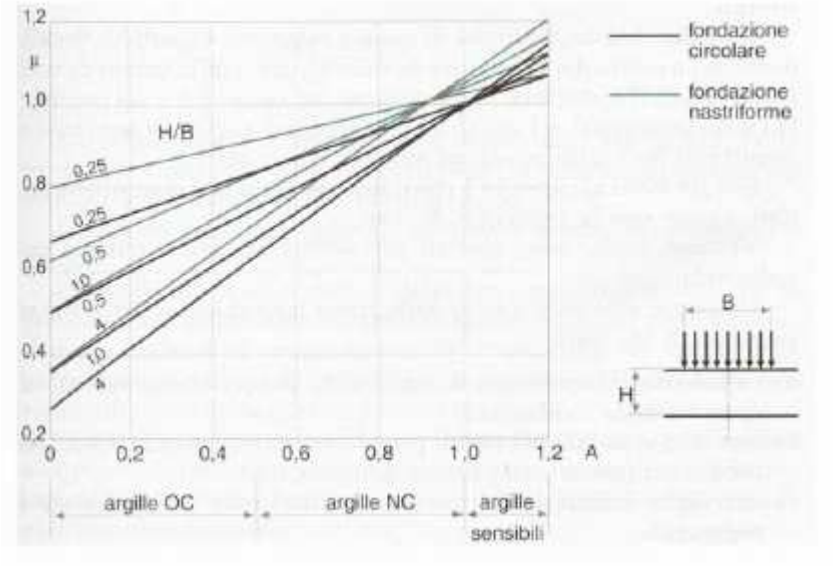


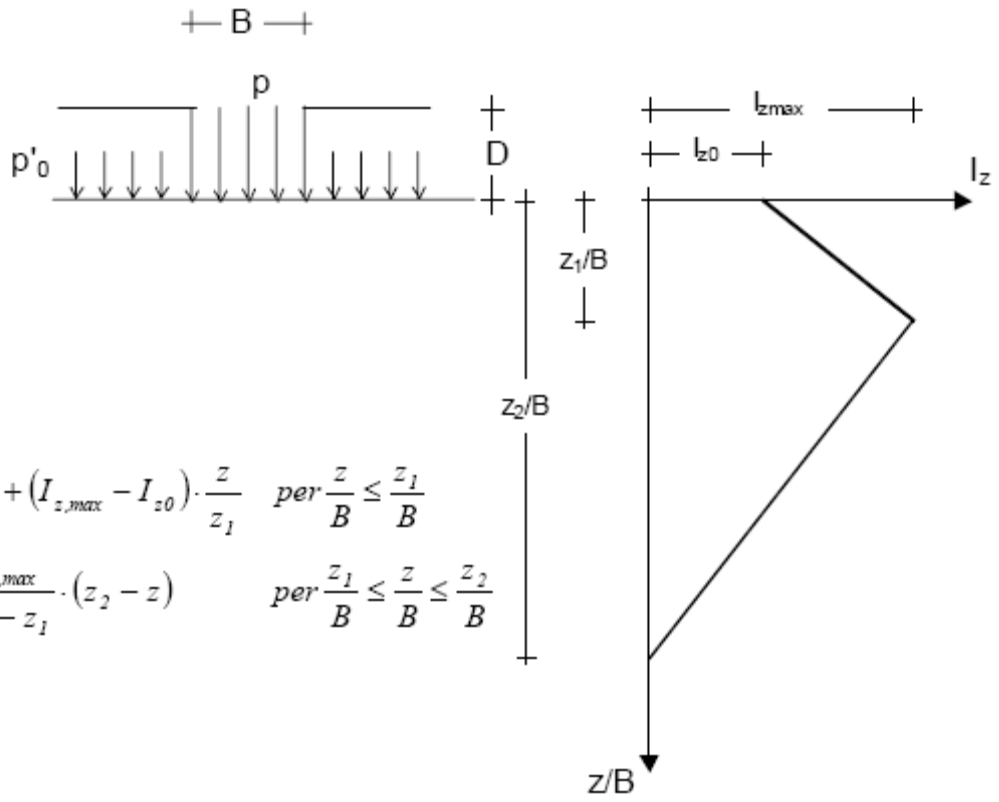
Fig. 2- Correzione del cedimento edometrico proposta da Skempton e Bjerrum (1957)

Invece di determinare il cedimento immediato e di consolidazione separatamente come detto sopra è possibile stimare **il cedimento immediato come quota parte di quello finale** pari cioè a circa il **10%** del cedimento di consolidazione ,e quindi **St=1,1*Sc.**
Questo metodo è stato applicato nel nostro caso per semplicità di calcolo.
Per quanto riguarda i cedimenti degli strati granulari è stato utilizzato il metodo di Schmertmann facendo riferimento alle prove penetrometriche statiche più prossime alla sezione del rilevato in esame e quindi assumendo valori medi della q_c in corrispondenza dello strato granulare di interesse.
Il metodo di Schmertmann consente di stimare il cedimento di fondazioni superficiali su sabbia utilizzando il profilo di resistenza penetrometrica di punta, qc, di una prova CPT.
Con riferimento allo schema sotto riportato , il cedimento della fondazione è stimato con l'equazione:

$$S = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_3} \cdot \Delta p \cdot \sum_{0}^{z_2} \frac{I_z \cdot \Delta z}{q_c}$$

in cui:

$\Delta p = p - p'_0$	è la pressione media netta applicata dalla fondazione,
p	è la pressione trasmessa dalla fondazione,
p'_0	è la pressione efficace alla profondità del piano di fondazione,
z_2	è la profondità significativa, ovvero la profondità massima dal piano fondazione del terreno che contribuisce al cedimento,
Δz	è il generico strato in cui si è suddiviso lo spessore z_2 di terreno, che al limite può coincidere con l'intervallo di campionamento della prova,
q_c	è la resistenza di punta media dello strato Δz
Iz	è un fattore di influenza della deformazione verticale media, la cui variazione con la profondità è rappresentata nella figura sottostante,
C1	è un fattore che dipende dalla profondità del piano di fondazione,
C2	è un fattore di viscosità,
C3	è un fattore che dipende dalla forma dell'area di carico.



$$I_z = I_{z0} + \left(I_{z,max} - I_{z0}\right) \cdot \frac{z}{z_1} \qquad per\ \frac{z}{B} \le \frac{z_1}{B}$$

$$I_z = \frac{I_{z,max}}{z_2 - z_1} \cdot \left(z_2 - z\right) \qquad per\ \frac{z_1}{B} \le \frac{z}{B} \le \frac{z_2}{B}$$

I fattori e le variabili che compaiono nell'equazione sopra indicata sono calcolati con riferimento alle seguenti formule e ai valori riportati in tab. 2

$$C_1 = 1 - 0{,}5 \cdot \frac{p_0}{\Delta p} \ge 0{,}5$$

$$C_2 = 1 + 0{,}2 \cdot \log_{10} 10t$$

essendo t il tempo dalla fine della costruzione espresso in anni;

$$I_{z,max} = 0{,}5 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{\Delta p}{\sigma'_v}\right)^{0{,}5}$$

essendo σ'_v la tensione verticale efficace alla profondità z_1.

Forma dell'area di carico	*Striscia (B/L = 0)*	*Quadrato (B/L = 1)*	*Rettangolo (0<B/L<1)*
I_{z0}	0,2	0,1	$0{,}2 - 0{,}1 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)$
$\frac{z_1}{B}$	1	0,5	$1 - 0{,}5 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)$
$\frac{z_2}{B}$	4	2	$4 - 2 \cdot \left(\frac{B}{L}\right)$
C_3	3,5	2,5	$3{,}5 - \left(\frac{B}{L}\right)$

Tab. 2 – Valori dei parametri z1, z2 e C3 che compaiono nell'equazione 16.12 al variare della forma della fondazione

La somma dei cedimenti così calcolati sarà poi stata messa a confronto con il valore del cedimento calcolato con metodi numerici.

Per quanto riguarda i tempi, si osserva che il cedimento dovuto alla compressione degli strati granulari si esaurisce immediatamente mentre la quota parte dovuto alla consolidazione si sviluppa in un periodo piuttosto lungo.

Si è inoltre cercato di calcolare il decorso nel tempo delle deformazioni locali dei due strati compressibili applicando la teoria di consolidazione del Terzaghi con l'assunzione dei coefficienti di consolidazione Cv derivanti dalle prove di laboratorio sui campioni indisturbati.

Calcolo dei cedimenti del rilevato stradale - Determinazione delle tensioni alle varie profondità con i metodi tradizionali

Per quanto riguarda la distribuzione delle tensioni nel terreno bisogna considerare che i rilevati sono strutture che producono notevoli incrementi di carico nel terreno di fondazione

Si è ipotizzato che il rilevato costituisca una struttura di fondazione ad impronta nastriforme priva di resistenza flessionale.

La distribuzione delle tensioni in profondità sono state ottenute con buona approssimazione ricorrendo alla teoria dell'elasticità per la quale il terreno cedevole è stato considerato elastico , omogeneo ed isotropo con modulo costante.

Il volume di terreno considerato per il calcolo delle tensioni indotte è stato limitato alla profondità di mt 50,00 , corrispondente alla larghezza della base maggiore del rilevato.

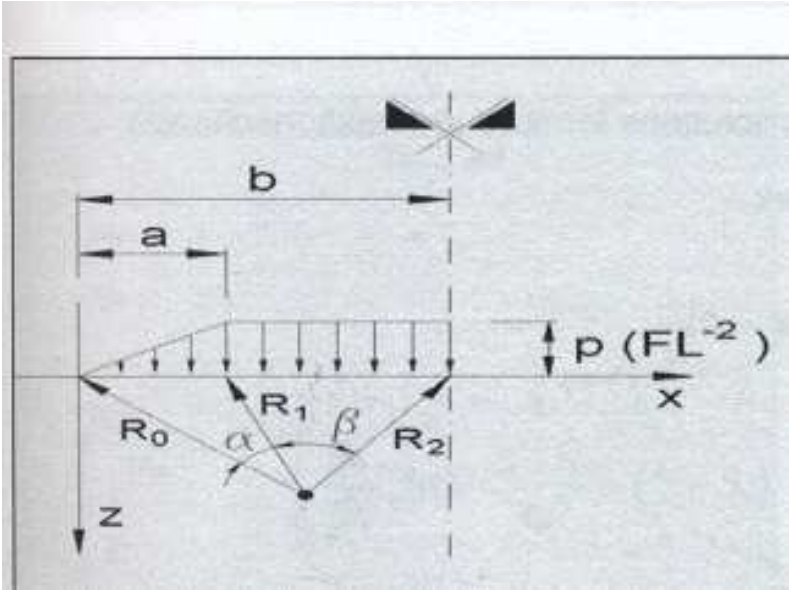
Le tensioni indotte sono state calcolate tramite la soluzione di POULOS E DAVIS (1974) in mezzeria ed al bordo superiore della sezione trapezoidale secondo lo schema della fig. 3.

Nelle tabelle e nei grafici sottostanti si possono così distinguere la distribuzione della tensione verticale **σz** e la tensione orizzontale **σ x** in funzione della profondità **z** dal p.c. sotto un carico q del perso del rilevato alla massima altezza

Determinazione delle tensioni indotte alle varie profondità in corrispondenza del punto di mezzeria della sezione

sovraccarico dovuto al p.p. del rilevato		25,242	H=	12,02
sovraccarico distribuito dovuto al traffico (t/mq)		1		
p=pM+pm	carico totale (t/mq)	26,24		
			Kpa	
	Kg/cmq=	2,624	=	262,4

b=	32,02
a=	18,84
delta h= altezza concio	2
R2=z	x=b



$$\sigma_z = \frac{p}{\pi}\cdot\left[\beta + \frac{x\cdot\alpha}{a} - \frac{z}{R_2^2}(x-b)\right]$$

$$\sigma_x = \frac{p}{\pi}\cdot\left[\beta + \frac{x\cdot\alpha}{a} + \frac{z}{R_2^2}(x-b) + \frac{2\cdot z}{a}\cdot \log_e\frac{R_1}{R_0}\right]$$

Soluzione elastica per ricavare al tensione σz in funzione della profondità dal p.c.

Determinazione delle tensioni indotte alle varie profondità in corrispondenza del punto di mezzeria della sezione POULOS E DAVIS (1974)

TABELLA DI CALCOLO

z	α	α +β	α	σz	R1	Ro	σ x
1,00	1,4951	1,5396	0,0445	262,4020	13,2179	32,0356	246,7020
2,00	1,4202	1,5084	0,0882	262,3048	13,3309	32,0824	231,1550
3,00	1,3470	1,4774	0,1304	262,0479	13,5171	32,1602	215,9324
4,00	1,2761	1,4465	0,1704	261,5664	13,7736	32,2689	201,1733
6,00	1,1436	1,3856	0,2420	259,7494	14,4815	32,5773	173,4801
7,00	1,0826	1,3556	0,2730	258,3655	14,9236	32,7762	160,6955
8,00	1,0253	1,3260	0,3007	256,6582	15,4179	33,0042	148,6754
10,00	0,9217	1,2681	0,3464	252,3248	16,5443	33,5452	126,9674
12,00	0,8322	1,2122	0,3800	246,9258	17,8245	34,1947	108,2775
14,00	0,7552	1,1586	0,4034	240,7003	19,2279	34,9468	92,3597
16,00	0,6891	1,1074	0,4183	233,8932	20,7295	35,7950	78,8935

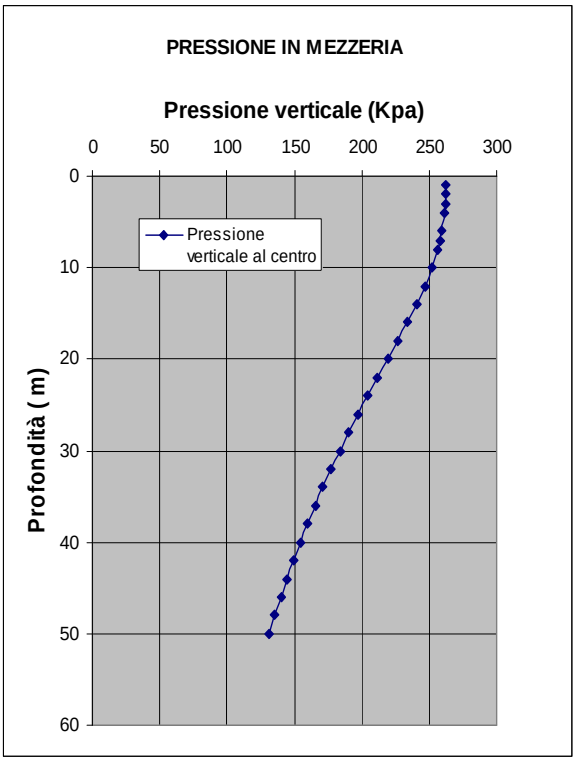
18,00	0,6320	1,0587	0,4266	226,7239	22,3095	36,7326	67,5433
20,00	0,5827	1,0125	0,4298	219,3750	23,9523	37,7529	57,9915
22,00	0,5398	0,9688	0,4290	211,9904	25,6459	38,8495	49,9531
24,00	0,5022	0,9276	0,4254	204,6792	27,3809	40,0160	43,1809
26,00	0,4692	0,8888	0,4196	197,5205	29,1498	41,2466	37,4646
28,00	0,4399	0,8523	0,4123	190,5699	30,9469	42,5356	32,6276
30,00	0,4139	0,8180	0,4040	183,8640	32,7676	43,8780	28,5229
32,00	0,3907	0,7857	0,3950	177,4252	34,6080	45,2690	25,0287
34,00	0,3698	0,7554	0,3856	171,2651	36,4652	46,7042	22,0442
36,00	0,3510	0,7270	0,3760	165,3872	38,3368	48,1797	19,4863
38,00	0,3339	0,7002	0,3663	159,7896	40,2208	49,6919	17,2863
40,00	0,3183	0,6750	0,3567	154,4661	42,1155	51,2375	15,3873
42,00	0,3041	0,6514	0,3473	149,4079	44,0195	52,8136	13,7426
44,00	0,2910	0,6291	0,3381	144,6044	45,9316	54,4176	12,3130
46,00	0,2790	0,6081	0,3290	140,0440	47,8509	56,0471	11,0661
48,00	0,2680	0,5883	0,3203	135,7145	49,7766	57,6999	9,9751
50,00	0,2577	0,5696	0,3119	131,6037	51,7080	59,3741	9,0172

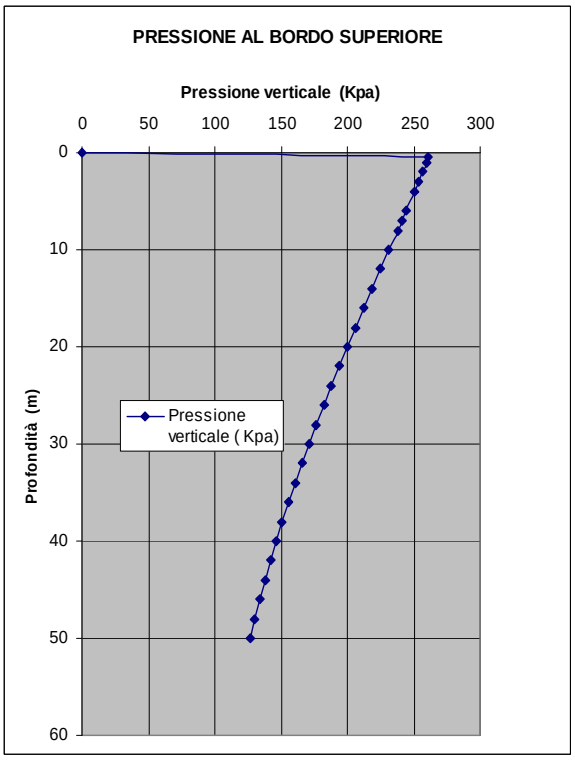
Determinazione delle tensioni indotte alle varie profondità in corrispondenza del punto di bordo superiore della sezione

TABELLA DI CALCOLO

z	α	α +β	β	R2	σz	R1	Ro	σ x
0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000
0,50	1,5443	1,5552	0,0109	32,0239	260,8811	18,8466	0,5000	32,9342
1,00	1,5178	1,5396	0,0218	32,0356	259,3459	18,8665	1,0000	53,5911
2,00	1,4650	1,5084	0,0434	32,0824	256,2734	18,9459	2,0000	82,7188
3,00	1,4129	1,4774	0,0645	32,1602	253,1962	19,0774	3,0000	102,8080
4,00	1,3616	1,4465	0,0849	32,2689	250,1125	19,2599	4,0000	117,2259
6,00	1,2625	1,3856	0,1231	32,5773	243,9191	19,7723	6,0000	135,0068
7,00	1,2151	1,3556	0,1405	32,7762	240,8076	20,0984	7,0000	140,0632
8,00	1,1692	1,3260	0,1567	33,0042	237,6857	20,4682	8,0000	143,2939
10,00	1,0828	1,2681	0,1853	33,5452	231,4131	21,3295	10,0000	145,7229
12,00	1,0037	1,2122	0,2086	34,1947	225,1113	22,3371	12,0000	144,4781
14,00	0,9317	1,1586	0,2269	34,9468	218,7980	23,4722	14,0000	140,9665
16,00	0,8667	1,1074	0,2407	35,7950	212,4967	24,7173	16,0000	136,1180
18,00	0,8082	1,0587	0,2505	36,7326	206,2348	26,0566	18,0000	130,5508
20,00	0,7555	1,0125	0,2569	37,7529	200,0408	27,4763	20,0000	124,6731
22,00	0,7082	0,9688	0,2606	38,8495	193,9422	28,9646	22,0000	118,7503
24,00	0,6655	0,9276	0,2621	40,0160	187,9646	30,5114	24,0000	112,9503
26,00	0,6271	0,8888	0,2617	41,2466	182,1297	32,1083	26,0000	107,3750
28,00	0,5923	0,8523	0,2600	42,5356	176,4558	33,7483	28,0000	102,0814
30,00	0,5608	0,8180	0,2572	43,8780	170,9567	35,4252	30,0000	97,0971
32,00	0,5321	0,7857	0,2536	45,2690	165,6425	37,1342	32,0000	92,4301
34,00	0,5060	0,7554	0,2494	46,7042	160,5198	38,8709	34,0000	88,0761

36,00	0,4821	0,7270	0,2448	48,1797	155,5918	40,6318	36,0000	84,0232
38,00	0,4603	0,7002	0,2399	49,6919	150,8594	42,4140	38,0000	80,2552
40,00	0,4402	0,6750	0,2349	51,2375	146,3209	44,2148	40,0000	76,7536
42,00	0,4217	0,6514	0,2297	52,8136	141,9733	46,0320	42,0000	73,4995
44,00	0,4046	0,6291	0,2245	54,4176	137,8118	47,8638	44,0000	70,4738
46,00	0,3887	0,6081	0,2194	56,0471	133,8310	49,7086	46,0000	67,6582
48,00	0,3740	0,5883	0,2143	57,6999	130,0246	51,5650	48,0000	65,0355
50,00	0,3603	0,5696	0,2092	59,3741	126,3858	53,4317	50,0000	62,5895





Calcolo dei cedimenti del rilevato stradale - Determinazione entità cedimento finale

A) I risultati della analisi dei cedimenti calcolati con **metodi tradizionali** sono dettagliatamente riportati nelle seguenti tabelle:

Previsione dei cedimenti finali degli strati limosi argillosi come somma di cedimenti di consolidazione e cedimenti iniziali										
da a	**prof. a 1/2 strato**	**Spess**	**S_{ed}**	**Corr.**	**S_c**				**Si_i**	**$S_t = S_i + S_c$**
0	1,5	0,75	1,4	**0,00**	0,9	**0,00**		**0,01**	**0,01**	0
4,4	6,4	5,4	2	**0,09**	0,75	**0,07**			**0,01**	**0,08**
18,4	28,4	23,4	10	**0,03**	0,75	**0,02**			**0,003**	**0,023**
									Tot (m)	**0,113**

Previsione dei cedimenti finali degli strati incoerenti e coesivi come somma di cedimenti di consolidazione, cedimenti iniziali in corrispondenza del piano di appoggio del rilevato			
cedimento ai BORDI	cedimento in MEZZERIA (coerenti)	cedimento in MEZZERIA (incoerenti)	cedimento in MEZZERIA (TOTALE)
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
12,79	11,3	14,27	25,57

Calcolo dei cedimenti del rilevato stradale - Con l'ausilio di metodi numerici implementati da programma di calcolo

Con i metodi numerici la distribuzione delle tensioni in profondità sono state ottenute mediante la modellazione con leggi costitutive già implementate nel programma che possono meglio rappresentare il comportamento tenso deformativi dei terreni in esame.

I due modelli utilizzati per la riproduzione del comportamento meccanico sono :

8) Elastico Lineare;
9) Elastico perfettamente Plastico;

I modelli Elastico Lineare, ed Elastico perfettamente Plastico sono stati scelti alternativamente per rappresentare il comportamento degli strati sabbiosi incoerenti ed il comportamento dei limi argillosi e argille limose.

Il rilevato, costituito da materiale granulare ben addensato e compattato è stato descritto con il modello Elastico Lineare.

Per la discretizzazione del dominio è stata costruita una mesh di n. elementi quadrilateri caratterizzati da 4 punti di integrazione e nodi (fig.4).

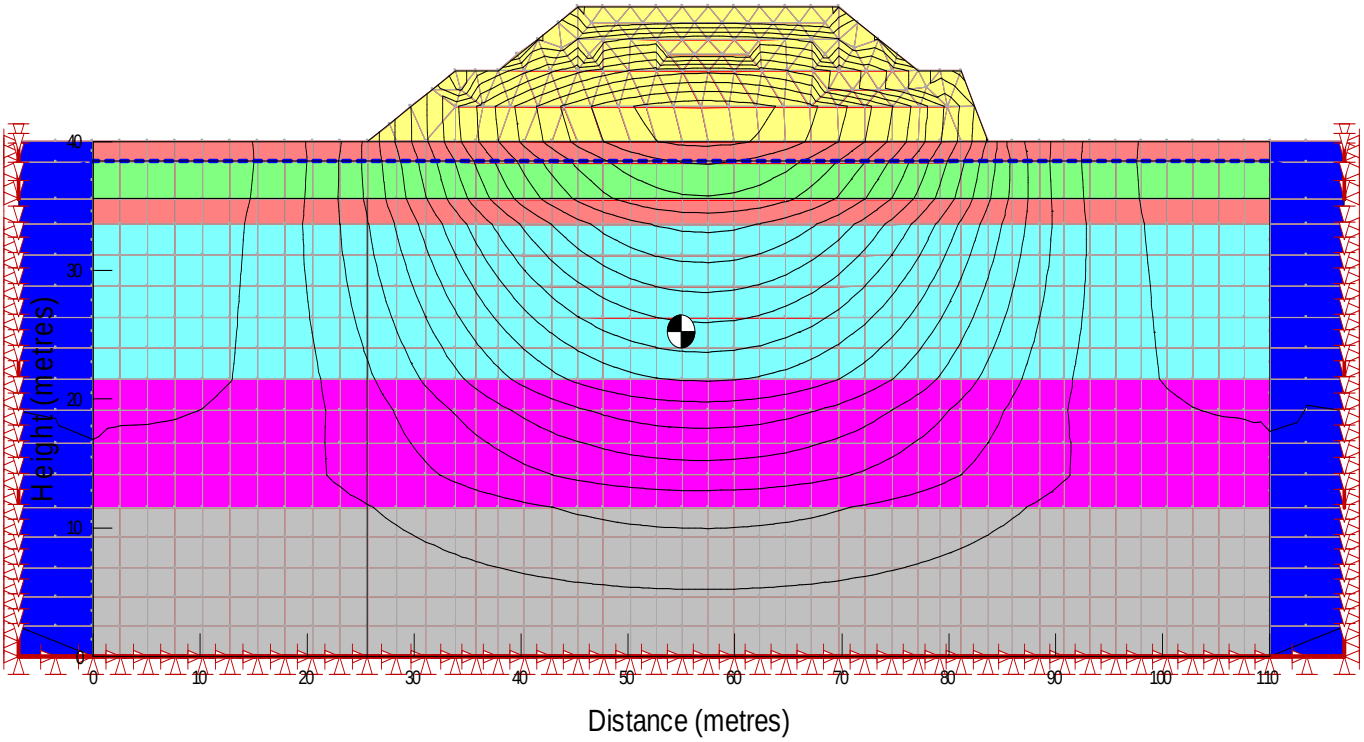
L'analisi è sta condotta in forma accoppiata per analizzare l'interazione idrodinamica fluido-solido ed i suoi effetti sulla evoluzione dei cedimenti nel tempo assegnando al terreno i valori di permeabilità misurati in laboratorio. Le analisi sono state condotte in condizioni bidimensionali.

Le condizioni al contorno sono mostrate nella figura n. 4.

Nella tabella 1 sono stati raccolti i parametri costitutivi e le proprietà idrauliche utilizzate per descrivere il comportamento meccanico ed idraulico dei materiali considerati. Essi derivano in parte da indagini in sito ed parte da esami di laboratorio.

Date le caratteristiche dei terreni di fondazione le analisi numeriche sono state principalmente condotte in condizioni drenate , attivando in tempi distinti e successivi i singoli strati di terreno costituenti il rilevato , in accordo con i tempi effettivi di costruzione e di permanenza del carico.

In seguito è riportata la discretizzazione del dominio nell'analisi FEM:



I risultati della analisi dei cedimenti sono dettagliatamente riportati nelle seguenti tabelle:

Strato	Materiale	Modello costitutivo	Cedimento finale in mezzeria cm	Cedimento finale bordo sup. cm	Cedimento a tempo infinito cm
1^ ipotesi					
1	Coesivo	E.P.			
2	granulare	E.L.			
3	coesivo	E.P.			
4	granulare	E.L.			
5	coesivo	E.P.			
6	granulare	E.L.	**29,02**	**26,03**	**29,95**

Strato	Materiale	Modello costitutivo	Cedimento finale in mezzeria cm	Cedimento finale bordo sup. cm	Cedimento a tempo infinito cm
2^ ipotesi					
1	Coesivo	E.P.			
2	granulare	E.P			
3	coesivo	E.P			
4	granulare	E.P			
5	coesivo	E.P			
6	granulare	E.P	**29,17**	**26,10**	**30,10**

Strato	Materiale	Modello costitutivo	Cedimento finale in mezzeria cm	Cedimento finale bordo sup. cm	Cedimento a tempo infinito cm
3^ ipotesi					
1	Coesivo	E.L.			
2	granulare	E.L.			
3	coesivo	E.L.			
4	granulare	E.L.			
5	coesivo	E.L.			
6	granulare	E.L.	**29,03**	**25,17**	**29,96**

I risultati forniti dai due metodi di calcolo (tab n. 5 e n. 6), anche se sono da intendersi puramente indicativi in quanto i modelli utilizzati presuppongono delle condizioni che nella realtà possono non essere verificate, sono molto simili e lo scostamento è di un ordine di grandezza accettabile, tenuto conto delle approssimazioni e della diversità di approccio di metodologia di calcolo .

Inoltre la validità della previsione dipende dalla possibilità di determinazione del parametri meccanici (E_u,M_o,C_c,Cr,K, cv, ecc.) di comportamento che siano rappresentativi delle condizioni reali del terreno. Tale possibilità è influenzata dalla storia tensionale del terreno e dal disturbo del campione prelevato per le prove di laboratorio.

Il risultato finale rimane sempre rappresentativo di un piccolo volume di terreno, mentre la velocità dei processi di consolidazione in sito è marcatamente influenzata dalle

caratteristiche strutturali difficilmente riproducibili in laboratorio , e dalle condizioni di drenaggio a volte non ben identificate.

Calcolo dei cedimenti del rilevato stradale - Valutazione della loro evoluzione nel tempo

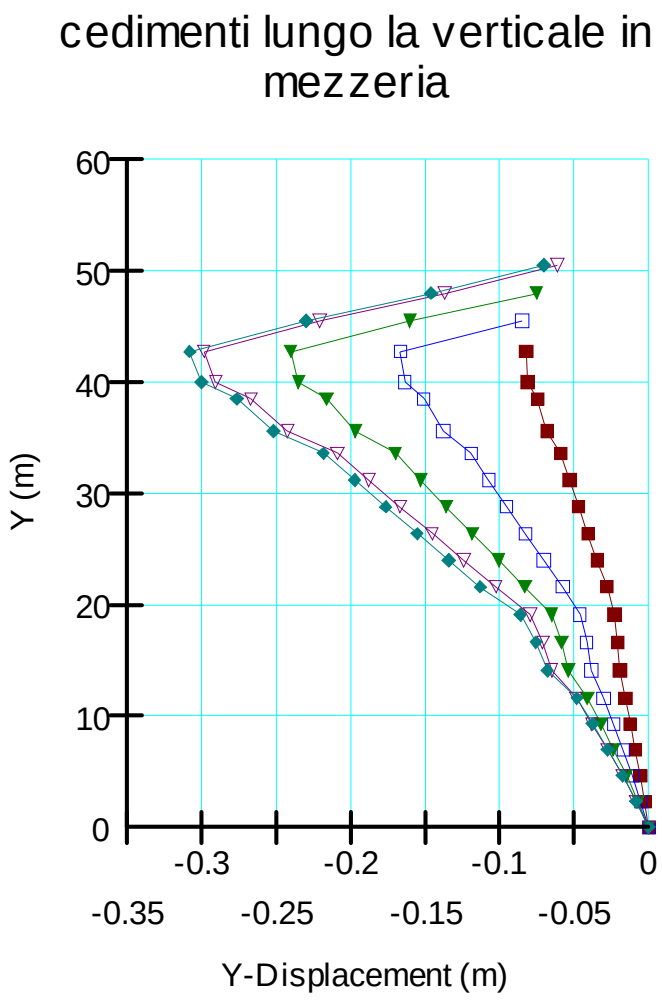
Come dato di base si assume l'evoluzione nel tempo dell'avanzamento dei rilevati sintetizzato nella tabella seguente.

Fase di avanzamento	% di avanzamento del rilevato in altezza	Tempo di avanzamento (giorni)
1	25 %	30
2	50 %	60
3	75 %	90
4	100 %	120
5	100 %	Infinito

Nel grafico seguente sono riportati in ascissa i cedimenti calcolati dal programma lungo l'asse verticale del rilevato , per ciascuna delle fasi sopra descritte, mentre in ordinata è riportato lo sviluppo in altezza del modello.

Si precisa che l'origine del sistema di riferimento dello sviluppo in altezza del modello, non coincide con il terreno ma con lo strato più profondo.

Il piano di campagna si trova pertanto in corrispondenza all'ordinata pari a 42 m.



I simboli grafici associati a ciascuna fase sono riportati nella seguente tabella.

Fase di avanzamento	Tempo di avanzamento (giorni)	Simbolo grafico
1	30	Quadrati vuoti
2	60	Triangoli pieni
3	90	Triangoli vuoti
4	120	Rombi pieni
5	Infinito	Rombi vuoti

Dal suddetto grafico si evince come la differenza tra il cedimento a 120 giorni (ultimazione del rilevato) e il cedimento a tempo infinito sia par a 1 cm.
Da ciò si deduce che solo una piccola aliquota del cedimento di consolidazione, pari a 1 cm, è differito nel tempo oltre il completamento del rilevato.
Pertanto si prevede che tale cedimento residuo, di piccola entità, non comprometta la funzionalità della struttura.

Monitoraggio in corso d'opera dei cedimenti

Nel rilevato in oggetto sono previste due sezioni strumentate trasversali di monitoraggio in corrispondenza della massima altezza , nei pressi delle spalle del sovrappasso.
Nella sezioni strumentate verrà installata la seguente strumentazione:
n. 1 caposaldo posto ad oltre 50 mt di distanza dal bordo del rilevato, da considerarsi come riferimento fisso.
n. 2 inclino-assestimetri magnetici profondi tipo BRS multibase ubicato nel corpo del rilevato infissi alla profondità di mt 25 dal p.c.
n. 2 assistimetri superficiali a piastra al fine di rilevare la deformata trasversale del rilevato.
Le informazioni raccolte attraverso al strumentazione dovranno essere sufficienti per eseguire un'analisi a posteriori del comportamento globale del volume di terreno sottostante il rilevato.
In particolare sarà possibile osservare l'andamento dei cedimenti superficiali e profondi con l'avanzamento del rilevato e con il tempo;
Solo con l'acquisizione in continuo ed in contemporanea delle misure di deformazione verticale sarà possibile stabilire se i modelli di calcolo utilizzati per la valutazione dei cedimenti possono essere considerati realistici.

Mantova maggio 2016

IL TECNICO INCARICATO
Dr. ing. Giuliano Rossi

Appendice 1 – Risultati della verifica di stabilità del rilevato

Simboli usati nella tabella dei risultati:

alfa = angolo alla base del concio in gradi
l = lunghezza della base del concio
C = coesione alla base del concio
fi = angolo d'attrito alla base del concio in gradi
Xg = ascissa del baricentro del concio
Yg = ordinata del baricentro del concio
b = braccio relativo al peso del concio
Peso = peso complessivo alla base
Psisma = peso complessivo alla base con sisma
Pvert = carico verticale complessivo agente sul concio
Press = pressione di falda
Mstab = momento stabilizzante complessivo
MstabS = momento instabilizzante complessivo

Unità di misura utilizzate nella tabella dei risultati: daN,cm

Caratteristiche del cerchio che comporta il minimo coefficiente di sicurezza:
Ascissa del centro X = 351.69
Ordinata del centro Y = 3814.77
Raggio del cerchio R = 2415 cm

Caratteristiche della massa interessata dallo scivolamento:
Volume = 2686128 cmc/cm
Peso = 5292 daN/cm
Perimetro di scivolamento = 4750 cm

STABILITA' DEL PENDIO COL METODO DI BISHOP
Stabilità del pendio con sisma orizzontale e verticale aggravanti

Concio	alfa	l	C	fi	Xg	Yg	b	Peso	Psisma	Pvert	Press	Mstab	Minstab
1	-41.3	1	0.5	20	-1241	2000	1593	0	0	0	0	2697	-1
2	-41.1	14	0.5	20	-1234	1997	1585	0	0	0	0	43825	-315
3	-40.5	39	0.5	20	-1212	1987	1564	1	1	0	1	122899	-3809
4	-39.5	39	0.5	20	-1184	1976	1535	3	3	0	1	122513	-7858
5	-38.9	16	0.5	20	-1164	1967	1515	2	2	0	1	49461	-4256
6	-38.4	23	0.5	20	-1149	1961	1500	3	3	0	1	72678	-7327
7	-37.7	38	0.5	20	-1124	1952	1476	6	6	0	3	121766	-14992
8	-36.8	37	0.5	20	-1095	1940	1446	7	8	0	4	121404	-18105
9	-35.9	37	0.5	20	-1065	1929	1416	8	9	0	4	121050	-20934
10	-35	37	0.5	20	-1035	1919	1386	9	11	0	5	120701	-23489
11	-34.2	36	0.5	20	-1005	1908	1356	11	12	0	5	120358	-25784
12	-33.3	36	0.5	20	-975	1898	1326	12	13	0	6	120020	-27829
13	-32.5	36	0.5	20	-945	1889	1296	13	15	0	7	119686	-29635
14	-31.6	35	0.5	20	-915	1879	1267	14	16	0	7	117605	-30741
15	-31.2	1	0.05	33	-900	1875	1252	0	0	0	0	764	-469
16	-30.8	35	0.05	33	-885	1870	1237	15	17	0	8	52950	-32596
17	-30	35	0.05	33	-855	1861	1207	16	18	0	8	54789	-33795
18	-29.2	34	0.05	33	-825	1853	1177	17	19	0	9	56485	-34787

19	-28.4	34	0.05	33	-795	1844	1147	18	20	0	9	58050	-35580
20	-27.5	34	0.05	33	-765	1836	1117	19	22	0	10	59494	-36183
21	-26.7	34	0.05	33	-735	1828	1087	20	23	0	10	60825	-36604
22	-26	33	0.05	33	-705	1821	1057	21	24	0	11	62053	-36849
23	-25.2	33	0.05	33	-675	1813	1027	22	25	0	11	63184	-36928
24	-24.4	33	0.05	33	-645	1806	997	23	25	0	11	64224	-36846
25	-23.6	33	0.05	33	-615	1800	967	23	26	0	12	65181	-36611
26	-22.8	33	0.05	33	-585	1793	937	24	27	0	12	66059	-36229
27	-22.1	32	0.05	33	-555	1787	907	25	28	0	13	66864	-35708
28	-21.3	32	0.05	33	-525	1781	877	26	29	0	13	67599	-35053
29	-20.5	32	0.05	33	-495	1775	847	26	30	0	13	68268	-34270
30	-19.8	32	0.05	33	-465	1770	817	27	30	0	14	68877	-33366
31	-19	32	0.05	33	-435	1764	787	28	31	0	14	69427	-32346
32	-18.3	32	0.05	33	-405	1759	757	28	32	0	14	69922	-31216
33	-17.5	31	0.05	33	-375	1754	727	29	32	0	15	70365	-29982
34	-16.8	31	0.05	33	-345	1750	697	29	33	0	15	70758	-28649
35	-16	31	0.05	33	-315	1745	667	30	34	0	15	71104	-27222
36	-15.3	31	0.05	33	-285	1741	637	30	34	0	15	71404	-25707
37	-14.6	31	0.05	33	-255	1737	607	31	35	0	16	71662	-24109
38	-13.8	31	0.05	33	-225	1733	577	31	35	0	16	71878	-22434
39	-13.1	31	0.05	33	-195	1730	547	32	36	0	16	72055	-20685
40	-12.4	31	0.05	33	-165	1726	517	32	36	0	16	72194	-18868
41	-11.6	31	0.05	33	-135	1723	487	33	37	0	16	72296	-16988
42	-10.9	31	0.05	33	-105	1720	457	33	37	0	17	72363	-15049
43	-10.2	30	0.05	33	-75	1717	427	33	37	0	17	72396	-13056
44	-9.5	30	0.05	33	-45	1715	397	34	38	0	17	72396	-11015
45	-8.7	30	0.05	33	-15	1712	367	34	38	0	17	72364	-8929
46	-8	30	0.05	33	15	1718	337	35	39	0	17	74388	-6952
47	-7.3	30	0.05	33	44	1725	307	36	40	0	17	78277	-5052
48	-6.6	30	0.05	33	74	1733	278	37	42	0	17	82081	-2988
49	-5.9	30	0.05	33	103	1741	249	39	43	0	17	85803	-764
50	-5.2	30	0.05	33	132	1749	219	40	45	0	17	89448	1617
51	-4.5	30	0.05	33	162	1757	190	41	46	0	17	93018	4150
52	-3.8	29	0.05	33	191	1766	160	42	48	0	17	96517	6832
53	-3.1	29	0.05	33	221	1775	131	44	49	0	17	99948	9657
54	-2.4	29	0.05	33	250	1784	102	45	50	0	17	103314	12623
55	-1.7	29	0.05	33	280	1793	72	46	52	0	18	106618	15726
56	-1	29	0.05	33	309	1802	43	47	53	0	18	109861	18960
57	-0.3	28	0.05	33	338	1811	14	46	52	0	17	107657	21196
58	0	1	0.05	33	352	1816	1	2	3	0	1	5390	1129
59	0.4	29	0.05	33	368	1821	16	49	55	0	18	116179	25811
60	1.1	29	0.05	33	397	1831	46	50	57	0	18	119257	29418
61	1.8	29	0.05	33	427	1841	75	52	58	0	17	122285	33143
62	2.5	29	0.05	33	456	1851	104	53	59	0	17	125265	36980
63	3.2	29	0.05	33	486	1862	134	54	60	0	17	128198	40925
64	3.9	29	0.05	33	515	1872	163	55	61	0	17	131086	44975
65	4.6	30	0.05	33	544	1883	193	56	63	0	17	133932	49126
66	5.3	30	0.05	33	574	1894	222	57	64	0	17	136736	53374
67	6	30	0.05	33	603	1905	252	58	65	0	17	139501	57713
68	6.7	30	0.05	33	633	1917	281	59	66	0	17	142229	62142
69	7.4	30	0.05	33	662	1928	310	59	67	0	17	144920	66655
70	8.1	30	0.05	33	691	1940	340	60	68	0	17	147576	71248
71	8.8	30	0.05	33	721	1952	369	61	69	0	17	150200	75918
72	9.5	30	0.05	33	750	1964	399	62	70	0	17	152791	80659
73	10.2	30	0.05	33	780	1971	428	62	70	0	16	153530	84745
74	10.9	30	0.05	33	809	1974	457	62	70	0	16	152553	88133
75	11.6	30	0.05	33	839	1977	487	62	69	0	16	151567	91446
76	12.3	30	0.05	33	868	1980	516	61	69	0	16	150571	94678
77	13.1	30	0.05	33	897	1983	546	61	68	0	16	149566	97825
78	13.8	30	0.05	33	927	1987	575	60	68	0	15	148551	100884
79	14.5	30	0.05	33	956	1991	604	60	67	0	15	147525	103849
80	15.2	30	0.05	33	986	1995	634	60	67	0	15	146487	106716
81	15.9	31	0.05	33	1015	1999	663	59	66	0	15	145438	109480
82	16.7	31	0.05	33	1044	2003	693	59	66	0	14	144377	112136
83	17.4	31	0.05	33	1074	2008	722	58	65	0	14	143302	114680
84	18.1	31	0.05	33	1103	2012	752	57	65	0	14	142214	117107
85	18.9	31	0.05	33	1133	2017	781	57	64	0	14	141111	119411

86	19.6	31	0.05	33	1162	2023	810	56	63	0	13	139994	121587
87	20.4	31	0.05	33	1191	2028	840	56	63	0	13	138860	123631
88	21.1	32	0.05	33	1221	2034	869	55	62	0	13	137711	125536
89	21.8	32	0.05	33	1250	2039	899	54	61	0	12	136544	127298
90	22.6	32	0.05	33	1280	2050	928	55	61	0	12	138083	131168
91	23.4	32	0.05	33	1309	2066	958	55	62	0	12	140312	135344
92	24.1	32	0.05	33	1339	2083	987	55	62	0	11	142522	139492
93	24.9	33	0.05	33	1369	2099	1017	56	63	0	11	144711	143607
94	25.7	33	0.05	33	1398	2116	1047	56	63	0	11	146882	147680
95	26.5	33	0.05	33	1428	2133	1076	56	63	0	10	149035	151707
96	27.3	33	0.05	33	1458	2151	1106	57	63	0	10	151171	155680
97	28.1	34	0.05	33	1487	2168	1136	57	64	0	9	153291	159590
98	28.9	34	0.05	33	1517	2186	1165	57	64	0	9	155395	163432
99	29.7	34	0.05	33	1546	2204	1195	57	64	0	8	157484	167198
100	30.5	34	0.05	33	1576	2223	1224	57	64	0	8	159560	170878
101	31.1	15	0.05	33	1597	2236	1246	25	28	0	3	70116	75524
102	31.5	20	0.5	20	1612	2246	1260	32	36	0	4	95415	98959
103	32.1	35	0.5	20	1635	2260	1284	57	64	0	7	170477	178046
104	32.9	35	0.5	20	1665	2280	1313	57	64	0	6	172409	181515
105	33.8	36	0.5	20	1695	2299	1343	57	64	0	5	174370	184870
106	34.6	36	0.5	20	1724	2319	1373	57	64	0	5	176363	188101
107	35.5	36	0.5	20	1754	2339	1402	57	64	0	4	178390	191198
108	36.4	37	0.5	20	1784	2359	1432	57	64	0	4	180455	194150
109	37.2	37	0.5	20	1813	2380	1461	57	64	0	3	182559	196947
110	38.1	38	0.5	20	1843	2401	1491	57	64	0	2	184707	199575
111	38.6	5	0.5	20	1859	2413	1508	7	8	0	0	22933	24789
112	39.1	33	0.05	38	1874	2425	1523	50	56	0	1	179564	177033
113	39.9	39	0.05	38	1902	2446	1550	56	63	0	1	206331	203530
114	40.7	25	0.05	38	1926	2466	1575	36	40	0	0	134010	132154
115	41.2	14	0.05	38	1941	2477	1590	20	22	0	0	73774	72880
116	41.8	40	0.05	38	1961	2493	1610	55	62	0	0	207651	206706
117	42.8	40	0.05	38	1991	2516	1639	55	62	0	0	206983	208262
118	43.7	41	0.05	38	2021	2540	1669	54	61	0	0	206187	209558
119	44.7	42	0.05	38	2050	2564	1698	54	60	0	0	205253	210576
120	45.7	43	0.05	38	2080	2584	1728	54	60	0	0	205679	212860
121	46.7	44	0.05	38	2110	2600	1758	52	58	0	0	200063	208698
122	47.8	45	0.05	38	2140	2617	1789	50	56	0	0	194210	204026
123	48.9	46	0.05	38	2170	2634	1819	48	54	0	0	188095	198814
124	50	47	0.05	38	2201	2652	1849	46	51	0	0	181692	193031
125	51.1	48	0.05	38	2231	2670	1879	44	49	0	0	174970	186639
126	52.3	49	0.05	38	2261	2689	1909	41	47	0	0	167892	179597
127	53.4	51	0.05	38	2291	2709	1939	39	44	0	0	160416	171858
128	54.7	52	0.05	38	2321	2730	1970	37	41	0	0	152490	163369
129	55.9	54	0.05	38	2351	2752	2000	34	38	0	0	144054	154069
130	57.2	56	0.05	38	2381	2775	2030	32	35	0	0	135035	143886
131	58.6	58	0.05	38	2412	2799	2060	29	32	0	0	125341	132736
132	60	60	0.05	38	2442	2825	2090	26	29	0	0	114858	120516
133	61.4	63	0.05	38	2472	2852	2120	23	25	0	0	103443	107104
134	63	66	0.05	38	2502	2880	2150	19	22	0	0	90907	92345
135	64.6	70	0.05	38	2532	2911	2180	16	18	0	0	76998	76043
136	66.3	75	0.05	38	2562	2944	2210	12	13	0	0	61369	57939
137	68.2	81	0.05	38	2591	2979	2240	8	9	0	0	43519	37677
138	70.2	89	0.05	38	2619	3015	2267	3	3	0	0	22684	14743
139	71.3	9	0.05	38	2639	3043	2287	0	0	0	0	2119	114
		4750						5292	5940	0		7537688	3199327

Coefficiente di sicurezza FS = 1.4676

STABILITA' DEL PENDIO COL METODO DI BISHOP
Stabilità del pendio con sisma orizzontale aggravante e verticale sgravante

Concio	alfa	l	C	fi	Xg	Yg	b	Peso	Psisma	Pvert	Press	Mstab	Minstab
1	-41.3	1	0.5	20	-1241	2000	1593	0	0	0	0	2816	-1
2	-41.1	14	0.5	20	-1234	1997	1585	0	0	0	0	45696	-273
3	-40.5	39	0.5	20	-1212	1987	1564	1	1	0	1	127609	-3301

4	-39.5	39	0.5	20	-1184	1976	1535	3	2	0	1	126460	-6806
5	-38.9	16	0.5	20	-1164	1967	1515	2	1	0	1	50854	-3684
6	-38.4	23	0.5	20	-1149	1961	1500	3	2	0	1	74525	-6341
7	-37.7	38	0.5	20	-1124	1952	1476	6	5	0	3	124349	-12967
8	-36.8	37	0.5	20	-1095	1940	1446	7	6	0	4	123374	-15648
9	-35.9	37	0.5	20	-1065	1929	1416	8	7	0	4	122447	-18079
10	-35	37	0.5	20	-1035	1919	1386	9	8	0	5	121562	-20270
11	-34.2	36	0.5	20	-1005	1908	1356	11	9	0	5	120717	-22232
12	-33.3	36	0.5	20	-975	1898	1326	12	10	0	6	119908	-23974
13	-32.5	36	0.5	20	-945	1889	1296	13	11	0	7	119131	-25506
14	-31.6	35	0.5	20	-915	1879	1267	14	12	0	7	116649	-26433
15	-31.2	1	0.05	33	-900	1875	1252	0	0	0	0	669	-403
16	-30.8	35	0.05	33	-885	1870	1237	15	13	0	8	46242	-27999
17	-30	35	0.05	33	-855	1861	1207	16	14	0	8	47596	-28998
18	-29.2	34	0.05	33	-825	1853	1177	17	15	0	9	48835	-29814
19	-28.4	34	0.05	33	-795	1844	1147	18	16	0	9	49967	-30457
20	-27.5	34	0.05	33	-765	1836	1117	19	17	0	10	51002	-30933
21	-26.7	34	0.05	33	-735	1828	1087	20	18	0	10	51948	-31248
22	-26	33	0.05	33	-705	1821	1057	21	18	0	11	52812	-31411
23	-25.2	33	0.05	33	-675	1813	1027	22	19	0	11	53599	-31428
24	-24.4	33	0.05	33	-645	1806	997	23	20	0	11	54315	-31304
25	-23.6	33	0.05	33	-615	1800	967	23	21	0	12	54966	-31046
26	-22.8	33	0.05	33	-585	1793	937	24	21	0	12	55555	-30660
27	-22.1	32	0.05	33	-555	1787	907	25	22	0	13	56088	-30152
28	-21.3	32	0.05	33	-525	1781	877	26	23	0	13	56567	-29527
29	-20.5	32	0.05	33	-495	1775	847	26	23	0	13	56996	-28791
30	-19.8	32	0.05	33	-465	1770	817	27	24	0	14	57378	-27948
31	-19	32	0.05	33	-435	1764	787	28	24	0	14	57716	-27005
32	-18.3	32	0.05	33	-405	1759	757	28	25	0	14	58012	-25967
33	-17.5	31	0.05	33	-375	1754	727	29	25	0	15	58268	-24837
34	-16.8	31	0.05	33	-345	1750	697	29	26	0	15	58487	-23622
35	-16	31	0.05	33	-315	1745	667	30	26	0	15	58670	-22325
36	-15.3	31	0.05	33	-285	1741	637	30	27	0	15	58819	-20952
37	-14.6	31	0.05	33	-255	1737	607	31	27	0	16	58937	-19507
38	-13.8	31	0.05	33	-225	1733	577	31	28	0	16	59023	-17995
39	-13.1	31	0.05	33	-195	1730	547	32	28	0	16	59080	-16419
40	-12.4	31	0.05	33	-165	1726	517	32	28	0	16	59109	-14785
41	-11.6	31	0.05	33	-135	1723	487	33	29	0	16	59110	-13096
42	-10.9	31	0.05	33	-105	1720	457	33	29	0	17	59086	-11357
43	-10.2	30	0.05	33	-75	1717	427	33	29	0	17	59036	-9572
44	-9.5	30	0.05	33	-45	1715	397	34	30	0	17	58963	-7745
45	-8.7	30	0.05	33	-15	1712	367	34	30	0	17	58866	-5881
46	-8	30	0.05	33	15	1718	337	35	30	0	17	60724	-4103
47	-7.3	30	0.05	33	44	1725	307	36	31	0	17	64136	-2350
48	-6.6	30	0.05	33	74	1733	278	37	33	0	17	67469	-453
49	-5.9	30	0.05	33	103	1741	249	39	34	0	17	70729	1583
50	-5.2	30	0.05	33	132	1749	219	40	35	0	17	73917	3756
51	-4.5	30	0.05	33	162	1757	190	41	36	0	17	77037	6061
52	-3.8	29	0.05	33	191	1766	160	42	37	0	17	80093	8496
53	-3.1	29	0.05	33	221	1775	131	44	38	0	17	83086	11056
54	-2.4	29	0.05	33	250	1784	102	45	39	0	17	86020	13738
55	-1.7	29	0.05	33	280	1793	72	46	40	0	18	88898	16538
56	-1	29	0.05	33	309	1802	43	47	41	0	18	91722	19454
57	-0.3	28	0.05	33	338	1811	14	46	40	0	17	89985	21354
58	0	1	0.05	33	352	1816	1	2	2	0	1	4508	1128
59	0.4	29	0.05	33	368	1821	16	49	43	0	18	97215	25616
60	1.1	29	0.05	33	397	1831	46	50	44	0	18	99890	28855
61	1.8	29	0.05	33	427	1841	75	52	45	0	17	102519	32196
62	2.5	29	0.05	33	456	1851	104	53	46	0	17	105104	35634
63	3.2	29	0.05	33	486	1862	134	54	47	0	17	107648	39166
64	3.9	29	0.05	33	515	1872	163	55	48	0	17	110152	42788
65	4.6	30	0.05	33	544	1883	193	56	49	0	17	112617	46498
66	5.3	30	0.05	33	574	1894	222	57	50	0	17	115046	50291
67	6	30	0.05	33	603	1905	252	58	51	0	17	117440	54163
68	6.7	30	0.05	33	633	1917	281	59	51	0	17	119800	58112
69	7.4	30	0.05	33	662	1928	310	59	52	0	17	122128	62134
70	8.1	30	0.05	33	691	1940	340	60	53	0	17	124425	66224

71	8.8	30	0.05	33	721	1952	369	61	54	0	17	126693	70380
72	9.5	30	0.05	33	750	1964	399	62	54	0	17	128932	74598
73	10.2	30	0.05	33	780	1971	428	62	55	0	16	129553	78211
74	10.9	30	0.05	33	809	1974	457	62	54	0	16	128673	81187
75	11.6	30	0.05	33	839	1977	487	62	54	0	16	127790	84094
76	12.3	30	0.05	33	868	1980	516	61	54	0	16	126903	86928
77	13.1	30	0.05	33	897	1983	546	61	53	0	16	126012	89686
78	13.8	30	0.05	33	927	1987	575	60	53	0	15	125116	92365
79	14.5	30	0.05	33	956	1991	604	60	53	0	15	124215	94958
80	15.2	30	0.05	33	986	1995	634	60	52	0	15	123308	97464
81	15.9	31	0.05	33	1015	1999	663	59	52	0	15	122396	99877
82	16.7	31	0.05	33	1044	2003	693	59	51	0	14	121477	102194
83	17.4	31	0.05	33	1074	2008	722	58	51	0	14	120550	104409
84	18.1	31	0.05	33	1103	2012	752	57	50	0	14	119617	106520
85	18.9	31	0.05	33	1133	2017	781	57	50	0	14	118675	108520
86	19.6	31	0.05	33	1162	2023	810	56	49	0	13	117724	110407
87	20.4	31	0.05	33	1191	2028	840	56	49	0	13	116764	112174
88	21.1	32	0.05	33	1221	2034	869	55	48	0	13	115795	113818
89	21.8	32	0.05	33	1250	2039	899	54	48	0	12	114815	115333
90	22.6	32	0.05	33	1280	2050	928	55	48	0	12	116155	118752
91	23.4	32	0.05	33	1309	2066	958	55	48	0	12	118118	122440
92	24.1	32	0.05	33	1339	2083	987	55	49	0	11	120063	126102
93	24.9	33	0.05	33	1369	2099	1017	56	49	0	11	121992	129732
94	25.7	33	0.05	33	1398	2116	1047	56	49	0	11	123906	133323
95	26.5	33	0.05	33	1428	2133	1076	56	49	0	10	125805	136871
96	27.3	33	0.05	33	1458	2151	1106	57	50	0	10	127690	140369
97	28.1	34	0.05	33	1487	2168	1136	57	50	0	9	129563	143810
98	28.9	34	0.05	33	1517	2186	1165	57	50	0	9	131423	147188
99	29.7	34	0.05	33	1546	2204	1195	57	50	0	8	133271	150496
100	30.5	34	0.05	33	1576	2223	1224	57	50	0	8	135109	153728
101	31.1	15	0.05	33	1597	2236	1246	25	22	0	3	59397	67919
102	31.5	20	0.5	20	1612	2246	1260	32	28	0	4	86597	88972
103	32.1	35	0.5	20	1635	2260	1284	57	50	0	7	154707	160014
104	32.9	35	0.5	20	1665	2280	1313	57	50	0	6	156442	163053
105	33.8	36	0.5	20	1695	2299	1343	57	50	0	5	158206	165990
106	34.6	36	0.5	20	1724	2319	1373	57	50	0	5	160002	168815
107	35.5	36	0.5	20	1754	2339	1402	57	50	0	4	161831	171519
108	36.4	37	0.5	20	1784	2359	1432	57	50	0	4	163696	174093
109	37.2	37	0.5	20	1813	2380	1461	57	50	0	3	165600	176527
110	38.1	38	0.5	20	1843	2401	1491	57	50	0	2	167545	178810
111	38.6	5	0.5	20	1859	2413	1508	7	6	0	0	20802	22205
112	39.1	33	0.05	38	1874	2425	1523	50	43	0	1	152006	158546
113	39.9	39	0.05	38	1902	2446	1550	56	49	0	1	174758	182208
114	40.7	25	0.05	38	1926	2466	1575	36	32	0	0	113557	118272
115	41.2	14	0.05	38	1941	2477	1590	20	17	0	0	62515	65212
116	41.8	40	0.05	38	1961	2493	1610	55	48	0	0	175840	184912
117	42.8	40	0.05	38	1991	2516	1639	55	48	0	0	175094	186236
118	43.7	41	0.05	38	2021	2540	1669	54	48	0	0	174238	187329
119	44.7	42	0.05	38	2050	2564	1698	54	47	0	0	173263	188173
120	45.7	43	0.05	38	2080	2584	1728	54	47	0	0	173439	190156
121	46.7	44	0.05	38	2110	2600	1758	52	45	0	0	168527	186386
122	47.8	45	0.05	38	2140	2617	1789	50	44	0	0	163422	182165
123	48.9	46	0.05	38	2170	2634	1819	48	42	0	0	158104	177465
124	50	47	0.05	38	2201	2652	1849	46	40	0	0	152552	172258
125	51.1	48	0.05	38	2231	2670	1879	44	38	0	0	146742	166510
126	52.3	49	0.05	38	2261	2689	1909	41	36	0	0	140643	160186
127	53.4	51	0.05	38	2291	2709	1939	39	34	0	0	134222	153245
128	54.7	52	0.05	38	2321	2730	1970	37	32	0	0	127438	145638
129	55.9	54	0.05	38	2351	2752	2000	34	30	0	0	120243	137312
130	57.2	56	0.05	38	2381	2775	2030	32	28	0	0	112579	128204
131	58.6	58	0.05	38	2412	2799	2060	29	25	0	0	104373	118239
132	60	60	0.05	38	2442	2825	2090	26	23	0	0	95535	107326
133	61.4	63	0.05	38	2472	2852	2120	23	20	0	0	85954	95357
134	63	66	0.05	38	2502	2880	2150	19	17	0	0	75480	82195
135	64.6	70	0.05	38	2532	2911	2180	16	14	0	0	63917	67666
136	66.3	75	0.05	38	2562	2944	2210	12	10	0	0	50995	51542
137	68.2	81	0.05	38	2591	2979	2240	8	7	0	0	36326	33507

138	70.2	89	0.05	38	2619	3015	2267	3	3	0	0	21477	13108
139	71.3	9	0.05	38	2639	3043	2287	0	0	0	0	2119	102
		4750						5292	4644	0		7426119	3199327

Coefficiente di sicurezza FS = 1.2742

STABILITA' DEL PENDIO COL METODO DI BISHOP
Stabilità del pendio con sisma orizzontale sgravante e verticale aggravanti

Concio	alfa	l	C	fi	Xg	Yg	b	Peso	Psisma	Pvert	Press	Mstab	Minstab
1	-41.3	1	0.5	20	-1241	2000	1593	0	0	0	0	2210	-1
2	-41.1	14	0.5	20	-1234	1997	1585	0	0	0	0	35951	-412
3	-40.5	39	0.5	20	-1212	1987	1564	1	1	0	1	101330	-4994
4	-39.5	39	0.5	20	-1184	1976	1535	3	3	0	1	101739	-10378
5	-38.9	16	0.5	20	-1164	1967	1515	2	2	0	1	41273	-5650
6	-38.4	23	0.5	20	-1149	1961	1500	3	3	0	1	60850	-9764
7	-37.7	38	0.5	20	-1124	1952	1476	6	6	0	3	102476	-20102
8	-36.8	37	0.5	20	-1095	1940	1446	7	8	0	4	102809	-24472
9	-35.9	37	0.5	20	-1065	1929	1416	8	9	0	4	103121	-28532
10	-35	37	0.5	20	-1035	1919	1386	9	11	0	5	103413	-32293
11	-34.2	36	0.5	20	-1005	1908	1356	11	12	0	5	103686	-35767
12	-33.3	36	0.5	20	-975	1898	1326	12	13	0	6	103943	-38965
13	-32.5	36	0.5	20	-945	1889	1296	13	15	0	7	104183	-41899
14	-31.6	35	0.5	20	-915	1879	1267	14	16	0	7	102872	-43903
15	-31.2	1	0.05	33	-900	1875	1252	0	0	0	0	592	-674
16	-30.8	35	0.05	33	-885	1870	1237	15	17	0	8	41222	-47053
17	-30	35	0.05	33	-855	1861	1207	16	18	0	8	43070	-49329
18	-29.2	34	0.05	33	-825	1853	1177	17	19	0	9	44820	-51372
19	-28.4	34	0.05	33	-795	1844	1147	18	20	0	9	46478	-53189
20	-27.5	34	0.05	33	-765	1836	1117	19	22	0	10	48050	-54790
21	-26.7	34	0.05	33	-735	1828	1087	20	23	0	10	49540	-56182
22	-26	33	0.05	33	-705	1821	1057	21	24	0	11	50953	-57372
23	-25.2	33	0.05	33	-675	1813	1027	22	25	0	11	52292	-58369
24	-24.4	33	0.05	33	-645	1806	997	23	25	0	11	53561	-59180
25	-23.6	33	0.05	33	-615	1800	967	23	26	0	12	54764	-59810
26	-22.8	33	0.05	33	-585	1793	937	24	27	0	12	55904	-60268
27	-22.1	32	0.05	33	-555	1787	907	25	28	0	13	56984	-60559
28	-21.3	32	0.05	33	-525	1781	877	26	29	0	13	58006	-60690
29	-20.5	32	0.05	33	-495	1775	847	26	30	0	13	58973	-60667
30	-19.8	32	0.05	33	-465	1770	817	27	30	0	14	59887	-60496
31	-19	32	0.05	33	-435	1764	787	28	31	0	14	60751	-60183
32	-18.3	32	0.05	33	-405	1759	757	28	32	0	14	61566	-59734
33	-17.5	31	0.05	33	-375	1754	727	29	32	0	15	62334	-59153
34	-16.8	31	0.05	33	-345	1750	697	29	33	0	15	63057	-58448
35	-16	31	0.05	33	-315	1745	667	30	34	0	15	63736	-57622
36	-15.3	31	0.05	33	-285	1741	637	30	34	0	15	64373	-56682
37	-14.6	31	0.05	33	-255	1737	607	31	35	0	16	64970	-55632
38	-13.8	31	0.05	33	-225	1733	577	31	35	0	16	65527	-54478
39	-13.1	31	0.05	33	-195	1730	547	32	36	0	16	66045	-53224
40	-12.4	31	0.05	33	-165	1726	517	32	36	0	16	66526	-51876
41	-11.6	31	0.05	33	-135	1723	487	33	37	0	16	66971	-50438
42	-10.9	31	0.05	33	-105	1720	457	33	37	0	17	67380	-48915
43	-10.2	30	0.05	33	-75	1717	427	33	37	0	17	67755	-47312
44	-9.5	30	0.05	33	-45	1715	397	34	38	0	17	68096	-45633
45	-8.7	30	0.05	33	-15	1712	367	34	38	0	17	68404	-43884
46	-8	30	0.05	33	15	1718	337	35	39	0	17	70658	-42403
47	-7.3	30	0.05	33	44	1725	307	36	40	0	17	74705	-41767
48	-6.6	30	0.05	33	74	1733	278	37	42	0	17	78702	-40930
49	-5.9	30	0.05	33	103	1741	249	39	43	0	17	82653	-39897
50	-5.2	30	0.05	33	132	1749	219	40	45	0	17	86559	-38672
51	-4.5	30	0.05	33	162	1757	190	41	46	0	17	90423	-37259
52	-3.8	29	0.05	33	191	1766	160	42	48	0	17	94246	-35661
53	-3.1	29	0.05	33	221	1775	131	44	49	0	17	98031	-33884
54	-2.4	29	0.05	33	250	1784	102	45	50	0	17	101780	-31931
55	-1.7	29	0.05	33	280	1793	72	46	52	0	18	105495	-29805

56	-1	29	0.05	33	309	1802	43	47	53	0	18	109177	-27512
57	-0.3	28	0.05	33	338	1811	14	46	52	0	17	107438	-23932
58	0	1	0.05	33	352	1816	1	2	3	0	1	5391	-1121
59	0.4	29	0.05	33	368	1821	16	49	55	0	18	116451	-22436
60	1.1	29	0.05	33	397	1831	46	50	57	0	18	120046	-19662
61	1.8	29	0.05	33	427	1841	75	52	58	0	17	123615	-16735
62	2.5	29	0.05	33	456	1851	104	53	59	0	17	127161	-13660
63	3.2	29	0.05	33	486	1862	134	54	60	0	17	130684	-10441
64	3.9	29	0.05	33	515	1872	163	55	61	0	17	134186	-7082
65	4.6	30	0.05	33	544	1883	193	56	63	0	17	137669	-3586
66	5.3	30	0.05	33	574	1894	222	57	64	0	17	141135	43
67	6	30	0.05	33	603	1905	252	58	65	0	17	144584	3799
68	6.7	30	0.05	33	633	1917	281	59	66	0	17	148019	7681
69	7.4	30	0.05	33	662	1928	310	59	67	0	17	151440	11682
70	8.1	30	0.05	33	691	1940	340	60	68	0	17	154849	15799
71	8.8	30	0.05	33	721	1952	369	61	69	0	17	158248	20029
72	9.5	30	0.05	33	750	1964	399	62	70	0	17	161639	24366
73	10.2	30	0.05	33	780	1971	428	62	70	0	16	163086	28463
74	10.9	30	0.05	33	809	1974	457	62	70	0	16	162712	32227
75	11.6	30	0.05	33	839	1977	487	62	69	0	16	162324	35940
76	12.3	30	0.05	33	868	1980	516	61	69	0	16	161920	39597
77	13.1	30	0.05	33	897	1983	546	61	68	0	16	161501	43195
78	13.8	30	0.05	33	927	1987	575	60	68	0	15	161066	46729
79	14.5	30	0.05	33	956	1991	604	60	67	0	15	160615	50195
80	15.2	30	0.05	33	986	1995	634	60	67	0	15	160147	53587
81	15.9	31	0.05	33	1015	1999	663	59	66	0	15	159663	56901
82	16.7	31	0.05	33	1044	2003	693	59	66	0	14	159160	60133
83	17.4	31	0.05	33	1074	2008	722	58	65	0	14	158640	63277
84	18.1	31	0.05	33	1103	2012	752	57	65	0	14	158100	66328
85	18.9	31	0.05	33	1133	2017	781	57	64	0	14	157541	69282
86	19.6	31	0.05	33	1162	2023	810	56	63	0	13	156962	72134
87	20.4	31	0.05	33	1191	2028	840	56	63	0	13	156362	74877
88	21.1	32	0.05	33	1221	2034	869	55	62	0	13	155740	77507
89	21.8	32	0.05	33	1250	2039	899	54	61	0	12	155096	80019
90	22.6	32	0.05	33	1280	2050	928	55	61	0	12	157539	83961
91	23.4	32	0.05	33	1309	2066	958	55	62	0	12	160801	88235
92	24.1	32	0.05	33	1339	2083	987	55	62	0	11	164074	92517
93	24.9	33	0.05	33	1369	2099	1017	56	63	0	11	167358	96801
94	25.7	33	0.05	33	1398	2116	1047	56	63	0	11	170656	101082
95	26.5	33	0.05	33	1428	2133	1076	56	63	0	10	173970	105351
96	27.3	33	0.05	33	1458	2151	1106	57	63	0	10	177302	109603
97	28.1	34	0.05	33	1487	2168	1136	57	64	0	9	180654	113830
98	28.9	34	0.05	33	1517	2186	1165	57	64	0	9	184029	118024
99	29.7	34	0.05	33	1546	2204	1195	57	64	0	8	187429	122178
100	30.5	34	0.05	33	1576	2223	1224	57	64	0	8	190856	126284
101	31.1	15	0.05	33	1597	2236	1246	25	28	0	3	84175	56250
102	31.5	20	0.5	20	1612	2246	1260	32	36	0	4	106562	74094
103	32.1	35	0.5	20	1635	2260	1284	57	64	0	7	190888	134381
104	32.9	35	0.5	20	1665	2280	1313	57	64	0	6	193703	138357
105	33.8	36	0.5	20	1695	2299	1343	57	64	0	5	196583	142254
106	34.6	36	0.5	20	1724	2319	1373	57	64	0	5	199534	146063
107	35.5	36	0.5	20	1754	2339	1402	57	64	0	4	202560	149774
108	36.4	37	0.5	20	1784	2359	1432	57	64	0	4	205668	153376
109	37.2	37	0.5	20	1813	2380	1461	57	64	0	3	208864	156857
110	38.1	38	0.5	20	1843	2401	1491	57	64	0	2	212155	160206
111	38.6	5	0.5	20	1859	2413	1508	7	8	0	0	26400	19985
112	39.1	33	0.05	38	1874	2425	1523	50	56	0	1	236169	143274
113	39.9	39	0.05	38	1902	2446	1550	56	63	0	1	273214	165892
114	40.7	25	0.05	38	1926	2466	1575	36	40	0	0	178528	108370
115	41.2	14	0.05	38	1941	2477	1590	20	22	0	0	98652	59978
116	41.8	40	0.05	38	1961	2493	1610	55	62	0	0	279119	170914
117	42.8	40	0.05	38	1991	2516	1639	55	62	0	0	280413	173369
118	43.7	41	0.05	38	2021	2540	1669	54	61	0	0	281607	175601
119	44.7	42	0.05	38	2050	2564	1698	54	60	0	0	282692	177590
120	45.7	43	0.05	38	2080	2584	1728	54	60	0	0	285775	180534
121	46.7	44	0.05	38	2110	2600	1758	52	58	0	0	280541	177880
122	47.8	45	0.05	38	2140	2617	1789	50	56	0	0	274956	174742

123	48.9	46	0.05	38	2170	2634	1819	48	54	0	0	268979	171092
124	50	47	0.05	38	2201	2652	1849	46	51	0	0	262562	166896
125	51.1	48	0.05	38	2231	2670	1879	44	49	0	0	255650	162117
126	52.3	49	0.05	38	2261	2689	1909	41	47	0	0	248177	156715
127	53.4	51	0.05	38	2291	2709	1939	39	44	0	0	240060	150642
128	54.7	52	0.05	38	2321	2730	1970	37	41	0	0	231203	143845
129	55.9	54	0.05	38	2351	2752	2000	34	38	0	0	221484	136264
130	57.2	56	0.05	38	2381	2775	2030	32	35	0	0	210753	127826
131	58.6	58	0.05	38	2412	2799	2060	29	32	0	0	198818	118446
132	60	60	0.05	38	2442	2825	2090	26	29	0	0	185431	108024
133	61.4	63	0.05	38	2472	2852	2120	23	25	0	0	170265	96436
134	63	66	0.05	38	2502	2880	2150	19	22	0	0	152875	83527
135	64.6	70	0.05	38	2532	2911	2180	16	18	0	0	132641	69101
136	66.3	75	0.05	38	2562	2944	2210	12	13	0	0	108659	52900
137	68.2	81	0.05	38	2591	2979	2240	8	9	0	0	79552	34568
138	70.2	89	0.05	38	2619	3015	2267	3	3	0	0	43076	13592
139	71.3	9	0.05	38	2639	3043	2287	0	0	0	0	2119	106
		4750						5292	5940	0		8530699	3199327

Coefficiente di sicurezza FS = 7.1291

STABILITA' DEL PENDIO COL METODO DI BISHOP
Stabilità del pendio con sisma orizzontale e verticale sgravanti

Concio	alfa	l	C	fi	Xg	Yg	b	Peso	Psisma	Pvert	Press	Mstab	Minstab
1	-41.3	1	0.5	20	-1241	2000	1593	0	0	0	0	2163	-1
2	-41.1	14	0.5	20	-1234	1997	1585	0	0	0	0	35163	-370
3	-40.5	39	0.5	20	-1212	1987	1564	1	1	0	1	98863	-4486
4	-39.5	39	0.5	20	-1184	1976	1535	3	2	0	1	98917	-9325
5	-38.9	16	0.5	20	-1164	1967	1515	2	1	0	1	40036	-5078
6	-38.4	23	0.5	20	-1149	1961	1500	3	2	0	1	58934	-8777
7	-37.7	38	0.5	20	-1124	1952	1476	6	5	0	3	99014	-18077
8	-36.8	37	0.5	20	-1095	1940	1446	7	6	0	4	99056	-22015
9	-35.9	37	0.5	20	-1065	1929	1416	8	7	0	4	99094	-25677
10	-35	37	0.5	20	-1035	1919	1386	9	8	0	5	99129	-29073
11	-34.2	36	0.5	20	-1005	1908	1356	11	9	0	5	99161	-32214
12	-33.3	36	0.5	20	-975	1898	1326	12	10	0	6	99191	-35110
13	-32.5	36	0.5	20	-945	1889	1296	13	11	0	7	99217	-37770
14	-31.6	35	0.5	20	-915	1879	1267	14	12	0	7	97782	-39595
15	-31.2	1	0.05	33	-900	1875	1252	0	0	0	0	477	-608
16	-30.8	35	0.05	33	-885	1870	1237	15	13	0	8	33167	-42456
17	-30	35	0.05	33	-855	1861	1207	16	14	0	8	34588	-44531
18	-29.2	34	0.05	33	-825	1853	1177	17	15	0	9	35937	-46399
19	-28.4	34	0.05	33	-795	1844	1147	18	16	0	9	37218	-48066
20	-27.5	34	0.05	33	-765	1836	1117	19	17	0	10	38435	-49539
21	-26.7	34	0.05	33	-735	1828	1087	20	18	0	10	39592	-50827
22	-26	33	0.05	33	-705	1821	1057	21	18	0	11	40691	-51934
23	-25.2	33	0.05	33	-675	1813	1027	22	19	0	11	41735	-52869
24	-24.4	33	0.05	33	-645	1806	997	23	20	0	11	42727	-53638
25	-23.6	33	0.05	33	-615	1800	967	23	21	0	12	43670	-54245
26	-22.8	33	0.05	33	-585	1793	937	24	21	0	12	44565	-54699
27	-22.1	32	0.05	33	-555	1787	907	25	22	0	13	45416	-55003
28	-21.3	32	0.05	33	-525	1781	877	26	23	0	13	46223	-55164
29	-20.5	32	0.05	33	-495	1775	847	26	23	0	13	46989	-55188
30	-19.8	32	0.05	33	-465	1770	817	27	24	0	14	47715	-55079
31	-19	32	0.05	33	-435	1764	787	28	24	0	14	48403	-54843
32	-18.3	32	0.05	33	-405	1759	757	28	25	0	14	49054	-54484
33	-17.5	31	0.05	33	-375	1754	727	29	25	0	15	49670	-54009
34	-16.8	31	0.05	33	-345	1750	697	29	26	0	15	50252	-53421
35	-16	31	0.05	33	-315	1745	667	30	26	0	15	50801	-52725
36	-15.3	31	0.05	33	-285	1741	637	30	27	0	15	51318	-51927
37	-14.6	31	0.05	33	-255	1737	607	31	27	0	16	51803	-51030
38	-13.8	31	0.05	33	-225	1733	577	31	28	0	16	52259	-50039
39	-13.1	31	0.05	33	-195	1730	547	32	28	0	16	52686	-48959
40	-12.4	31	0.05	33	-165	1726	517	32	28	0	16	53084	-47793

41	-11.6	31	0.05	33	-135	1723	487	33	29	0	16	53454	-46547
42	-10.9	31	0.05	33	-105	1720	457	33	29	0	17	53797	-45224
43	-10.2	30	0.05	33	-75	1717	427	33	29	0	17	54114	-43828
44	-9.5	30	0.05	33	-45	1715	397	34	30	0	17	54405	-42364
45	-8.7	30	0.05	33	-15	1712	367	34	30	0	17	54671	-40835
46	-8	30	0.05	33	15	1718	337	35	30	0	17	56757	-39555
47	-7.3	30	0.05	33	44	1725	307	36	31	0	17	60320	-39065
48	-6.6	30	0.05	33	74	1733	278	37	33	0	17	63847	-38395
49	-5.9	30	0.05	33	103	1741	249	39	34	0	17	67340	-37550
50	-5.2	30	0.05	33	132	1749	219	40	35	0	17	70800	-36533
51	-4.5	30	0.05	33	162	1757	190	41	36	0	17	74229	-35348
52	-3.8	29	0.05	33	191	1766	160	42	37	0	17	77629	-33997
53	-3.1	29	0.05	33	221	1775	131	44	38	0	17	81002	-32486
54	-2.4	29	0.05	33	250	1784	102	45	39	0	17	84349	-30816
55	-1.7	29	0.05	33	280	1793	72	46	40	0	18	87673	-28993
56	-1	29	0.05	33	309	1802	43	47	41	0	18	90973	-27018
57	-0.3	28	0.05	33	338	1811	14	46	40	0	17	89745	-23774
58	0	1	0.05	33	352	1816	1	2	2	0	1	4509	-1121
59	0.4	29	0.05	33	368	1821	16	49	43	0	18	97513	-22631
60	1.1	29	0.05	33	397	1831	46	50	44	0	18	100756	-20225
61	1.8	29	0.05	33	427	1841	75	52	45	0	17	103982	-17682
62	2.5	29	0.05	33	456	1851	104	53	46	0	17	107193	-15006
63	3.2	29	0.05	33	486	1862	134	54	47	0	17	110390	-12201
64	3.9	29	0.05	33	515	1872	163	55	48	0	17	113576	-9269
65	4.6	30	0.05	33	544	1883	193	56	49	0	17	116750	-6214
66	5.3	30	0.05	33	574	1894	222	57	50	0	17	119915	-3040
67	6	30	0.05	33	603	1905	252	58	51	0	17	123072	249
68	6.7	30	0.05	33	633	1917	281	59	51	0	17	126222	3651
69	7.4	30	0.05	33	662	1928	310	59	52	0	17	129367	7161
70	8.1	30	0.05	33	691	1940	340	60	53	0	17	132508	10775
71	8.8	30	0.05	33	721	1952	369	61	54	0	17	135647	14491
72	9.5	30	0.05	33	750	1964	399	62	54	0	17	138785	18304
73	10.2	30	0.05	33	780	1971	428	62	55	0	16	140200	21929
74	10.9	30	0.05	33	809	1974	457	62	54	0	16	139993	25280
75	11.6	30	0.05	33	839	1977	487	62	54	0	16	139778	28588
76	12.3	30	0.05	33	868	1980	516	61	54	0	16	139552	31848
77	13.1	30	0.05	33	897	1983	546	61	53	0	16	139317	35056
78	13.8	30	0.05	33	927	1987	575	60	53	0	15	139071	38210
79	14.5	30	0.05	33	956	1991	604	60	53	0	15	138815	41304
80	15.2	30	0.05	33	986	1995	634	60	52	0	15	138547	44335
81	15.9	31	0.05	33	1015	1999	663	59	52	0	15	138269	47298
82	16.7	31	0.05	33	1044	2003	693	59	51	0	14	137980	50190
83	17.4	31	0.05	33	1074	2008	722	58	51	0	14	137678	53006
84	18.1	31	0.05	33	1103	2012	752	57	50	0	14	137364	55741
85	18.9	31	0.05	33	1133	2017	781	57	50	0	14	137038	58392
86	19.6	31	0.05	33	1162	2023	810	56	49	0	13	136699	60953
87	20.4	31	0.05	33	1191	2028	840	56	49	0	13	136345	63420
88	21.1	32	0.05	33	1221	2034	869	55	48	0	13	135978	65789
89	21.8	32	0.05	33	1250	2039	899	54	48	0	12	135596	68053
90	22.6	32	0.05	33	1280	2050	928	55	48	0	12	137972	71545
91	23.4	32	0.05	33	1309	2066	958	55	48	0	12	141123	75331
92	24.1	32	0.05	33	1339	2083	987	55	49	0	11	144295	79126
93	24.9	33	0.05	33	1369	2099	1017	56	49	0	11	147488	82926
94	25.7	33	0.05	33	1398	2116	1047	56	49	0	11	150707	86724
95	26.5	33	0.05	33	1428	2133	1076	56	49	0	10	153952	90515
96	27.3	33	0.05	33	1458	2151	1106	57	50	0	10	157226	94292
97	28.1	34	0.05	33	1487	2168	1136	57	50	0	9	160533	98049
98	28.9	34	0.05	33	1517	2186	1165	57	50	0	9	163874	101780
99	29.7	34	0.05	33	1546	2204	1195	57	50	0	8	167253	105477
100	30.5	34	0.05	33	1576	2223	1224	57	50	0	8	170672	109133
101	31.1	15	0.05	33	1597	2236	1246	25	22	0	3	75389	48645
102	31.5	20	0.5	20	1612	2246	1260	32	28	0	4	100043	64106
103	32.1	35	0.5	20	1635	2260	1284	57	50	0	7	179334	116349
104	32.9	35	0.5	20	1665	2280	1313	57	50	0	6	182143	119895
105	33.8	36	0.5	20	1695	2299	1343	57	50	0	5	185027	123374
106	34.6	36	0.5	20	1724	2319	1373	57	50	0	5	187990	126777
107	35.5	36	0.5	20	1754	2339	1402	57	50	0	4	191038	130095

108	36.4	37	0.5	20	1784	2359	1432	57	50	0	4	194178	133318
109	37.2	37	0.5	20	1813	2380	1461	57	50	0	3	197417	136437
110	38.1	38	0.5	20	1843	2401	1491	57	50	0	2	200763	139441
111	38.6	5	0.5	20	1859	2413	1508	7	6	0	0	25000	17401
112	39.1	33	0.05	38	1874	2425	1523	50	43	0	1	217263	124788
113	39.9	39	0.05	38	1902	2446	1550	56	49	0	1	251990	144571
114	40.7	25	0.05	38	1926	2466	1575	36	32	0	0	165040	94488
115	41.2	14	0.05	38	1941	2477	1590	20	17	0	0	91303	52310
116	41.8	40	0.05	38	1961	2493	1610	55	48	0	0	258556	149120
117	42.8	40	0.05	38	1991	2516	1639	55	48	0	0	260106	151343
118	43.7	41	0.05	38	2021	2540	1669	54	48	0	0	261583	153371
119	44.7	42	0.05	38	2050	2564	1698	54	47	0	0	262980	155187
120	45.7	43	0.05	38	2080	2584	1728	54	47	0	0	266276	157829
121	46.7	44	0.05	38	2110	2600	1758	52	45	0	0	261859	155569
122	47.8	45	0.05	38	2140	2617	1789	50	44	0	0	257124	152882
123	48.9	46	0.05	38	2170	2634	1819	48	42	0	0	252032	149743
124	50	47	0.05	38	2201	2652	1849	46	40	0	0	246539	146123
125	51.1	48	0.05	38	2231	2670	1879	44	38	0	0	240592	141989
126	52.3	49	0.05	38	2261	2689	1909	41	36	0	0	234127	137305
127	53.4	51	0.05	38	2291	2709	1939	39	34	0	0	227067	132029
128	54.7	52	0.05	38	2321	2730	1970	37	32	0	0	219318	126115
129	55.9	54	0.05	38	2351	2752	2000	34	30	0	0	210762	119507
130	57.2	56	0.05	38	2381	2775	2030	32	28	0	0	201253	112144
131	58.6	58	0.05	38	2412	2799	2060	29	25	0	0	190603	103949
132	60	60	0.05	38	2442	2825	2090	26	23	0	0	178565	94834
133	61.4	63	0.05	38	2472	2852	2120	23	20	0	0	164811	84688
134	63	66	0.05	38	2502	2880	2150	19	17	0	0	148894	73376
135	64.6	70	0.05	38	2532	2911	2180	16	14	0	0	130176	60724
136	66.3	75	0.05	38	2562	2944	2210	12	10	0	0	107722	46503
137	68.2	81	0.05	38	2591	2979	2240	8	7	0	0	80076	30399
138	70.2	89	0.05	38	2619	3015	2267	3	3	0	0	44826	11956
139	71.3	9	0.05	38	2639	3043	2287	0	0	0	0	2119	93
		4750						5292	4644	0		8719660	3199327

Coefficiente di sicurezza FS = 13.2347

PROVINCIA DI MANTOVA

SERVIZIO PROGETTAZIONE STRADALE, PONTI, STRUTTURE COMPLESSE E PORTO

LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA BRETELLA DI COLLEGAMENTO TRA IL CASELLO AUTOSTRADALE DI MANTOVA NORD ED IL COMPARTO PRODUTTIVO "VALDARO"

2° STRALCIO LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'ASTA PRINCIPALE COL SOVRAPPASSO FERROVIARIO

PROGETTO ESECUTIVO

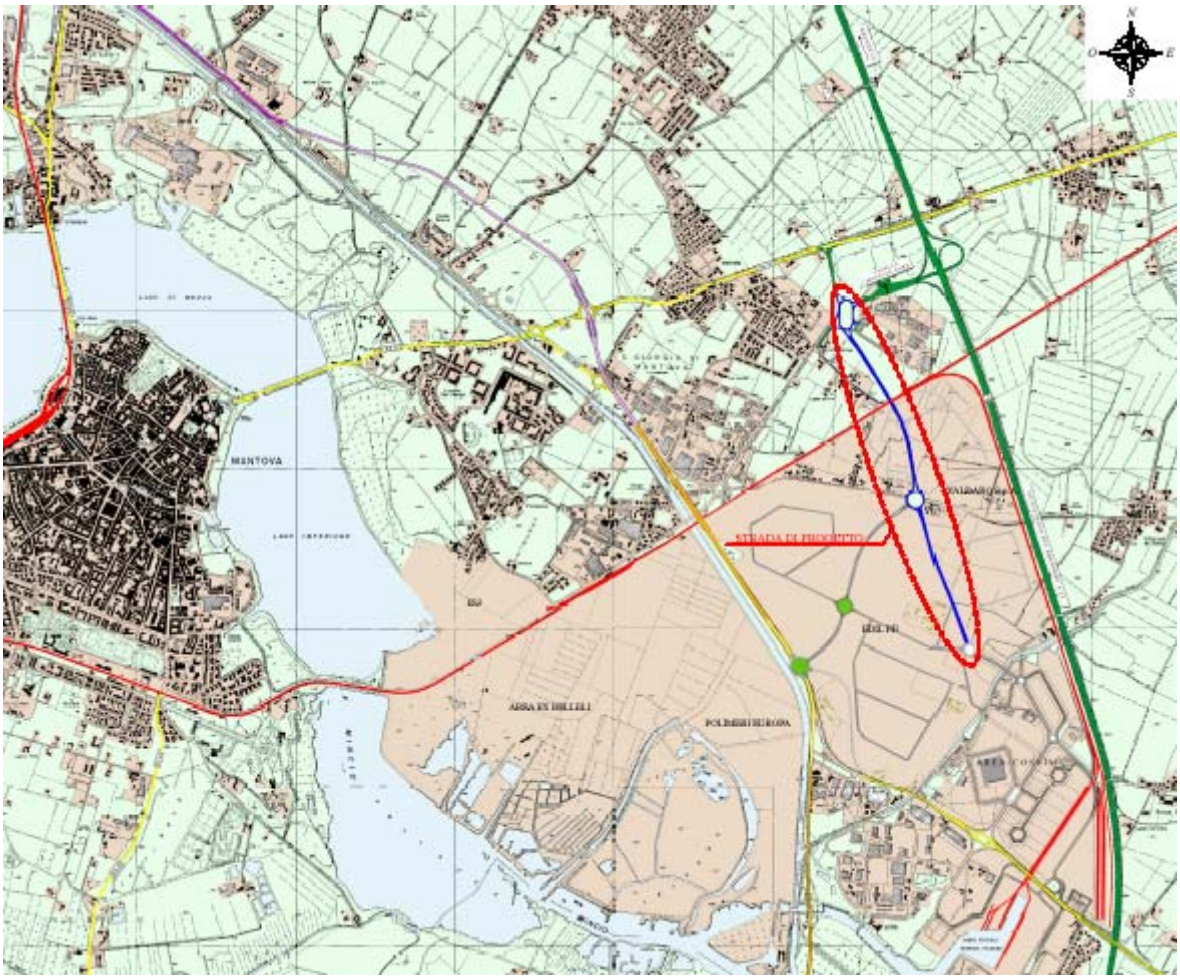
Allegati alla Relazione Geologico Geotecnica

Committente

VALDARO s.p.a.

PROGETTO DEFINITIVO DELLA BRETELLA DI COLLEGAMENTO TRA IL CASELLO AUTOSTRADALE DI MANTOVA NORD E IL PORTO DI MANTOVA

INDAGINI GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE, GEOTECNICHE E SISMICHE



Gennaio 2007

GEOLOGIA APPLICATA

Dott. Geologo Fulvio Baraldi

Via Tito Speri n. 27, 46100 Mantova

Telefono: 0376-327306; fax: 0376-226351; cellulare: 329-4322787
e-mail: fulvio.baraldi@studioidrogeologico.191.it

INDICE

0.0 PREMESSA **3**

0.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA E CARTOGRAFICA 3

1.0 GEOLOGIA **5**

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO 6
1.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE 6
1.3 LITOLOGIA DI SUPERFICIE 11
1.4 LITOLOGIA PROFONDA E IDROGEOLOGIA 14
1.5 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E CLIMATICHE GENERALI 20
1.6 SISMICITA' DELL'AREA 23

2.0 GEOTECNICA **26**

2.1 ATTIVITA' DI INDAGINE 27
2.2 METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE 31
2.3 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA-MODELLO GEOLOGICO 36
2.4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-MODELLO GEOTECNICO 37
2.5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA 51

3.0 CONCLUSIONI **52**

3.1 CARATTERISTICHE GENERALI 53
3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE SUPERFICIALI E PROFONDE 54
3.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE 55
3.4 CARATTERISTICHE SISMICHE 102

ALLEGATI

Tav. 1 - Ubicazione delle indagini in sito
Tav. 2 - Sezione litologica profonda

0.0 PREMESSA

La presente relazione riguarda il Progetto Definitivo della "**Bretella di collegamento tra il casello autostradale di Mantova Nord e il Porto di Mantova**", sita nei Comuni di Mantova e San Giorgio di Mantova.
La relazione è stata redatta ai sensi della seguente normativa:

- Decreto del Presidente della Repubblica 21.12.1999 n. 554 *"Regolamento di attuazione della legge-quadro in materia dei lavori pubblici 11.febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni";*
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003 n. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e successive modifiche e integrazioni;
- Decreto 21 ottobre 2003 "*Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante <Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica>*";
- Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti 14.09.2005 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*".

Sono stati inoltre consultati i P.R.G. vigenti dei Comuni di Mantova e di San Giorgio di Mantova, in particolare lo Studio Geologico e le Norme Geologiche di Attuazione allegati agli stessi.

Il sottoscritto è stato incaricato da VALDARO s.p.a. delle seguenti operazioni:

a) seguire e controllare giornalmente l'esecuzione delle prove in sito, ovvero pozzetti esplorativi, prove di piastra, sondaggi meccanici, prove CPTU, piezometro. Le operazioni sono iniziate il giorno 02.11.2006 e sono terminate il giorno 01.12.2006;

b) analizzare il Rapporto Tecnico di SONGEO s.r.l.: esso è costituito da due elaborati (Relazione Tecnica e Prove di Laboratorio). L'analisi dello stesso ha portato a richiedere alla Ditta esecutrice integrazioni e modifiche;

c) redigere la relazione tecnica "Indagini geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche" a corredo del Progetto Definitivo.

0.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA E CARTOGRAFICA

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova interessati dalla costruzione della nuova Bretella sono rappresentati nella seguente cartografia:

a) scala 1:10.000

- CARTA TECNICA REGIONALE

Sezione N° E7d5 Bagnolo San Vito Nord
Sezione N° E7d4 San Giorgio di Mantova

b) scala 1:50.000

- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE ITALIANO

Foglio 165 Mantova

c) scala 1:100.000

- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE ITALIANO

Foglio 62 Mantova

L'area interessata è evidenziata nella Figura 1.

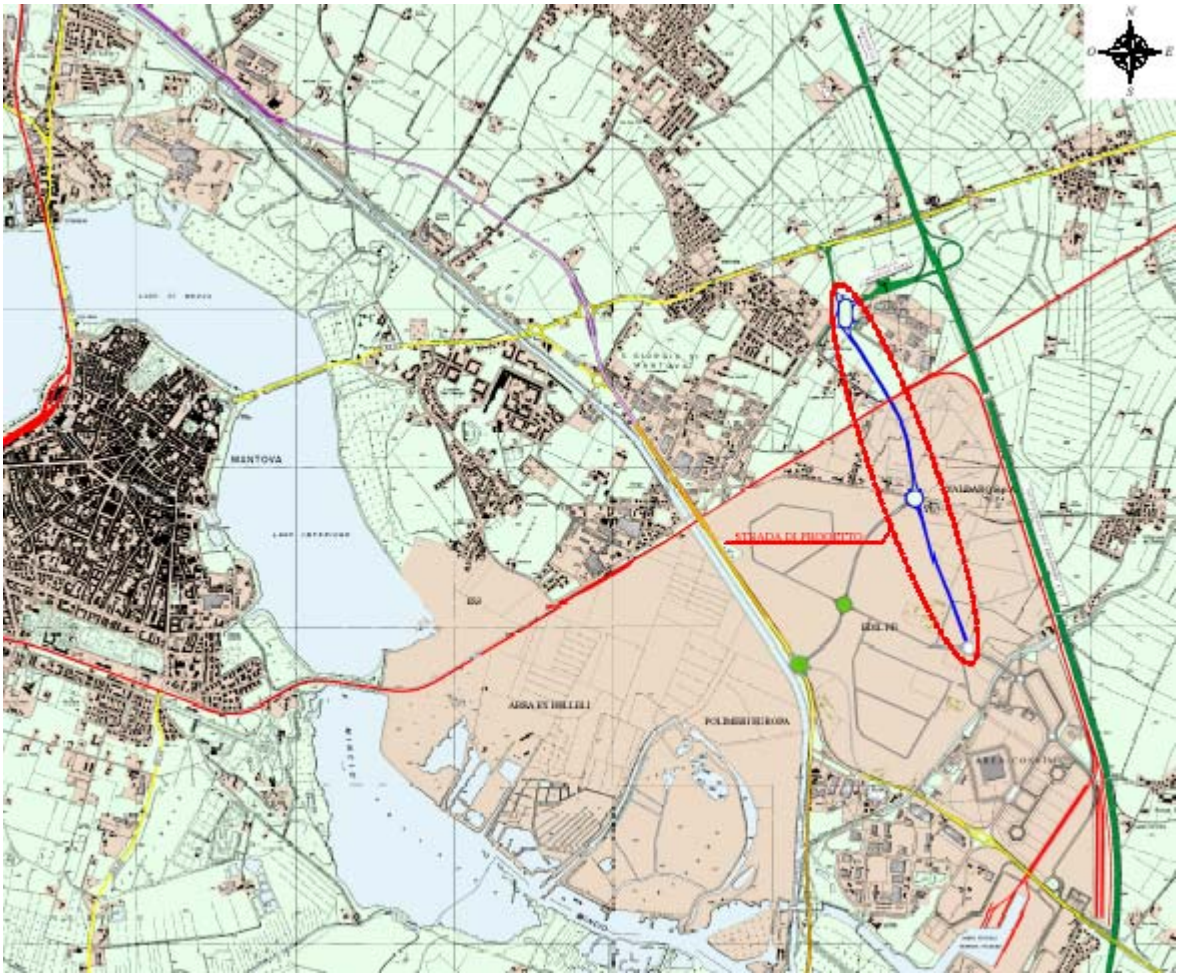


Figura 1 – Ubicazione geografica della Bretella

1.0 GEOLOGIA

1.0 GEOLOGIA

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova si trovano nella parte centro-meridionale della Pianura Padana. Tale piana, posta tra la catena delle Alpi a nord e degli Appennini a sud, è il risultato del riempimento di un bacino di subsidenza che raggiunge oltre 6.000 metri di profondità verso il margine appenninico.
La ricostruzione geologica, paleoambientale, tettonica e sismica, nonchè dei sistemi morfogenetici, le suddivisioni cronologiche e stratigrafiche, è possibile grazie alle perforazioni dell'AGIP per la ricerca di idrocarburi e, in parte, agli studi effettuati da ENEL per la localizzazione di centrali elettronucleari.
Le perforazioni profonde dell'AGIP eseguite nei pressi dell'area in esame (pozzo Modena 1 profondo 2490 metri; pozzo Modena 3, profondo 3965 metri; pozzo Albareto 1, profondo 3048 metri; pozzo Cavone 2, profondo 4155 metri) hanno attraversato le serie quaternaria, cenozoica e mesozoica.
Nel Mesozoico è stata accertata la presenza di un ambiente marino tropico-equatoriale che ha permesso la formazione di dolomie e calcari dolomitici e la deposizione di calcari, calcari selciferi e marne.
Nel Cenozoico appare evidente l'inizio di fenomeni orogenetici che si concluderanno poi con la formazione delle Alpi e degli Appennini.
A partire però da circa 50 milioni di anni fa (Eocene), iniziò la collisione tra le zolle africana ed europea che portò alla definitiva formazione delle catene montuose delle Alpi e degli Appennini, delimitando tra di esse un bacino marino.
Alla fine del Cenozoico, nel Pliocene, si instaurò il bacino di subsidenza padano che perdurò per tutto il Pliocene e il Pleistocene. Infatti, salvo fenomeni di sollevamento e di compressione, il mare ricopriva l'area dell'attuale pianura mentre la sedimentazione continuava, controllata dalla subsidenza.
Nel mare padano si depositavano sedimenti detritici provenienti dallo smantellamento delle catene montuose; sabbie, limi e argille raggiunsero in certe zone spessori assai elevati, dell'ordine di alcuni chilometri, specialmente nelle strutture sinclinaliche.
La base del Pliocene, nell'area di studio, si trova a profondità di 2.500-3.000 metri, mentre la base del Quaternario si trova a circa 1.500 metri di profondità dal piano campagna attuale, in parte spinta verso l'alto dalla struttura tettonica denominata "Dorsale Ferrarese", che qui arriva con le propaggini occidentali.
Il passaggio dal Quaternario marino a quello continentale è annunciato da episodi salmastri e continentali che divengono sempre più frequenti verso l'alto, e che sono la conseguenza della regressione marina che procedeva da ovest verso est.
I successivi depositi olocenici sono solamente di origine continentale e sono costituiti da elementi a granulometria variabile dalle argille ai ciottoli.
Il passaggio dall'ambiente prettamente marino a quello continentale, con l'emersione generalizzata della Pianura Padana, è evidenziato dall'interfaccia tra le acque salate e le acque dolci che, nella zona di Mantova, si rinviene tra 400 e 500 metri di profondità.

1.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Sulla base del presente studio e dal confronto con i lavori a carattere geologico e geomorfologico più recenti analizzati, vengono qui di seguito descritte le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area circostante il tracciato della nuova Bretella (Figura 2).

Per gli elementi di geomorfologia e di geodinamica del territorio, sono state utilizzate le cartografie esistenti dei rilevamenti di campagna e dei rilevamenti indiretti. Tra questi ultimi, l'analisi delle foto aeree ha contribuito alla individuazione delle caratteristiche geomorfologiche naturali e delle forme antropiche; in particolare l'analisi foto-geomorfologica è servita alla individuazione di alcuni paleoalvei difficilmente rilevabili tramite il rilievo di campagna.

I terreni affioranti nel settore centro meridionale della provincia di Mantova sono stati deposti in ambiente continentale e fanno parte della spessa coltre di alluvioni depositata dal Po e dai suoi affluenti, in particolare il fiume Mincio.
Il Po, che scorre pensile (cioè sopraelevato rispetto al piano campagna circostante) da sud verso nord tra Luzzara e la foce Oglio, e da ovest verso est a valle della foce suddetta, divide l'area mantovana in due settori a caratteristiche geomorfologiche differenti.
A sud del Po sono conservate le tracce, rappresentate da dossi, paleoalvei a livello della pianura, bacini interfluviali, ventagli di rotta, dell'evoluzione paleoidrografica, che è stata caratterizzata dalla migrazione del Po da sud verso nord.
In particolare sono ancora riconoscibili sul terreno e/o sulle fotoaeree tracce del sistema fluviale del Po Vecchio (in piena funzione sino al XII secolo d.C. e di cui il Secchia a nord di Quistello rappresenta un tratto), e dell'Oglio - Scolo Zara che è stato separato dall'Oglio attuale in seguito alla suddetta migrazione del Po.
La migrazione del Po da un tracciato secondo la direttrice Guastalla - Mantova al tracciato attuale si è realizzata in seguito a due importanti deviazioni fluviali avvenute nell'VIII sec. a. C., presso Guastalla, e nel XII sec. d. C. presso Luzzara.
Questo spostamento verso nord è stato condizionato anche da movimenti tettonici di strutture geologiche sepolte (Pieghe ferraresi: per dettagli cfr. PANIZZA et alii, 1987).
Nell'ambito dell'evoluzione dei periodi più recenti, post XVI sec. d.C., si segnala la formazione nel XVIII sec. di un grande meandro ad ovest di S.Benedetto Po che rimarrà attivo per circa un secolo e le cui tracce sono ancor oggi ben riconoscibili all'interno dell'area golenale. L'analisi della morfodinamica attuale (studiata in dettaglio da CASTALDINI e PIACENTE, 1991) evidenzia che l'evoluzione del Po è strettamente legata alle opere antropiche in alveo.
I depositi alluvionali affioranti nel settore a sud del Po sono di età olocenica ed in particolare sono stati deposti a partire dagli ultimi millenni prima di Cristo.
Per quanto riguarda il settore di pianura a Nord del Po, nell'analisi dell'assetto altimetrico si devono distinguere tre zone: 1) la zona a Sud di Mantova; 2) la zona ad Est dell'allineamento Porto Mantovano - Governolo; 3) la zona a Nord del Lago Superiore.
Nella prima zona, il territorio degrada uniformemente da Nord/Nord-Ovest verso Sud/Sud-Est con un'inclinazione dello 0.08 % ; gli estremi altimetrici sono rappresentati dalla quota 28 m, presso Grazie, e dalla quota 17 m presso il Po.
Dal confronto con PANIZZA (1984) e PANIZZA et alii (1987), quest'area rappresenta la parte più distale del "terrazzo fluvioglaciale wurmiano di pertinenza gardesana" che forma gran parte della pianura mantovana occidentale.
La seconda zona, con estremità altimetriche rappresentate dalle quote 31 m a Nord di Porto Mantovano e 14 m presso Casale, degrada regolarmente da Nord – Ovest verso Sud - Est con un'acclività dello 0.09%.
Dal confronto con gli Autori sopra citati, quest'area appartiene all'unità dei "Depositi alluvionali sub - boreali del Mincio, Tartaro e Adige, salvo la zona tra Castelbelforte, Castel D'Ario e Villimpenta ricadente nell'unità "Depositi fluviali tardo - glaciali e primi - olocenici di pertinenza atesina".

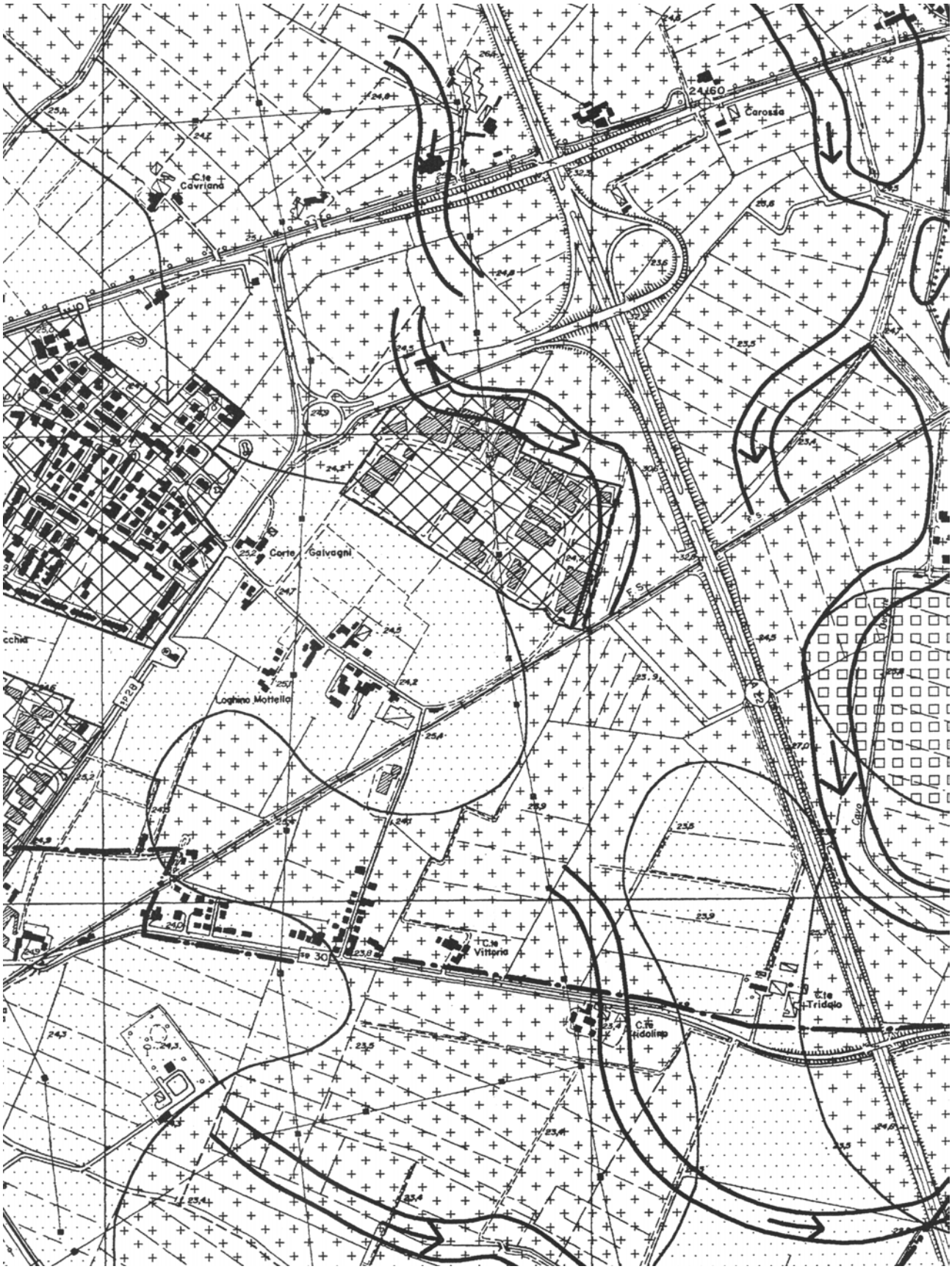
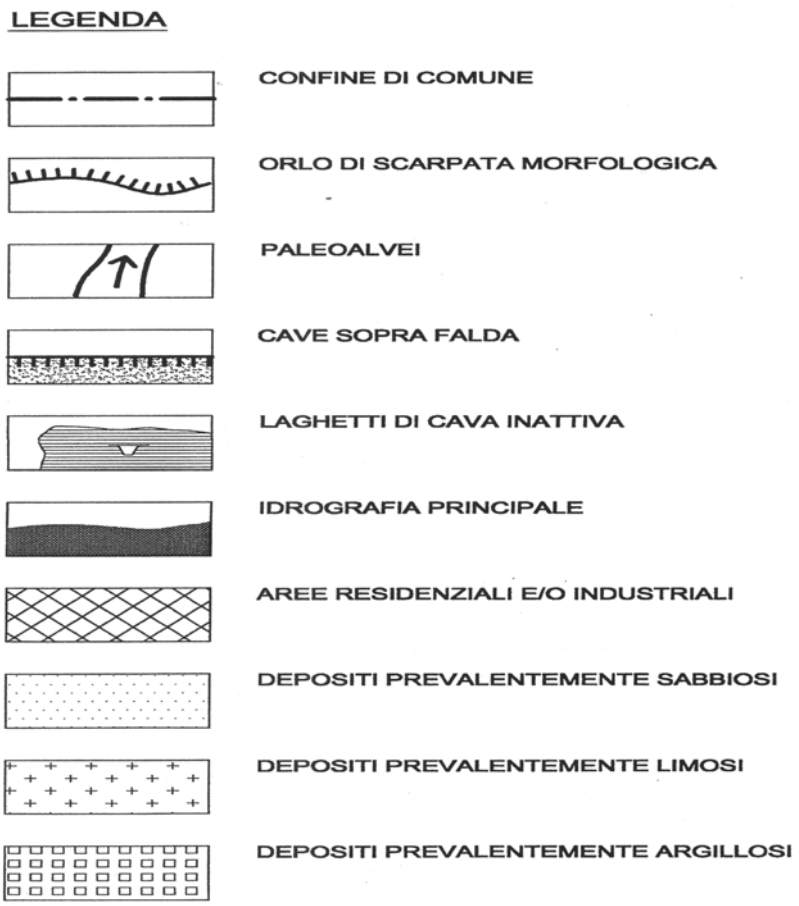


Figura 2 – Carta Geologica e Geomorfologica



Le due superfici suddette risultano terrazzate dal fiume Mincio, dalla Fossa Viva, dal fiume Tione e da alcuni altri corsi d'acqua minori che dannò luogo ad incisioni di pochi metri più basse rispetto alla pianura circostante (generalmente da 1 a 5 m). La zona a Nord del Lago Superiore, che rappresenta l'estremità meridionale della grande incisione del Mincio a Nord di Mantova, risulta intensamente antropizzata dall'attività estrattiva e dalla costruzione del Diversivo Mincio. Tuttavia si individua un territorio degradante uniformemente da Nord verso Sud, con estremi altimetrici rappresentati dalle quote 27 m e 17 m e un'inclinazione dello 0.17 %.
Sulla base dei lavori di PANIZZA (1984) e di PANIZZA et alii (1987), l'evoluzione del settore a Nord del Po può essere riassunta come segue.
All'ultima espansione del ghiacciaio gardesano (Wurm) è da riferire sia la deposizione delle morene comprese fra Castiglione delle Stiviere e Volta Mantovana che l'inizio della sedimentazione della piana fluvioglaciale. Questa, durante il cataglaciale si estenderà ampiamente verso meridione e verso Est. In età tardiglaciale gli scaricatori delle morene si incisero ulteriormente e così nel terrazzo fluvioglaciale si approfondirono gli alvei del Chiese e del Mincio, che a Sud di Grazie continuava lungo la Fossa Viva. Successivamente, mentre proseguiva l'incisione del terrazzo fluvioglaciale mantovano si andavano sedimentando i depositi fluviali di pertinenza atesina, occupando posizioni progressivamente più orientali (sino alla zona Castelbelforte, Castel D'Ario, Villimpenta).
In conseguenza delle mutate condizioni ambientali, diversa è la morfogenesi dell'area nell'Olocene. A Nord prevalgono i depositi pelitici di esondazione che si accumulano nelle depressioni dei depositi fluviali di pertinenza atesina; a valle di essi, e fra questi e il Mincio ad Ovest e l'Adige ad Est si sedimenta altro materiale di esondazione. Si forma così la superficie corrispondente ai depositi alluvionali sub - boreali del Mincio, Tartaro e Adige.

Successivamente, nell'età del Bronzo, in seguito alla presunta attività neotettonica della "Linea di Mantova" avviene la diversione del Mincio che si scava un nuovo percorso ad Est di Grazie.

Come si osserva dalla Carta Geologica e Geomorfologica, i depositi superficiali qui rinvenibili sono di natura alluvionale, legati prevalentemente all'attività deposizionale del Fiume Mincio; essi sono costituiti in prevalenza da sabbie fini e da limi argillosi. Sono presenti tracce di piccoli paleoalvei, legati a corsi d'acqua minori.

1.2.1 Forme fluviali

Per gli elementi di Geomorfologia e di Geodinamica del territorio della porzione centro meridionale del territorio mantovano, sono stati utilizzate le cartografie esistenti dei rilevamenti diretti di campagna e dei rilevamenti indiretti. Tra questi ultimi l'analisi delle foto aeree ha contribuito alla individuazione delle caratteristiche geomorfologiche naturali e delle forme antropiche.
In particolare l'analisi foto-geomorfologica è servita nella individuazione dei paleoalvei, difficilmente rilevabili direttamente in campagna.
I lineamenti morfologici della pianura padana cui appartengono i territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova, sono la diretta conseguenza delle glaciazioni. Durante il Quaternario l'emisfero boreale fu interessato da periodi di raffreddamento con notevoli abbassamenti delle temperature alternati a periodi di riscaldamento. In Europa sono state individuate cinque glaciazioni chiamate Donau, Gunz, Mindel, Riss e Wurm. La glaciazione wurmiana terminò circa 10.000 anni fa.
Nell'area gardesana sono documentate 5 fasi glaciali: nel Pleistocene inferiore la fase di Ciliverghe; nel Pleistocene medio le fasi di Monte Faita, di Carpenedolo e di Sedena; nel Pleistocene superiore la fase di Solferino.
Le variazioni termiche spostarono in continuazione il limite delle nevi perenni verso la pianura e verso la montagna. Nei periodi glaciali la catena alpina fu completamente ricoperta da grandi ghiacciai che arrivarono fino all'alta pianura padana con potenti lingue di ghiaccio terminanti con larghe espansioni. Nei periodi interglaciali i ghiacciai regredivano lasciando a nudo la morfologia glaciale.
Le oscillazioni climatiche influenzarono anche la fauna e la flora. Nell'Europa ed anche nella pianura padana si diffusero nei periodi freddi tundre e foreste nordiche abitate da alci, cervi, orso delle caverne, mammut, ecc.; nei periodi caldi la pianura si ricoprì di boschi e foreste temperate abitate da elefanti, ippopotami e rinoceronti.
Con la fine dell'ultima glaciazione molte forme di vita si estinsero, mentre altre come Mammut e Bos primigenius entrarono in competizione con l'uomo che contribuì spesso alla loro definitiva scomparsa.
La morfologia glaciale è costituita da forme di erosione (conche e circhi glaciali, valli con profilo tipico a U, bacini lacustri, ecc) e da forme di accumulo (morene, depositi fluvioglaciali, ecc).
Il territorio comunale di San Giorgio di Mantova è ubicato a sud dell'anfiteatro morenico e appartiene alla piana di alluvionamento proglaciale (outwash plain o sandur) di pertinenza gardesana, profondamente terrazzata dall'azione del Mincio che ha inciso la propria valle.
Mentre il terrazzo fluvioglaciale Wurmiano è riferito al Pleistocene Superiore, la valle del Mincio è riferita all'Olocene.
Gli elementi geomorfologici che la caratterizzano sono così descritti.

1) la piana fluvioglaciale è costituita in questa zona da elementi litoidi a granulometria media e fine con dimensioni progressivamente minori man mano che si procede da Nord a Sud ci si allontana dalle direzioni principali di fluitazione talvolta riconoscibili dall'andamento dei numerosi paleoalvei.

Con il terrazzamento della piana proglaciale, l'azione geodinamica dell'acqua si è affievolita. Il territorio pertanto si è assestato su forme che sono praticamente rimaste costanti nel tempo. Anche gli interventi dell'uomo, finalizzati alla regimazione dei piccoli corsi d'acqua, non hanno provocato perturbazioni di rilievo.

2) La depressione valliva del Mincio, delimitata da terrazzi la cui distanza aumenta in corrispondenza dei laghi che circondano la città di Mantova, per poi diminuire in corrispondenza del Mincio sub lacuale.
I depositi alluvionali presenti nella valle del Mincio sono generalmente costituiti da elementi clastici con ciottoli, ghiaie e sabbie. Il Mincio aveva pertanto una notevole forza erosiva rappresentata dai terrazzi delimitanti la valle ed era dotato di grande capacità di trasporto tanto che i depositi alluvionali grossolani sono presenti molto a sud dell'anfiteatro morenico del Garda fino al Lago Superiore di Mantova, paleoalvei e meandri abbandonati presenti all'interno della valle, sono la testimonianza della grande mobilità del fiume che esprimeva anche in passato la sua pericolosità anche con frequenti alluvioni.
Attualmente gli interventi idraulici dell'uomo (diga di Salionze, prelievi di acque per usi irrigui e idroelettrici, canali diversivi, ecc) hanno praticamente annullato l'azione geodinamica caratteristica del fiume che ora scorre in regime di equilibrio e completamente bacinizzato.
Le alluvioni grossolane possono essere ricoperte da livelli torbosi nelle parti più basse della valle, lontano dalla corrente fluviale principale, dove le acque quasi ferme hanno favorito la formazione di un ambiente palustre.

3) La vasta bassura, occupata da paludi e laghi che circonda la città di Mantova. L'origine di questo bacino acqueo variamente articolato, è spiegato con l'azione erosiva di un ramo del Mincio con il contributo di fenomeni neotettonici attivi in età pleistocenica e con gli interventi dell'uomo a partire del XIII secolo.

4) La presenza, nella valle del fiume Mincio a sud di Mantova, di alcuni specchi lacustri è il segno che l'attività estrattiva recente ha lasciato sul territorio modificandone il paesaggio.

Nell'area di Mantova e San Giorgio di Mantova presa in esame sono stati rilevati i seguenti elementi geomorfologici:

- orlo di terrazzo, con andamento NNO-SSE, che delimita la Valle del fiume Mincio; esso è ben rilevabile a sud di Formigosa, mentre ad ovest viene occultato da interventi antropici. Esso presenta altezze dell'ordine di 2-4 metri;
- serie di paleoalvei, presenti soprattutto nella porzione settentrionale dell'area indagata, rilevabili unicamente da fotografie aeree: essi presentano un andamento N-S o NNO-SSE. Particolarmente significativo è il paleoalveo del Canale Dugale, che passa per Castelletto Borgo e scorre incassato nella pianura circostante di 2-3 metri; altri paleoalvei sono legati al corso del Cavo Dugale e del Derbasco.

1.3 LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Per lo studio delle caratteristiche litologiche superficiali ci si è avvalsi, oltre che di osservazioni dirette in sezioni aperte (scavi edilizi, trincee, fronti di cava, sezioni di canali, ecc.), di sondaggi condotti tramite una sonda a mano, provvista di campionatore terminale; vengono prelevati campioni di terreno sottostanti allo strato interessato dalla pedogenesi che non è stato quindi preso in considerazione per la definizione della litologia di superficie, in quanto ampiamente rimaneggiato e modificato dalle pratiche agricole. I campioni così prelevati sono stati classificati direttamente in campagna ricorrendo ad uno strumento di facile impiego. Lo strumento consiste in

un archetto ottenuto piegando ad U un tondino di ferro lungo 20-30 centimetri e di 4-5 millimetri di diametro, alle cui estremità è fissato in tensione un filo d'acciaio di 0.2 millimetri di diametro. Per la determinazione della granulometria si procede come segue:
- il campione va inumidito e manipolato fino ad ottenere un impasto omogeneo;
- il campione così ottenuto va tagliato con il filo dell'archetto;
- la superficie di taglio così ottenuta va confrontata con superfici standard.

La superficie di taglio può presentarsi fondamentalmente in due modi: liscia o increspata. Nel primo caso si è in presenza di argille, i cui clasti sono così minuti che il filo d'acciaio non riesce a trascinarli mettendoli in evidenza sulla superficie di taglio. Nel secondo caso si è invece in presenza di granulometrie più grossolane, limi o sabbie: i clasti, trascinati dal filo d'acciaio, formano caratteristiche creste le cui dimensioni sono proporzionali a quelle dei granuli che costituiscono il campione. Nei limi le creste sono minutissime, assai ravvicinate tra loro; aumentando in dimensione e in distanza le creste, si passa alle sabbie fini, medie e infine grossolane.

In base alla metodologia sopra descritta, nel territorio esaminato sono stati rilevati i seguenti litotipi (vedasi Figura 2):

a) sabbie

Si rinvengono soprattutto lungo una direttrice NO-SE posta tra il Diversivo di Mincio e il Canal Bianco. In particolare affiorano sabbie fini, con consistente percentuale di limo, nell'area posta nei dintorni dell'abitato di Mottella; sabbie medie si rinvengono tra Castelletto Borgo e Formigosa.

b) limi

Costituiscono il litotipo più frequente ed arealmente più esteso all'interno dell'area esaminata; si tratta di limi accompagnati frequentemente da percentuali sensibili di sabbia fine, in particolare lungo i paleoalvei.

c) argille

Questo litotipo affiora in particolare nella porzione orientale dell'area esaminata, dove le argille sono frammiste a percentuali elevate di limo; nella valle del fiume Mincio le argille sono invece caratterizzate da un modestissimo contenuto limoso e sono state utilizzate in passato per l'attività delle fornaci.

1.3.1 Caratteristiche pedologiche

Le caratteristiche pedologiche dell'area esaminata sono state studiate in dettaglio dall'ERSAL, ed i risultati pubblicati nel volume **Unità di paesaggio e capacità d'uso del territorio provinciale di Mantova** (1989).
Il territorio in esame appartiene a due distinte **unità di paesaggio**:

- a nord la piana fluviale terrazzata, costituente il livello fondamentale della pianura, in cui i suoli sono generalmente calcarei, a tessitura franco fine, rossastri, profondi e ben drenati. Sono classificati secondo la Soil Taxonomy U.S.D.A.-U.S.A. come **Calcic Haploxeralfs, Calcixerollic Xerochrepts, Typic Haploxeralfs**;

- a sud del terrazzo che delimita la valle del Mincio si rinvengono depositi fluviali che appartengono all'unità di paesaggio del piano di divagazione del Mincio delimitato dalla scarpata di terrazzo. Si tratta di aree palustri in parte bonificate che occupano aree depresse del

piano di divagazione fluviale. I suoli si presentano poco o moderatamente profondi, tessitura fine, con drenaggio molto lento. Sono classificati come **Hidric Medifibrists, Fluvaquentic Haplaquolls**.

Mentre la piana fluviale settentrionale è interessata soprattutto da coltivazioni di seminativi, la zona valliva del Mincio è interessata da qualche pioppeto e soprattutto da vegetazione spontanea igrofila.

1.4 LITOLOGIA PROFONDA E IDROGEOLOGIA

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova fanno parte **dell'Unità Idrogeologica del Medio Mantovano**, che occupa una vasta porzione del territorio provinciale a sud delle colline moreniche del Garda e fino al Fiume Po.
In questo territorio è presente un acquifero superficiale, libero nella parte prossima alle colline moreniche dove ghiaie e sabbie affiorano in superficie, e che può essere semiconfinato o confinato. Inferiormente e separati dall'acquifero superficiale da un livello di materiali argillosi, si rinvengono diversi livelli acquiferi che configurano un acquifero multifalda compartimentato.
Le falde hanno sede nel pacco di depositi fluvioglaciali e fluviali del Pleistocene medio-superiore e dell'Olocene; tali depositi continentali sovrastano depositi del Villafranchiano, del Calabriano e del Pliocene. La base di questo acquifero principale è costituita dall'interfaccia acque dolci-acque salate che nella zona di Mantova si rileva a circa 500 metri di profondità. La distribuzione dei diversi litotipi in profondità evidenzia complessi rapporti geometrici esistenti tra i depositi morenici (Sistema Morenico Frontale del Garda) e la piana di Sandur antistante, costituita da un complesso ciottoloso-ghiaioso-sabbioso che costiuisce area di ricarica di un acquifero libero indifferenziato. Tra la piana di Sandur e il Fiume Po gli acquiferi sono generalmente in pressione ed hanno sede in livelli sabbiosi eterometrici, talora con presenza di piccole percentuali di ghiaia medio fine, disposti secondo lenti interdigitate e separate da livelli limosi e argillosi poco permeabili.

Nell'acquifero superficiale è rilevabile un importante asse di drenaggio in corrispondenza dell'ampia valle del Fiume Mincio, fino all'altezza dei laghi di Mantova; in questa zona il gradiente idraulico è dell'ordine del 2‰, mentre nelle altre zone della stessa unità idrogeologica è di circa l'1‰. Il flusso sotterraneo è diretto in senso N-S e NNO-SSE fino all'altezza dei laghi di Mantova, mentre tra questi e il Fiume Po la direzione di flusso passa gradualmente da NNO-SSE a O-E per gli effetti di richiamo esercitati dai fiumi Mincio e Po.

Per quanto riguarda la situazione litologica profonda nella vasta area circostante il tracciato in esame, una sezione idrogeologica costruita utilizzando le litostratigrafia di pozzi per acqua (Figura 3) mette in evidenza la presenza di almeno quattro livelli acquiferi nei primi 200 metri di profondità. Il sottosuolo è infatti costituito da strati alterni di depositi permeabili (sabbie eterometriche, talora accompagnate da ghiaia) e di depositi impermeabili (argille, limi); tali depositi hanno andamento lenticolare, tipico della pianura alluvionale, e presentano pertanto eteropie laterali di facies.

Complessivamente, dall'esame dei dati disponibili, il sottosuolo dell'area circostante quella in esame risulta costituito da una potente successione di sedimenti alluvionali in cui strati a granulometria grossolana (sabbie in prevalenza, raramente accompagnate da percentuali variabili di ghiaietto) si alternano a strati a granulometria fine (argille, limi, talvolta con torbe). I livelli sabbioso-ghiaiosi sono sede di acquiferi in pressione se tenuti confinati da livelli impermeabili. Gli strati sono caratterizzati in genere da spessori molto variabili da punto a punto; anche la loro continuità laterale è frequentemente molto variabile, così come è tipico dei depositi alluvionali in zone di pianura.

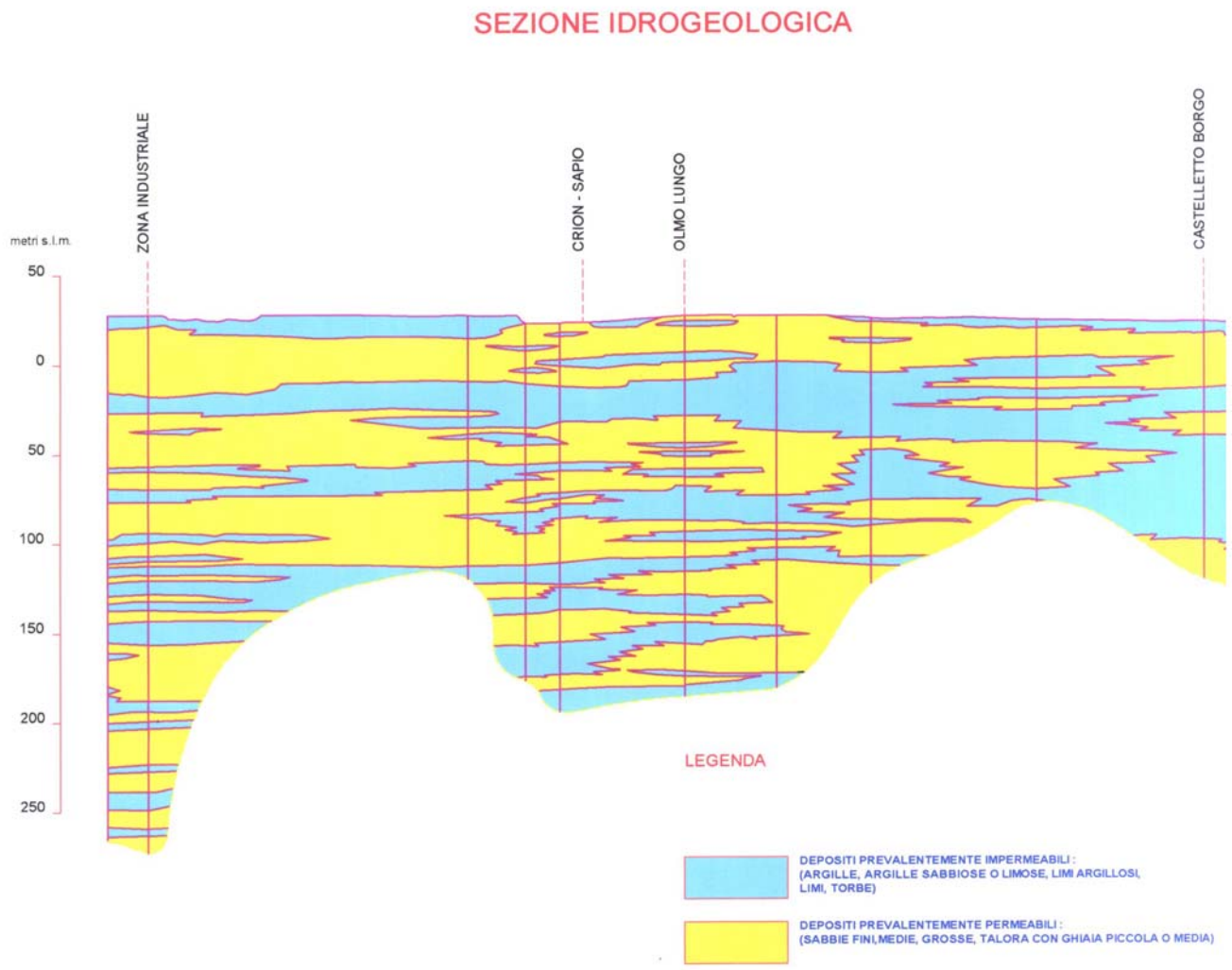


Figura 3 – Sezione idrogeologica

1.4.1 Caratteristiche piezometriche

Per quanto riguarda la piezometria degli acquiferi sotterranei, in Figura 4 si evidenzia quanto segue:

- il flusso sotterraneo preferenziale è diretto grosso modo N-S o NNE-SSO in direzione della depressione del Fiume Mincio;
- le quote piezometriche variano da 21 metri circa s.l.m. in prossimità del Casello Mantova Nord a 20 metri circa s.l.m. poco a sud di Corte Tridolo (Strada Provinciale per Villanova De Bellis);
- il gradiente idraulico è dell'ordine del 1‰.

La soggiacenza della falda rispetto al p.c. attuale è mediamente di 2-3 metri.

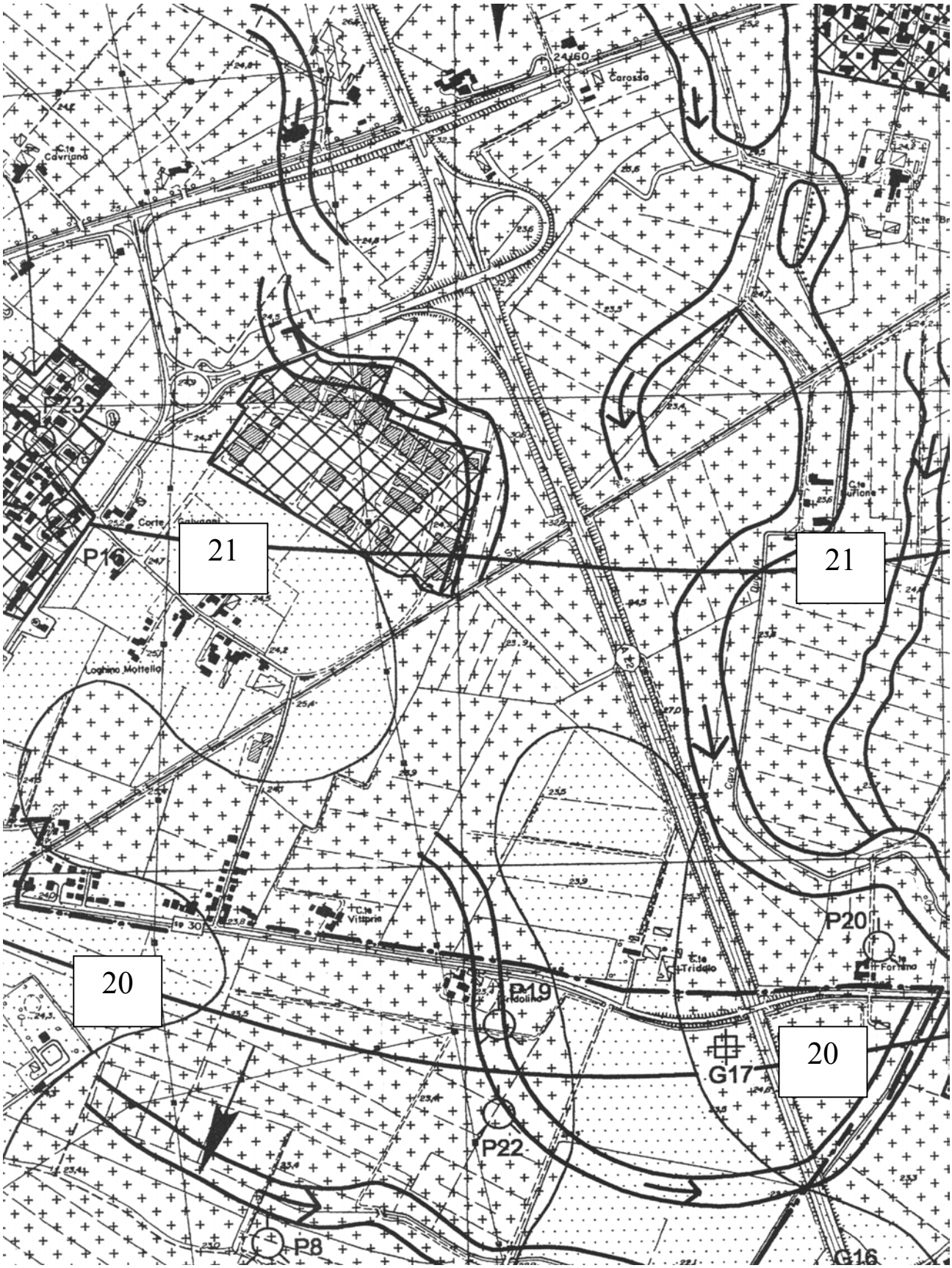


Figura 4 – Carta piezometrica

1.4.2 Parametri idraulici

Prove di portata eseguite su pozzi dell'acquedotto consortile di Villanova Maiardina (Comune di San Giorgio di Mantova) e della zona industriale di Mantova, hanno permesso di valutare portata specifica, trasmissività e permeabilità dell'acquifero "monostrato compartimentato", presente fino 200 metri di profondità, come segue:

profondità fino a m	portata l/s	portata specifica l/s x m	trasmissività mq/s	permeabilità m/s
200	**30-50**	**8-10**	**8×10^{-2}**	**7×10^{-3}**

1.4.3 Permeabilità dei depositi superficiali

Per la definizione delle caratteristiche di permeabilità dei depositi superficiali, in mancanza di prove sperimentali condotte in situ, si è pervenuti all'individuazione del coefficiente di permeabilità utilizzando i dati delle analisi granulometriche disponibili e la relazione di A. Hazen

$$k = 100 \times (d\ 10)^2$$

dove:
k = coefficiente di permeabilità (cm/s)
d 10 = diametro efficace (cm)

Il territorio indagato può essere suddiviso in due classi di permeabilità così definite:

- permeabilità media: k = da 1×10^{-4} a 1×10^{-5} cm/s
- permeabilità bassa: k = 1×10^{-6} cm/s.

Una bassa permeabilità è stata attribuita ai depositi argillosi e limosi che si rinvengono nella maggior parte centrale del territorio indagato. Una permeabilità media è stata invece attribuita ai depositi sabbiosi fini.

1.4.4 Idrochimica delle acque sotterranee

Per la definizione delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee presenti nel territorio comunale di Mantova e di San Giorgio di Mantova sono stati presi in esame i seguenti dati:

- **analisi chimiche dei pozzi del pubblico acquedotto del comune di Mantova (campi acquiferi di Borgo Pompilio e di Villanova Maiardina);**
- **analisi chimiche su una rete di controllo eseguite dall'Amministrazione Provinciale di Mantova nel 1992, nell'ambito della redazione del Piano Regionale di Risanamento delle Acque.**

La situazione idrochimica delle acque sotterranee può essere riassunta come segue:
Acquiferi fino a 50 metri di profondità

PARAMETRO	CONCENTRAZIONE
pH	7.4 – 7.9
Conducibilità elettrica specifica	480 - 640 µS/cm
Durezza	28 - 35 °F
Alcalinità	280 - 290 mg/l
Cloruri	0-24 mg/l
Solfati	0 - 38 mg/l
Ammoniaca	0.7 - 1.4 mg/l
Nitriti	Assenti
Nitrati	0 - 18 mg/l
Ferro	1.0 - 3.3 mg/l
Fosfati	0 – 0.16 mg/l
Calcio	76 - 120 mg/l
Magnesio	12 - 22 mg/l
Sodio	7 - 10 mg/l
Potassio	0.9 - 1.7 mg/l

Acquiferi da 50 a 100 metri di profondità

PARAMETRO	CONCENTRAZIONE
pH	7.5 – 7.8
Conducibilità elettrica specifica	330-430 µS/cm
Durezza	18 - 25 °F
Alcalinità	190 - 260 mg/l
Cloruri	0 - 20
Solfati	assenti
Ammoniaca	0.7 - 2.4 mg/l
Nitriti	assenti
Nitrati	assenti
Ferro	0.3 - 1.9 mg/l
Fosfati	0.2 - 1.1 mg/l
Calcio	48 - 67 mg/l
Magnesio	15 - 20 mg/l
Sodio	4.8 - 7.7 mg/l
Potassio	1.57- 2.3 mg/l

Acquiferi con profondità maggiore di 100 metri

PARAMETRO	CONCENTRAZIONE
pH	7.4 – 8.0
Conducibilità elettrica specifica	340 - 540 µS/cm
Durezza	17 - 32 °F
Alcalinità	190 - 330 mg/l
Cloruri	assenti
Solfati	assenti
Ammoniaca	0.6 - 0.7 mg/l
Nitriti	Assenti
Nitrati	Assenti

Ferro	**0 - 1.2 mg/l**
Fosfati	**0 - 0.3 mg/l**
Calcio	**43 - 76 mg/l**
Magnesio	**15 - 32 mg/l**
Sodio	**6 - 11 mg/l**
Potassio	**1.2 - 1.6 mg/l**

La presenza di ammoniaca e di ferro in concentrazioni elevate va ascritta ad una situazione geologica naturale, in presenza di acquiferi con modesto tasso di rinnovamento annuo e di ambiente chimico riducente.

1.5. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E CLIMATICHE GENERALI

1.5.1 Rete Idrografica principale

Secondo la legge n° 183 del 18/05/1989 i territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova appartengono al bacino idrografico di rilievo nazionale del Po.
In applicazione dei criteri indicati all'Art. 8 della Legge 5 gennaio 1994 n° 36, la L.R. 20/10/1998 n° 21 ha suddiviso il territorio della Regione Lombardia in 12 Ambiti Territoriali Ottimali (A.T.O.) ai fini dell'organizzazione del Servizio Idrico Integrato; l'area esaminata è compresa nell'A.T.O. della provincia di Mantova.

Vengono descritti qui di seguito i principali corsi d'acqua che interessano l'area vasta circostante a quella in esame.

- **FIUME MINCIO**

Il fiume Mincio è l'emissario del lago di Garda, da cui esce nei pressi di Peschiera del Garda, e sfocia nel fiume Po presso Governolo. Il suo corso viene generalmente suddiviso in tre parti: Mincio superiore, con andamento N-S da Peschiera del Garda a Rivalta; zona lacustre di Mantova, con andamento O-E; Mincio inferiore, con andamento NO-SE tra Mantova e Governolo.
Dopo lo sbarramento di regolazione idraulica a Salionze, il Mincio attraversa l'anfiteatro morenico del Garda in un valle incassata e tortuosa; superato Valeggio sul Mincio e l'ultimo rilievo morenico di Monte Ogheri, penetra in pianura fluendo in una valle terrazzata che, a sud di Goito, si allarga verso oriente mantenendo un andamento N-S. Dopo Rivalta piega verso est e forma un bacino lacustre (laghi di Mantova: Superiore, di Mezzo e Inferiore); a sud di Mantova il fiume riprende il suo corso in una valle terrazzata fino alla confluenza in Po.
Il corso attuale del Mincio è il risultato di vicende naturali ed azioni antropiche che, dalla preistoria ad oggi, hanno cambiato più volte il corso, la foce, il regime idraulico, l'utilizzo delle acque e quindi il ruolo che il fiume stesso ha assunto nel tempo.
Sono testimonianza di questi avvenimenti: l'insieme dei paleoalvei, la serie di terrazzi che delimitano la valle fluviale, gli insediamenti preistorici etruschi e romani, le grandi opere idrauliche dei Gonzaga e del Regno d'Austria, gli interventi relativamente recenti di regolazione idraulica del sistema Adige-Garda-Mincio-Po-Fissero-Tartaro-Canal Bianco in grado di proteggere il territorio dalle alluvioni e di permettere un uso plurimo delle acque superficiali a fini irrigui, energetici, di navigazione.
Il Mincio, nell'area in esame, costituisce il confine comunale meridionale con il Comune di Bagnolo San Vito.

- **DIVERSIVO DI MINCIO**

Il Diversivo di Mincio, con il suo percorso NO-SE e N-S, interseca nel suo lungo percorso parecchi corsi d'acqua minori affluenti del lago Superiore, del Lago di Mezzo e di quello Inferiore; tramite manufatti idraulici, costituiti da una botte sifone e uno scaricatore munito di paratoie, è possibile garantire sia il normale deflusso delle acque sia lo scarico delle piene nel Diversivo. Le difficoltà di manovra delle paratoie fanno sì che queste rimangano sempre aperte e che pertanto quasi tutte le acque di gronda dei laghi mantovani vengano sottratte allo stesso e scaricate nel Diversivo; tra tutti gli affluenti del lago solo il Cavo Agnella supera il Diversivo su un ponte-canale.
Il Diversivo di Mincio, al di là della sua funzione di salvaguardia della città di Mantova dalle piene del Mincio, ha avuto un impatto notevole sul territorio, modificando sia lo scolo delle acque superficiali che il flusso delle acque sotterranee.

- **CANAL BIANCO**

Ha inizio alla Diga Masetti, posta tra il Lago Inferiore e il fiume Mincio, e termina nel Po di Levante. Costruito per essere canale navigabile comunica tramite la conca di San Leone con il fiume Po; attualmente è completamente navigabile dal porto industriale di Valdaro (Mantova) al Mare Adriatico (Porto Levante, Rovigo).

- **CANALE ACQUE ALTE**

Raccoglie le acque di NE e le sversa nel Diversivo di Mincio a monte di Valdaro.

1.5.2 Climatologia

Per l'individuazione delle principali caratteristiche climatiche dell'area in oggetto sono stati utilizzati ed elaborati i dati termopluviometrici della stazione meteorologica di Mantova riferiti al periodo 1840-1993.

Temperature, precipitazioni ed evapotraspirazione potenziale
Stazione di Mantova. Medie mensili (1840-1993)

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	Anno
T °C	1.8	4.5	8.7	13.0	17.9	22.1	24.3	23.4	19.8	13.8	7.8	2.9	media 13.3
P mm	48.1	44.7	46.3	55.6	66.5	56.3	47.3	58.8	58.7	70.1	67.4	56.2	totale 675.9

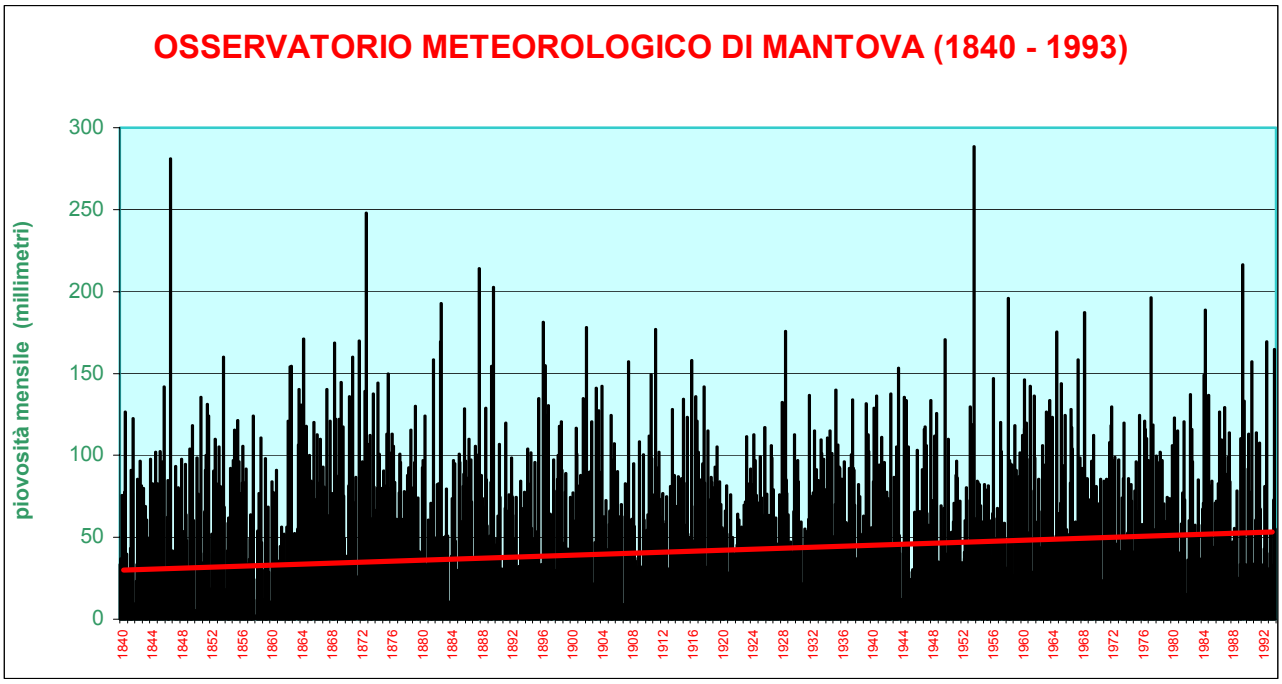
Le caratteristiche termiche possono essere così riassunte:

- il mese più caldo è luglio, con temperatura media mensile maggiore di 22 °C e in genere compresa tra 24 e 25 °C. Segue il mese di agosto;
- il mese più freddo è gennaio, con temperatura media compresa tra 0 e 2 °C;
- l'escursione termica annua è superiore a 18° C e quindi la zona ha caratteristiche di continentalità abbastanza accentuate;
- la temperatura media annua ha valori compresi tra 13 e 13.5 °C;

Le caratteristiche pluviometriche possono essere così riassunte:

- la piovosità media annua, calcolata sempre per un periodo di 30 anni nella stazione meteorologica di Mantova, è di 676 millimetri circa;
- il regime pluviometrico è caratterizzato da stagioni intermedie (primavera e autunno) più piovose e da quelle estreme (inverno, estate) meno piovose;
- il mese più piovoso è ottobre, seguito da novembre, maggio e giugno;
- il mese meno piovoso è febbraio seguito da gennaio;

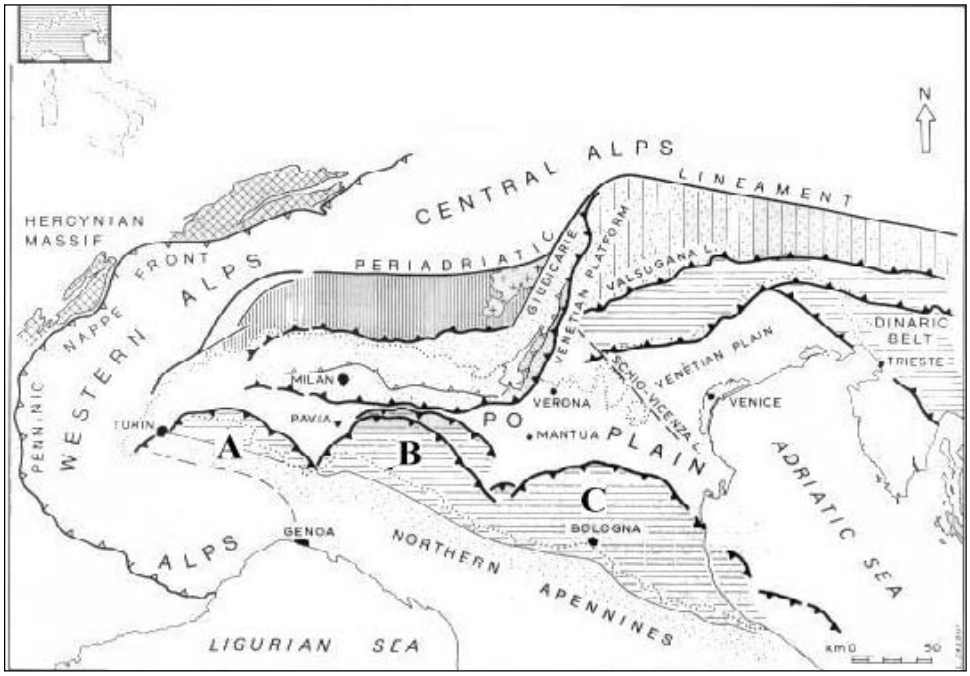
- i giorni di pioggia oscillano tra 50 e 65 l'anno, con caduta massima di 90-100 mm nelle 24 ore. In questi ultimi anni, pur mantenendosi costante la piovosità annua, si è verificata una diminuzione dei giorni di pioggia con progressivo aumento della caduta riferita al singolo evento piovoso;
- nel semestre aprile-settembre la caduta di pioggia si avvicina ai 300 mm. Si tratta di uno spessore d'acqua decisamente insufficiente rispetto ai fabbisogni idrici delle colture più diffuse; nei mesi di luglio e agosto, infatti, l'esaurirsi delle riserve idriche del suolo, la scarsità delle piogge e l'elevata evapotraspirazione instaurano periodi più o meno lunghi di deficit idrico evidenziato dal bilancio idrologico medio climatico. A questa situazione il comparto agricolo ha sopperito utilizzando le acque del fiume Mincio distribuite da una fitta rete di canali irrigui costruiti dall'uomo.



1.6 SISMICITA' DELL'AREA

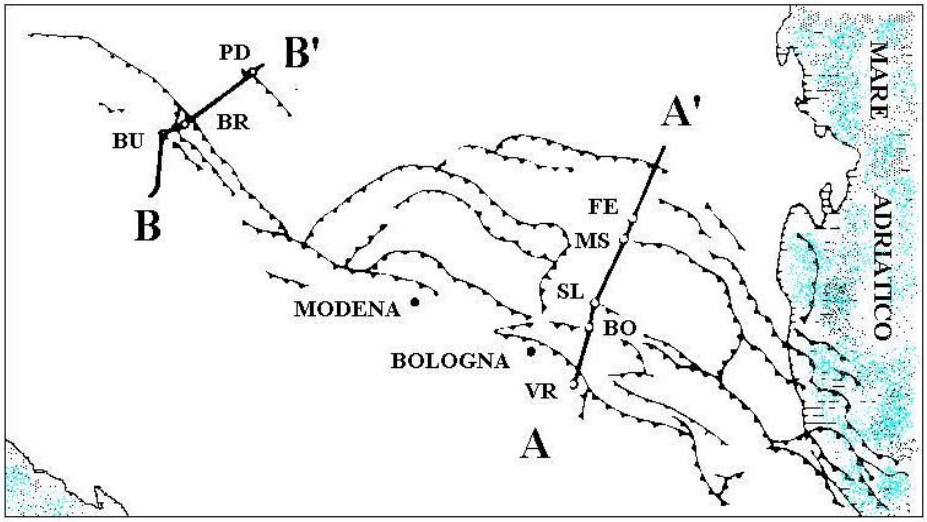
1.6.1 Caratteristiche tettoniche generali

L'attuale assetto tettonico della Pianura Padana è determinato dalla storia geologica che ha prodotto i suoi due principali confini strutturali: le Alpi Meridionali che la delimitano a nord, l'Appennino Settentrionale che la delimita a sud. È all'interno di queste strutture tettoniche che si possono ricercare le sorgenti sismogenetiche, storicamente attive o potenziali, rilevanti per la pericolosità sismica della provincia di Mantova.
L'origine e la forma degli Appennini e delle Alpi Meridionali sono dovute alla convergenza tra le Placche Africana ed Europea che è in corso dal Cretaceo Superiore.
L'evoluzione tettonica degli Appennini Settentrionali è da collegarsi alla migrazione di età Neogenica della deformazione, da ovest ad est ed attraverso il dominio dell'Avampaese Adriatico, come conseguenza della subduzione in arretramento verso NW-W della litosfera della microplacca Adria.

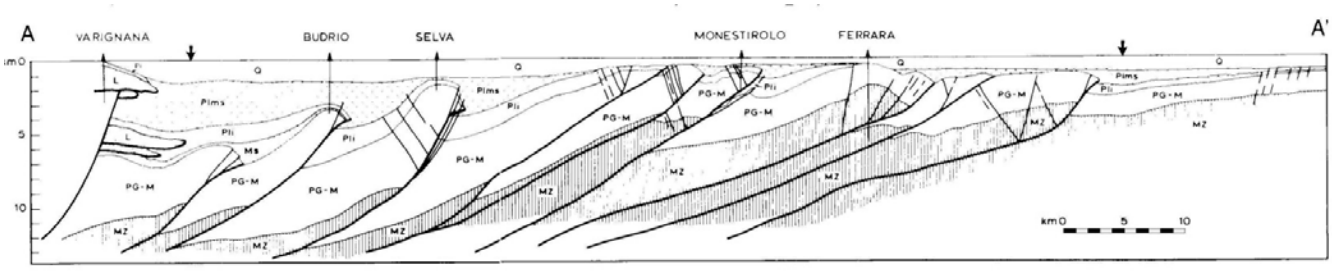


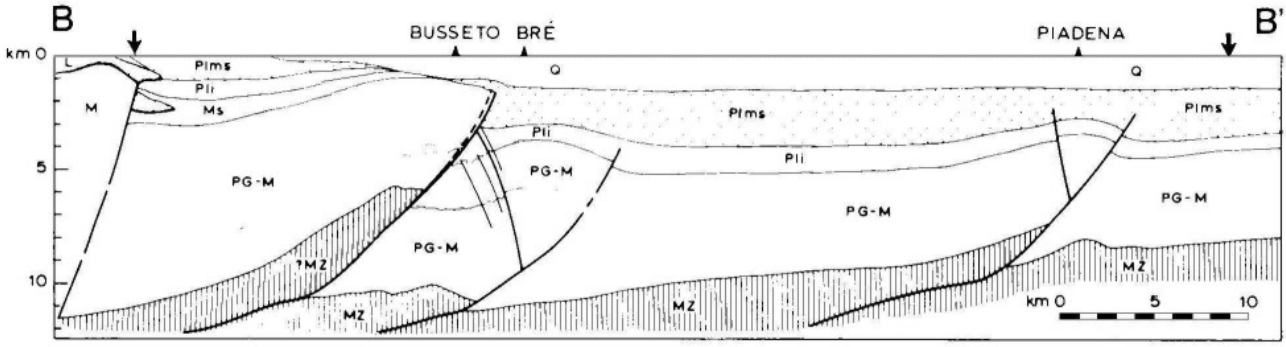
Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana; si possono osservare i due principali sistemi arcuati, Nordappenninico e Sudalpino, divisi dalla copertura Quaternaria indeformata. "A" Pieghe del Monferrato, "B" Pieghe Emiliane, "C" Pieghe Romagnole-Ferraresi.

I profili sismici effettuati nella Pianura Padana mostrano strutture tettoniche compressive al di sotto dei depositi sedimentari Pliocenici inferiori-Quaternari. Fasi tettoniche compressive hanno prodotto queste pieghe asimmetriche e sovrascorrimenti, aventi direzione NE o NNE, queste strutture si sono sviluppate nella copertura sedimentaria terrigena e nelle sequenze carbonatiche mesozoiche.



Tracce delle sezioni sismiche nella Pianura Padana



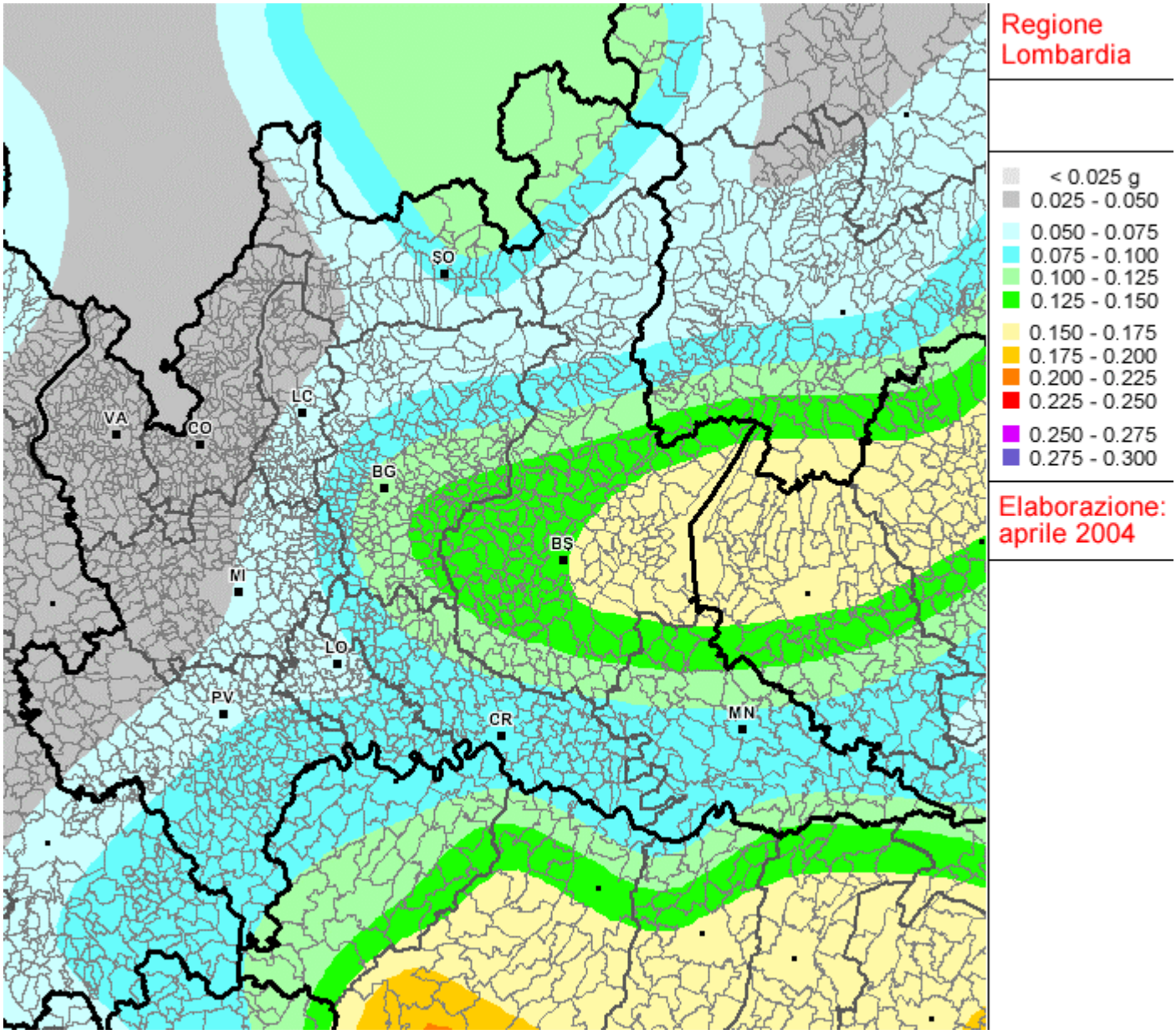


Dall'alto verso il basso: ricostruzione della sezioni sismica Varignana-Ferrara-Copparo (A-A') perpendicolare al Sistema di Pieghe Arcuate Romagnole-Ferraresi; ricostruzione della sezioni sismica Soragna-Piadena (B-B') perpendicolare al Sistema di Pieghe Arcuate Emiliano.

1.6.2 Caratteristiche sismiche locali

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova sono stati classificati, con O.P.C.M. 3274/2003, in Zona 4, ovvero a bassa sismicità, con valore di accelerazione massima al suolo (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suolo rigido caratterizzato da Vs30 > 800 m/s) $\mathbf{a_g}$ pari a 0,05.

L'O.P.C.M. 3519/2006 ha recentemente approvato una "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" ove i due comuni sono classificati in Zona 3, ovvero con valore di accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15. La Regione Lombardia dovrà tuttavia individuare le zone sismiche di competenza territoriale, nonché formare ed aggiornare gli elenchi delle zone stesse.



2.0 GEOTECNICA

2.0 GEOTECNICA

2.1 ATTIVITA' DI INDAGINE

Su incarico della VALDARO S.p.a. di Mantova è stata eseguita, a cura di SONGEO s.r.l. di Ferrara, una campagna di indagini in situ (geognostiche e sismiche) nonché prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo, per la progettazione definitiva della nuova Bretella Stradale di collegamento tra il Casello Autostradale di Mantova Nord e il Porto di Mantova. L'ubicazione delle indagini in sito è riportata in Tav. 1. Le quote assolute dei punti d'indagine sono riportate nella seguente tabella:

Tipo d'indagine	Quota assoluta (metri s.l.m.)
Pozzetto 1	24,70
Piezometro	24,73
Pozzetto 2	24,71
Pozzetto 3	24,74
Pozzetto 4	24,36
CPTU 1	24,10
CPTU 2	23,83
G 1 (sismica)	23,70
CPTU 4	23,46
G 2	23,24
CPTU 4	23,08
SONDAGGIO 1	23,02
SONDAGGIO 2	22,96
CPTU 5	22,96
G 3 (sismica)	23,30
CPTU 6	23,46
SONDAGGIO 3	23,42
CPTU 7	23,12
G 4 (sismica)	22,91
CPTU 8	22,77
Pozzetto 5	22,71
Pozzetto 6	22,50
Pozzetto 7	22,32

L'indagine è stata articolata come di seguito descritto.

2.1.1 Sondaggi

Sono stati eseguiti n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1, S2, S3, spinti tutti a 40 metri di profondità dal p.c. attuale, con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove Standard Penetration Test (SPT).

Sondaggio	Campioni indisturbati (profondità in metri dal p.c.)	Standard PenetrationTest (SPT) (profondità in metri dal p.c.)
S1	SH1 (5,40-6,00) SH2 (19,50-20,10) SH3 (21,00-21,60) SH4 (22,80-23,40) SH5 (25,00-25,60) SH6 (28,00-28,60)	SPT1 (3,00-3,45) SPT2 (10,20-10,65) SPT3 (15,00-15,45) SPT4 (18,00-18,45)
S2	SH1 (21,00-21,60) SH2 (23,30-23,90) SH3 (25,00-25,60) SH4 (28,00-28,60)	SPT1 (3,00-3,45) SPT2 (9,00-9,45) SPT3 (13,50-13,95) SPT4 (24,50-24,95)
S3	SH1 (6,50-7,00) SH2 (18,40-19,00) SH3 (21,40-22,00) SH4 (23,80-24,40) SH5 (26,40-27,00)	SPT1 (1,50-1,95) SPT2 (7,00-7,45) SPT3 (12,00-12,45) SPT4 (16,50-16,95) SPT5 (20,00-20,45)

Sui materiali prevalentemente coesivi sono state eseguite inoltre misure a compressione semplice con penetrometro portatile tipo Control e misure di resistenza al taglio con Torvane portatile.

2.1.2 Prove penetrometriche statiche con piezocono

Sono state eseguite n. 8 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU) e prove di dissipazione; le prove sono state spinte a profondità variabili da 10 a 35 metri dal p.c. attuale secondo il seguente schema:

Prova	Profondità (metri dal p.c.)
CPTU 1	10,00
CPTU 2	23,00
CPTU 3	30,00
CPTU 4	34,00

CPTU 5	33,00
CPTU 6	35,00
CPTU 7	30,00
CPTU 8	20,00

2.1.3 Piezometro

E' stato messo in opera un piezometro in p.v.c. a tubo aperto, con diametro di 4 pollici, profondo 10 metri dal p.c. attuale, con tratto filtrante compreso tra - 2,00 e – 10,00 metri, e protetto con pozzetto metallico sporgente chiuso con lucchetto.

2.1.4 Pozzetti esplorativi

Sono stati eseguiti n. 7 pozzetti esplorativi con escavatore meccanico, spinti fino a 3,00 metri di profondità dal p.c. attuale, prelevando da ciascuno di essi n. 2 campioni di terreno tramite carotiere semplice, alle profondità di 0,50 e 1,50 metri dal p.c. attuale.

2.1.5 Prove di carico su piastra

Sono state eseguite n. 7 prove di carico su piastra nei pozzetti sopra indicati; le prove sono state eseguite previo scotico del terreno vegetale a profondità variabili da 0,40 a 0,60 metri dal p.c. attuale.

2.1.6 Indagini sismiche

Sono state eseguite n. 4 indagini di sismica in array (G1, G2, G3, G4) basate sullo studio della propagazione di onde superficiali di Rayleigh con tecnica attiva (MASW) e tecnica passiva basata sulla registrazione di microtremori (ReMi).

2.1.7 Prove di laboratorio

Sono state seguite dal Laboratorio Dott. A. Mucchi di Ferrara (Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti con Decreto n. 52494 del 11.10.2004) prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati dai sondaggi S1, S2, S3 e sui campioni prelevati dai sette pozzetti di cui sopra.

Campioni prelevati dai sondaggi

Su ciascuno dei campioni indisturbati prelevati dai sondaggi S1, S2, S3 sono state eseguite le seguenti determinazioni di laboratorio:

- umidità naturale
- densità naturale
- granulometria
- limiti di Atterberg
- classificazione secondo UNI 10006 e USCL
- prova di carico edometrico
- prova triassiale UU
- prova triassiale CIU

Sul campione S3-SH5, di natura sabbiosa, è stata effettuata in laboratorio una prova di Taglio Diretto.

Campioni prelevati dai pozzetti

- umidità naturale
- peso di volume naturale
- peso specifico dei grani
- granulometria
- limiti di Atterberg
- classificazione secondo UNI 10006 e USCL
- contenuto in sostanza organica
- indice di portanza CBR
- prova AASHTO modificata CNR Proctor.

2.2 METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE

Per le indagini in sito descritte al precedente punto 2.1, sono state utilizzate le seguenti attrezzature e metodologie.

2.2.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)

L'attrezzatura impiegata è un penetrometro semovente cingolato tipo PAGANI TG 63-200 a funzionamento idraulico con le seguenti caratteristiche tecniche:

- spinta 20 ton,
- ancoraggio mediante eliche,
- corsa sistema di spinta 1,20 m per aste da 1,0 m,
- velocità di discesa sistema di spinta in fase di lettura 2 cm/sec,
- motore diesel Lombardini da 20 hp.

Il sistema di acquisizione è costituito da una punta digitale munita di sensori che trasmettono i dati di resistenza del terreno e di pressione dei pori mediante cavo posizionato all'interno delle aste di spinta ad un acquisitore collegato ad un pc portatile e da un trasduttore di profondità (encorder) per collegare i dati acquisiti con le relative profondità; il tutto alimentato elettricamente ad una tensione di 12 volt.
Sulla batteria di aste esterne è stato installato un anello allargatore ad 1 mt al disopra della punta per diminuire l'attrito sulle aste dei litotipi, riducendo la resistenza totale di spinta.

Le caratteristiche tecniche della punta sono riassunte nella seguente tabella:

Punta Digitale			
Sensori di misura (fondo scala)		***Dimensioni***	
Resistenza di punta (qc)	**10; 50; 100 Mpa**	**Apertura cono**	**60°**
Attrito laterale (fs)	**0,5 Mpa**	**Area punta**	**10 cm^2**
Pressione nei pori (u)	**2,5 Mpa**	**Area manicotto di attrito**	**150 cm^2**
Inclinazione	**0 – 40°**	**Diametro**	**36 mm**
		Rapporto delle aree di punta (a)	**0,58**

Sensori di misura			
	Resistenza di punta (qc)	**Attrito laterale (fs)**	**Pressione nei pori (U)**
Risoluzione	**0,04% F.S.**	**0,05% F.S.**	**0,044% F.S.**
Stabilità termica	**<0,05%F.S./10°C**	**<0,05%F.S./10°C**	**<0,05%F.S./10°C**
Non linearità	**<0,1%F.S.**	**<0,5%F.S.**	**<0,5%F.S.**
Sovraccarico	**25%**	**50%**	**25%**

Prima di iniziare la prova sono state eseguite alcune operazioni propedeutiche di preparazione, consistenti nella perforazione di un preforo iniziale profondo mediamente 1,4 mt per superare la parte di terreno più areata e avere una corretta misura della pressione dell'acqua dei pori da parte dell'anello poroso posto al disopra del cono. Successivamente il preforo viene riempito di acqua.

Altra operazione consiste nel montaggio dell'anello poroso sulla punta, che avviene in un bagno di glicerina per evitare di fare entrare aria nei pori dell'anello disaerato; la punta così preparata viene protetta prima dell'immissione nel terreno da una guaina in gomma sempre per evitare l'entrata di aria nei pori dell'anello.

Sul computer portatile vengono registrati in continuo i valori misurati dai sensori della punta e visualizzati sul video i diagrammi relativi ai parametri misurati che sono:

- Resistenza di punta qc (Mpa)
- Attrito laterale fs (kPa)
- Pressione dei pori U (kPa)
- Rf (%)
- Velocità di avanzamento cm/sec
- Inclinazione (m)

Durante l'esecuzione si sono fatte prove di dissipazione, consistenti nella misura del tempo necessario affinchè la sovrapressione dell'acqua nei pori indotta dalla infissione della punta ritorni al valore di quiete coincidente con quello della pressione idrostatica agente alla profondità a cui si esegue la prova.
Questa prova viene eseguita in avanzamento negli strati in cui si rilevano le maggiori sovrapressioni (strati di materiale coesivo argilloso limoso); tecnicamente la procedura consiste nell'interrompere l'avanzamento, sollevare leggermente il sistema di spinta e bloccare le aste con apposita morsa per togliere al cono pressioni che non siano dovute esclusivamente a quelle indotte nel terreno e iniziare l'acquisizione.
Da normativa la prova viene interrotta quando si raggiunge una dissipazione pari al 60% della sovrapressione iniziale, in allegato è riportato il relativo diagramma.
Nella verticale di indagine CPTU 7 non è stata fatta la prova di dissipazione in quanto si è eseguita per prima e non si aveva una ancora una visione generale dell'andamento stratigrafico del sottosuolo, quindi da potere programmare in anticipo le profondità a cui eseguire la prova.
Nei grafici dei valori penetrometrici nella colonna qc viene riportata in linea rossa la resistenza qt normalizzata per effetto delle aree disuguali di misura della punta e del manicotto calcolata secondo la formula (Cestari, Prove geotecniche in sito):

$$\mathbf{q_t = q_c + U(1-a)}$$

dove:
q_c resistenza alla punta misurata
U pressione dei pori misurata dal filtro poroso alla base del cono
a rapporto delle aree

Nella colonna della pressione dei pori la linea rossa corrisponde al valore $\Delta U = U - U_0$ dove:
U: pressione dei pori misurata dal filtro poroso alla base del cono, rappresentata dalla linea nera
U_0: pressione idrostatica locale, rappresentata dalla linea blu
Inoltre è stata fatta una interpretazione litologica e di alcuni parametri geotecnici dai valori numerici acquisiti con le prove utilizzando il programma STATIC PROBING della ditta GEOSTRU redatto sulla metodologia interpretativa di Campanella (litologia) e di altri autori per quanto riguarda i parametri geotecnici, i cui nomi sono riportati sulle schede allegate al Rapporto di SONGEO srl.

2.2.2 Sondaggi geognostici

Il carotaggio dei litotipi è stato eseguito a rotazione verticale, impiegando una sonda idraulica di perforazione *CMV MK420F/TR600 montata su cingolato*

L'impianto di perforazione idraulico è caratterizzato dai seguenti requisiti:

- velocità di rotazione da 52 a 329 rpm,

- coppia torcente di 60 Kgm,
- corsa continua per 330 cm per aste da 3 metri,
- argano idraulico con tiro da 4000 kg,
- pompa da fango con portata massima di 12l/min a 20 bar,
- pompa a pistoni con portata massima di 15 l/min a 150 bar,
- motore DEUTZ turbo diesel da 65 hp.

I fori eseguiti a carotaggio continuo sono stati eseguiti impiegando un carotiere semplice avente diametro esterno di 101 mm con l'ausilio di rivestimento metallico avente diametro esterno di 127 mm. le cui caratteristiche sono riportate in dettaglio nelle schede stratigrafiche.

Il sistema e le modalità di perforazione sono state tali da rendere minimo il disturbo provocato nei materiali attraversati, consentendo inoltre il prelievo di campioni indisturbati rappresentativi degli strati a componente coesiva dei terreni investigati, mentre negli strati granulari sono state eseguite prove SPT.

La percentuale di recupero e rappresentativo dei litotipi attraversati è stata di circa il 90-100%.

Le carote estratte sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in plastica a 5 scomparti a rappresentare la stratigrafia dei terreni attraversati. Le cassette catalogatrici, complete delle relative indicazioni grafiche di identificazione sono state successivamente fotografate a colori e trasportate al deposito della Valdaro S.p.a. presso il Porto di Mantova.

Sulle carote di terreno sono state eseguite le seguenti caratterizzazioni di campagna:

- classificazione granulometrica rapida dei litotipi con l'ausilio di archetto a filo armonico utilizzando, per la descrizione, la terminologia della *Classificazione Unificata "USCS"* e quella delle *"Norme AGI 1977"*;
- misure ogni 20 cm circa, ove possibile, di resistenza a compressione semplice con penetrometro portatile tipo *Control* e misure di resistenza al taglio con Torvane portatile.

dove:

La descrizione litostratigrafica dei terreni attraversati e dei materiali è stata restituita graficamente sulle schede stratigrafiche allegate, completate con gli elementi relativi al prelievo dei campioni, alle prove eseguite in foro, le caratterizzazioni geotecniche di cantiere, alla località di esecuzione del sondaggio, al numero del sondaggio ed alla data di realizzazione.

E' stato installato un piezometro per monitoraggio del livello freatico della falda, mediante perforazione a distruzione di nucleo, del diametro di 4" in PVC della lunghezza di 10 m con tratto microfessurato da –10 m a –2 m e tratto cieco da –2 m al p.c., protetto con un pozzetto metallico sporgente chiuso con lucchetto.

2.2.3 Prove su piastra e pozzetti esplorativi

Per l'esecuzione delle prove su piastra, utilizzando una terna gommata usata successivamente anche come contrasto, si è preparata dapprima la piazzola di prova scoticando il terreno agrario per una profondità di 40 ÷ 60 cm mettendo a giorno il sottostante terreno non rimaneggiato.

La strumentazione per l'esecuzione delle prove di marca Tecnotest modello TB 637 è costituita da:

- martinetto idraulico a semplice effetto da 5 ton. di spinta con integrata lanterna porta comparatore;
- piastra di misura con diametro di 30 cm e spessore 2,5 cm;
- comparatore centesimale centrale;

- testa dello stelo del pistone snodata per adattarsi al contrasto in modo tale da rimanere in asse;
- pompa idraulica manuale con manometro di misura ;
- barra di fede da 2,5 m in alluminio e supporto comparatore.

Le prove si sono eseguite secondo le indicazioni tecniche della norma Svizzera tipo SNV 670317:

- inizialmente sulla superficie del terreno da testare si è steso un sottile strato di sabbia (1÷2 cm di spessore) per regolarizzare il piano di appoggio della piastra;
- posa della piastra di acciaio;
- esecuzione di un carico di assestamento preliminare per una pressione equivalente circa a 0,2 kg/cm^2 ;
- successivi incrementi di carico effettuati a 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,5 – 3,5 – 4,5 kg/cm^2 e scarico a 0,5 – 0 kg/cm^2 .

I valori ottenuti sono riportati nel Rapporto di SONGEO s.r.l. in tabelle e grafici che visualizzano il carico applicato e il cedimento ottenuto al comparatore centrale. Nei grafici in ordinata sono indicati gli abbassamenti in mm ed in ascissa i valori di carico in kg/cm^2 .

In base ai dati ottenuti si sono determinati i seguenti parametri:

- Modulo di deformazione

Me = δp / δH x D

dove:

Me = modulo di deformazione in kg/cm^2 ,

δp = intervallo di pressione di carico equivalente ad 1 kg/cm^2 , calcolato tra i gradini 2,5 ÷ 3,5 kg/cm^2 (B.U. n.146 del 14/2/92),

δH = cedimento relativo all'intervallo considerato in cm,

D = diametro della piastra.

- Deformazioni
  - plastica in mm,
  - elastica in mm,

  che esprimono rispettivamente le deformazioni permanenti e temporanee restituite al termine delle prove.

Terminate le prove si è proseguito con lo scavo dei pozzetti esplorativi sino alla profondità di 3,0 m dal piano campagna e prelevati campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnica. Sulle schede stratigrafiche allegate nel Rapporto di SONGEO s.r.l. sono state descritte le litologie incontrate e le profondità di prelievo dei campioni.

2.2.4 Prove sismiche

Sono state eseguite indagini di sismica in array al fine di produrre profili di Vs (velocità delle onde sismiche di taglio) in 4 siti denominati G1, G2, G3, G4.
In ciascuno di essi è stata eseguita un'indagine basata sullo studio della propagazione di onde superficiali di Rayleigh: con tecnica attiva (MASW); con metodo passivo basato sulla registrazione di microtremore (ReMi).

<u>Caratteristiche dell'acquisizione:</u>

MASW

24 Geofoni con spaziatura regolare di 5 m.

5 scoppi eseguiti in linea con lo stendimento e alle seguenti distanze dal primo geofono dell'allineamento: 2 – 3 – 5 – 7 – 11 m.
Acquisizione a 7642 Hz per 1 sec.
Le serie temporali dei 5 scoppi sono opportunamente aggregate a formare un'unica acquisizione con 120 tracce ciascuna.
ReMi.
24 Geofoni con spaziatura regolare di 5 m.
Registrazione dei microtremori in 7 segmenti di 30 secondi ciascuno, alla frequenza di campionamento di 185 Hz.

Sia il metodo MASW che il metodo ReMi richiedono un'elaborazione dei dati basata su un'analisi frequenza-lentezza, ω-p (trasformata τ-p, o slant-stack, e trasformata di Fourier al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.
Per ciascuno dei 4 siti sono riportati mediante grafici ad isolinee gli esiti delle analisi ω-p ottenuti dall'indagine MASW e da quella ReMi. Le due tecniche danno risultati leggibili in intervalli di frequenza diversi ma parzialmente sovrapposti. In particolare la tecnica MASW risulta maggiormente efficace in alta frequenza mentre la tecnica ReMi dà risultati maggiormente leggibili in bassa frequenza. Dal picking integrato di entrambe si riesce pertanto a determinare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (R) da circa 2-3 Hz fino a 30 Hz.
Per i diversi siti sono riportate anche le curve di dispersione sperimentale delle onde R, ricavate dal picking integrato MASW-ReMi.
Al fine di ottenere l'andamento delle Vs con la profondità, la curva ottenuta dal picking è invertita mediante una procedura automatica ai minimi quadrati (metodo Levenberg-Marquardt).

Il valore di Vs30 è stato calcolato con la seguente relazione:

$$\mathbf{Vs_{30}} = \frac{\mathbf{30}}{\sum_{i=1,N} hi/Vi}$$

con:

hi = spessore dello strato-iesimo considerato
Vi = velocità dello strato-iesimo considerato.

2.3 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA – MODELLO GEOLOGICO

Sulla base dei risultati dei sondaggi e delle prove CPTU effettuati, nonché delle analisi di laboratorio, la situazione litostratigrafia profonda può essere descritta suddividendo il sottosuolo in strati omogenei dal punto di vista della composizione litologica.
Procedendo dal piano campagna attuale in profondità, possono essere individuati i seguenti strati omogenei:

- strato argilloso superficiale: affiora in superficie e presenta spessori variabili da 1,00 a 2,50 metri circa. E' costituito da argille, argille limose, limi argillosi, con presenza di concrezioni calcaree;

- strato sabbioso superficiale: è presente al di sotto dello strato precedente a partire da 1,00-2,50 metri e fino a 17,00-21,00 metri di profondità, con spessori variabili da 16 a 20 metri circa. E' costituito da sabbie prevalentemente fini e medie, talora debolmente limose, con rara presenza di ghiaietto;

- strato argilloso intermedio: in corrispondenza del tratto centro settentrionale del tracciato della Bretella (CPTU 1-2-3-4-5-6 e sondaggi S1-S2-S3) si rileva, all'interno dello strato sabbioso superficiale di cui sopra, uno strato intermedio costituito da argille, argille limose, limi argillosi, con tetto a 3,50-6,50 metri e base a 6,00-7,60 metri di profondità, dello spessore variabile da 1 a 4 metri circa, che si assottiglia procedendo da nord verso sud e che non è presente nel tratto centro meridionale del tracciato stesso;

- complesso di strati alterni argilloso-limosi e sabbiosi: inferiormente allo strato sabbioso superficiale, con tetto a 17,00-21,00 metri e base a 27,00-29,70 metri di profondità, con spessori variabili da 7,50 a 10,50 metri circa, è presente un complesso litologico fittamente stratificato, costituito da strati alterni di argilla limosa (talora con presenza di torba diffusa) e di sabbia fine limosa. I vari strati presentano spessori dell'ordine mediamente di 1-2 metri. La componente prevalentemente coesiva varia dal 53% all'85%;

- strato sabbioso profondo: si rinviene a partire da 27,00-29,70 metri di profondità ed è presente fino a 40 metri di profondità (massima profondità raggiunta dai sondaggi); è costituito da sabbie prevalentemente fini e medie, talora debolmente limose. Nei sondaggi S1 e S2, a 37-39 metri di profondità circa, compare una lente argilloso limosa.

La situazione litologica profonda è riportata in Tav. 2

Il livello dell'acqua sotterranea è stato rilevato nel mese di novembre 2006, nei sondaggi e nelle prove CPTU, tra 2,90 e 3,00 metri di profondità dal piano campagna attuale.
Nel piezometro posto in opera nel tratto terminale nord del tracciato della Bretella, sono state effettuate le seguenti misure del livello statico di falda:

piezometro quota (m s.l.m.) 24,73	**data**	**profondità (metri dal p.c.)**	**quota assoluta (m s.l.m.)**
	15.11.2006	3,00	21,73
	12.12.2006	3,44	21,29
	13.01.2007	3,64	21,09

2.4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - MODELLO GEOTECNICO

2.4.1 Terreni superficiali in corrispondenza dei tratti di Bretella a raso

Nei tratti della nuova Bretella che saranno costruiti a raso, sono state eseguite indagini consistenti in n. 7 pozzetti esplorativi (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7) e altrettante prove di piastra, come più sopra specificato. Sui campioni prelevati dai pozzetti sono state eseguite in laboratorio le seguenti determinazioni:

- umidità naturale
- peso di volume naturale
- peso specifico dei grani
- granulometria
- limiti di Atterberg
- classificazione secondo UNI 10006 e USCL
- contenuto in sostanza organica
- indice di portanza CBR
- prova AASHTO modificata CNR Proctor.

I risultati ottenuti in laboratorio e in campo sono riportati sinteticamente nelle seguenti tabelle:

CARATTERISTICHE OTTIMALI DA PROVA PROCTOR – PROVA DI PIASTRA					
SONDAGGIO	**CAMPIONE**	**STRATO CAMPIONATO (metri dal p.c.)**	**Peso dell'unità di volume del terreno secco (kN/m^3)**	**Contenuto d'acqua (W%)**	**Modulo di Deformazione (0,5-1,5 kg/cm^2) Me (kN/m^2) - (kg/cm^2)**
P1	**A**	**0,50**	**20,00**	**10,5**	**11.816 – 120,5**
	B	**1,50**	**19,10**	**11,8**	
P2	**A**	**0,50**	**19,50**	**11,2**	**29.421 – 300,0**
	B	**1,50**	**18,40**	**14,8**	
P3	**A**	**0,50**	**18,50**	**13,5**	**22.459 – 229,0**
	B	**1,50**	**19,10**	**13**	
P4	**A**	**0,50**	**19,20**	**12,3**	**14.422 – 147,1**
	B	**1,50**	**17,50**	**13**	
P5	**A**	**0,50**	**18,75**	**13,8**	**32.946 – 335,9**
	B	**1,50**	**19,70**	**10,5**	
P6	**A**	**0,50**	**18,50**	**12,9**	**34.210 – 348,8**
	B	**1,50**	**19,30**	**10**	
P7	**A**	**0,50**	**18,60**	**13,8**	**12.414 – 126,6**
	B	**1,50**	**19,20**	**12**	

Si fa presente che le prove di piastra e il prelievo dei campioni litologici superficiali è avvenuto al termine di un periodo particolarmente secco, con falda a circa 3,00 metri dal piano campagna attuale.

TERRENI DI SOTTOFONDO

ANALISI DI LABORATORIO

SONDAGGIO	CAMPIONE	STRATO CAMPIONATO (metri dal p.c.)	SABBIA %	LIMO E ARGILLA %	LIMITE LIQUIDO %	LIMITE PLASTICO %	INDICE PLASTICO %	INDICE DI GRUPPO	UNI 10006	U.S.C.L.	INDICE C.B.R %	SOSTANZA ORGANICA %
P1	A	0,50	45	55	24	15	9	4	A 4	CL-ML	12	3,4
	B	1,50	2	98	42	20	22	12,8	A 7-6	CL	10	2,1
P2	A	0,50	20	80	37	19	18	11,2	A 6	CL	16	2,6
	B	1,50	4	96	52	24	28	17,6	A 7-6	CH	10	3,2
P3	A	0,50	2	98	55	24	31	19	A 7-6	CH	7	2,5
	B	1,50	3	97	50	20	30	18	A 7-6	CH	8	2,4
P4	A	0,50	5	95	41	20	21	12,6	A 7-6	CL	19	2,4
	B	1,50	7	93	-	-	-	8	A 4	CL-ML	10	1,0
P5	A	0,50	10	90	46	20	26	15,6	A 7-6	CL	25	3,3
	B	1,50	38	62	-	-	-	5,4	A 4	CL-ML	26	1,5
P6	A	0,50	5	95	53	24	29	18,2	A 7-6	CH	16	4,0
	B	1,50	14	86	24	18	6	8	A 4	CL-ML	16	1,5
P7	A	0,50	12	88	51	26	25	16,2	A 7-6	CH	9	5,0
	B	1,50	2	98	49	22	27	16,6	A 7-6	CH	9	2,3

I terreni sono classificabili, secondo UNI 10006, prevalentemente nel Gruppo A 7-6 per lo strato fino a 0,50 metri di profondità dal piano campagna attuale; per lo strato sottostante (1,50 metri dal p.c. attuale) sono ancora presenti terreni classificabili nel Gruppo A 7-6, ad eccezione di quelli in corrispondenza dei pozzetti P4, P5, P6 che sono classificabili nel Gruppo A 4.
L'indice CBR (a saturazione) varia da un minimo di 7 ad un massimo di 26; il valore medio lungo l'intero tracciato è 13,8.

2.4.2 Terreni profondi in corrispondenza dei tratti di Bretella in rilevato

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni profondi sono stati utilizzati i dati derivati dai sondaggi, dalle prove CPTU e dalle analisi di laboratorio su campioni indisturbati.

Trattandosi di indagini con metodologie esecutive tra loro diverse, là ove esisteva incertezza del dato litologico tra sondaggi e CPTU si è preferito scegliere il dato derivante dall'osservazione diretta del terreno effettuata nei sondaggi. I dati di laboratorio sono inoltre serviti per un confronto con quelli emersi dalle prove CPTU, in particolare per i terreni argillosi.

2.4.2.1 Parametri geotecnici derivati dalle prove CPTU

La Ditta SONGEO s.r.l. ha fornito una elaborazione dei dati rilevati con le prove CPTU fornendo i seguenti parametri geotecnici e i relativi metodi di calcolo:

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata Cu	Rolf – Larsson
Modulo di deformazione non drenato Eu	Ladd
Modulo edometrico Mo	Mitchell – Gardner
OCR	Stress History
Peso unità di volume γ	Meyerhof
Peso unità di volume saturo γsat	Meyerhof

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa Dr	Baldi
Angolo di attrito φ	Durgonouglu
Modulo edometrico Mo	Robertson e Campanella
Modulo di Young E	Robertson e Campanella
OCR	Larsson
Peso unità di volume γ	Meyerhof
Peso unità di volume saturo γsat	Meyerhof

SONGEO s.r.l. ha utilizzato il software Static Probing della Ditta GEOSTRU.

Nelle tabelle seguenti vengono riassunti i valori dei vari parametri calcolati per ciascuna prova CPTU.

Per quanto riguarda il valore di OCR relativo ai campioni indisturbati di terreno coesivo, si è preferito utilizzare il metodo grafico di Casagrande per calcolare il valore della pressione di consolidazione **σ'c** piuttosto che i valori dello stesso parametro forniti dal Laboratorio Geotecnico incaricato.

I valori indicati per ciascuno strato omogeneo rappresentano la media aritmetica dei valori forniti da SONGEO s.r.l.; gli strati sono stati individuati sia su base litologica che analizzando i valori di qc, qt, u, $u-u_0$.

CPTU 1

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m^3)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-2,30	C	6,4	240	8,5	12,48	4	20,05				10^{-8}
2,30-3,80	I	18,14			7,74	2,5	18,30	84	42	23,9	10^{-3}
3,80-4,00	C	2,55	123	4,5	7,5	2,5	19,96				10^{-8}
4,00-4,40	I	10,16			7,47	2	17,97	73	39	18,6	10^{-4}
4,40-6,30	C	1,41	53,5	2,24	6,34	2	18,36				10^{-8}
6,30-6,50	I	5,97			5,71	1,4	17,65	56	35	11,65	10^{-3}
6,50-6,70	C	4,18	179	6,52	10,77	1,4	20,59				10^{-7}
6,70-10,00	I	9,92			7,26	1,2	18,68	65	36	17,52	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 2

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m^3)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-2,50	C	6,79	176	6,21	9,54	4,6	19,87				10^{-7}
2,50-4,00	I	18,40			8,73	3	18,63	97	43	36,46	10^{-3}
4,00-6,70	C	3,57	89,9	3,40	7,02	2	19,22				10^{-8}
6,70-7,90	I	3,66			6,31	1,2	19,17	42	32	8,03	10^{-4}
7,90-9,50	I	4,22			5,58	1,2	18,94	47	33	9,82	10^{-3}
9,50-20,00	I	14,16			7,82	1,2	18,63	69	35	28,55	10^{-3}
20,00-20,20	C	3,13	129	5,28	8,80	1,1	20,13				10^{-7}
20,20-22,80	I	18,46			8,84	1,1	18,63	70	35	37,16	10^{-3}
22,80-23,10	C	2,91	94	4,20	7,36	0,9	19,58				10^{-7}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 3

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m^3)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-1,40	C										10^{-7}
1,40-3,50	I	20,73			6,03	1,2	18,70	60	33	18,0	10^{-5}
3,50-5,60	C	4,56	35,1	1,51	5,25	2,0	18,23				10^{-6}
5,60-21,00	I	9,09			6,78	2,3	18,87	59	33	17,94	10^{-3}
21,00-21,70	C	1,93	60,6	2,98	6,43	0,9	18,83				10^{-7}
21,70-23,40	I	8,33			6,25	0,9	17,65	47	31	16,48	10^{-4}
23,40-27,00	C	4,8	64,9	3,23	6,60	0,9	19,85				10^{-7}
27,00-29,50	I	9,95			7,10	0,9	18,63	49	31	19,78	10^{-3}
29,50-30,00	C	4,29	15,4	1,69	5,83	0,9	17,87				10^{-8}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 4

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m³)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-1,40	C	1,16									10^{-7}
1,40-5,40	I	13,91			6,58	3,6	18,29	78	40	22,71	10^{-4}
5,40-5,60	C	1,32	48,4	2,0	4,97	2,5	18,29				10^{-7}
5,60-19,60	I	13,99			5,98	1,3	18,50	54	33	19,88	10^{-4}
19,60-21,30	C	4,44	48,6	2,54	6,42	1,1	18,62				10^{-7}
21,30-23,30	I	6,25			5,43	0,9	17,65	39	29	12,48	10^{-5}
23,30-24,00	C	2,70	87,3	3,97	5,34	0,9	18,73				10^{-7}
24,00-25,00	I	7,18			6,20	0,9	17,65	44	30	15,51	10^{-4}
25,00-25,80	C	1,63	44,5	2,56	7,87	0,98	19,79				10^{-7}
25,80-27,10	I	10,37			7,07	0,9	17,65	50	31	19,9	10^{-4}
27,10-28,90	C	2,05	50,5	2,85	6,78	0,9	18,89				10^{-7}
28,90-34,00	I	16,21			8,96	0,9	18,63	61	32	32,47	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 5

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m³)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-2,30	C	9,30	161	5,70	9,50	5,2	20,41				10^{-8}
2,30-4,70	I	18,06			8,78	1	18,63	96	43	36,37	10^{-3}
4,70-6,10	C	4,59	109	4,08	7,56	1,1	19,63				10^{-7}
6,10-18,50	I	9,94			8,64	1	19,63	55	33	18,53	10^{-3}
18,50-24,00	C	4,97	102	4,41	7,37	1,2	19,82				10^{-6}
24,00-25,00	I	7,45			6,58	1,1	18,63	48	31	17,77	10^{-3}
25,00-26,00	C	2,74	80,9	3,44	7,62	1,1	19,26				10^{-7}
26,00-27,00	I	8,63			6,57	1	18,63	46	30	17,16	10^{-3}
27,00-27,80	C	2,19	46,6	3,91	8,87	0,96	19,16				10^{-7}
27,80-33,20	I	13,16			7,81	1	19,08	57	32	27,66	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 6

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m³)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-1,60	C	4,41	147	5,21	8,69	3	20,29				10^{-5}
1,60-6,30	I	18,98			8,64	1,5	19,45	97	43	36,28	10^{-3}
6,30-6,50	C	1,87	69,9	2,78	7,21	2	19,12				10^{-7}
6,50-14,00	I	11,5			7,25	1,3	18,63	67	36	23,19	10^{-3}
14,00-14,90	C	1,95	64,9	2,90	7,07	1,3	19,04				10^{-7}
14,90-18,00	I	9,19			6,46	1,1	19,29	54	33	18,62	10^{-3}
18,00-19,50	C	1,37	56,5	2,76	6,72	1,3	18,84				10^{-7}
19,50-20,20	I	7,83			6,04	1,1	18,63	47	31	15,82	10^{-3}
20,20-21,50	C	4,95	149	5,99	8,93	1	19,78				10^{-8}
21,50-22,50	I	10,95			7,11	1	18,63	55	32	21,8	10^{-3}
22,50-25,10	C	3,91	101	4,45	7,69	1	19,49				10^{-7}
25,10-26,70	I	11,82			6,65	1	19,06	47	31	18,58	10^{-4}
26,70-28,00	C	2,99	119	5,18	8,73	1	19,81				10^{-7}
28,00-34,80	I	12,92			8,18	1	18,63	55	32	25,8	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 7

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m^3)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-1,50	C	1,11	45,7	1,71	5,72	6	18,46				10^{-6}
1,50-10,60	I	23,37			9,33	1,5	18,63	94	42	46,75	10^{-3}
10,60-10,90	C	1,59	51,3	2,69	7,57	1,3	18,99				10^{-6}
10,90-20,80	I	16,79			8,36	1,5	18,63	71	36	33,45	10^{-3}
20,80-21,30	C	1,94	58,9	2,94	7,87	1,1	19,08				10^{-6}
21,30-27,80	I	7,91			5,78	1	18,80	36	29	13,32	10^{-4}
27,80-28,50	C	2,22	65,2	3,38	6,43	1	19,26				10^{-8}
28,50-30,50	I	11,09			6,97	1	18,99	44	30	17,54	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

CPTU 8

strato (da m a m)	tipo (*)	qc (Mpa)	Cu (kPa)	Eu (Mpa)	Mo (Mpa)	OCR	γ (KN/m^3)	Dr (%)	φ (°)	E (Mpa)	k (cm/s)
0,00-1,80	C	2,90	98,9	3,54	5,92	6	19,63				10^{-7}
1,80-14,70	I	19,58			9,13	1,3	18,63	85	39	39,05	10^{-3}
14,70-14,90	C	4,46	130	5,18	8,63	1,3	20,11				10^{-6}
14,90-20,00	I	11,78			6,94	1,1	19,26	58	33	21,66	10^{-3}

(*) I = incoerente; C = coesivo

2.4.2.2 Parametri geotecnici derivati dalle prove di Laboratorio

In Laboratorio sono stati analizzati i campioni indisturbati di terreno prelevati tramite sondaggi; in particolare sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- umidità naturale
- densità naturale
- granulometria
- limiti di Atterberg
- classificazione secondo UNI 10006 e USCL
- prova di carico edometrico
- prova triassiale UU
- prova triassiale CIU

I risultati ottenuti sono schematizzati nelle seguenti tabelle.

						CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA					CARATTERISTICHE FISICHE								
Sondaggio	N. campione	profondità dal p.c. (m)	prof. Falda (m)	data	Qualità del campione	G (%)	S (%)	L + A (%)	L (%)	A (%)	L.L (%)	L.P. (%)	I.P. (%)	I.G.	Wn (%)	UNI-10006	U.S.C.L.	G (kN/m^3)	Y (kN/m^3)
S1	SH1	5,4-6,0	2,9	nov-06	Buona			100	33	67	52	23	29	18	41,9	A 7-6	CH	26,06	18,83
	SH2	19,5-20,1	2,9	nov-06	Buona		1	99	62	37	45	26	19	12,6	34,6	A 7-6	CL	26,06	18,86
	SH3	21,0-21,6	2,9	nov-06	Buona		1	99	55	44	44	25	19	12,4	30,5	A 7-6	CL	26,06	19,26
	SH4	22,8-23,4	2,9	nov-06	Buona		1	99	74	25	35	25	10	8	29,7	A 4	ML	26,06	18,71
	SH5	25,0-25,6	2,9	nov-06	Buona			100	58	42	45	25	20	13	31,2	A 7-6	CL	26,06	19,26
	SH6	28,0-28,6	2,9	nov-06	Buona			100	62	38	44	25	19	12,4	33	A 7-6	CL	26,06	19,06
S2	SH1	21,0-21,6	3,1	nov-06	Buona		2	98	56	42	43	27	16	11	28,8	A 7-6	CL	26,06	19,14
	SH2	23,3-23,9	3,1	nov-06	Buona		5	95	91	4	36	25	11	11	27,2	A 6	ML	26,06	18,55
	SH3	25,0-25,6	3,1	nov-06	Buona			100	61	39	44	27	17	11,6	22,5	A 7-6	CL	26,06	19,35
	SH4	28,0-28,6	3,1	nov-06	Buona			100	65	35	41	25	16	10,6	34,9	A 7-6	CL	26,06	18,56
S3	SH1	6,5-7,0	2,9	nov-06	Buona		1	99	72	27	30	19	11	8,4	21	A 6	CL	26,06	19,11
	SH2	18,4-19,0	2,9	nov-06	Buona		2	98	62	36	39	23	16	10,4	29,4	A 6	CL	26,06	19,57
	SH3	21,4-22,0	2,9	nov-06	Buona		2	98	83	15	33	23	10	8	26,9	A 4	ML	26,06	19,57
	SH4	23,8-24,4	2,9	nov-06	Buona		1	99	68	31	43	25	18	11,8	22,2	A 7-6	CL	26,06	19,42
	SH5	26,4-27,0	2,9	nov-06	Buona	1	96	3							33,9	A 3	S9	26,06	18,66

PROVE DI LABORATORIO
TRIASSIALE : U.U. H cm =7,62 ø cm =3,81

Località	Sondaggio	N. campione	σ3 (Kpa)	Cu (Kpa)	Eu25 (kpa)	Eu50 (Kpa)
S. Giorgio-Bretella	S1	SH1	98	41,4	60174	23041
		SH2	98	27,37	17054	8939
		SH3	98	78,6	31794	15372
			196		163300	86995
		SH4	98	81,2	26606	13008
			196		45774	56130
		SH5	98	52,8	25948	15645
			196		38484	18301
		SH6	98	29,9	18593	10653
			196		27364	11330
	S2	SH1	98	75,5	50682	20815
			196		58270	27713
		SH2	98	67,47	20142	16416
			196		15445	18924
		SH3	98	67,3	117917	52798
			196		22465	14404
		SH4	98	36,1	26528	12404
			196		43615	15605
	S3	SH1	98	38,3	4795	6188
		SH2	98	36,8	41567	30790
			196		57945	26169
		SH3	98	57,2	110615	95867
		SH4	98	62,18	124058	28458
			196		50544	26137

PROVE DI LABORATORIO
TAGLIO DIRETTO
H prov. cm = 2
b prov. cm = 6x6

Sondaggio	N. campione	c' (kpa)	φ'p	φ'r
S3	SH5	20,33	39	

PROVE DI LABORATORIO

TRIASSIALE : C.I.U. H prov. cm =7,62 ø Prov. cm =3,81

Sondaggio	N. campione	σ3 (Kpa)	Cu (Kpa)	c' (Kpa)	φu	φ'	E'25	E'50	Eu25	Eu50	B
S1	SH1	98							6201	26029	
		196	12,8		19				35807	50324	0,9
		392							43775	39057	
	SH2	98							25007	20578	
		196	0		25				120279	103386	0,92
		392							70234	73394	
	SH3	98							84328	48954	
		196	23,62		18				42362	25253	0,89
		392							79648	58255	
	SH4	98							54169	44711	
		196	0		26				89302	68371	0,89
		392							104978	95191	
	SH5	98							79369	38932	
		196	44,75		17				98307	121706	0,88
		392							45611	45611	
	SH6	98							18046	19404	
		196	2,54		19				139066	48715	0,9
		392							65782	42819	
S2	SH1	98							50355	20813	
		196			25				58110	27678	0,89
		392									
	SH2	98							99575	82509	
		196	26,56		27				222464	107556	0,89
		392							88862	128696	
	SH3	98							60300	42568	
		196			26				42543	37183	0,89
		392							141557	107281	
	SH4	98							46093	26354	
		196	0		24				175689	43675	0,9
		392							55805	45650	
S3	SH1	98							72747	83938	
		196	0		25				119080	96407	0,89
		392							99030	107647	
	SH2	98							40389	36305	
		196	8,69		19				138355	66239	0,89
		392							45487	37228	
	SH3	98							32045	26635	
		196	0		25				49098	36031	0,9
		392							149217	98063	
	SH4	98							36224	30497	
		196	0		26				52372	42615	0,91
		392							94846	98340	
	SH5	98									
		196									
		392									

PROVE DI LABORATORIO

EDOMETRIA H prov. cm 2 ø Prov. cm = 5

Località	Sondaggio	N. camp.	eo iniz.	σ'c (kpa)	σ'v (kpa)	OCR	σ' (kpa)	K (cm/s)	Cv (cm^2/s)	Cc	Cα	Mo (kpa)	t50 (s)
S. Giorgio-Bretella	S1	SH1	0,893	220	85,31	2,58	49	6,85^-8	7,43^-3		6,32^-06	2581	27
							98	3,33^-8	1,80^-3		6,32^-06	5448	109
							196	3,22^-8	2,18^-3		5,84^-6	6538	90
							392	2,96^-8	2,75^-3	0,279	1,94^-5	9123	72
							784	1,28^-8	1,76^-3		1,17^-5	13527	111
							1569	1,16^-8	2,42^-3		3,79^-5	20378	81
		SH2	0,889	230	208,88	1,1	49	1,69^-7	2,81^-3		1,26^-05	1635	70
							98	1,04^-7	2,78^-3		1,94^-05	2581	71
							196	1,18^-7	5,37^-3		1,17^-05	4458	37
							392	7,78^-8	5,76^-3	0,285	2,62^-05	7264	34
							784	8,49^-8	1,19^-2		1,17^-05	13764	16
							1569	5,15^-8	1,16^-2		1,75^-05	22100	17
		SH3	0,816	290	249,48	1,16	49	1,02^-7	1,39^-3		9,72^-06	2452	142
							98	6,39^-8	2,56^-3		1,26^-05	3923	77
							196	5,79^-8	4,14^-3		6,32^-06	7005	48
							392	3,99^-8	4,57^-3	0,116	1,26^-05	11208	43
							784	4,04^-8	7,70^-3		1,26^-05	18680	25
							1569	2,58^-8	8,10^-3		1,17^-05	30767	24
		SH4	0,791	250	265,37	0,94	49	7,87^-8	2,34^-2			4086	8
							98	6,56^-8	3,28^-3		6,80^-06	4904	60
							196				5,84^-06	7544	
							392	2,38^-8	2,76^-3	0,151	6,32^-06	11370	71
							784				1,75^-06	18905	
							1569				5,85^-06	32023	
		SH5	0,733	280	284,78	0,98	49		1,44^-2		2,92^-06	2452	14
							98				6,80^-06	4670	
							196	3,02^-7	2,52^-2		2,04^-18	8173	8
							392	1,67^-7	1,97^-2	0,099	1,36^-05	11538	10
							784				1,17^-05	22416	
							1569				5,85^-06	33386	
		SH6	0,802	280	311,26	0,9	49	3,85^-7			5,84^-06	2884	
							98	2,72^-7	1,13^-2		1,17^-05	4086	17
							196	6,61^-8	5,51^-3		5,84^-06	8172	36
							392	2,43^-7	2,95^-2	0,108	5,84^-06	11887	7
							784	1,02^-7	2,09^-2		1,17^-05	20117	9
							1569				2,43^-05	32023	
S. Giorgio-Bretella	S2	SH1	0,658	300	249,48	1,2	49	7,80^-7	1,08^-2		6,32^-06	2884	18
							98	4,82^-7	2,30^-2		6,32^-06	4904	9
							196	2,41^-7	1,78^-2	0,179	9,72^-06	7005	11
							392				1,26^-05	11538	
							784	9,82^-8	1,87^-2		5,85^-06	18680	10
							1569				1,17^-05	28529	
		SH2	0,645	300	269,78	1,11	49	2,13^-7	8,78^-3		6,32^-06	2581	22
							98	1,34^-7	6,08^-3		6,32^-06	5162	32
							196	1,92^-7	1,53^-2		6,32^-06	7264	13
							392	3,46^-8	3,89^-3	0,157	3,64^-05	13076	50
							784	6,42^-8	1,61^-2		8,15^-18	21204	12
							1569				5,85^-06	32023	
		SH3	0,61	300	284,78	1,05	49	2,10^-7	2,21^-2		1,26^-05	2452	9

							98	1,16^-7	5,25^-3		6,32^-06	4458	37
							196	1,88^-7	1,39^-2		1,17^-05	7264	14
							392	5,42^-8	6,57^-3	0,168	6,32^-06	11887	30
							784	7,37^-8	1,40^-2		1,26^-05	18680	14
							1569	7,17^-8	2,29^-2		5,85^-06	31382	9
		SH4	0,793	300	311,26	0,96	49	1,41^-6	1,07^-2			2452	18
							98	9,13^-7	3,51^-2		5,85^-06	3772	6
							196				5,85^-06	5944	
							392	1,27^-7	1,53^-2	0,194	1,94^-05	11887	13
							784	1,55^-7	2,82^-2		5,85^-06	17831	7
							1569	9,10^-8	2,70^-2		1,85^-05	29058	7
S. Giorgio-Bretella	S3	SH1	0,549	190	94,14	2,02	49	1,22^-7	1,71^-3		1,26^-05	3065	115
							98	6,47^-8	3,81^-3		5,84^-06	5769	52
							196	3,59^-7	3,26^-2		1,17^-05	8915	6
							392	1,36^-7	2,26^-2	0,109	5,84^-06	16345	9
							784	2,00^-8	5,33^-3		1,36^-05	26152	37
							1569	2,24^-8	1,16^-2		6,32^-06	50617	17
		SH2	0,712	300	226,53	1,32	49	9,45^-8	1,79^-3		6,32^-06	2452	110
							98	6,62^-8	2,36^-3		1,26^-05	3503	83
							196	5,30^-8	3,31^-3		6,32^-06	6129	59
							392	3,65^-8	3,31^-3	0,217	1,94^-05	8915	59
							784	3,39^-8	5,77^-3		1,17^-05	16693	34
							1569	4,66^-8	1,18^-2		2,53^-05	24907	17
		SH3	0,739	250	253,01	0,99	49	1,71^-7	2,17^-2		9,53^-06	2724	9
							98	1,07^-7	4,75^-3		6,32^-06	4458	41
							196	1,20^-7	8,03^-3		6,32^-06	6763	24
							392	2,03^-7	2,22^-2	0,189	6,32^-06	10323	9
							784	9,47^-8	1,87^-2		6,32^-06	19614	11
							1569	8,30^-8	2,53^-2		1,94^-05	29606	8
		SH4	0,772	290	274,19	1,06	49	1,68^-7	1,01^-3		6,32^-06	2335	194
							98	1,43^-7	3,66^-3		1,85^-05	2452	54
							196	5,52^-8	2,30^-3		2,53^-05	4173	86
							392	4,56^-8	2,90^-3	0,345	2,53^-05	6035	68
							784	3,25^-8	3,51^-3		3,11^-05	10897	56
							1569	2,01^-8	3,35^-3		4,57^-05	16011	59
		SH5	0,946	300	297,14	1,01	49				5,84^-06	4458	
							98				1,02^-18	5162	
							196				5,84^-06	7264	
							392			0,181	1,85^-05	14010	
							784				1,94^-05	22416	
							1569				3,21^-05	32023	

2.5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Sono state eseguite, come più sopra specificato, indagini di sismica in array in n. 4 punti denominati G1, G2, G3 e G4; sono stati utilizzati i metodi MASW e Re.Mi.

I valori ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella:

punto di indagine	Vs_{30} (m/s)
G1	244
G2	240
G3	276
G4	298

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova sono stati classificati, con O.P.C.M. 3274/2003, in **Zona 4**, ovvero a bassa sismicità, con valore di accelerazione massima al suolo (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suolo rigido caratterizzato da Vs_{30} > 800 m/s) $\mathbf{a_g}$ pari a 0,05.

Secondo l'O.P.C.M. 3274/2003 i terreni indagati appartengono alla **Categoria C** (Vs_{30} compreso tra 180 e 360 m/s), come da schema sotto riportato.

Categorie di suolo di fondazione:

		S
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con valori V_{s30} > 800 m/s con strati di alterazione superficiale h max = 5m	1.00
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.25
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s	1.25
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di V_{s30} < 180 m/s	1.35
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V_{s30} > 800 m/s	1.25
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI>40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di V_{s30} < 100 m/s	Servono studi speciali
S2	Deposito di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

S = fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, direzione orizzontale

3.0 CONCLUSIONI

3.0 CONCLUSIONI

3.1 CARATTERISTICHE GENERALI

L'area esaminata è inserita nella parte più distale del "terrazzo fluvioglaciale wurmiano di pertinenza gardesana" che forma gran parte della pianura mantovana occidentale; è costituita da depositi recenti riconducibili all'unità dei "depositi alluvionali sub - boreali dei fiumi Mincio, Tartaro e Adige". Come si osserva dalla Carta Geologica e Geomorfologica, i depositi superficiali qui rinvenibili sono di natura alluvionale, legati prevalentemente all'attività deposizionale del Fiume Mincio; essi sono costituiti in prevalenza da sabbie fini e da limi argillosi. Sono presenti tracce di piccoli paleoalvei, legati a corsi d'acqua minori.

Per quanto riguarda la situazione litologica profonda nella vasta area circostante il tracciato in esame, una sezione idrogeologica costruita utilizzando le litostratigrafia di pozzi per acqua (Figura 3) mette in evidenza la presenza di almeno quattro livelli acquiferi nei primi 200 metri di profondità. Il sottosuolo è infatti costituito da strati alterni di depositi permeabili (sabbie eterometriche, talora accompagnate da ghiaia) e di depositi impermeabili (argille, limi); tali depositi hanno andamento lenticolare, tipico della pianura alluvionale, e presentano pertanto eteropie laterali di facies.

Per quanto riguarda la piezometria degli acquiferi sotterranei, in Figura 4 si evidenzia quanto segue:

- il flusso sotterraneo preferenziale è diretto grosso modo N-S o NNE-SSO in direzione della depressione del Fiume Mincio;
- le quote piezometriche variano da 21 metri circa s.l.m. in prossimità del Casello Mantova Nord a 20 metri circa s.l.m. poco a sud di Corte Tridolo (Strada Provinciale per Villanova De Bellis);
- il gradiente idraulico è dell'ordine del 1‰.

La soggiacenza della falda rispetto al p.c. attuale è mediamente di 2-3 metri.

Nel piezometro posto in opera nel tratto terminale nord del tracciato della Bretella, sono state effettuate le seguenti misure del livello statico di falda:

piezometro quota (m s.l.m.) 24,73	**data**	**profondità (metri dal p.c.)**	**quota assoluta (m s.l.m.)**
	15.11.2006	3,00	21,73
	12.12.2006	3,44	21,29
	13.01.2007	3,64	21,09

3.2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE SUPERFICIALI E PROFONDE

Sono state individuate lungo il tracciato della nuova Bretella cinque distinte unità litologiche che, a partire dal piano campagna attuale, possono essere così descritte:

- strato argilloso superficiale: affiora in superficie e presenta spessori variabili da 1,00 a 2,50 metri circa. E' costituito da argille, argille limose, limi argillosi, con presenza di concrezioni calcaree;

- strato sabbioso superficiale: è presente al di sotto dello strato precedente a partire da 1,00-2,50 metri e fino a 17,00-21,00 metri di profondità, con spessori variabili da 16 a 20 metri circa. E' costituito da sabbie prevalentemente fini e medie, talora debolmente limose, con rara presenza di ghiaietto;

- strato argilloso intermedio: in corrispondenza del tratto centro settentrionale del tracciato della Bretella (CPTU 1-2-3-4-5-6 e sondaggi S1-S2-S3) si rileva, all'interno dello strato sabbioso superficiale di cui sopra, uno strato intermedio costituito da argille, argille limose, limi argillosi, con tetto a 3,50-6,50 metri e base a 6,00-7,60 metri di profondità, dello spessore variabile da 1 a 4 metri circa, che si assottiglia procedendo da nord verso sud e che non è presente nel tratto centro meridionale del tracciato stesso;

- complesso di strati alterni argilloso-limosi e sabbiosi: inferiormente allo strato sabbioso superficiale, con tetto a 17,00-21,00 metri e base a 27,00-29,70 metri di profondità, con spessori variabili da 7,50 a 10,50 metri circa, è presente un complesso litologico fittamente stratificato, costituito da strati alterni di argilla limosa (talora con presenza di torba diffusa) e di sabbia fine limosa. I vari strati presentano spessori dell'ordine di 1-2 metri circa. La componente prevalentemente coesiva varia dal 53% all'85%;

- strato sabbioso profondo: si rinviene a partire da 27,00-29,70 metri di profondità ed è presente fino a 40 metri di profondità (massima profondità raggiunta dai sondaggi); è costituito da sabbie prevalentemente fini e medie, talora debolmente limose. Nei sondaggi S1 e S2, a 37-39 metri di profondità circa, compare una lente argilloso limosa.

3.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

3.3.1 Parametri geotecnici deducibili da Sondaggi, CPTU, Prove di Laboratorio

A ciascuno degli strati indicati al precedente punto 3.2 possono essere attribuiti i seguenti valori medi dei principali parametri geotecnici:

Strato argilloso superficiale (da 0,00 a 1-2,50 metri di profondità)

parametro	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4 S1	CPTU 5 S2	CPTU 6 S3	CPTU 7	CPTU 8
qc (Mpa)	6,4	6,79	20,73	1,16	9,30	4,41	1,11	2,90
Cu (kpa)	240	176	-	48,4	161	147	45,7	98,9
Eu (Mpa)	8,5	6,21	-	2	5,70	5,21	1,71	3,54
Mo (Mpa)	12,48	9,54	-	6,58	9,50	8,69	5,72	5,92
OCR	4	4,6	1,2	3,6	5,2	3	6	6
γ (KN/m^3)	20,05	19,87	18,70	18,29	20,41	20,29	18,46	19,63
k (cm/s)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}

Strato sabbioso superficiale (da 1,00-2,50 a 17,00-21,00 metri di profondità)

parametro	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4 S1	CPTU 5 S2	CPTU 6 S3	CPTU 7	CPTU 8
qc (Mpa)	11,04	10,11	14,9	13,95	14,00	13,22	20,08	15,68
Mo (Mpa)	6,92	7,11	6,40	6,28	8,71	7,45	8,84	8,03
OCR	1,8	1,6	1,7	2,4	1	1,3	1,5	1,2
γ (KN/m^3)	18,15	18,84	18,78	18,39	19,13	19,12	18,63	18,94
$N_{SPT\ (30)}$				46	20	29		
Dr (%)	69	64	60	66	75	72	82	71
φ (°)	35	33	33	34	37	36	39	36
E (Mpa)	17,92	20,7	17,97	21,29	27,45	26,03	40,10	30,35
k (cm/s)	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}

Strato argilloso intermedio (da 3,50-6,50 a 6,00-7,60 metri di profondità)

parametro	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4 S1	CPTU 5 S2	CPTU 6 S3	CPTU 7	CPTU 8
qc (Mpa)	2,55	3,57	4,56	1,32	4,59	4,41	-	-
Cu (kpa)	123	89,9	35,1	48,4	109	147	-	-
Eu (Mpa)	4,50	3,40	1,51	2,00	4,08	5,21	-	-
Mo (Mpa)	7,70	7,02	5,25	4,97	7,56	8,69	-	-
OCR	2,5	2	2	2,5	1,1	3	-	-
γ (KN/m^3)	19,96	19,22	18,23	18,29	19,63	20,29	-	-
k (cm/s)	10^{-8}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-5}	-	-

Complesso di strati alterni argilloso-limosi e sabbiosi (da 17,00-21,00 a 27,00-29,70 metri di profondità)

parametro	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4 S1	CPTU 5 S2	CPTU 6 S3	CPTU 7	CPTU 8
qc (Mpa)	-	3,02	3,36	2,70	3,30	3,31	2,08	-
Cu (kpa)	-	111	62,75	57,72	76,5	106	62,05	-
Eu (Mpa)	-	2,24	3,10	2,98	3,92	4,59	3,16	-
Mo (Mpa)	-	8,08	6,51	6,60	7,95	8,02	7,15	-
OCR	-	1	0,9	0,9	1,1	1	1	-
γ (KN/m^3)	-	19,85	19,34	19,01	19,41	19,48	19,17	-
k (cm/s)	-	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	-

Strato sabbioso profondo (da 27,00-29,70 a 40 metri di profondità)

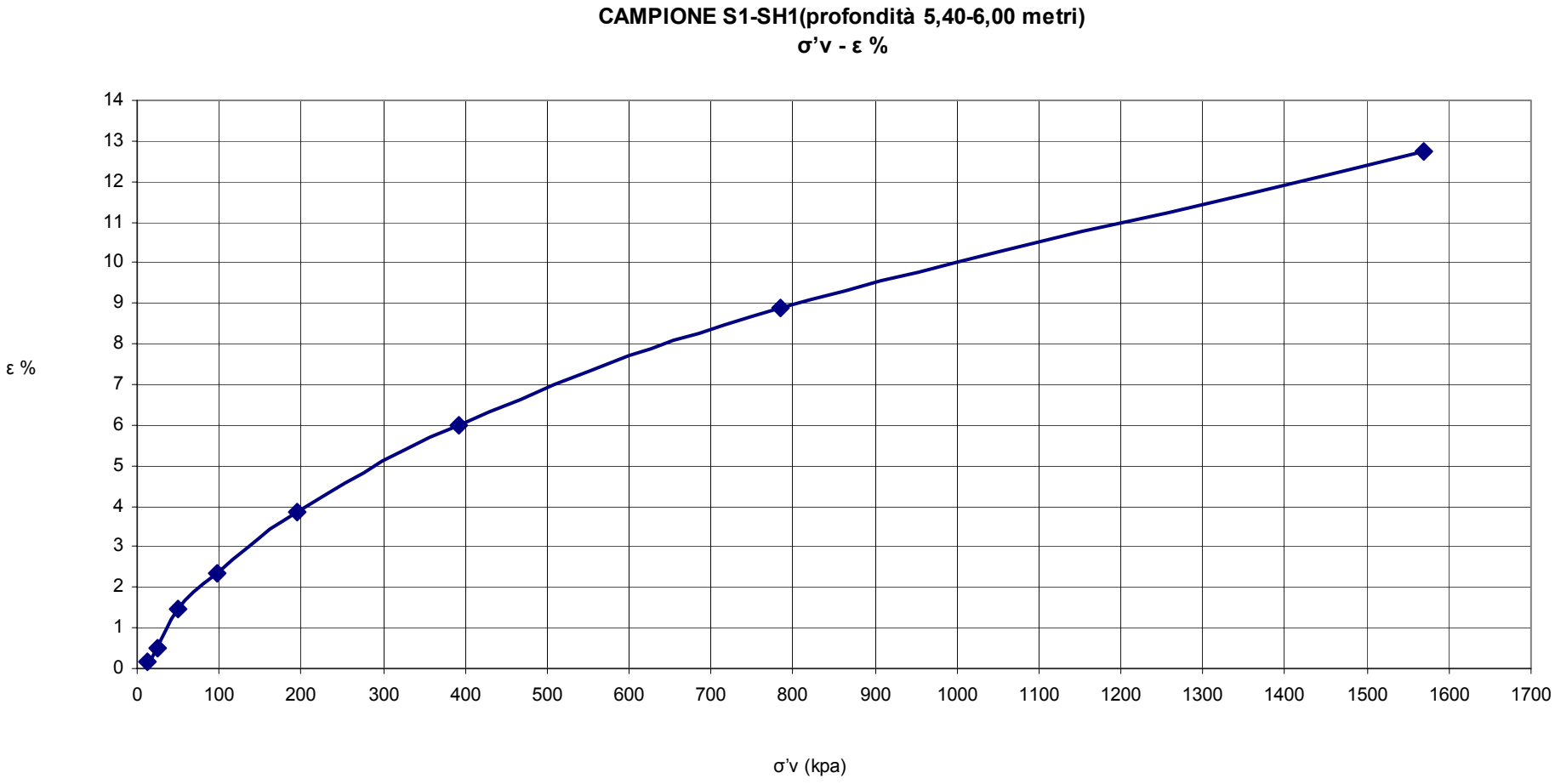
parametro	CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4 S1	CPTU 5 S2	CPTU 6 S3	CPTU 7	CPTU 8
qc (Mpa)	-	-	9,95	16,21	13,16	19,92	11,09	-
Mo (Mpa)	-	-	7,10	8,96	7,81	8,18	6,97	-
OCR	-	-	0,9	0,9	1	1	1	-
γ (KN/m^3)	-	-	18,63	18,63	19,08	18,63	18,99	-
Dr (%)	-	-	49	61	57	55	44	-
φ (°)	-	-	31	33	32	32	30	-
E (Mpa)	-	-	19,78	32,47	27,66	25,8	17,54	-
k (cm/s)			10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	

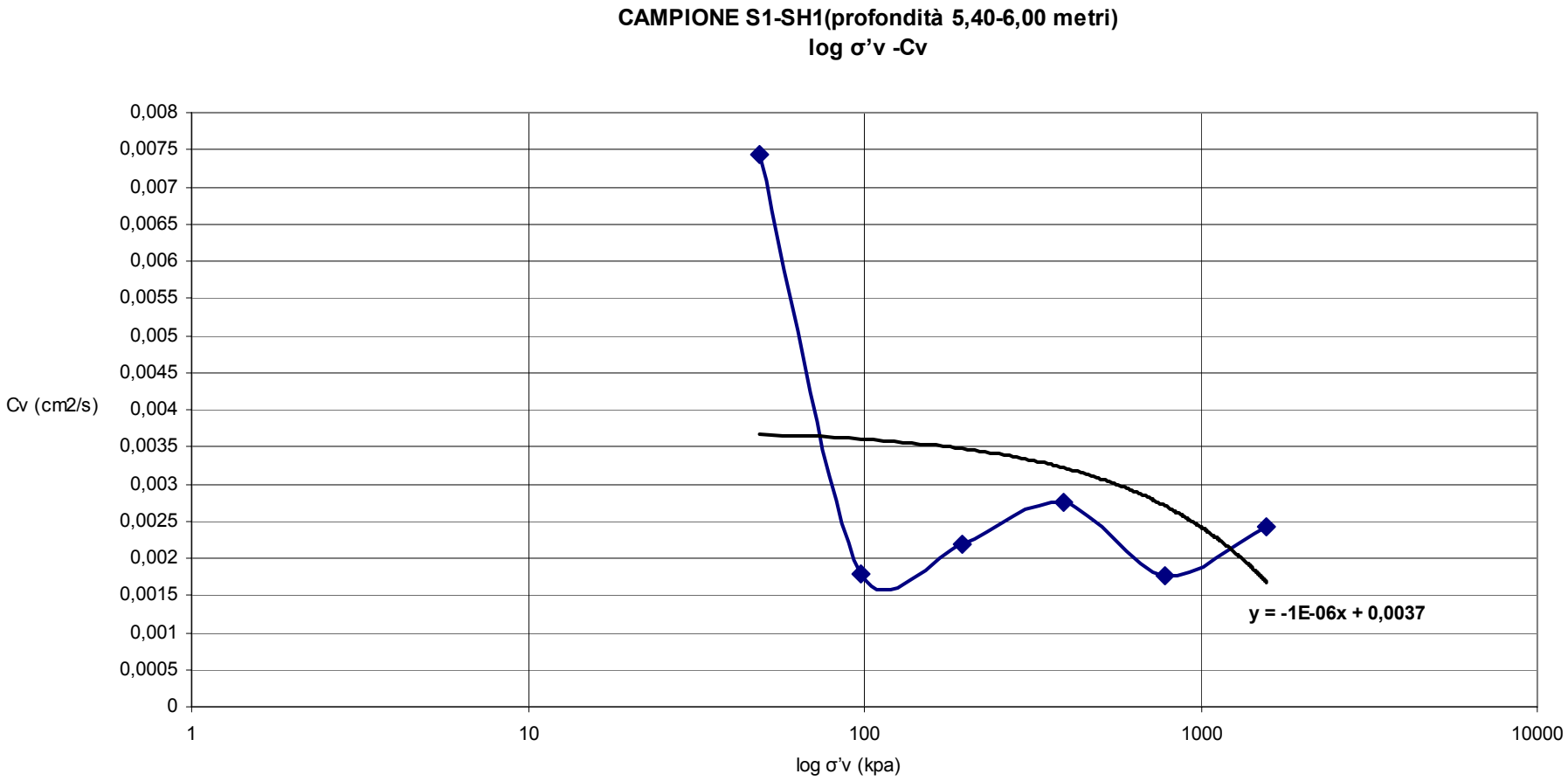
Valori di Eu_{25} ed Eu_{50}

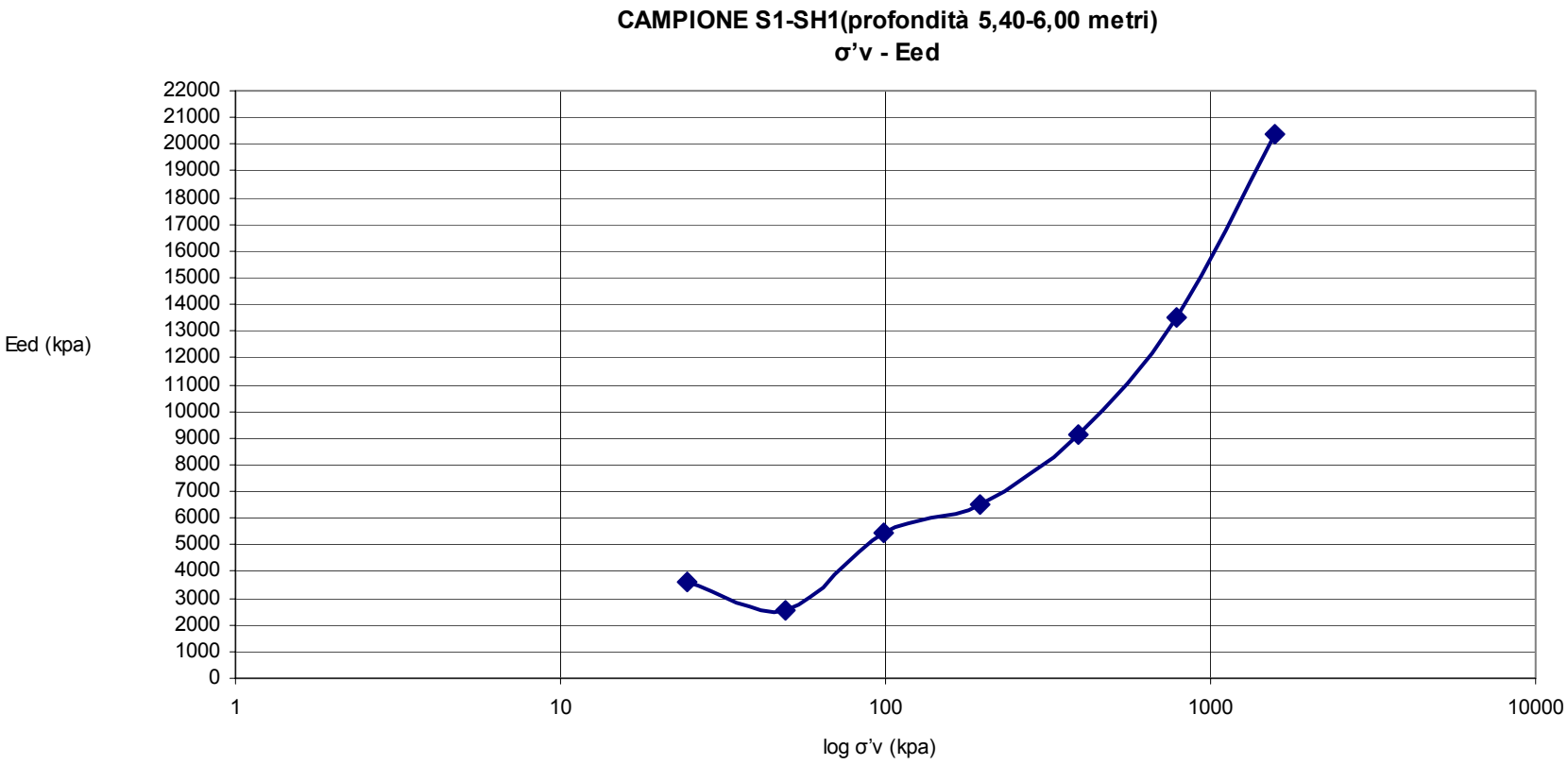
L'Ing. Giuliano Rossi dell'Amministrazione Provinciale di Mantova, ha chiesto di calcolare, utilizzando i dati delle prove triassiali U.U. e C.I.U., i valori di Eu_{25} ed Eu_{50}, intesi rispettivamente come rapporto tra $(\sigma1-\sigma3)/4$ e $(\sigma1-\sigma3)/2$ con la corrispondente deformazione assiale ε% (calcolata con interpolazione); quest'ultima, su indicazione dello stesso Ingegnere, è stata rapportata all'altezza del provino di laboratorio (7,62 centimetri).

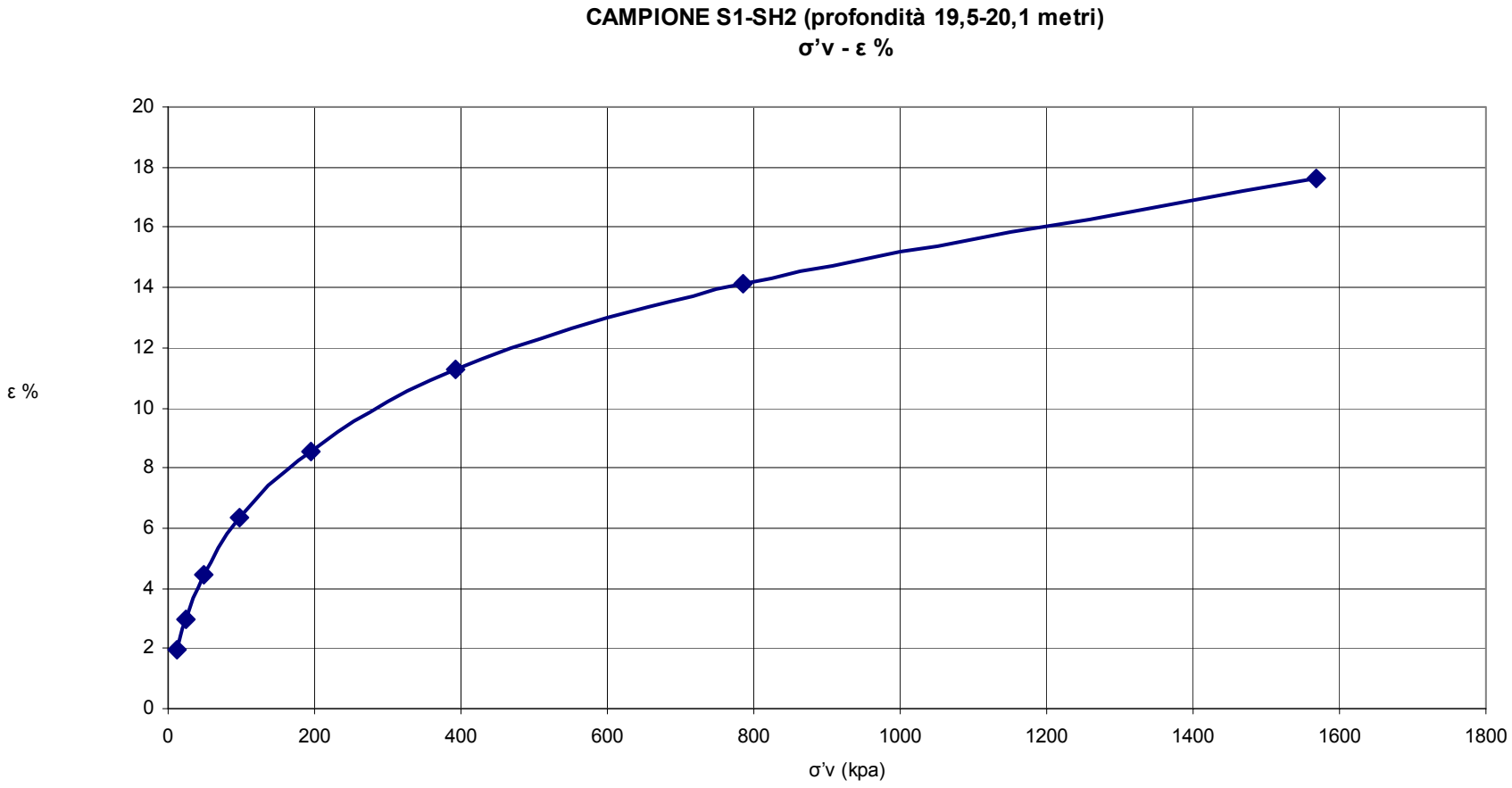
Grafici (σ'v - ε %), (log σ'v – Cv), (log σ'v – Eed)

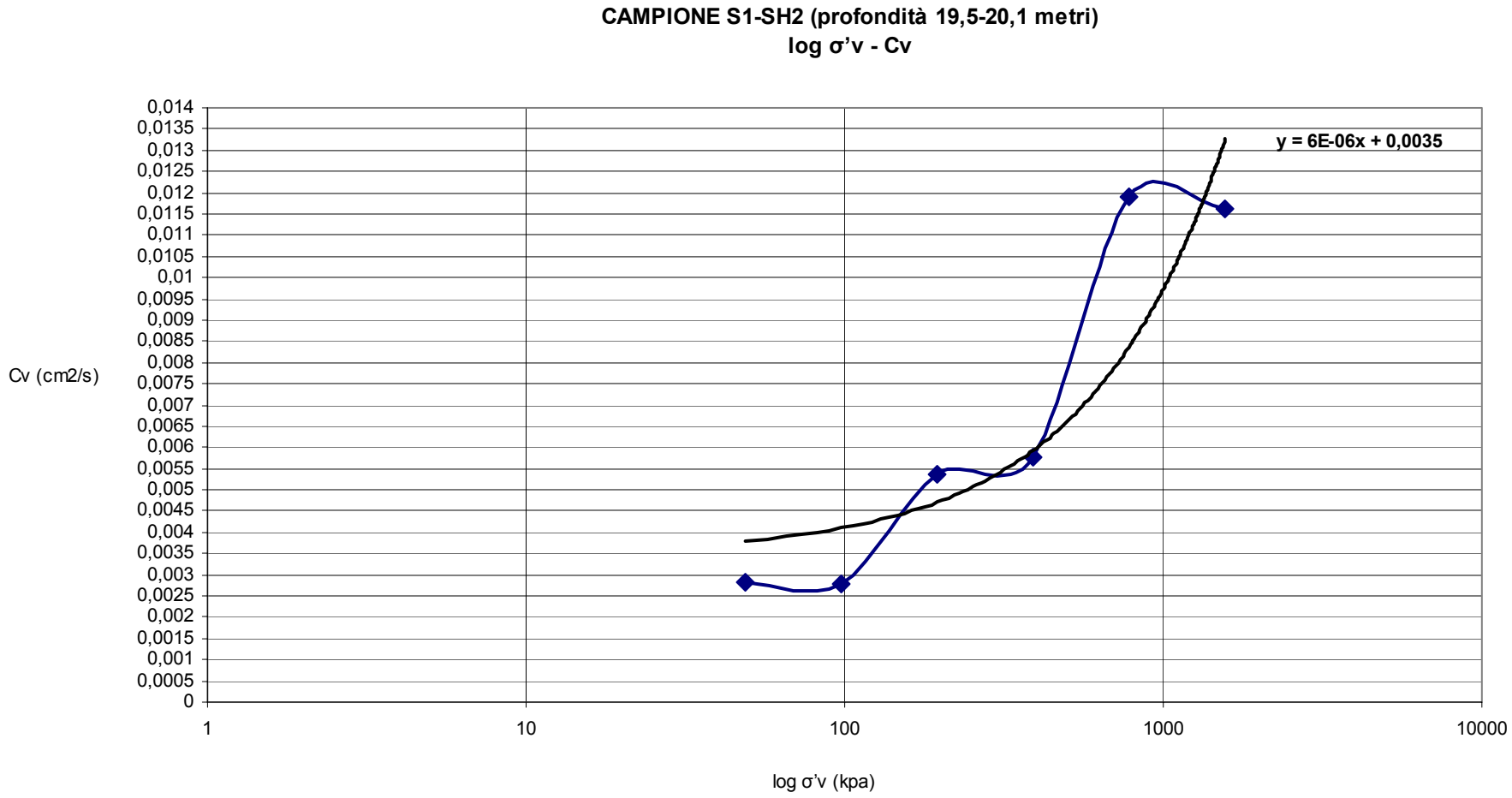
Con i dati delle prove edometriche di laboratorio è possibile realizzare i grafici (σ'v - ε %), (log σ'v – Cv), (log σ'v – Eed); poiché non sono stati realizzati dal Laboratorio incaricato, anche se previsti dall'Appalto, essi sono stati elaborati dallo scrivente e vengono riportati qui di seguito.


CAMPIONE S1-SH1(profondità 5,40-6,00 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700

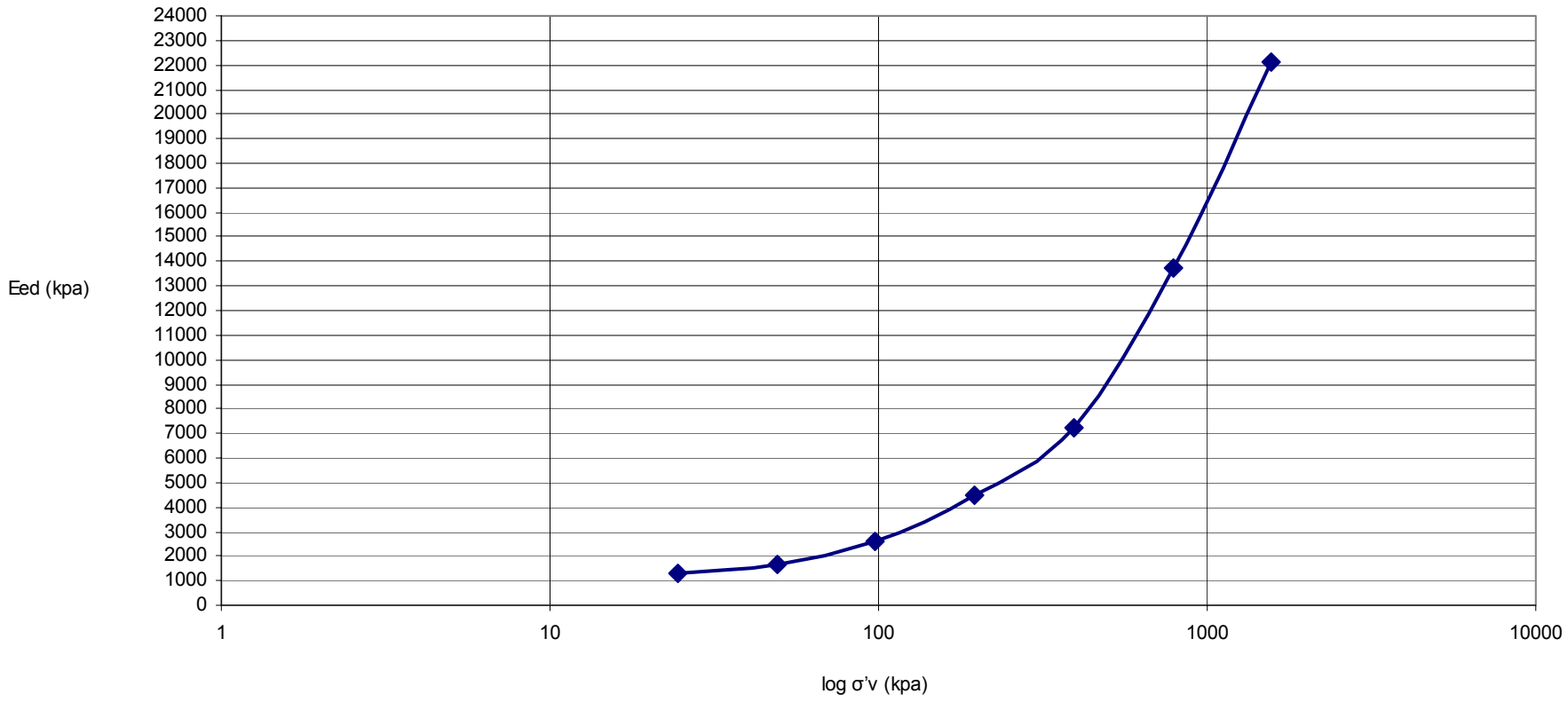

CAMPIONE S1-SH1(profondità 5,40-6,00 metri)
log σ'v -Cv
Cv (cm2/s)
0,008
0,0075
0,007
0,0065
0,006
0,0055
0,005
0,0045
0,004
0,0035
0,003
0,0025
0,002
0,0015
0,001
0,0005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)
y = -1E-06x + 0,0037

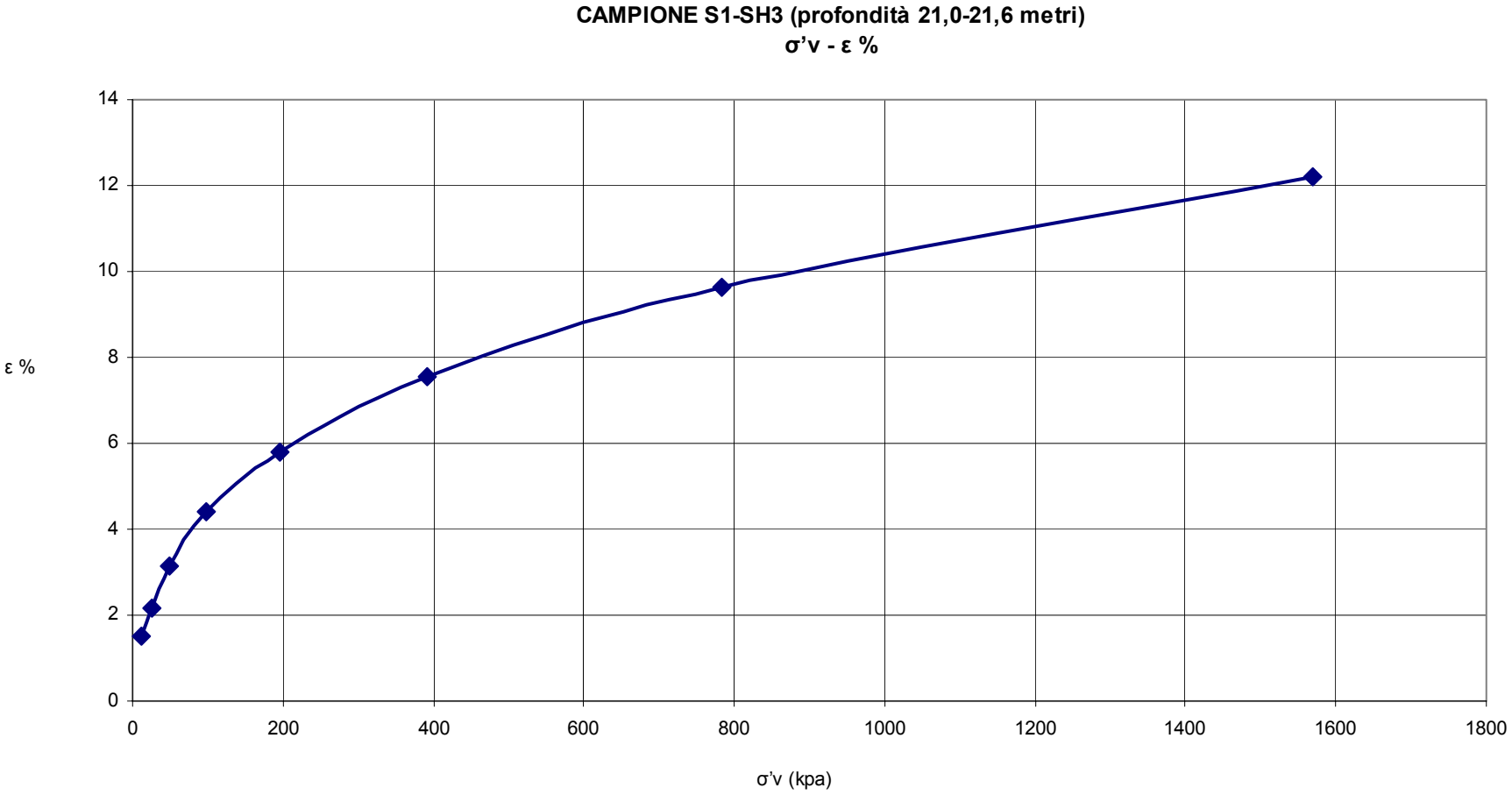

CAMPIONE S1-SH1(profondità 5,40-6,00 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
22000
21000
20000
19000
18000
17000
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S1-SH2 (profondità 19,5-20,1 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

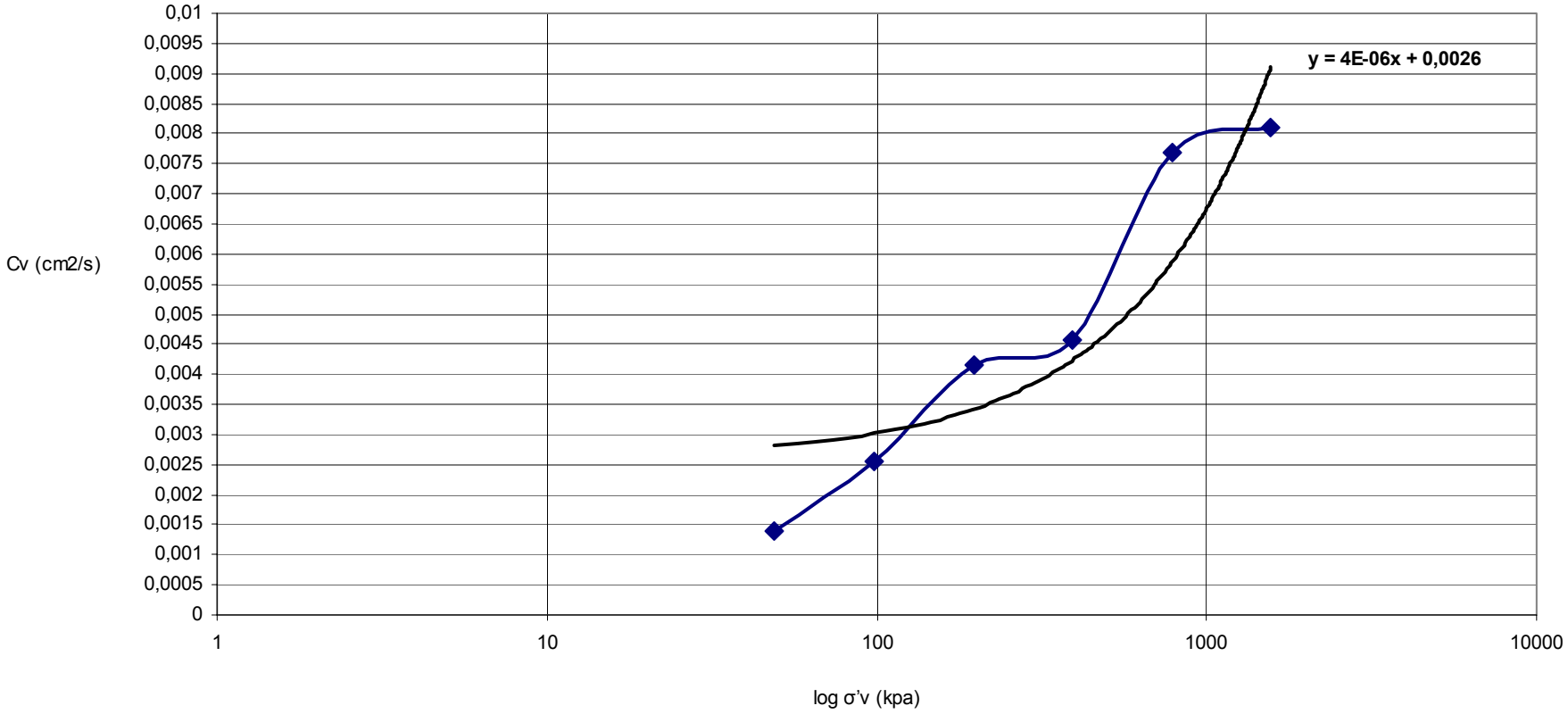

CAMPIONE S1-SH2 (profondità 19,5-20,1 metri)
log σ'v - Cv
y = 6E-06x + 0,0035
Cv (cm2/s)
0,014
0,0135
0,013
0,0125
0,012
0,0115
0,011
0,0105
0,01
0,0095
0,009
0,0085
0,008
0,0075
0,007
0,0065
0,006
0,0055
0,005
0,0045
0,004
0,0035
0,003
0,0025
0,002
0,0015
0,001
0,0005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

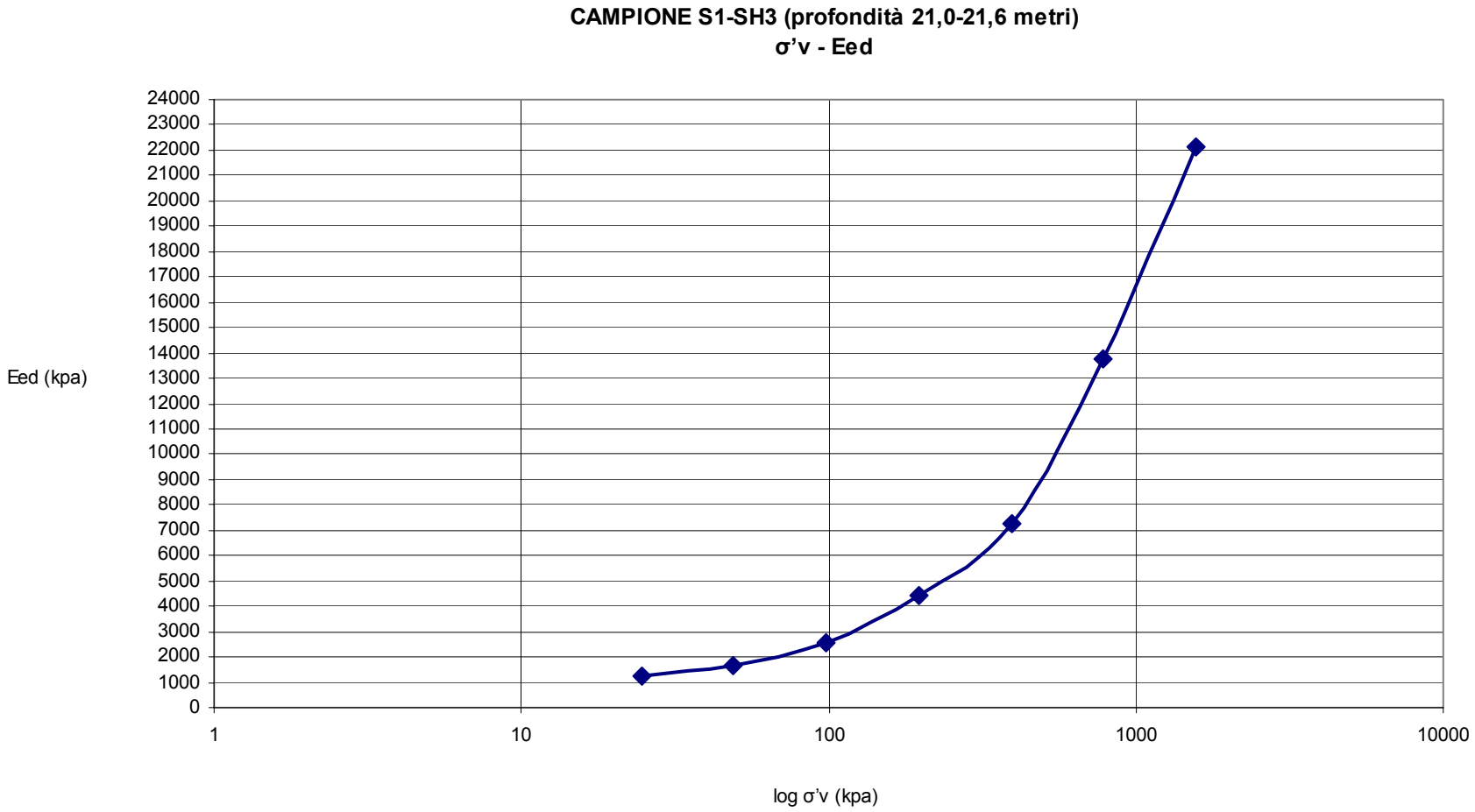
CAMPIONE S1-SH2 (profondità 19,5-20,1 metri)
σ'v - Eed

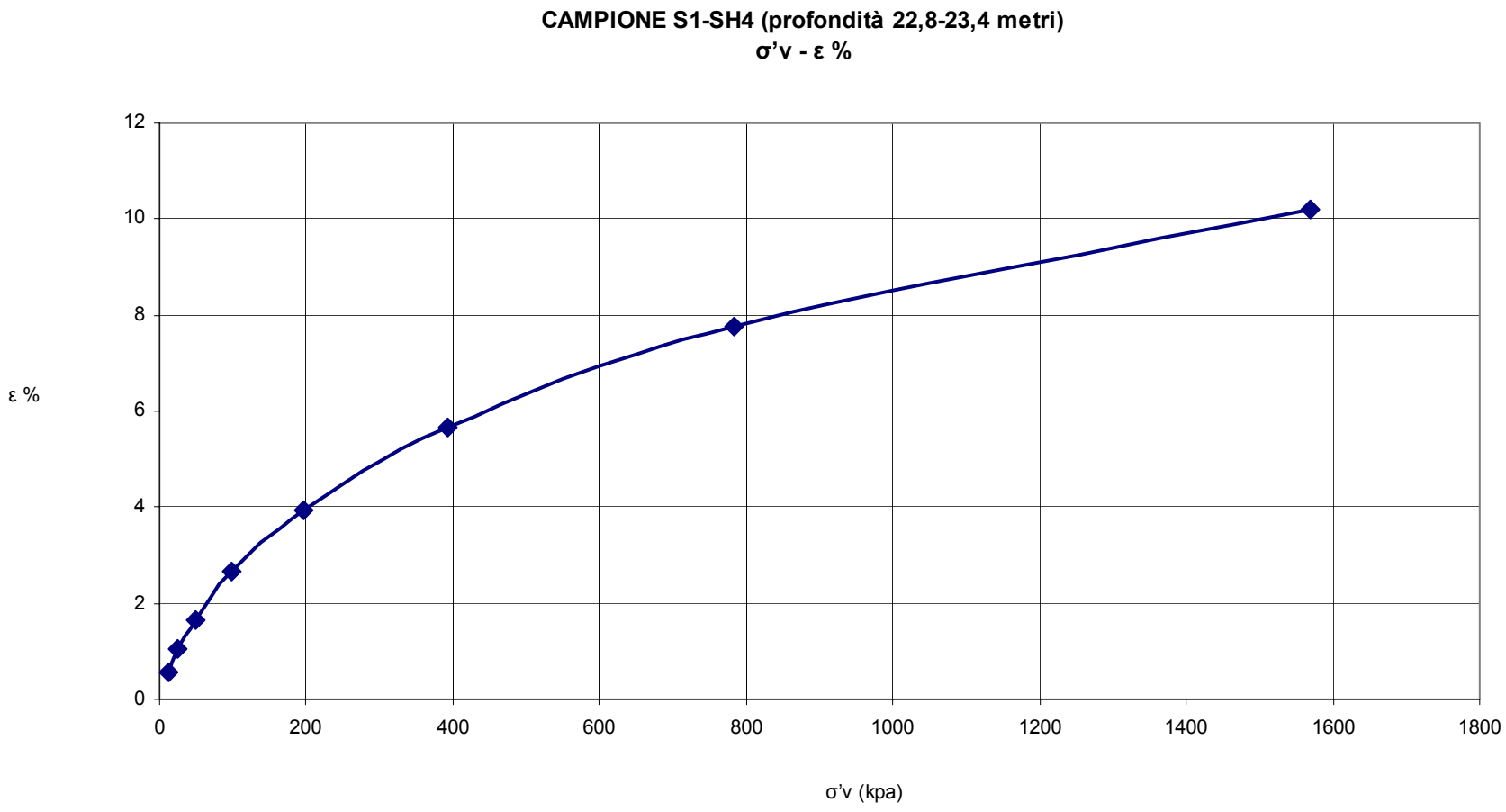


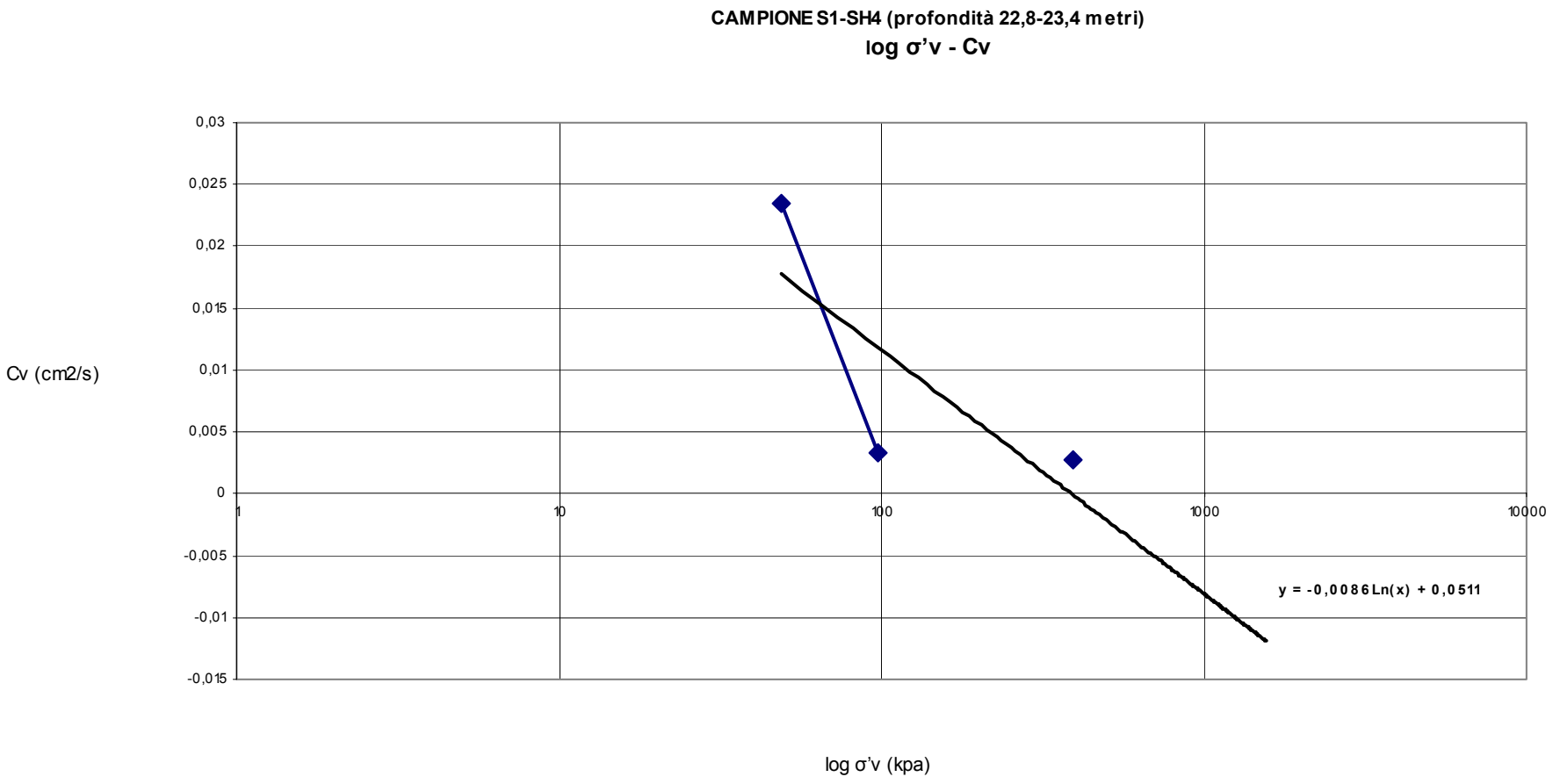

CAMPIONE S1-SH3 (profondità 21,0-21,6 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

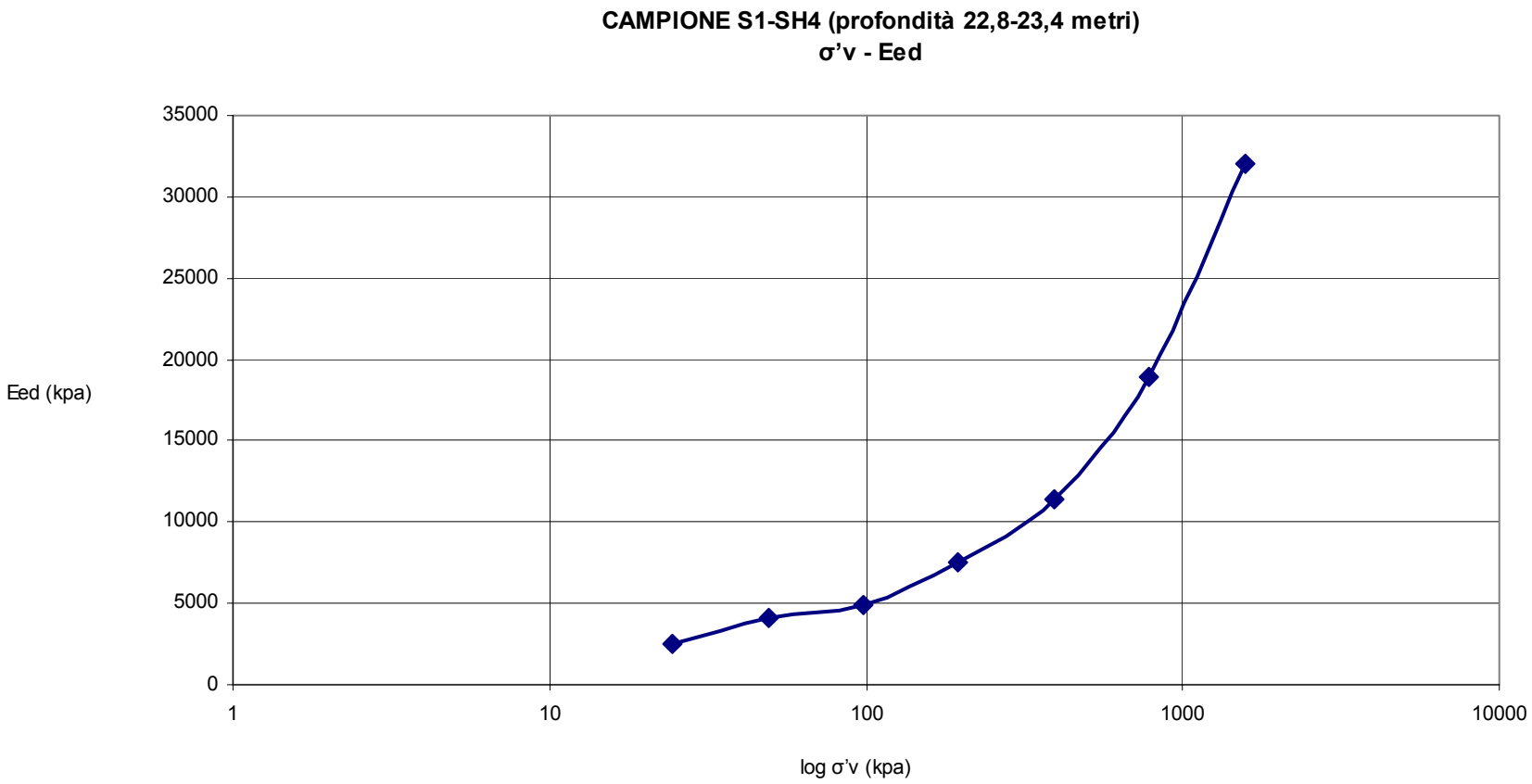
CAMPIONE S1-SH3 (profondità 21,0-21,6 metri)
log σ'v - Cv

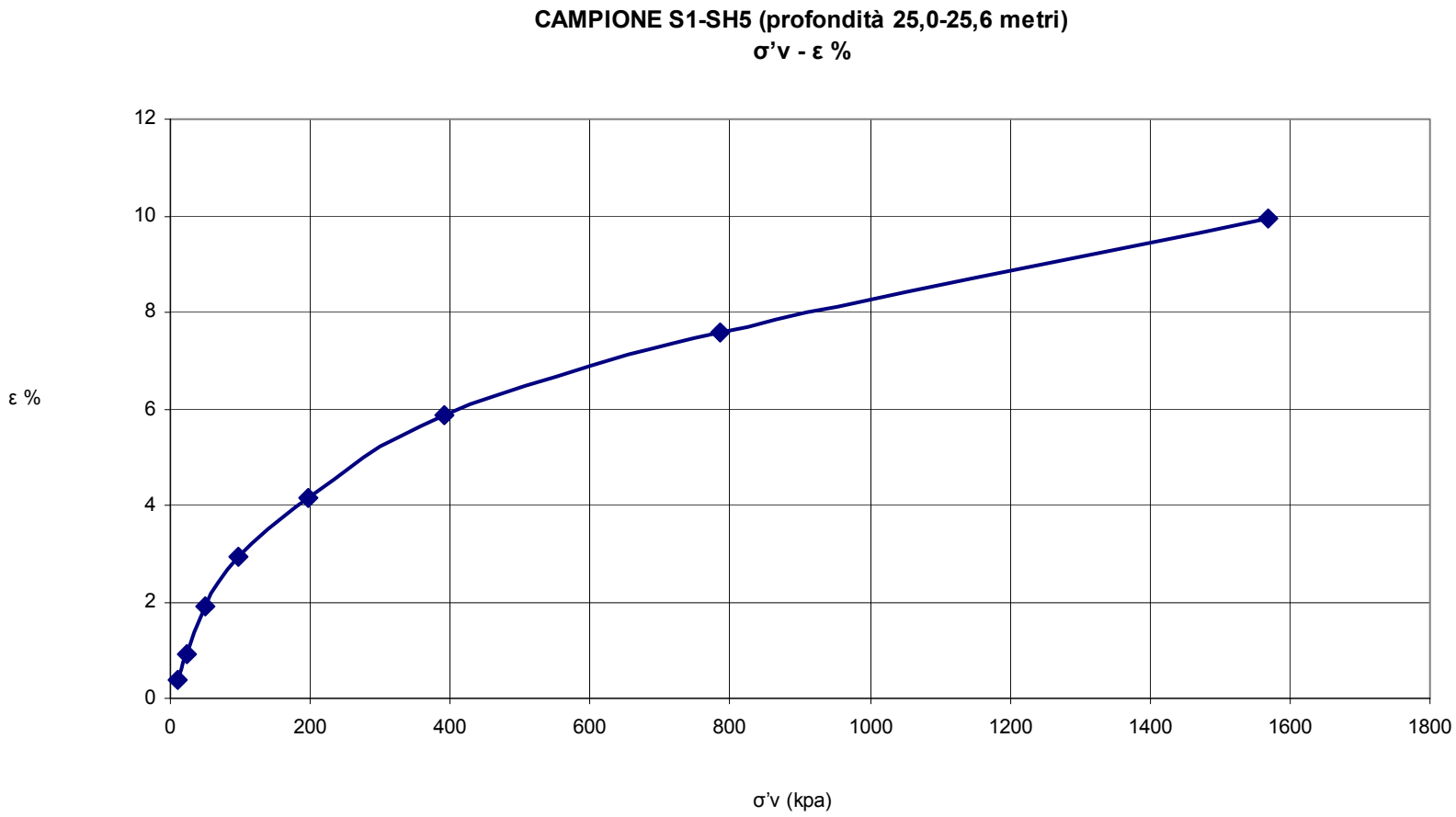


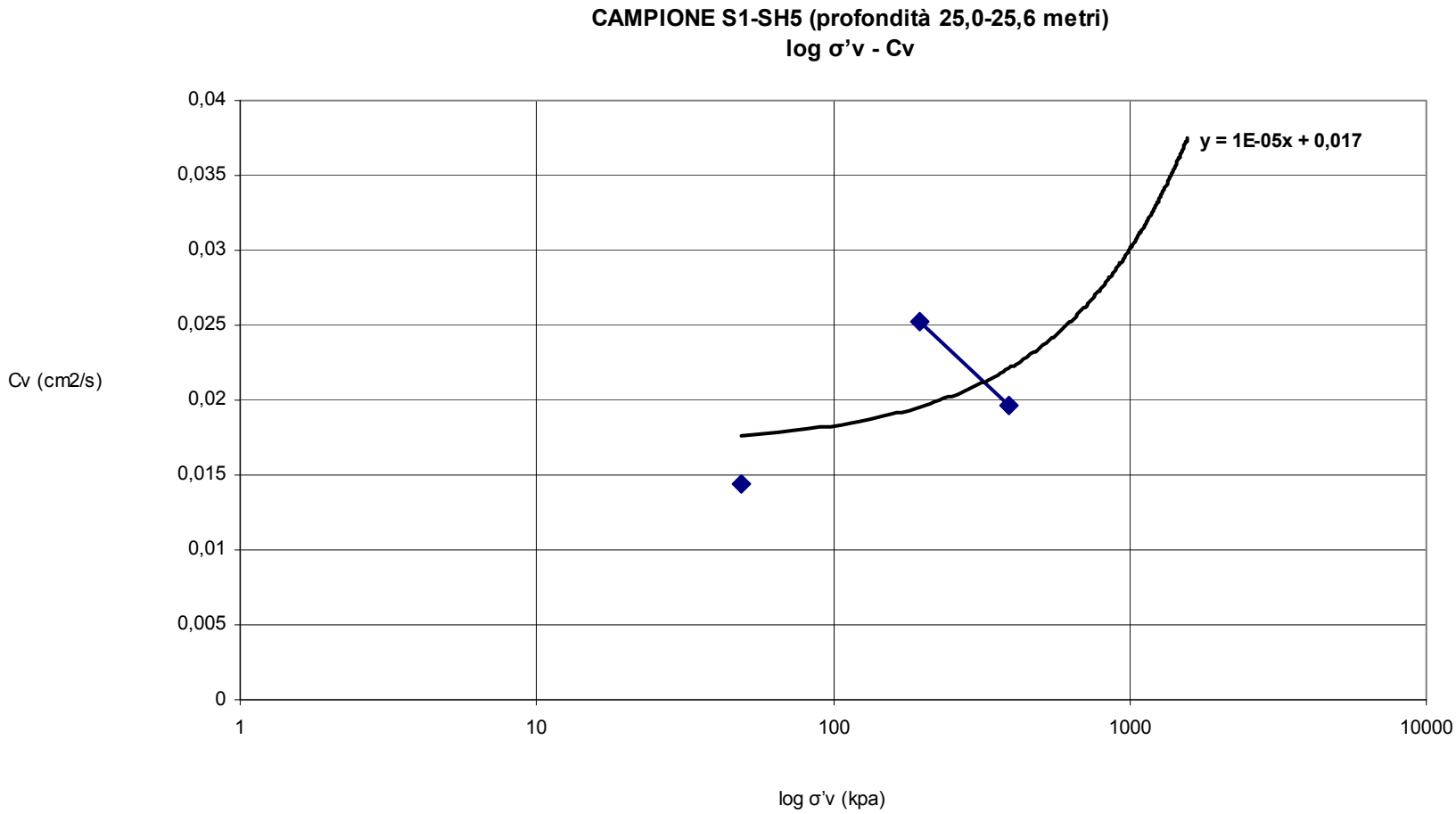

CAMPIONE S1-SH3 (profondità 21,0-21,6 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
24000
23000
22000
21000
20000
19000
18000
17000
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

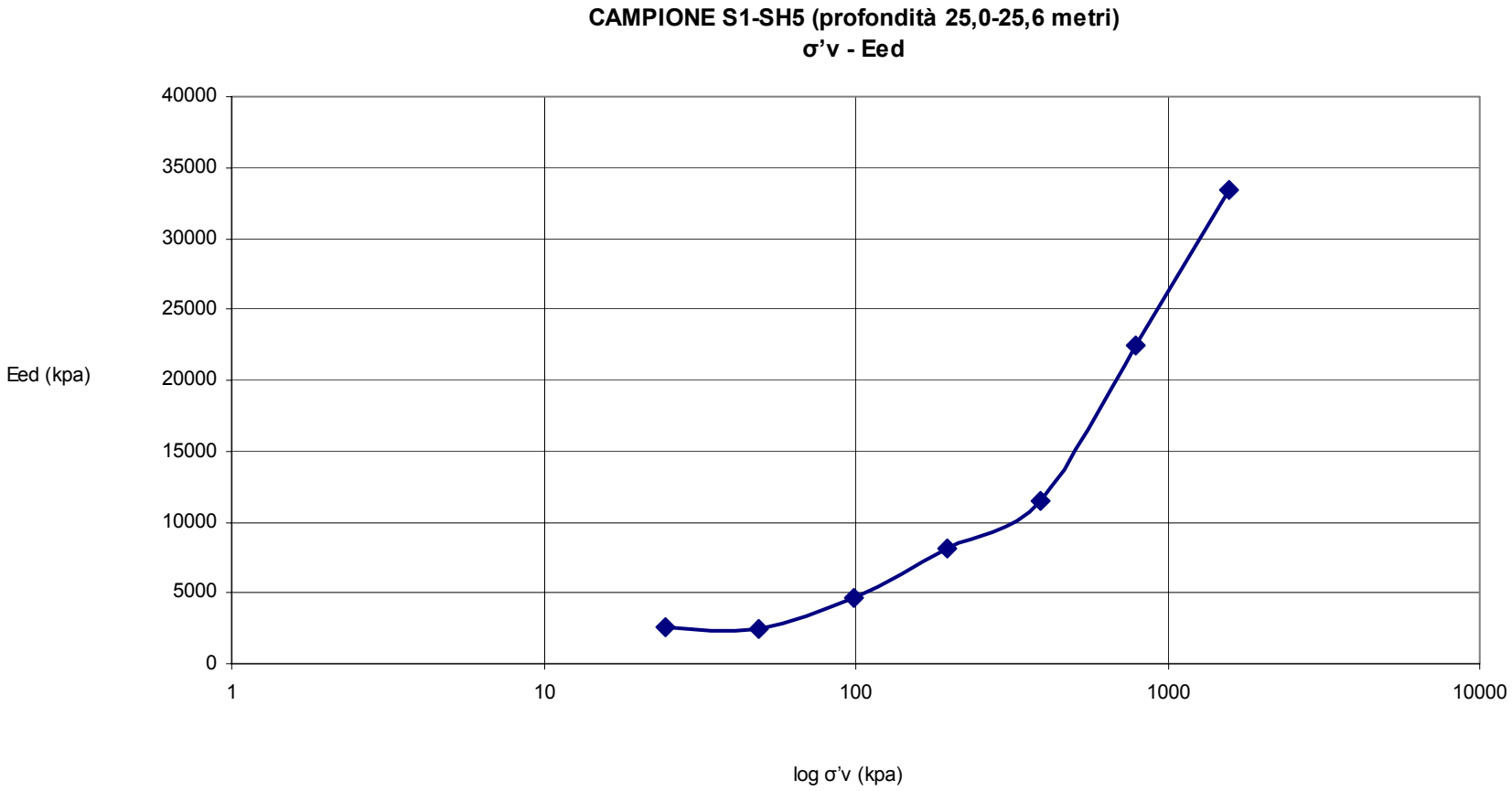

CAMPIONE S1-SH4 (profondità 22,8-23,4 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

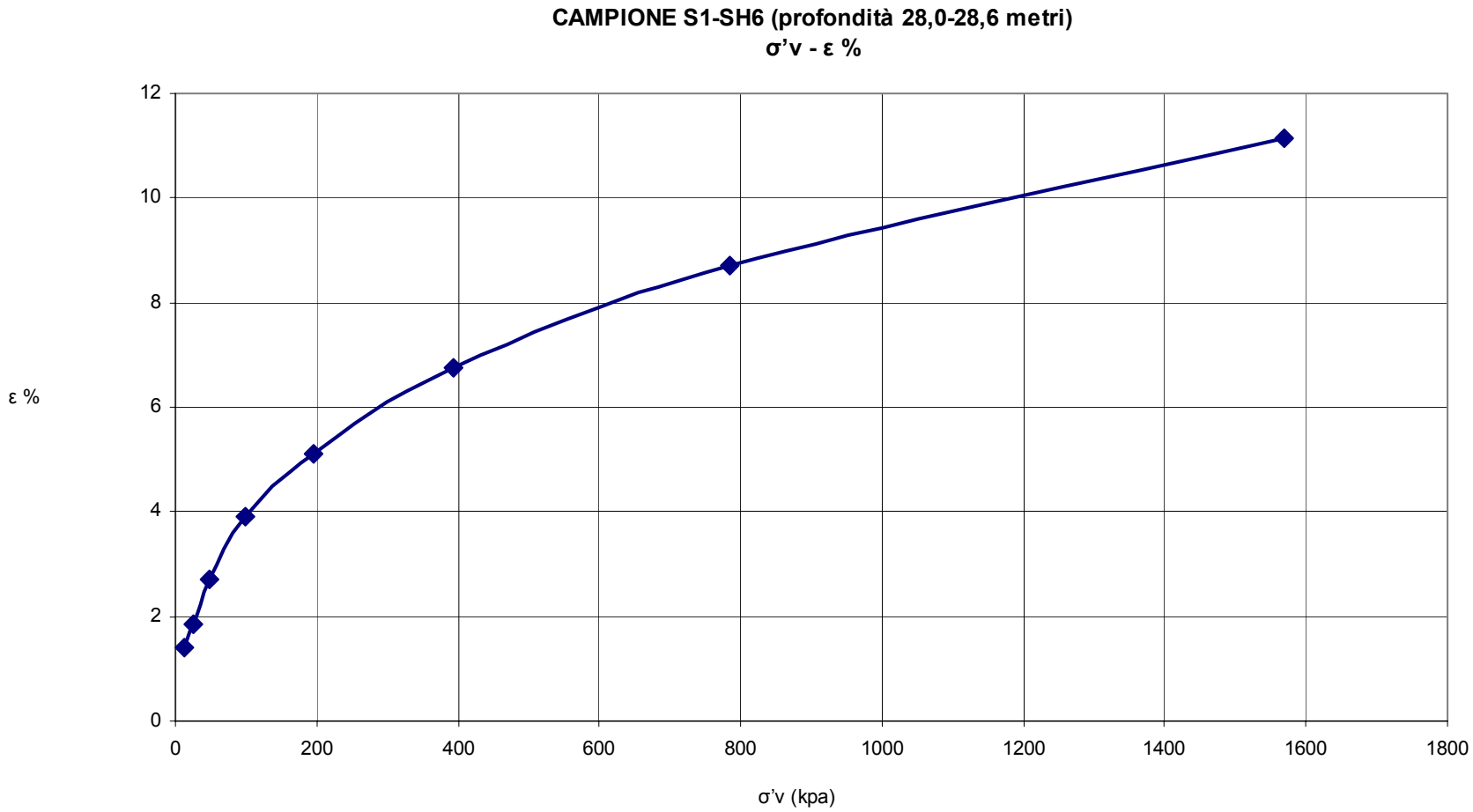

CAMPIONE S1-SH4 (profondità 22,8-23,4 metri)
log σ'v - Cv
Cv (cm2/s)
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
-0,005
-0,01
-0,015
1
10
100
1000
10000
y = -0,0086Ln(x) + 0,0511
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S1-SH4 (profondità 22,8-23,4 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

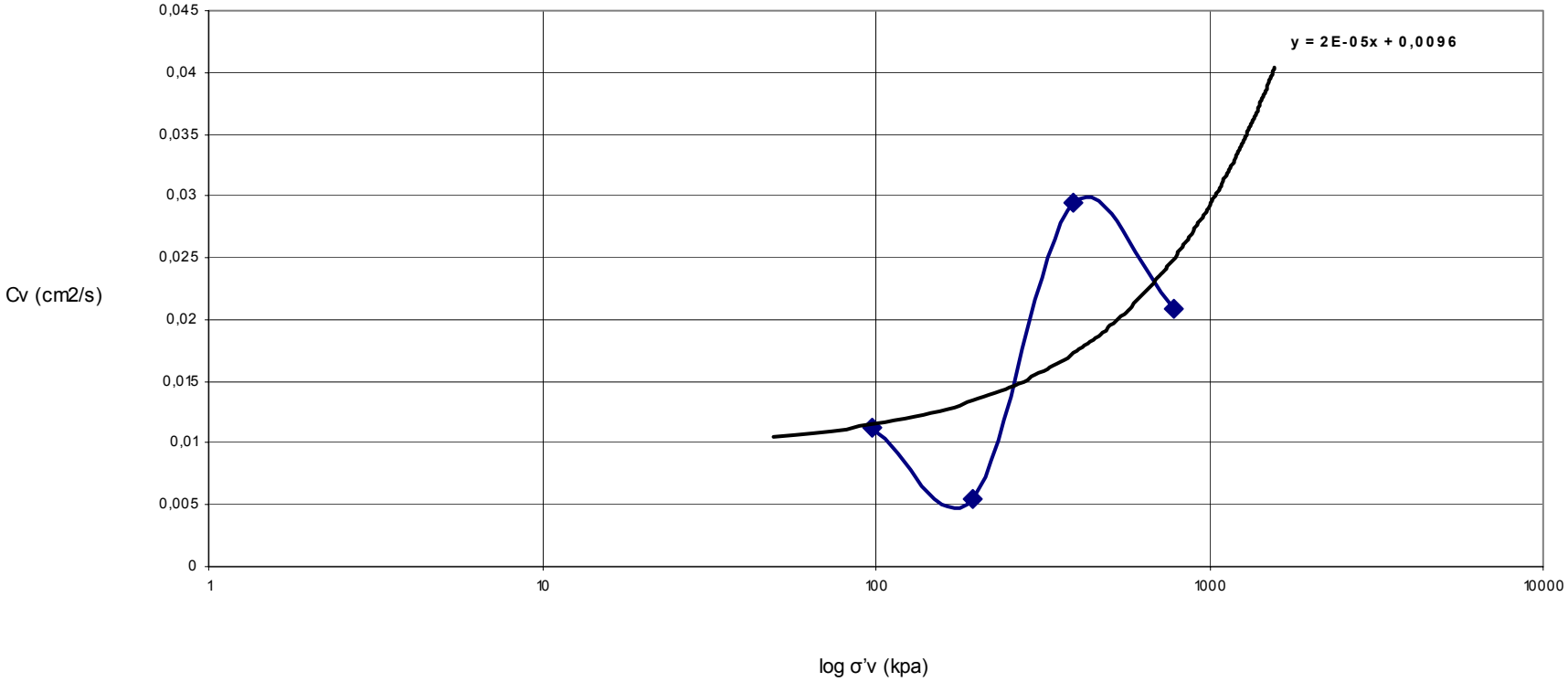

CAMPIONE S1-SH5 (profondità 25,0-25,6 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

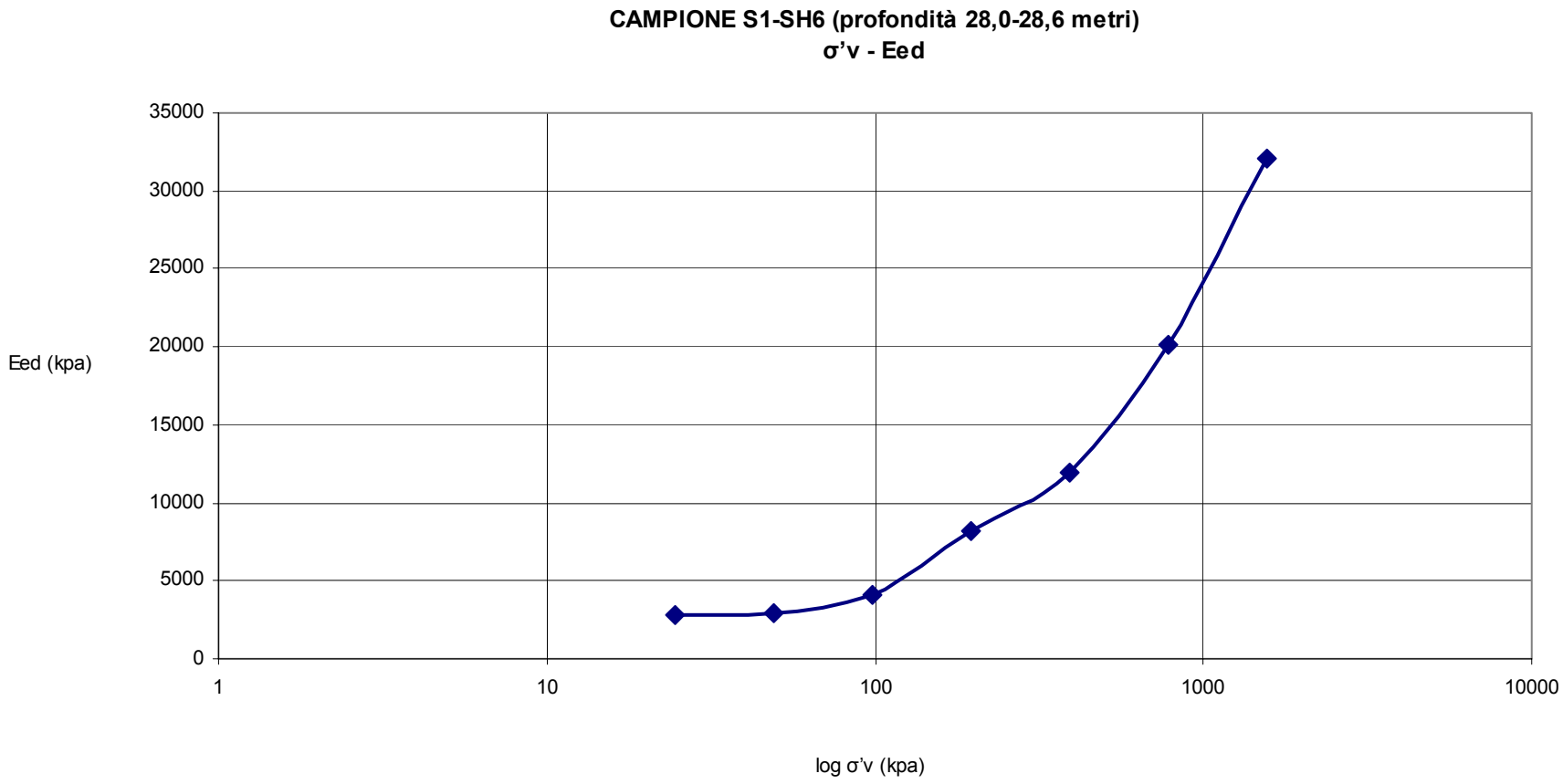

CAMPIONE S1-SH5 (profondità 25,0-25,6 metri)
log σ'v - Cv
y = 1E-05x + 0,017
Cv (cm2/s)
0,04
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S1-SH5 (profondità 25,0-25,6 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

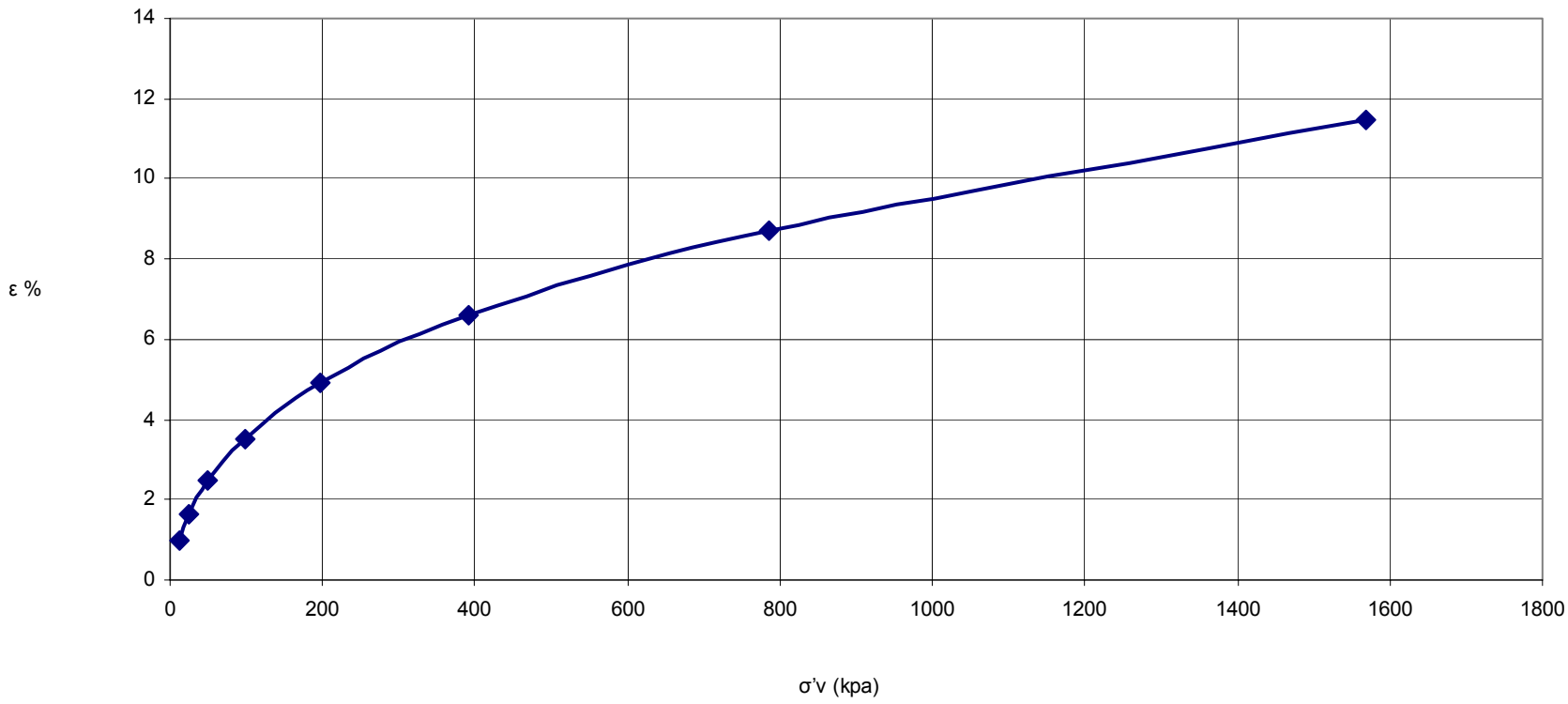

CAMPIONE S1-SH6 (profondità 28,0-28,6 metri)
σ'v - ε %
ε %
0
2
4
6
8
10
12
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
σ'v (kpa)

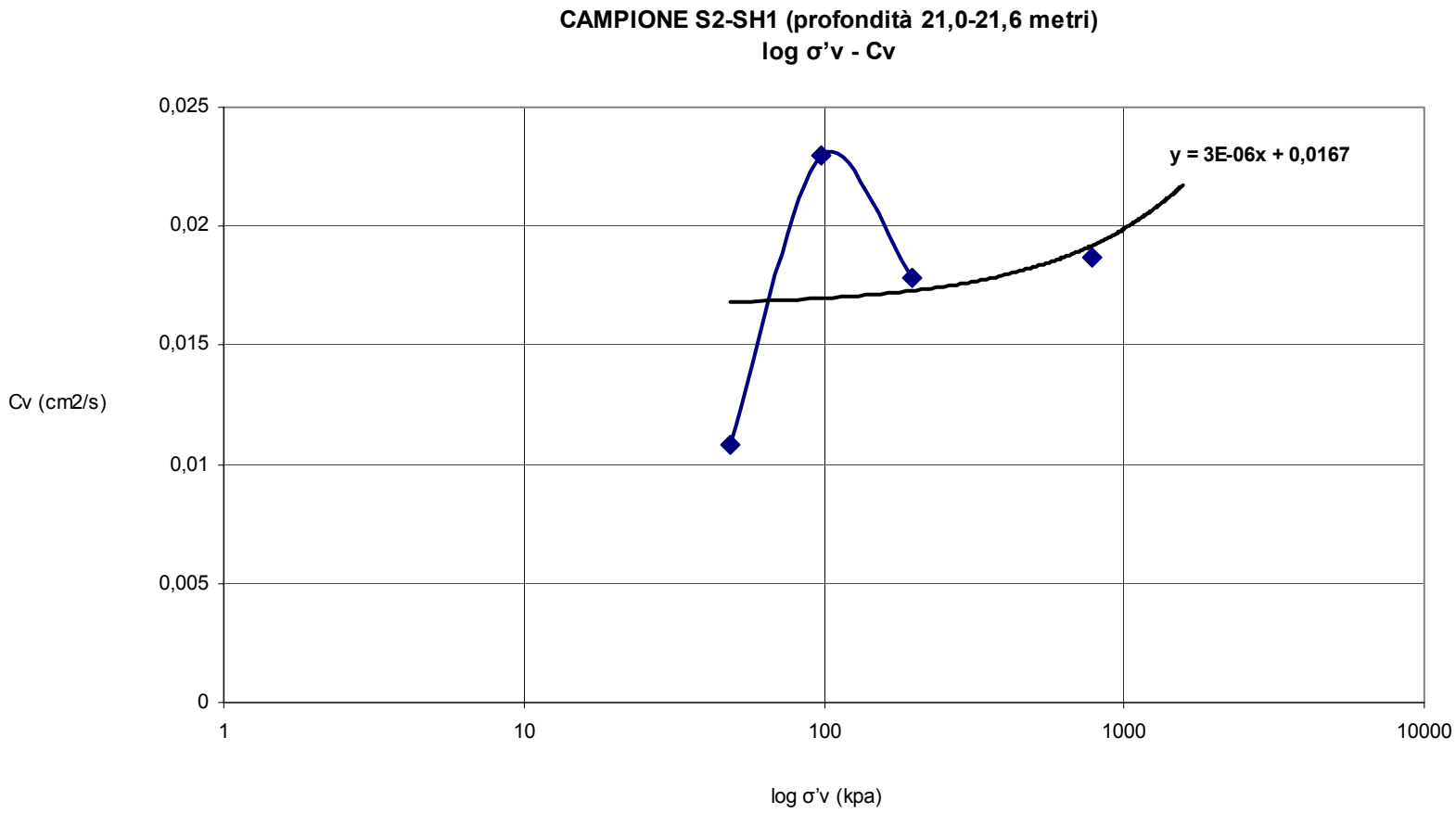
CAMPIONE S1-SH6 (profondità 28,0-28,6 metri)
log σ'v - Cv



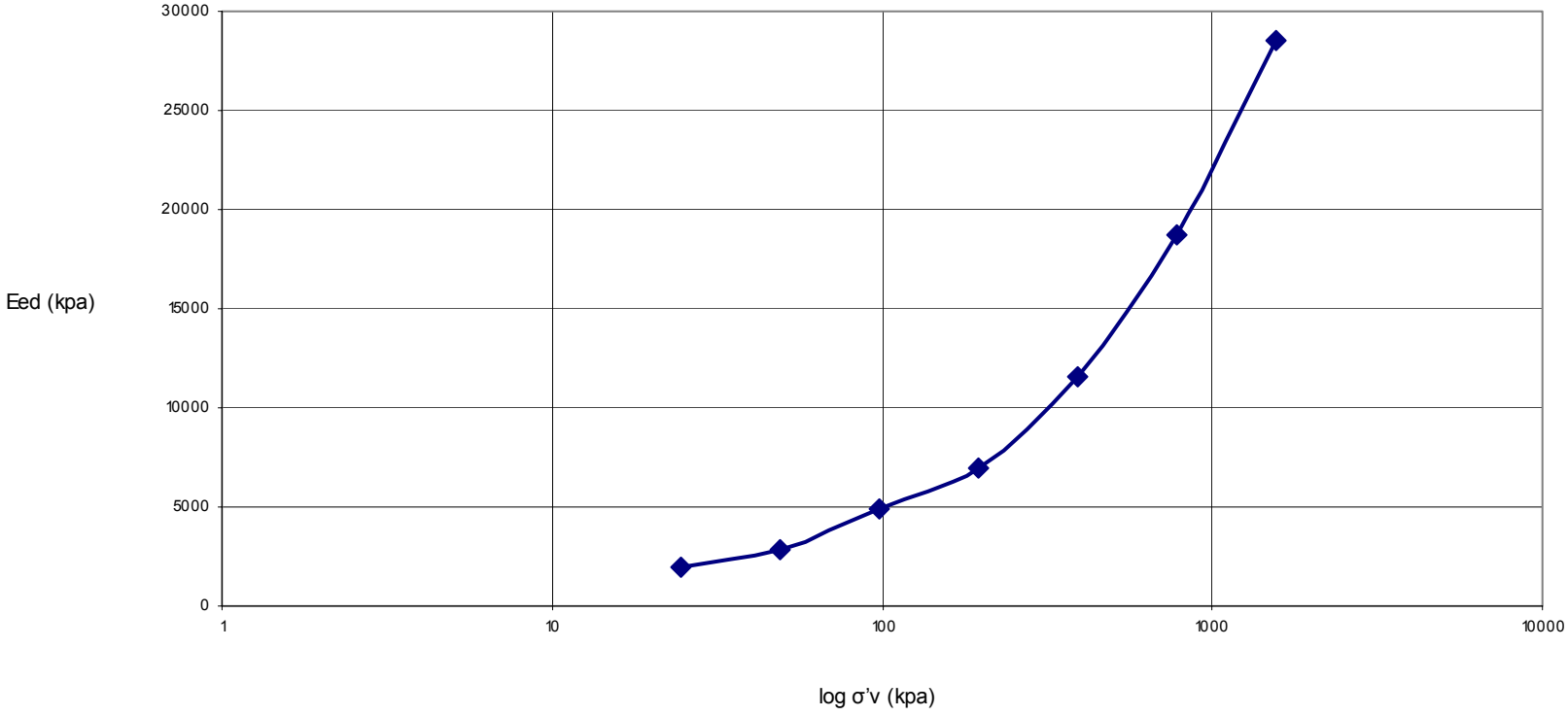

CAMPIONE S1-SH6 (profondità 28,0-28,6 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

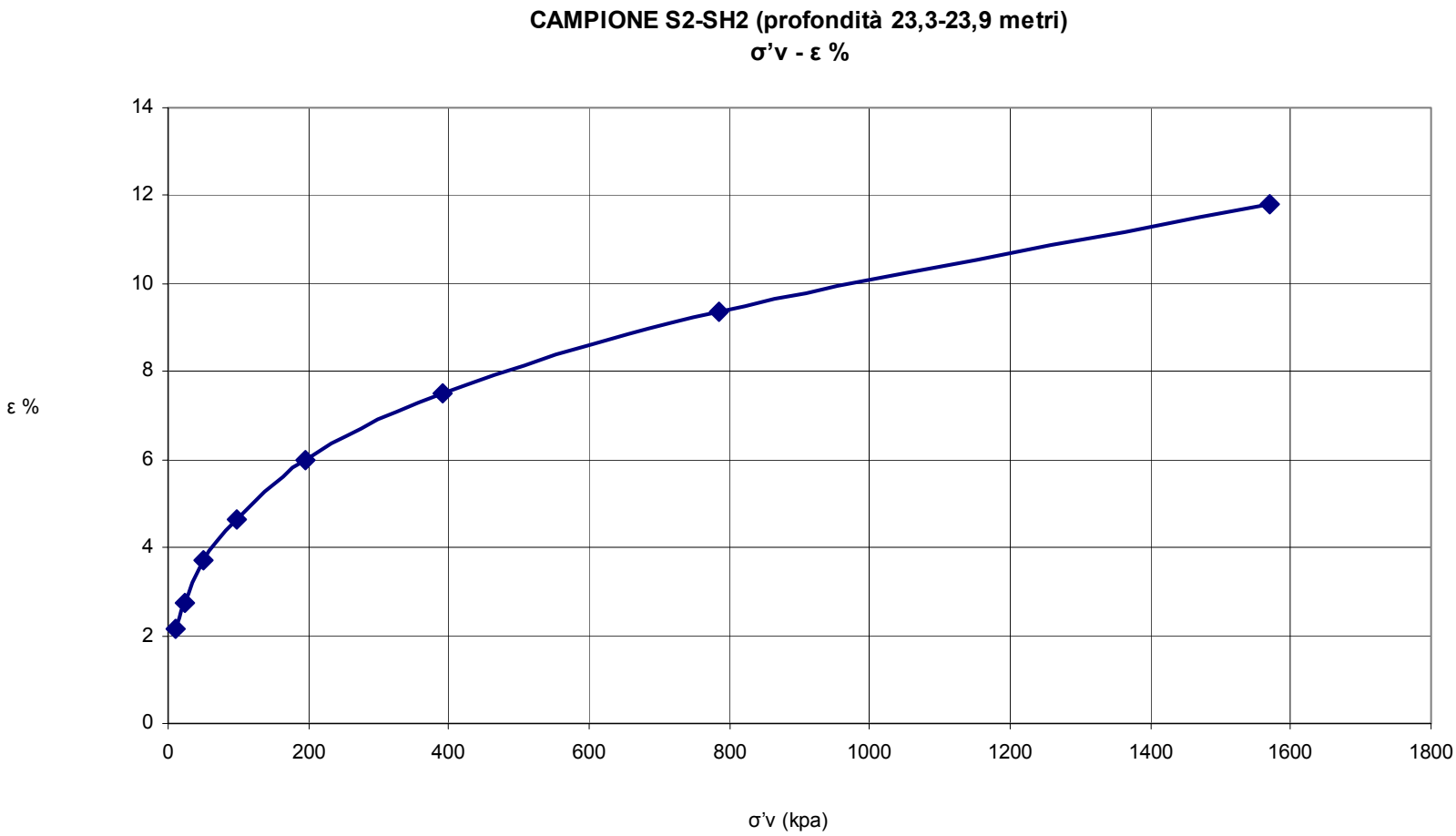
CAMPIONE S2-SH1 (profondità 21,0-21,6 metri)
σ'v - ε %



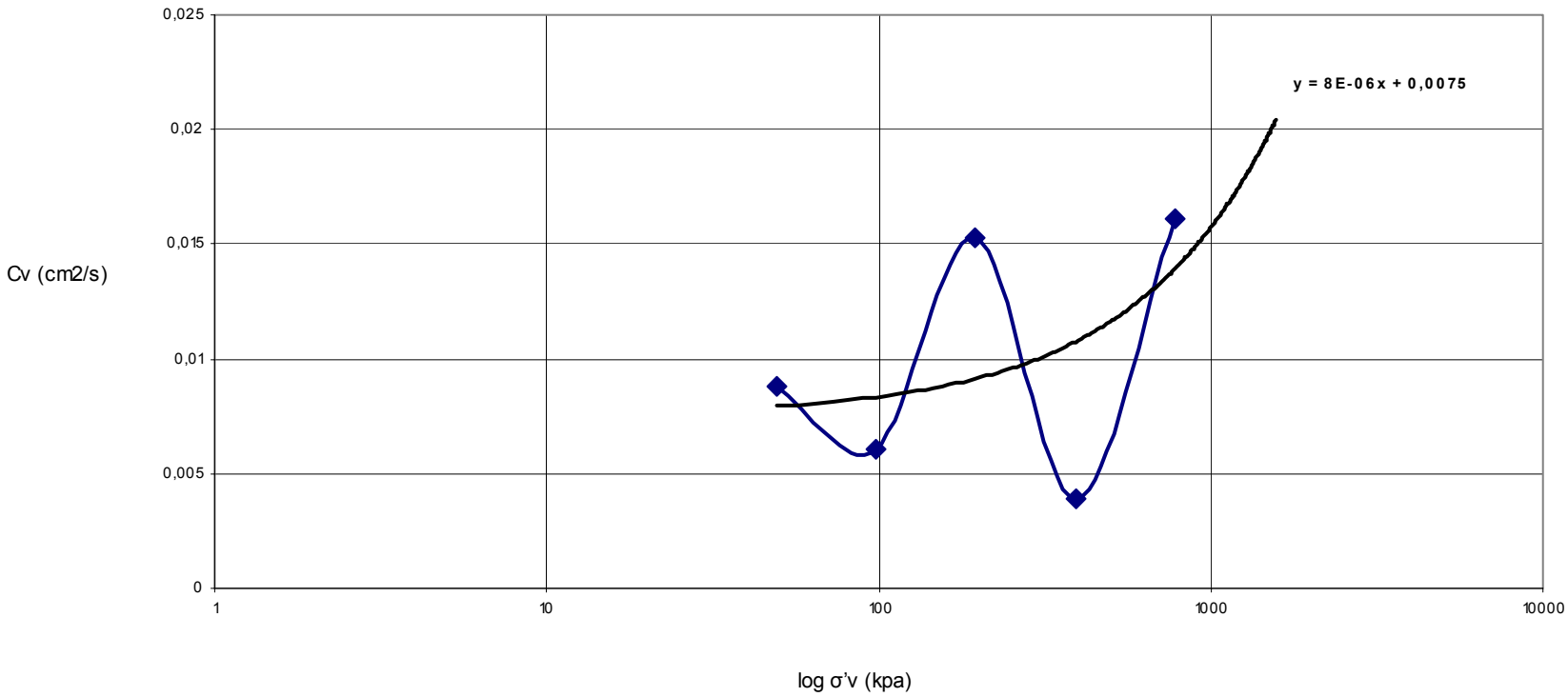

CAMPIONE S2-SH1 (profondità 21,0-21,6 metri)
log σ'v - Cv
y = 3E-06x + 0,0167
Cv (cm2/s)
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

CAMPIONE S2-SH1 (profondità 21,0-21,6 metri)
σ'v - Eed

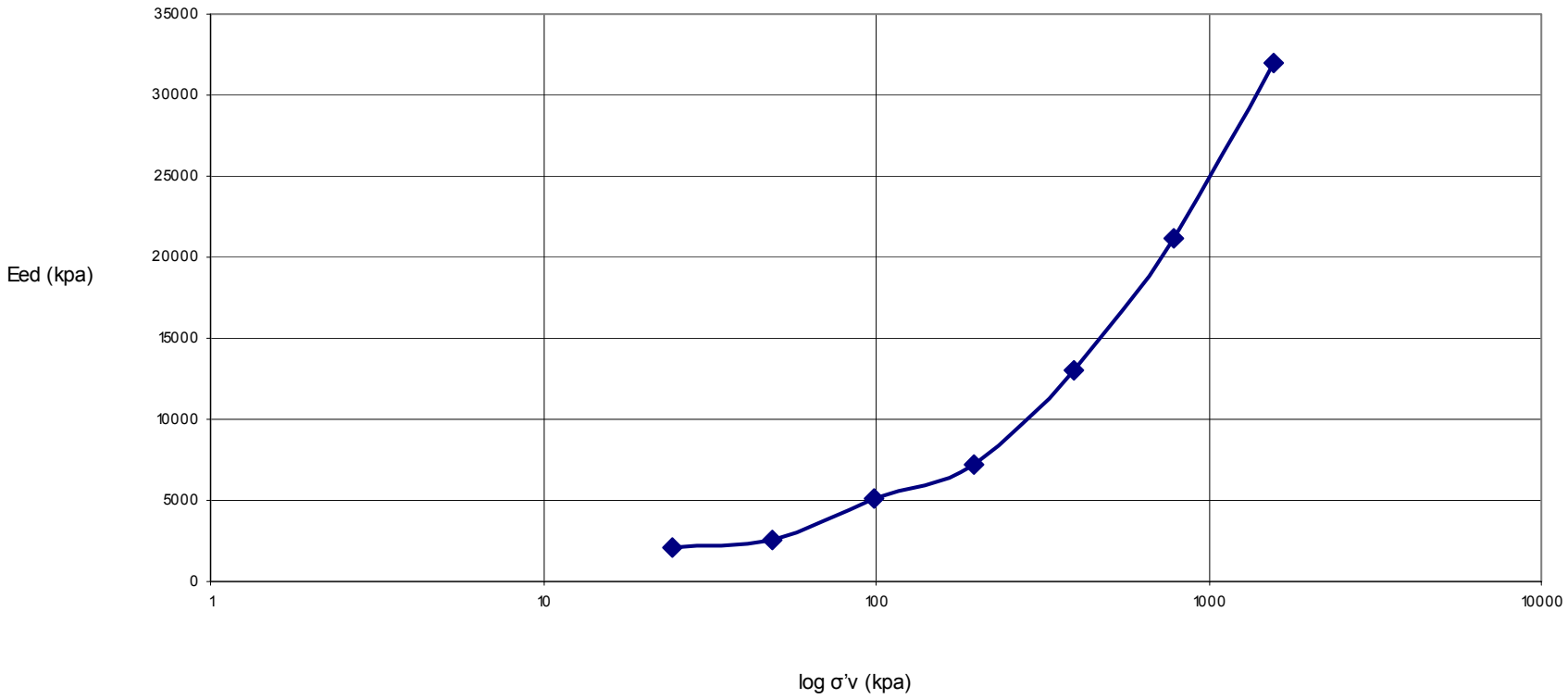


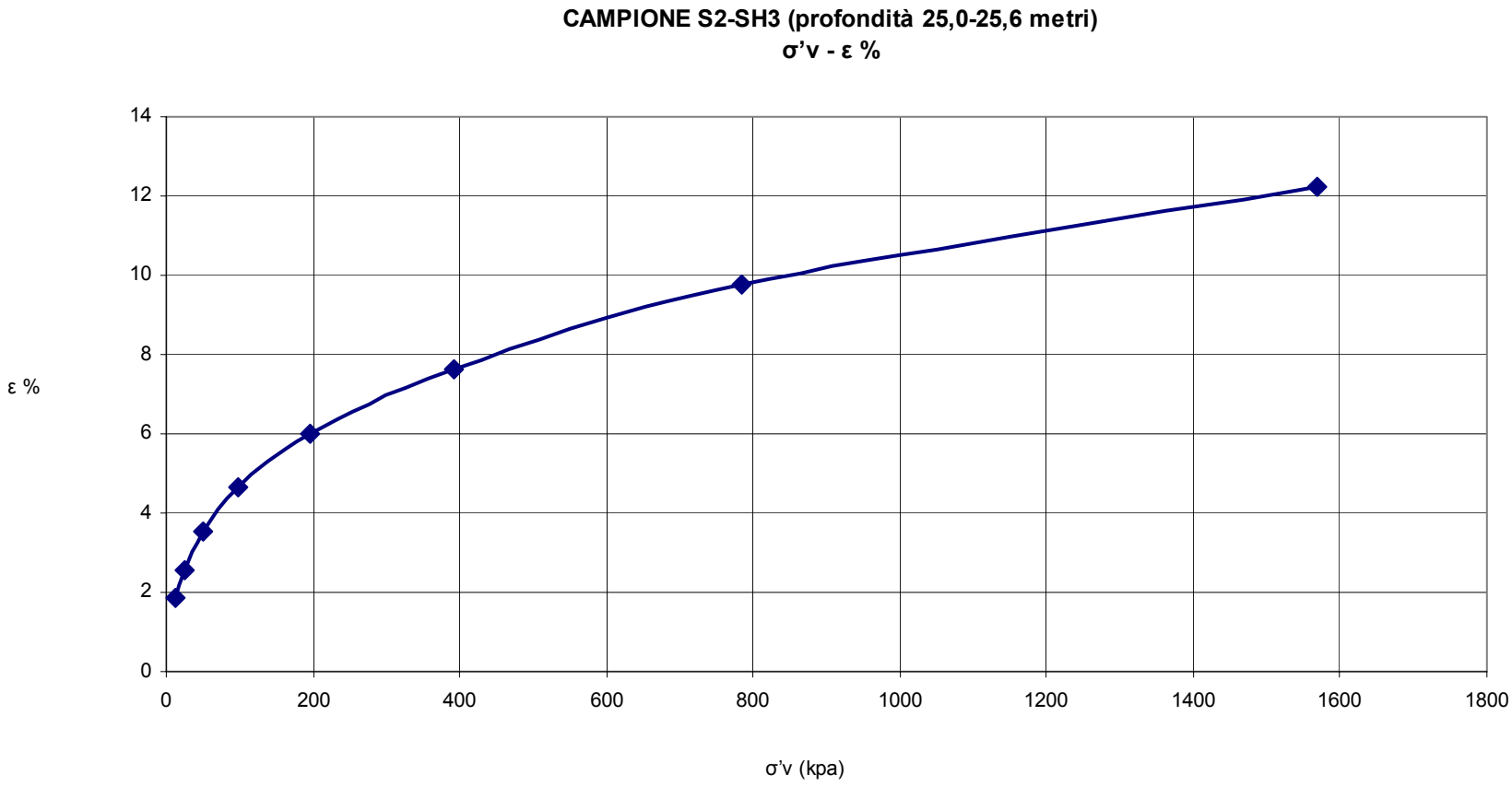

CAMPIONE S2-SH2 (profondità 23,3-23,9 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

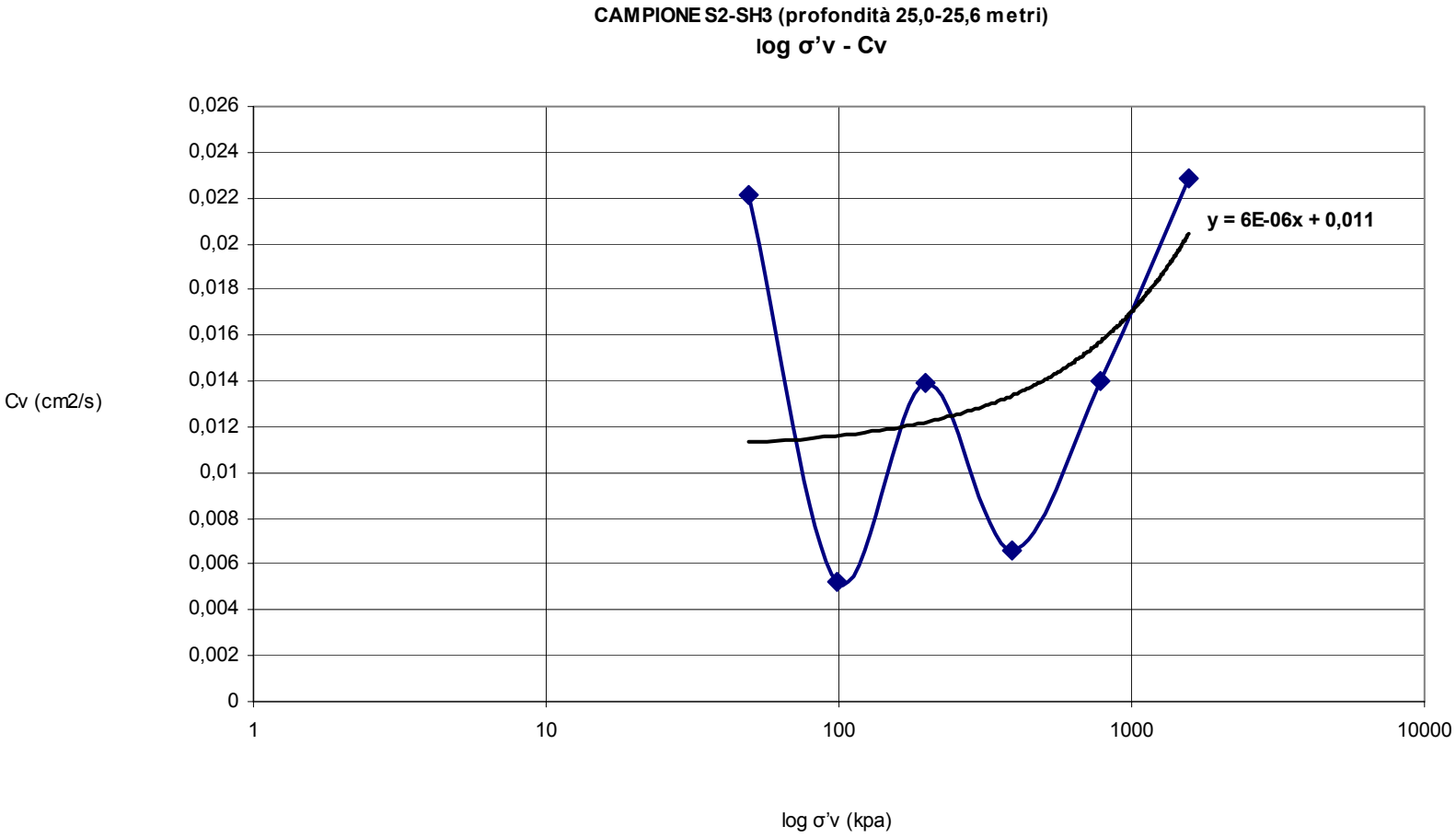
CAMPIONE S2-SH2 (profondità 23,3-23,9 metri)
log σ'v - Cv

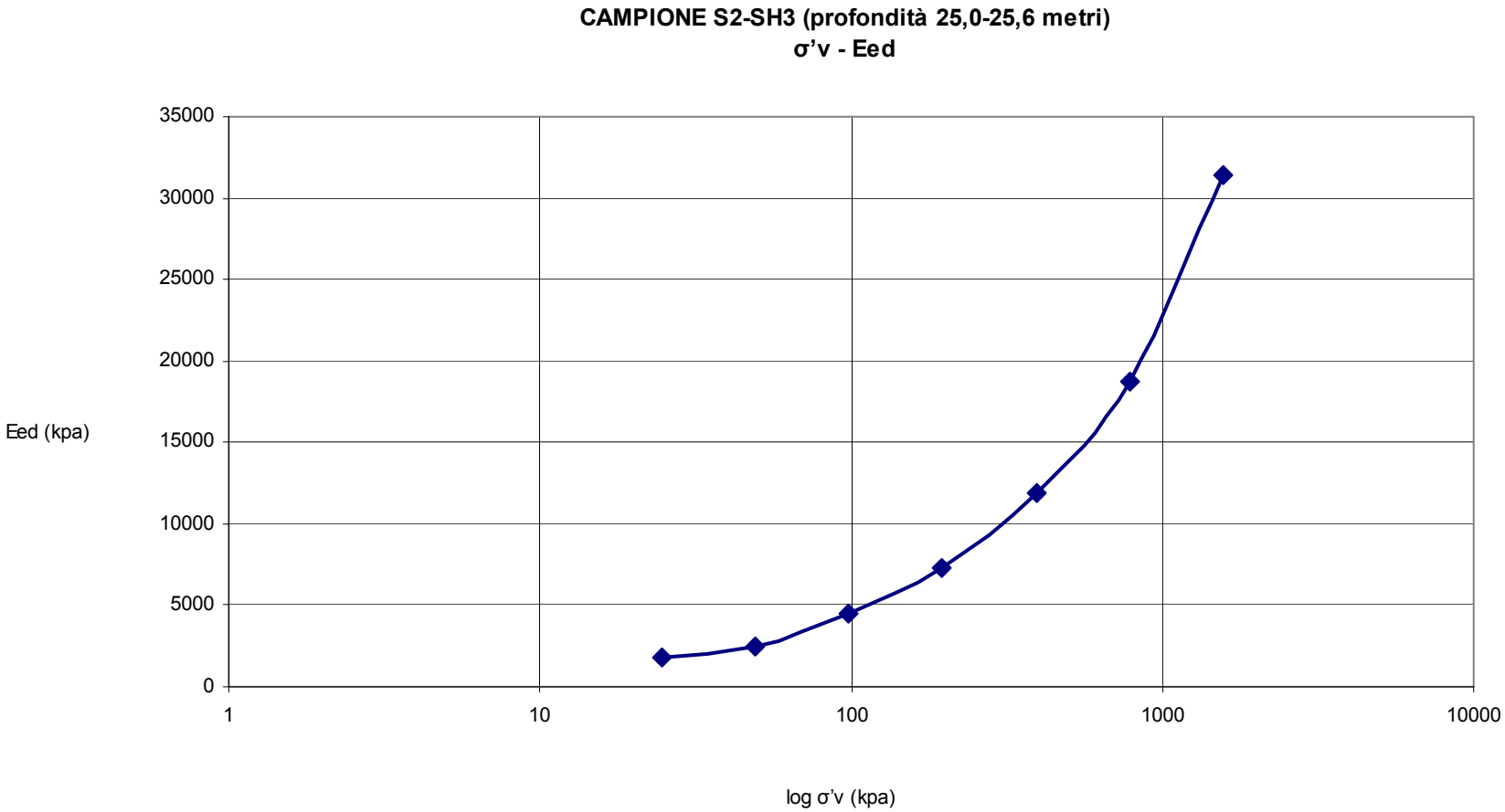


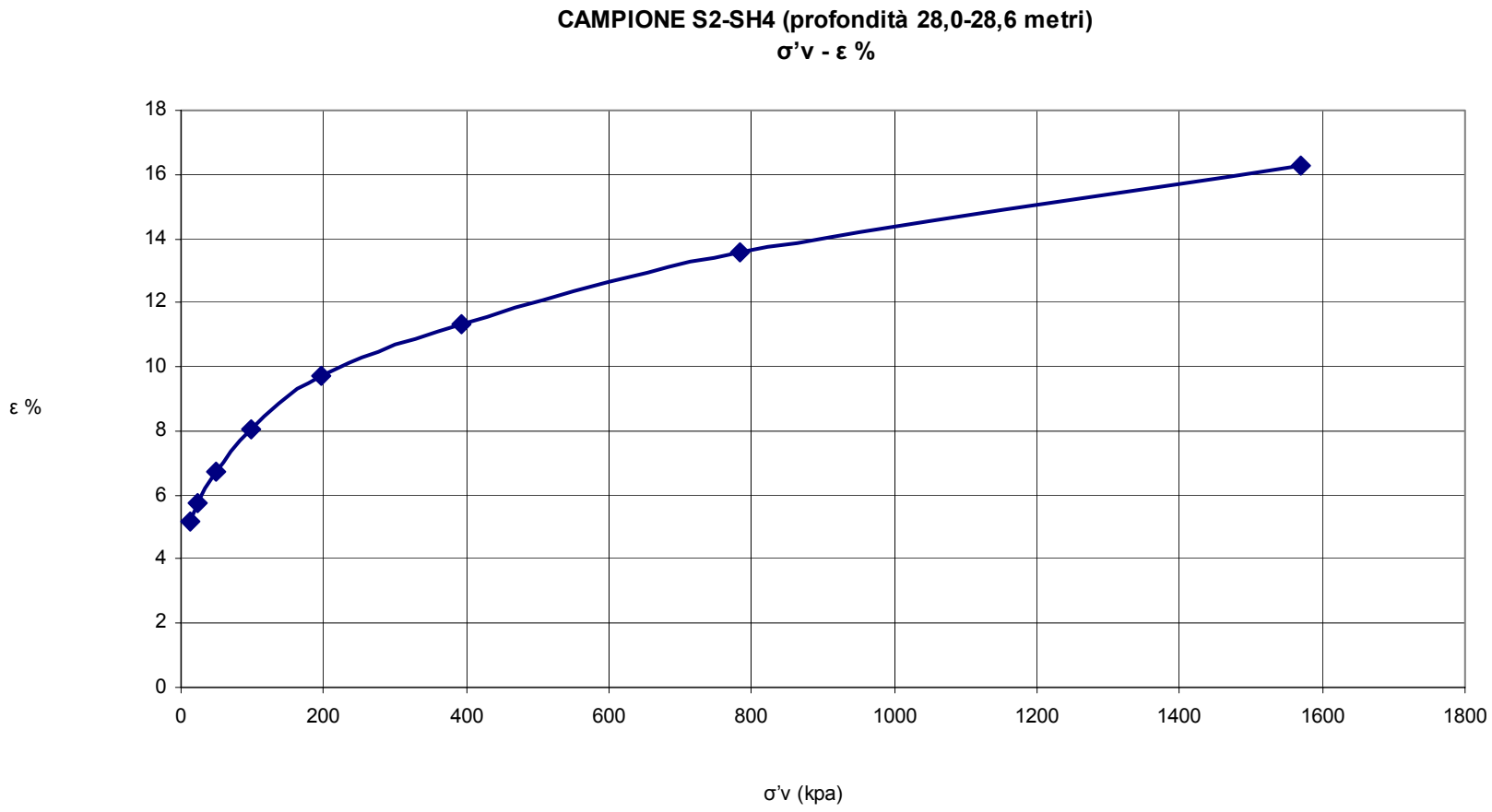
CAMPIONE S2-SH2 (profondità 23,3-23,9 metri)
σ'v - Eed



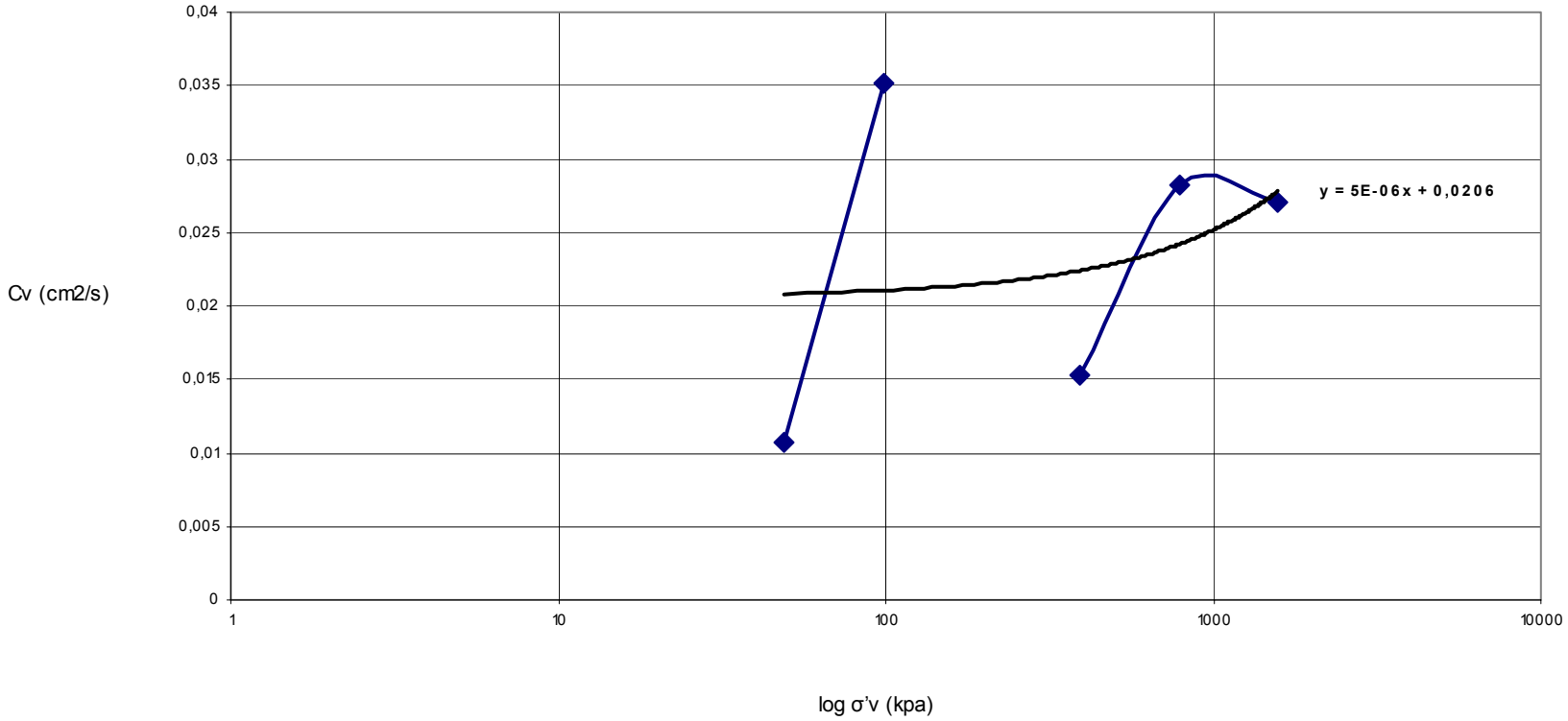

CAMPIONE S2-SH3 (profondità 25,0-25,6 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

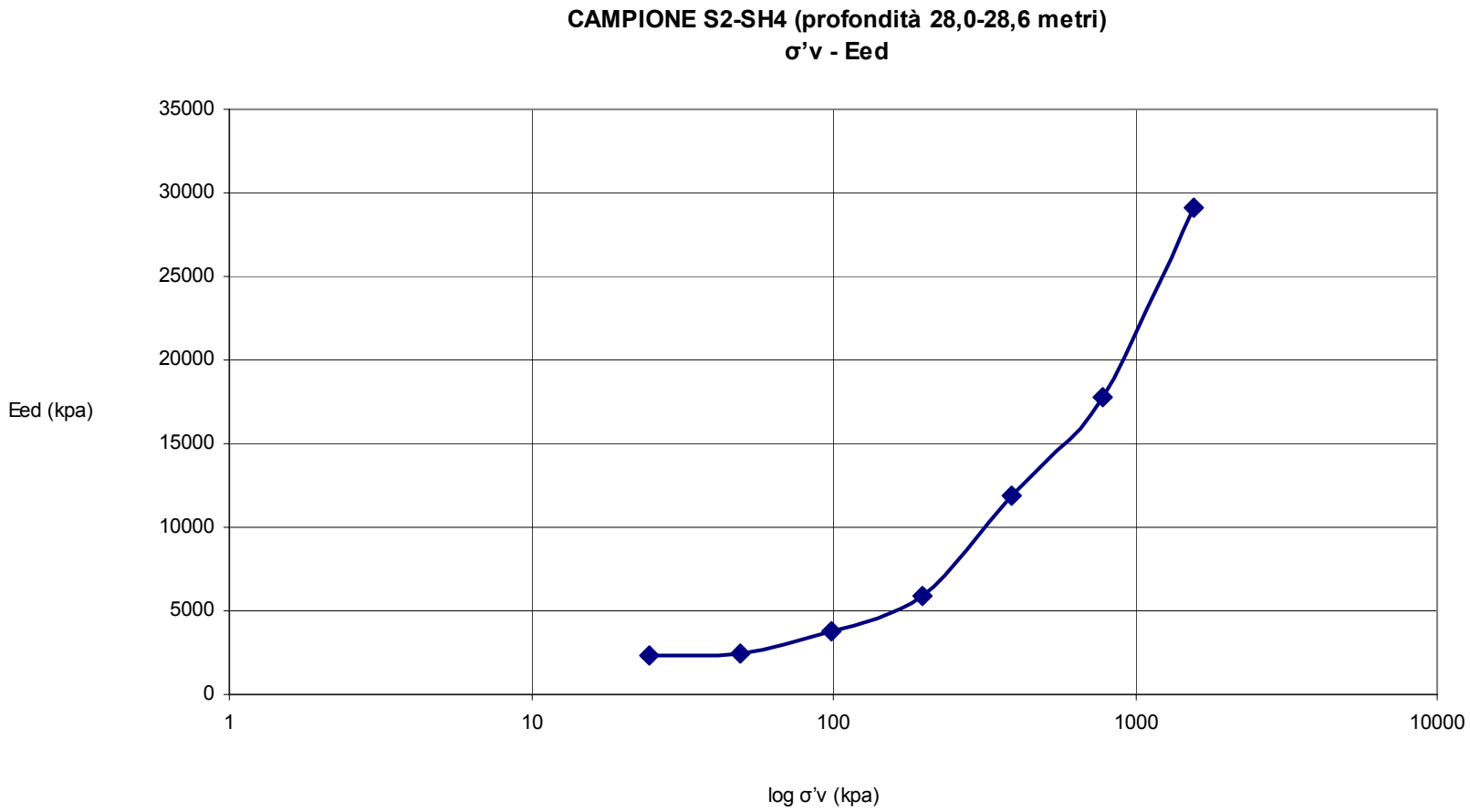

CAMPIONE S2-SH3 (profondità 25,0-25,6 metri)
log σ'v - Cv
Cv (cm2/s)
0,026
0,024
0,022
0,02
0,018
0,016
0,014
0,012
0,01
0,008
0,006
0,004
0,002
0
1
10
100
1000
10000
y = 6E-06x + 0,011
log σ'v (kpa)

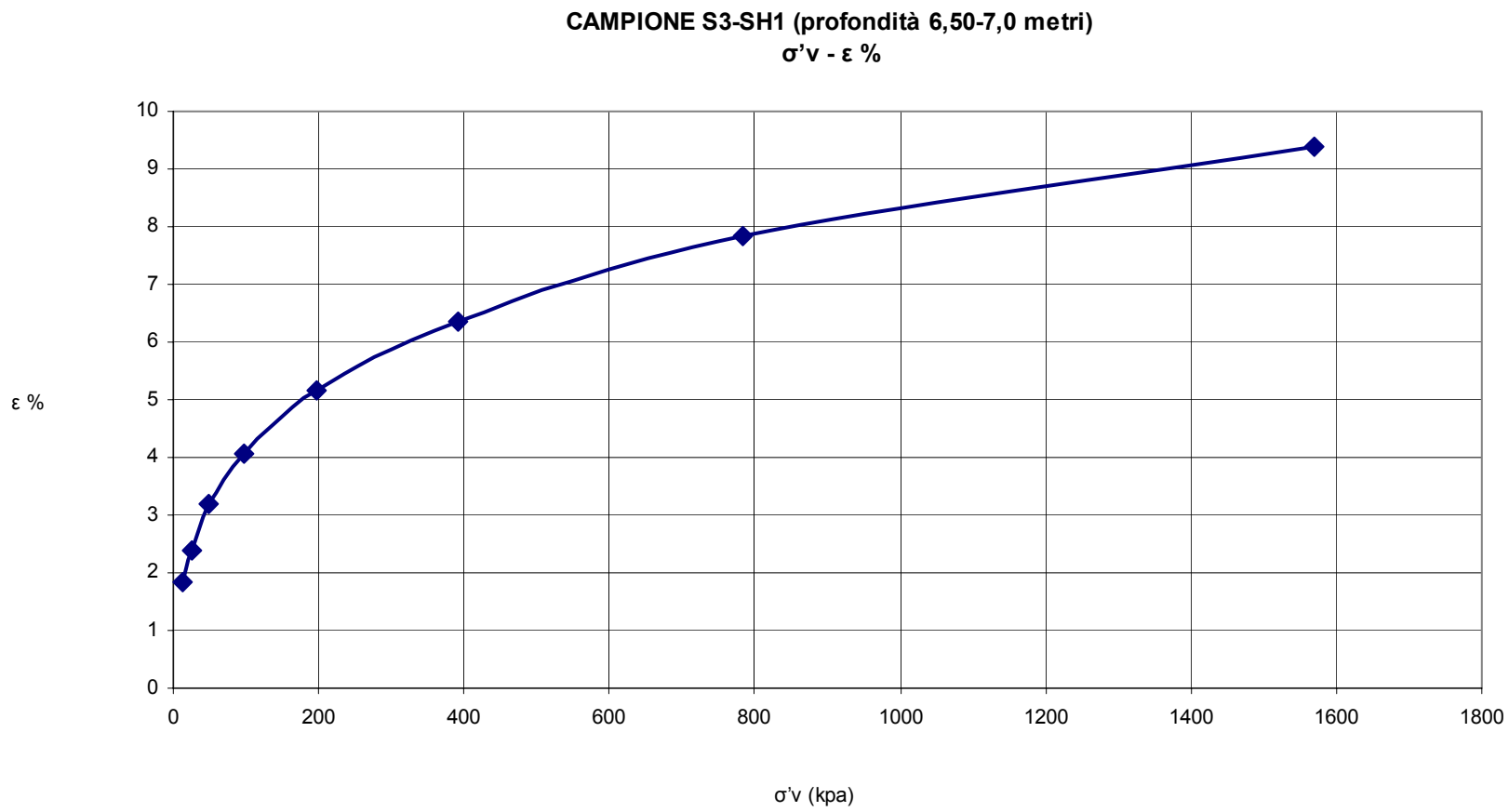

CAMPIONE S2-SH3 (profondità 25,0-25,6 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

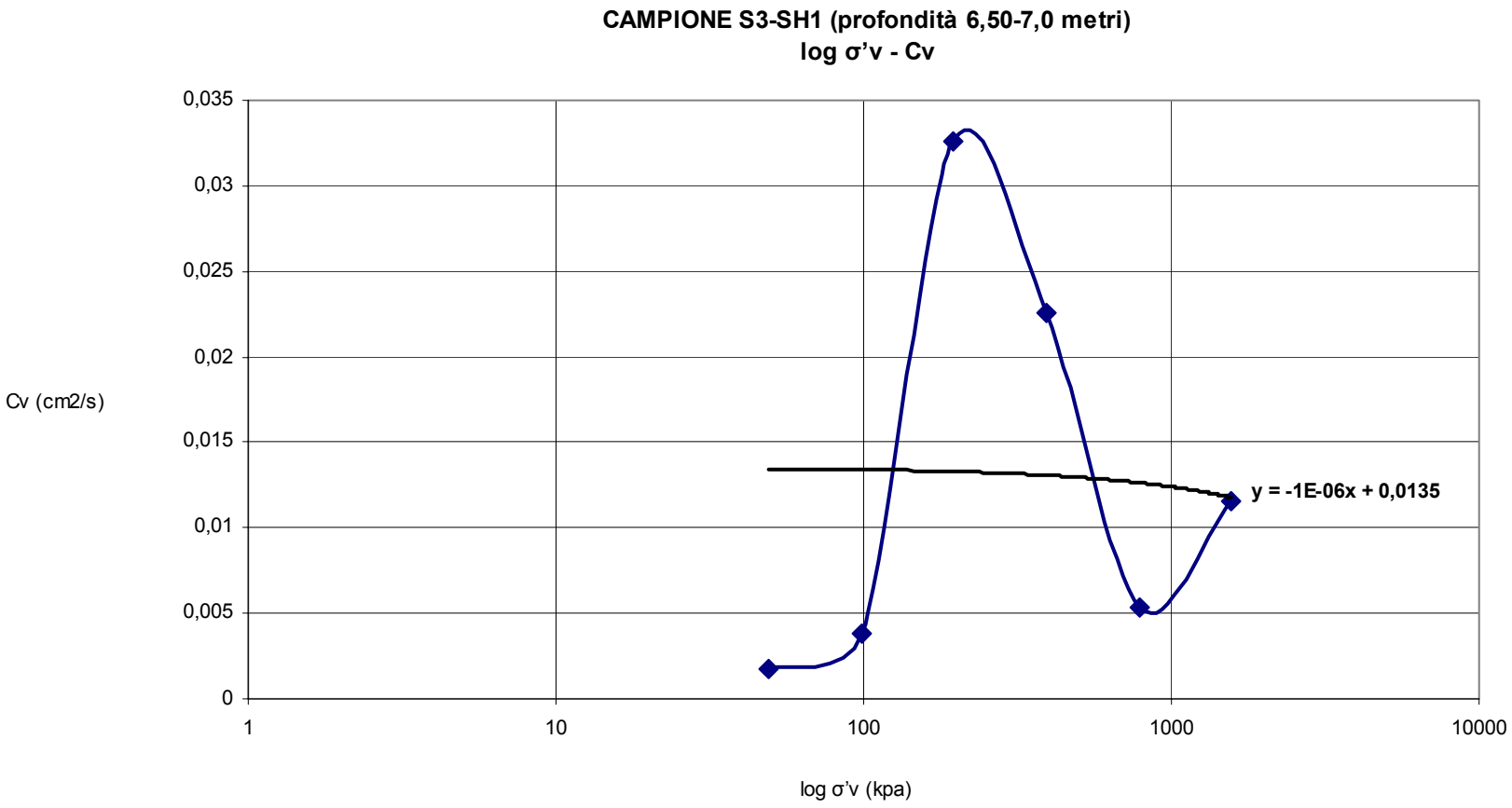

CAMPIONE S2-SH4 (profondità 28,0-28,6 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

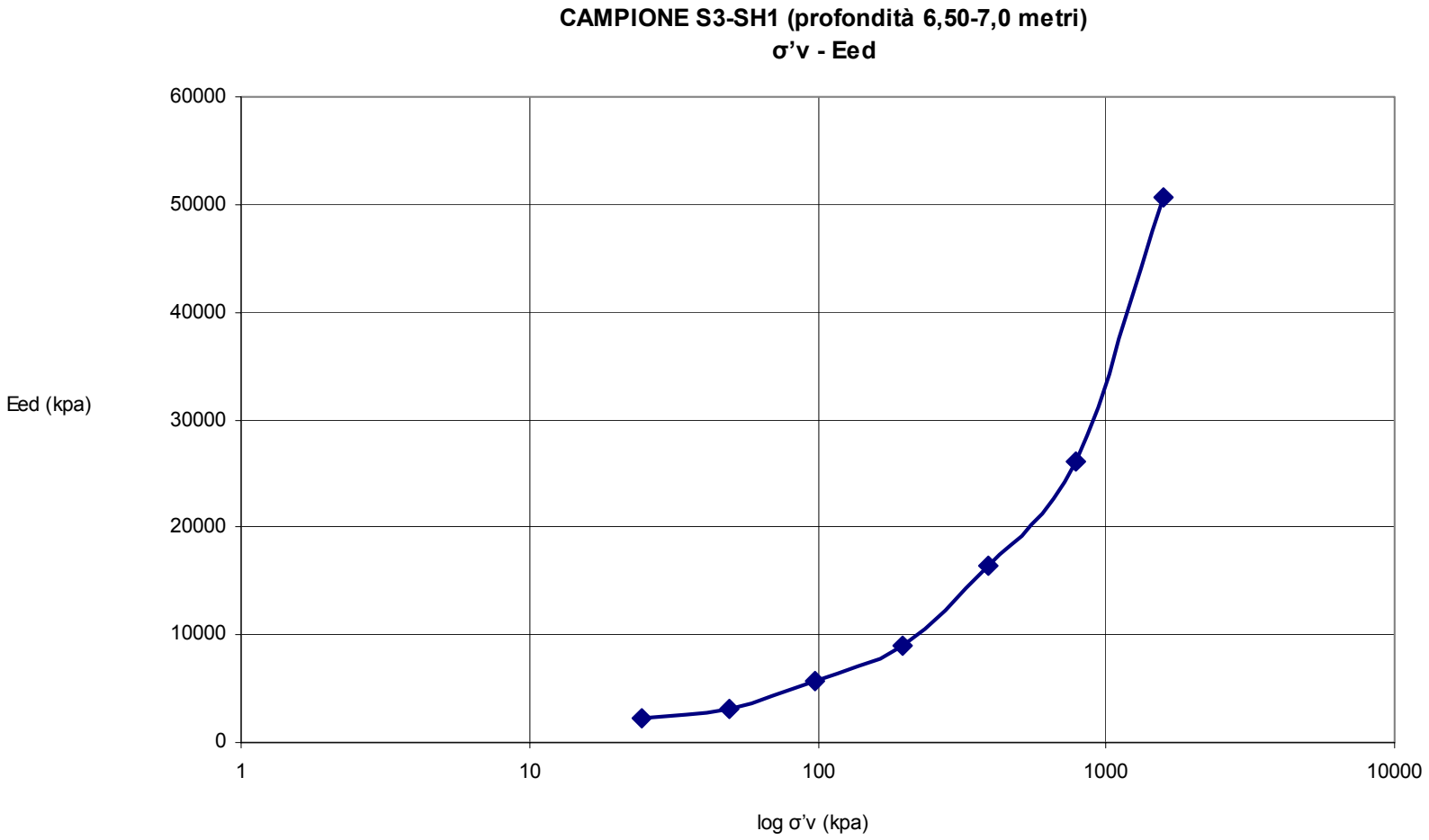
CAMPIONE S2-SH4 (profondità 28,0-28,6 metri)
log σ'v - Cv

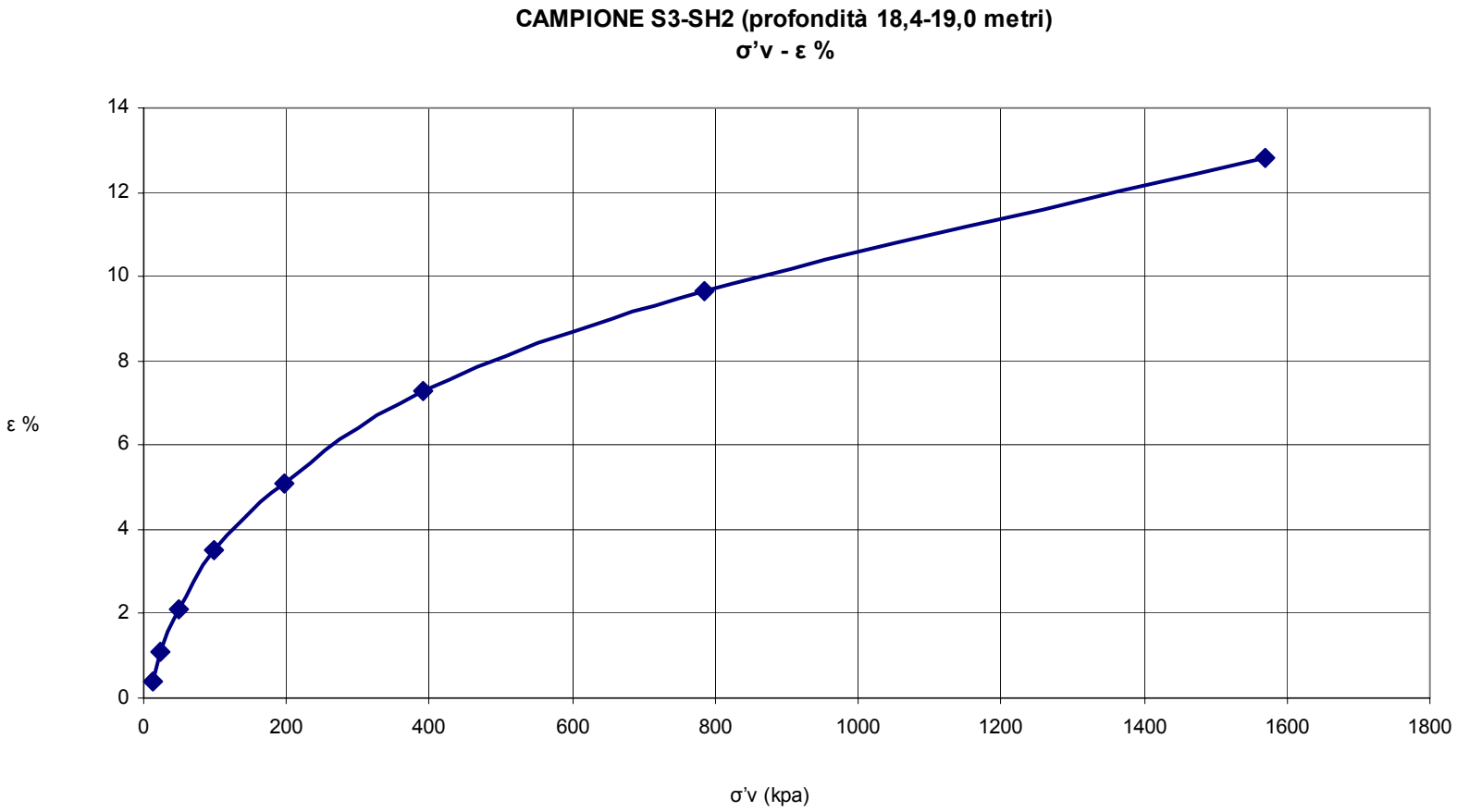


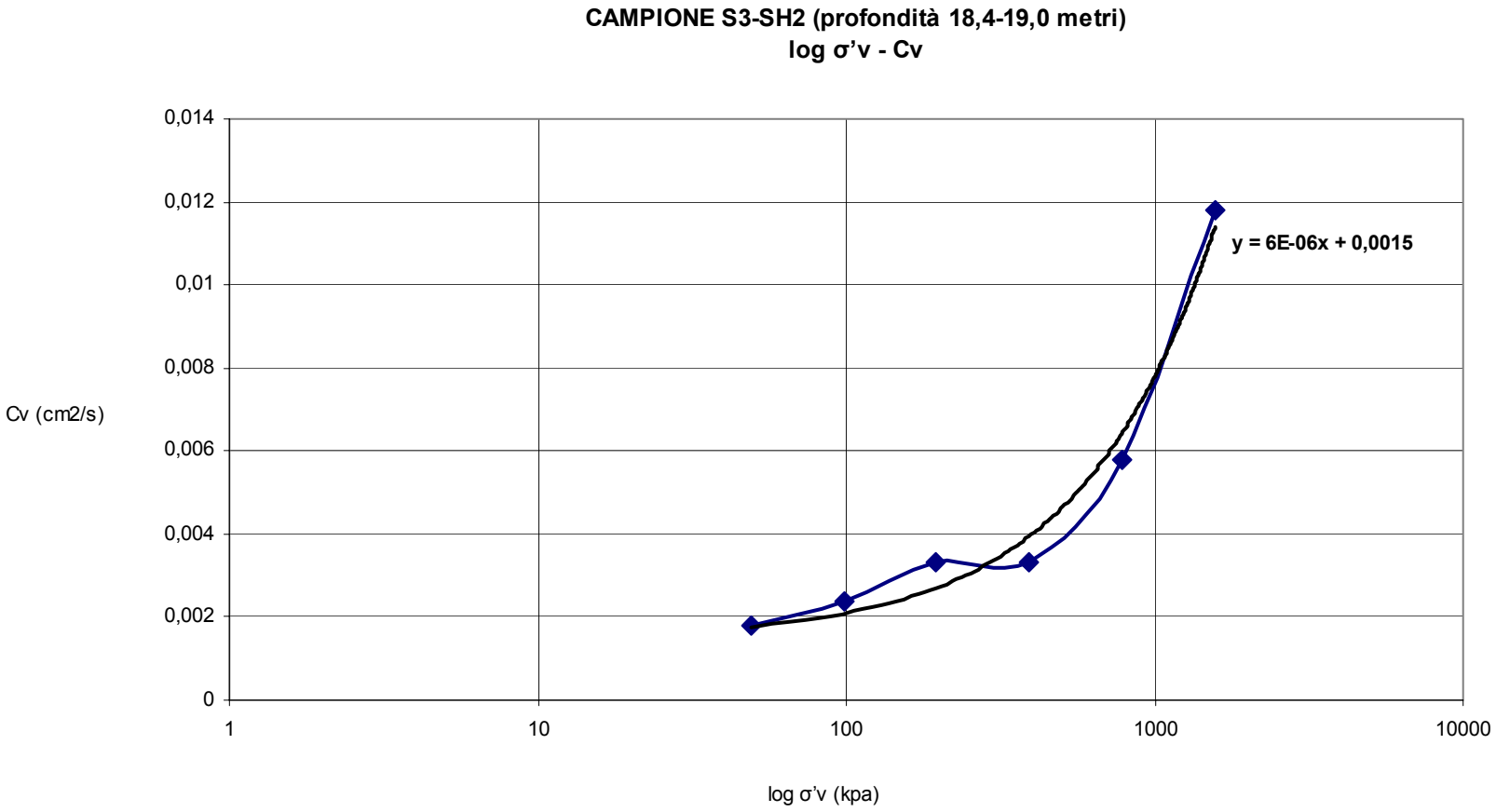

CAMPIONE S2-SH4 (profondità 28,0-28,6 metri)
σ'v - Eed
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
Eed (kpa)
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

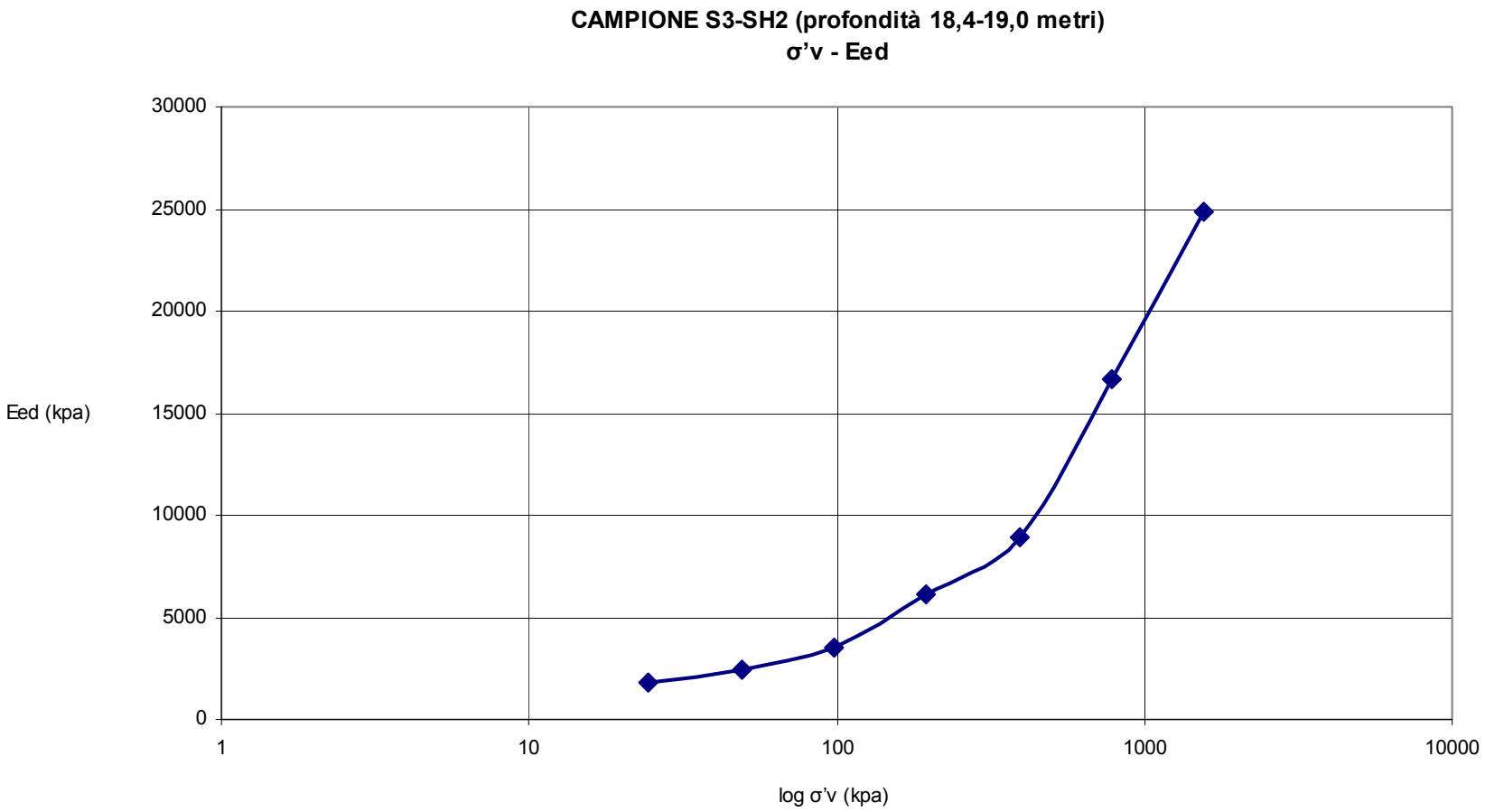

CAMPIONE S3-SH1 (profondità 6,50-7,0 metri)
σ'v - ε %
ε %
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
σ'v (kpa)

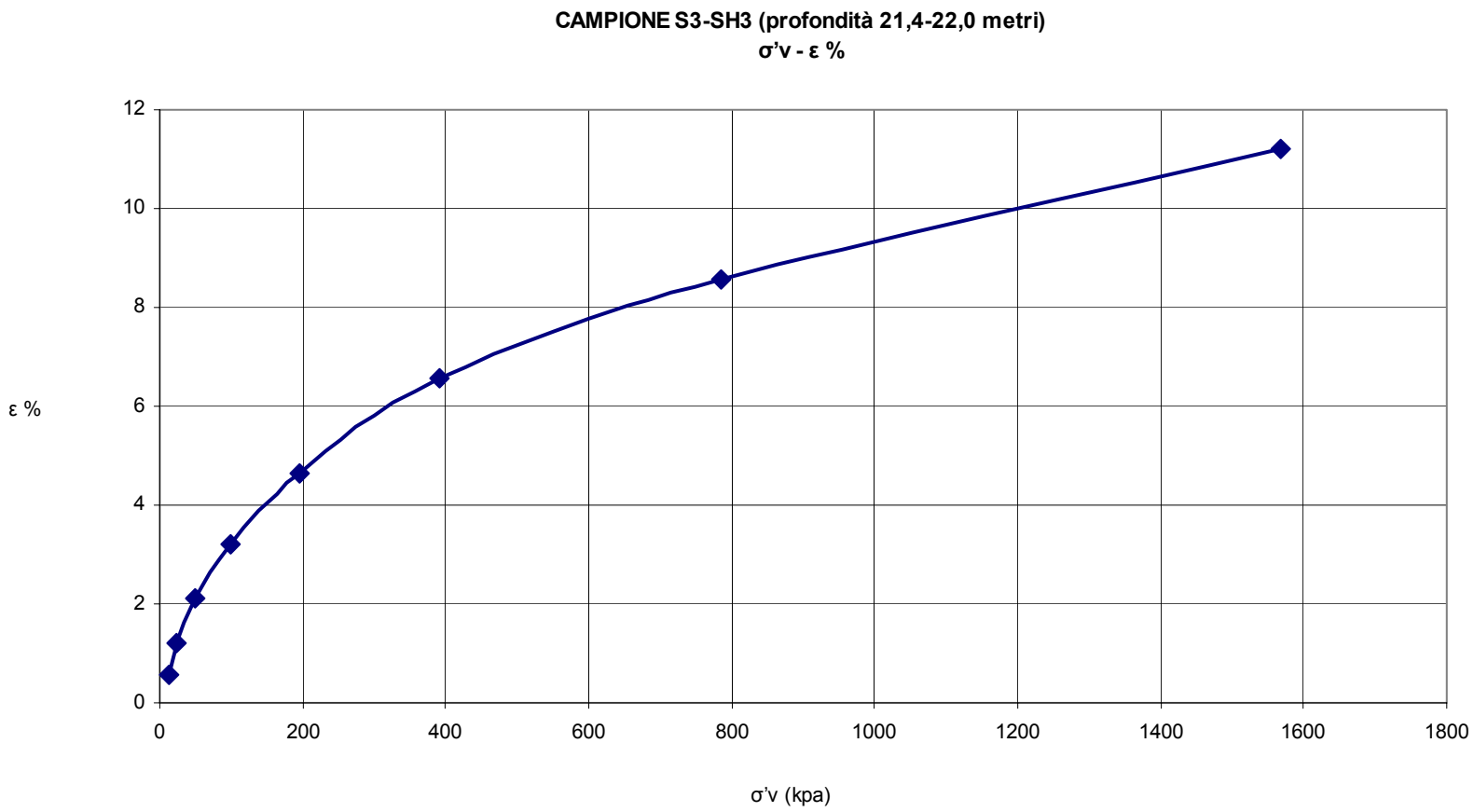

CAMPIONE S3-SH1 (profondità 6,50-7,0 metri)
log σ'v - Cv
Cv (cm2/s)
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
1
10
100
1000
10000
y = -1E-06x + 0,0135
log σ'v (kpa)

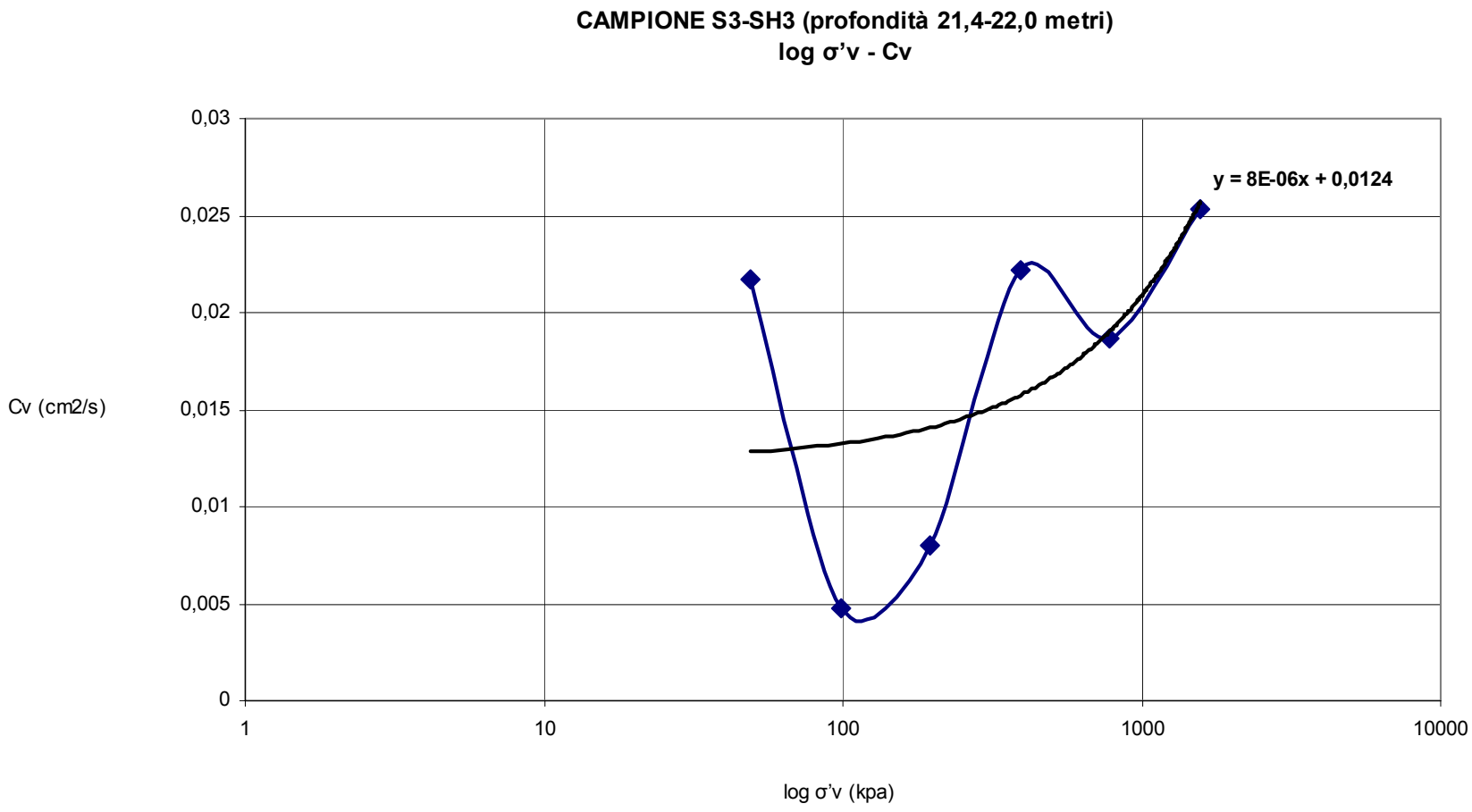

CAMPIONE S3-SH1 (profondità 6,50-7,0 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

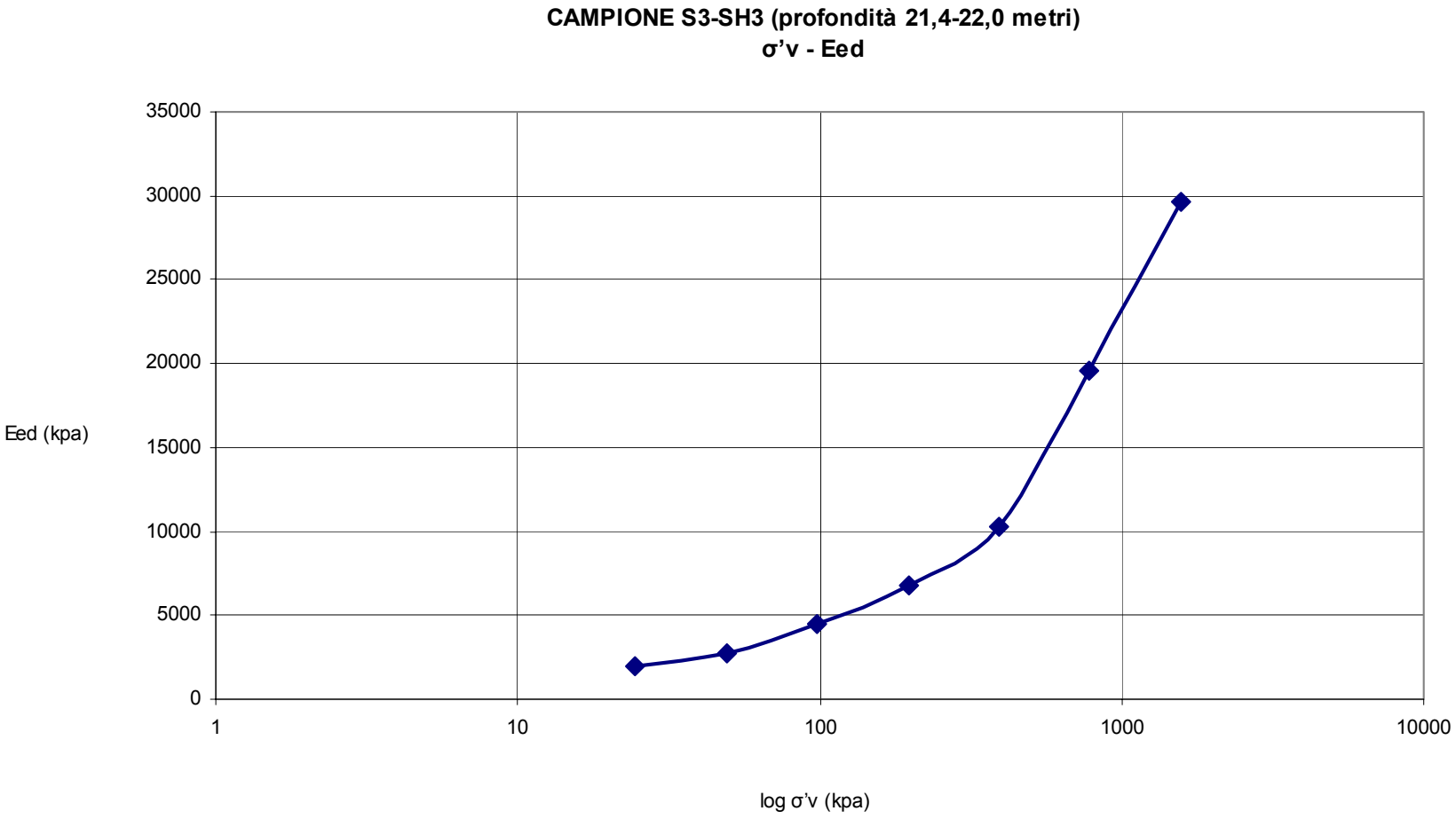

CAMPIONE S3-SH2 (profondità 18,4-19,0 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

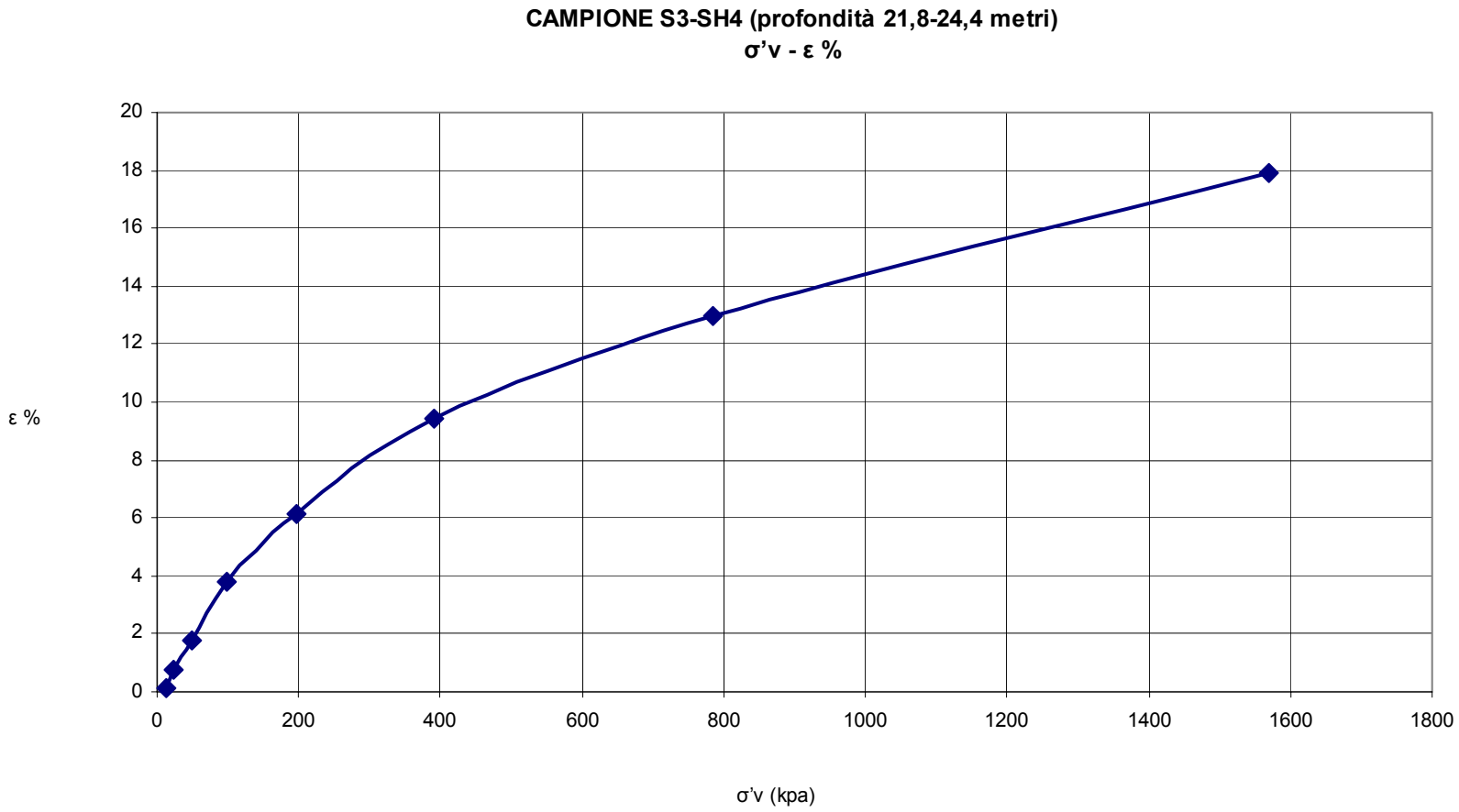

CAMPIONE S3-SH2 (profondità 18,4-19,0 metri)
log σ'v - Cv
0,014
0,012
0,01
0,008
0,006
0,004
0,002
0
Cv (cm2/s)
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)
y = 6E-06x + 0,0015

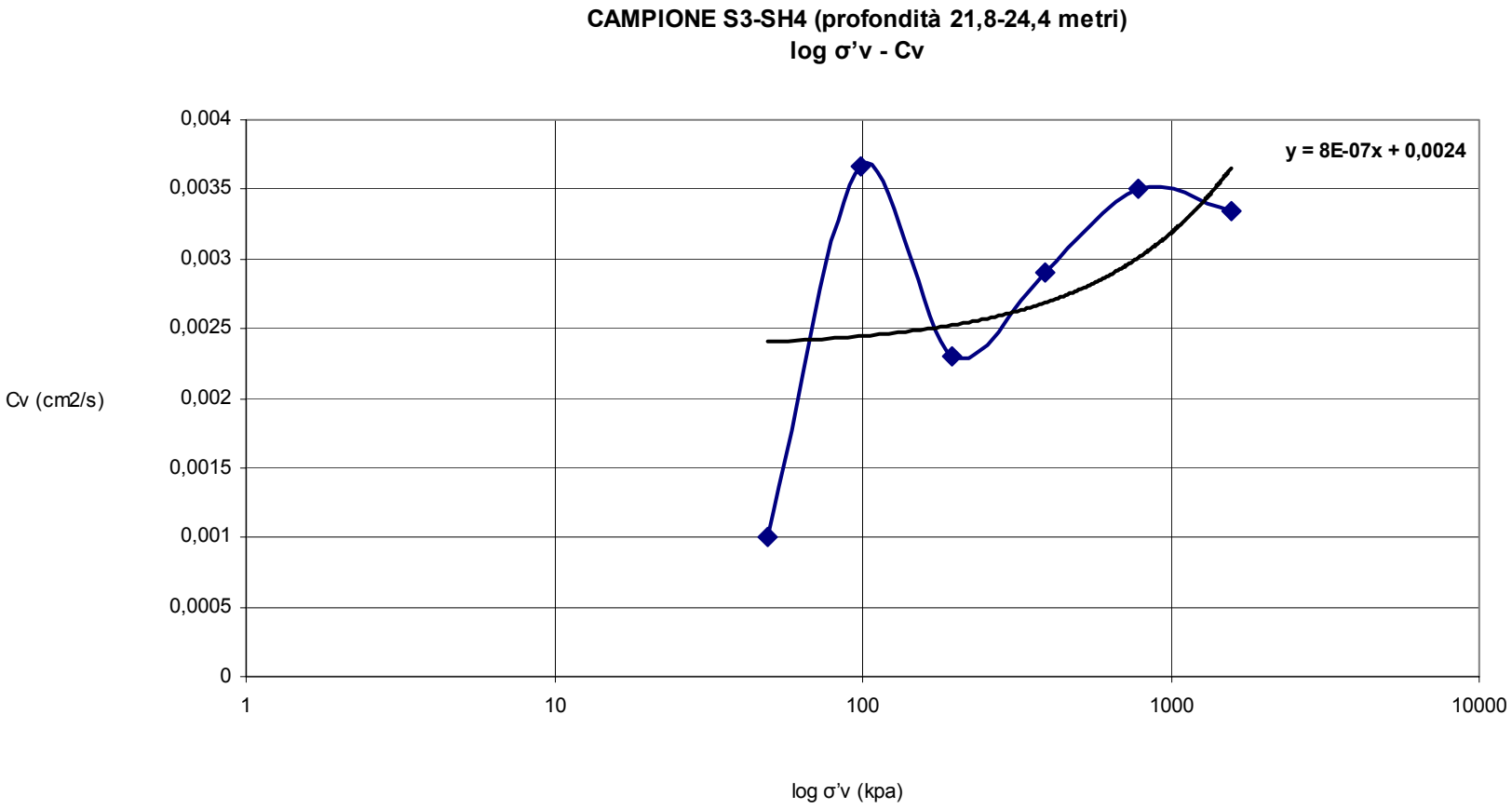

CAMPIONE S3-SH2 (profondità 18,4-19,0 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

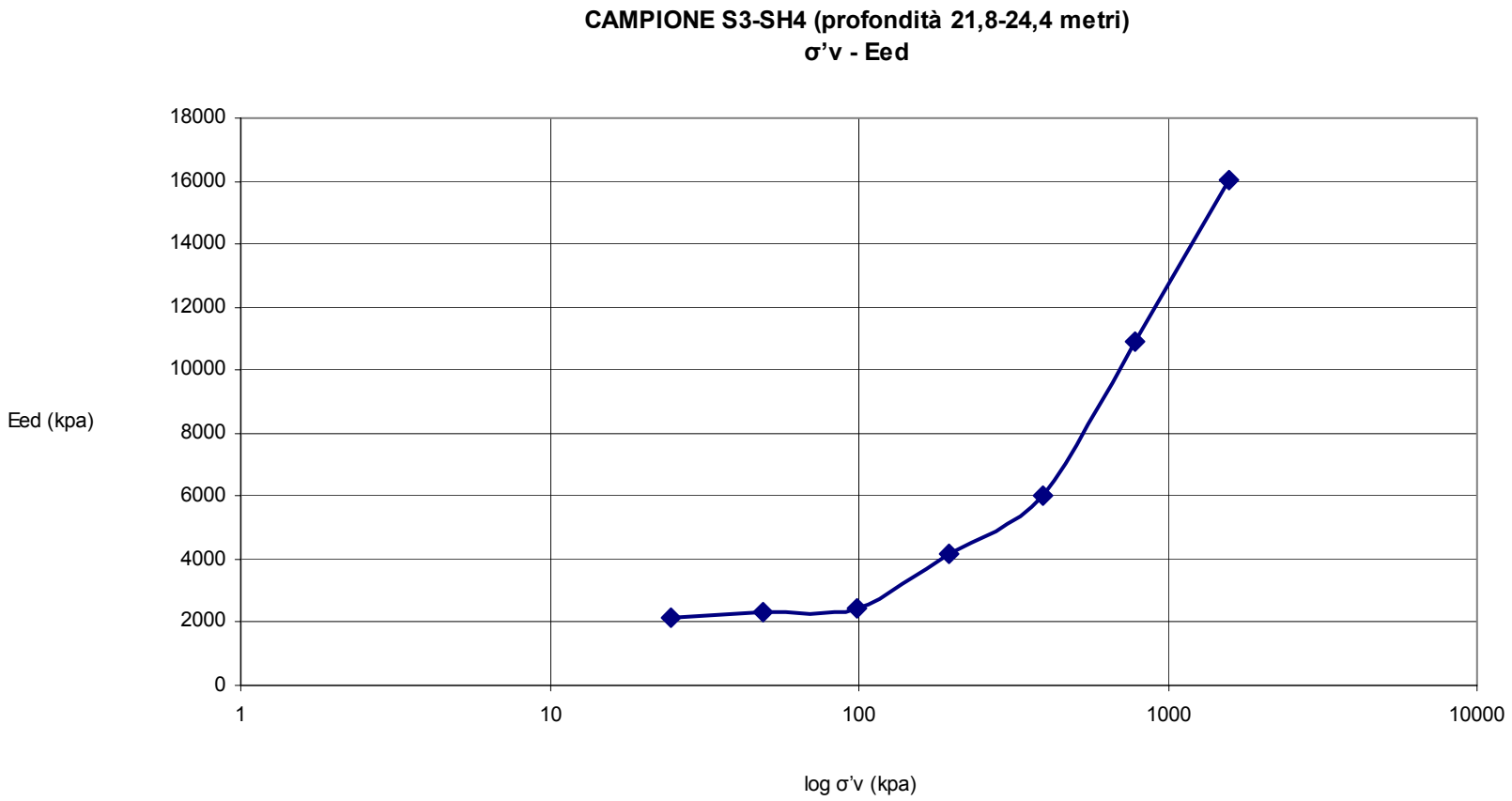

CAMPIONE S3-SH3 (profondità 21,4-22,0 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

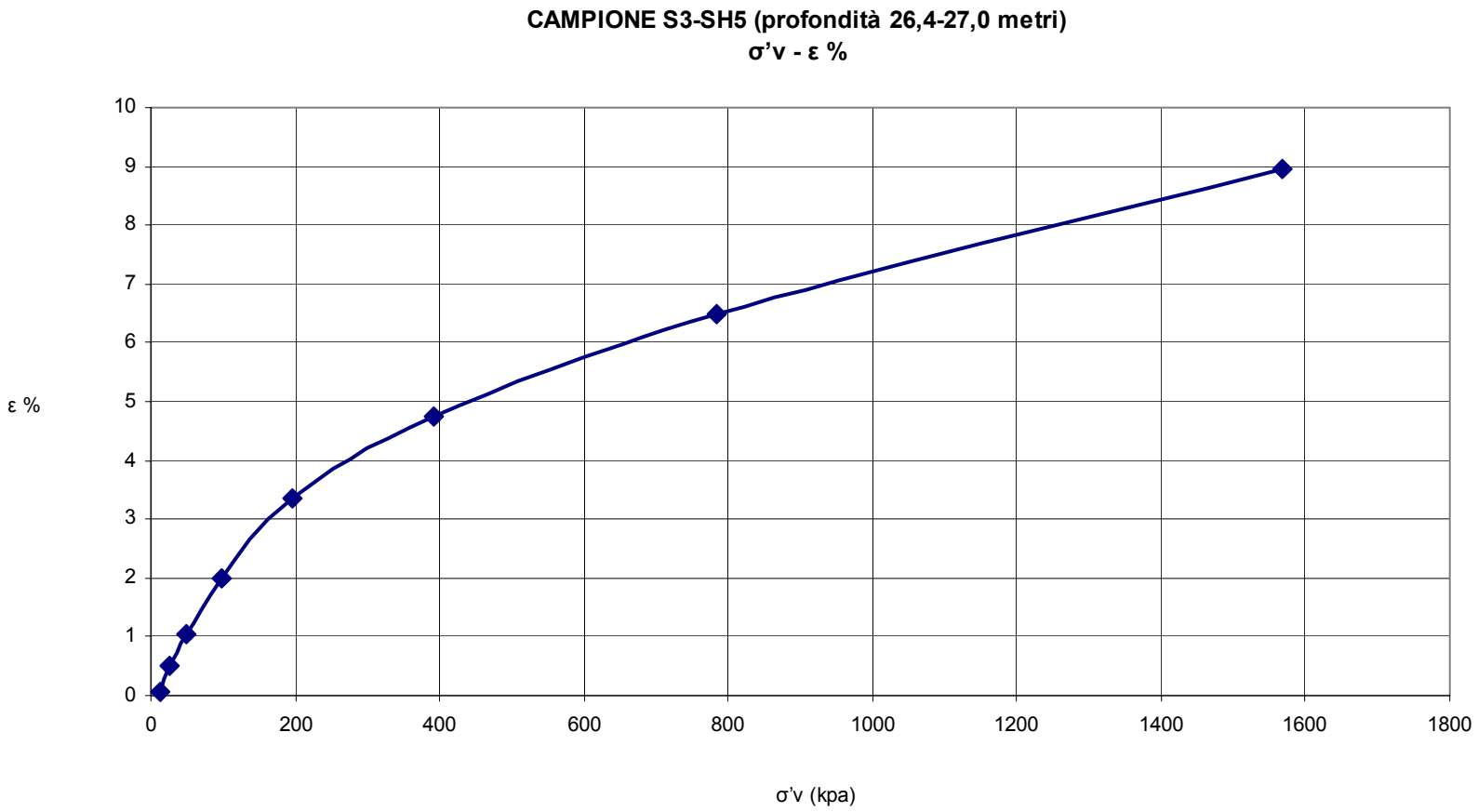

CAMPIONE S3-SH3 (profondità 21,4-22,0 metri)
log σ'v - Cv
y = 8E-06x + 0,0124
Cv (cm2/s)
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

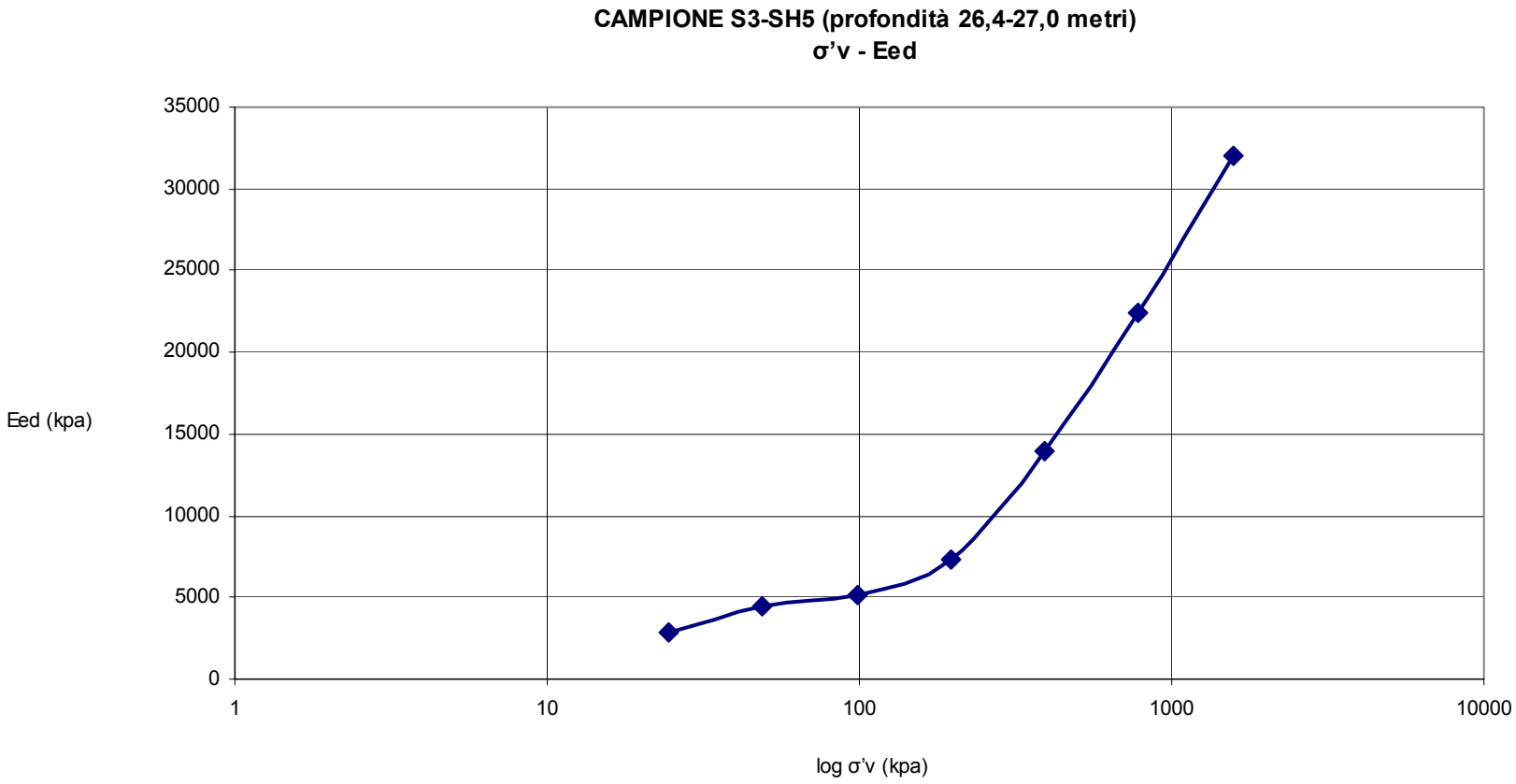

CAMPIONE S3-SH3 (profondità 21,4-22,0 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S3-SH4 (profondità 21,8-24,4 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800


CAMPIONE S3-SH4 (profondità 21,8-24,4 metri)
log σ'v - Cv
y = 8E-07x + 0,0024
Cv (cm2/s)
0,004
0,0035
0,003
0,0025
0,002
0,0015
0,001
0,0005
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S3-SH4 (profondità 21,8-24,4 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)


CAMPIONE S3-SH5 (profondità 26,4-27,0 metri)
σ'v - ε %
ε %
σ'v (kpa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

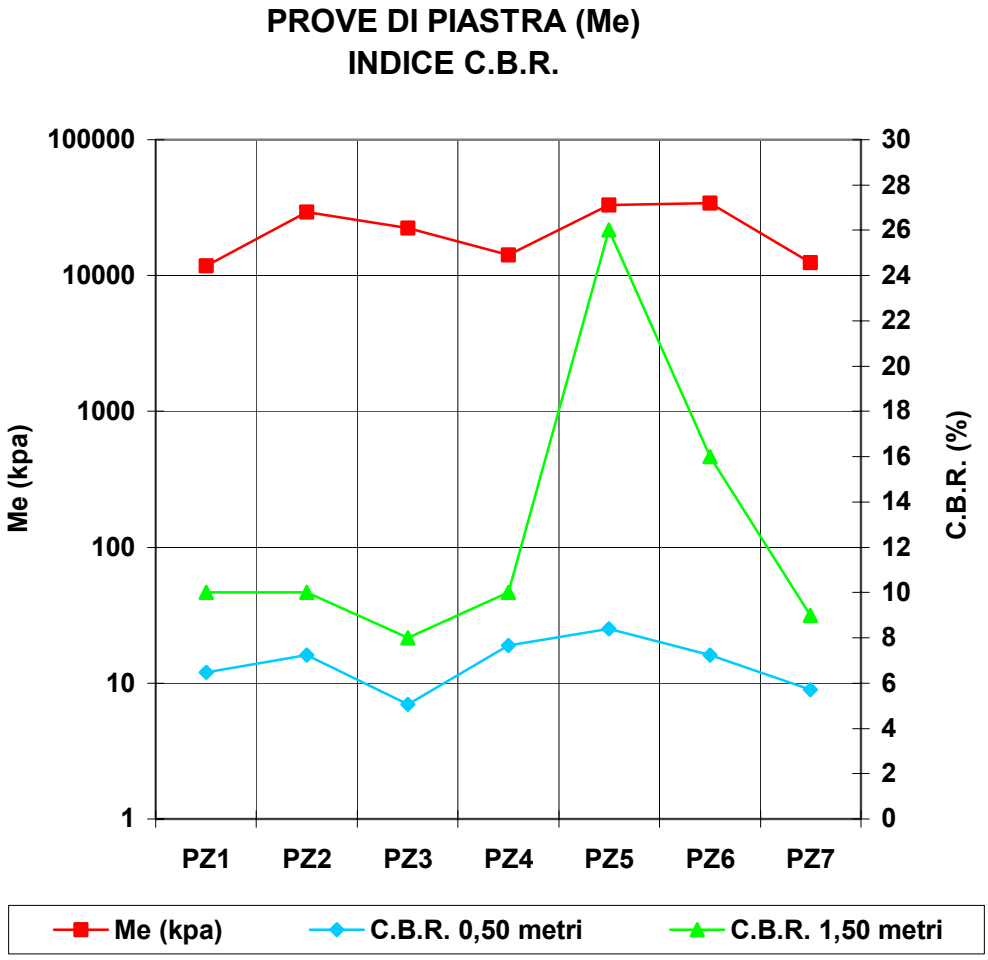

CAMPIONE S3-SH5 (profondità 26,4-27,0 metri)
σ'v - Eed
Eed (kpa)
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
10
100
1000
10000
log σ'v (kpa)

3.3.2 Valori di Me (prove di piastra) e C.B.R. (prove di laboratorio)

Come riportato al punto 2.4.1 nei tratti della nuova Bretella che saranno costruiti a raso, sono state eseguite indagini consistenti in n. 7 pozzetti esplorativi (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7) e altrettante prove di piastra, nonché prelevati campioni di terreno su cui sono state eseguite in laboratorio le seguenti determinazioni:

- umidità naturale
- peso di volume naturale
- peso specifico dei grani
- granulometria
- limiti di Atterberg
- classificazione secondo UNI 10006 e USCL
- contenuto in sostanza organica
- indice di portanza CBR
- prova AASHTO modificata CNR Proctor.

Nel grafico seguente sono riportati i valori del Modulo di Deformazione (Me) e dell'Indice C.B.R. per i vari pozzetti.



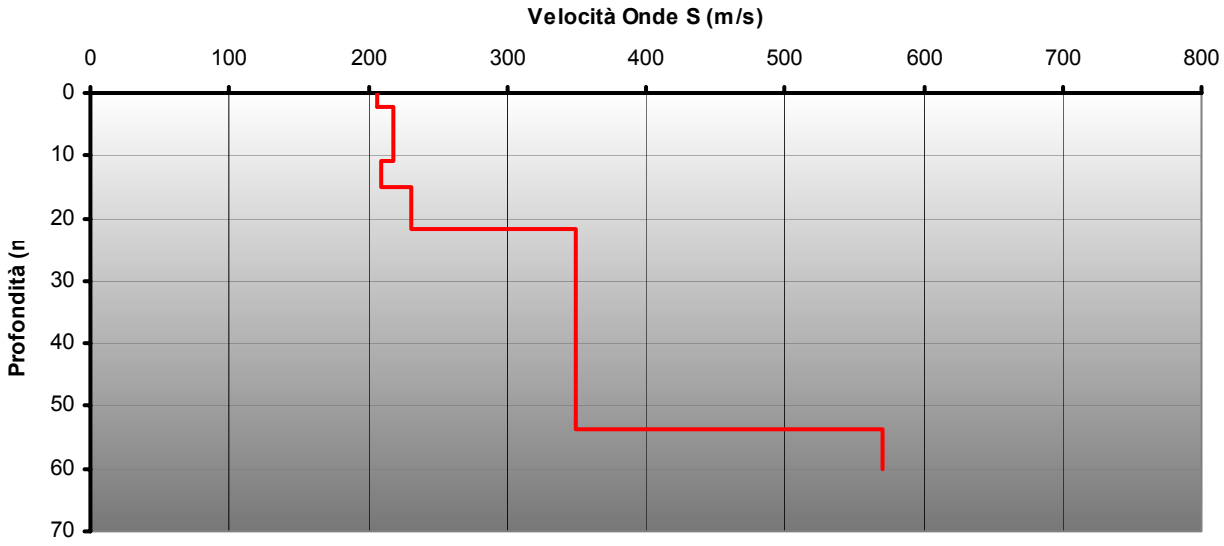
3.4 CARATTERISTICHE SISMICHE

I territori comunali di Mantova e di San Giorgio di Mantova sono stati classificati, con O.P.C.M. 3274/2003, in **Zona 4**, ovvero a bassa sismicità, con valore di accelerazione massima al suolo (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suolo rigido caratterizzato da Vs_{30} > 800 m/s) $\mathbf{a_g}$ pari a 0,05.

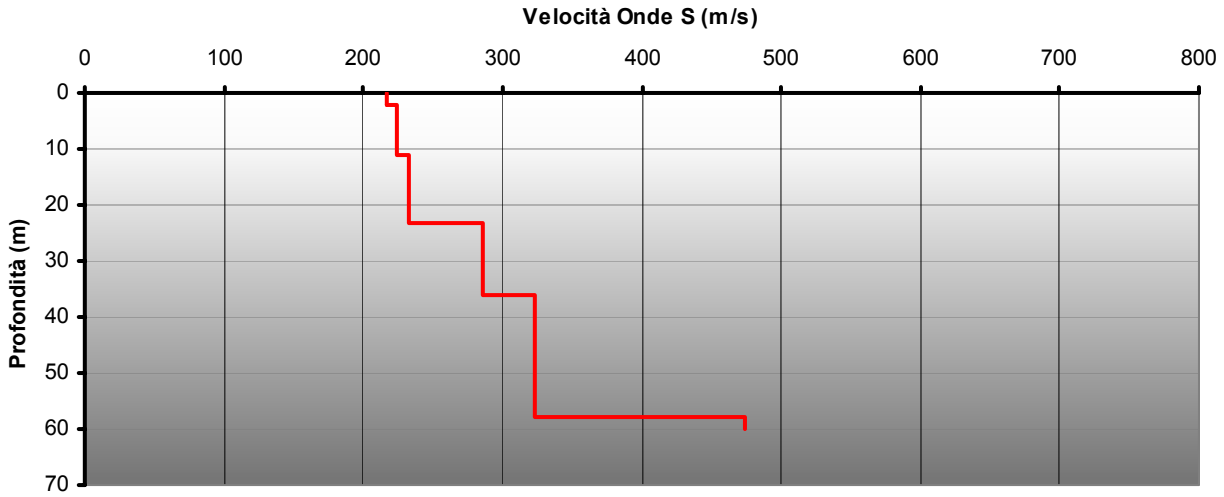
Sulla base dei risultati dei profili sismici eseguiti, i terreni indagati appartengono, secondo l'O.P.C.M. 3274/2003, alla **Categoria C** (Vs_{30} compreso tra 180 e 360 m/s).

L'andamento della velocità delle Onde S in profondità è riportato nelle seguenti figure.

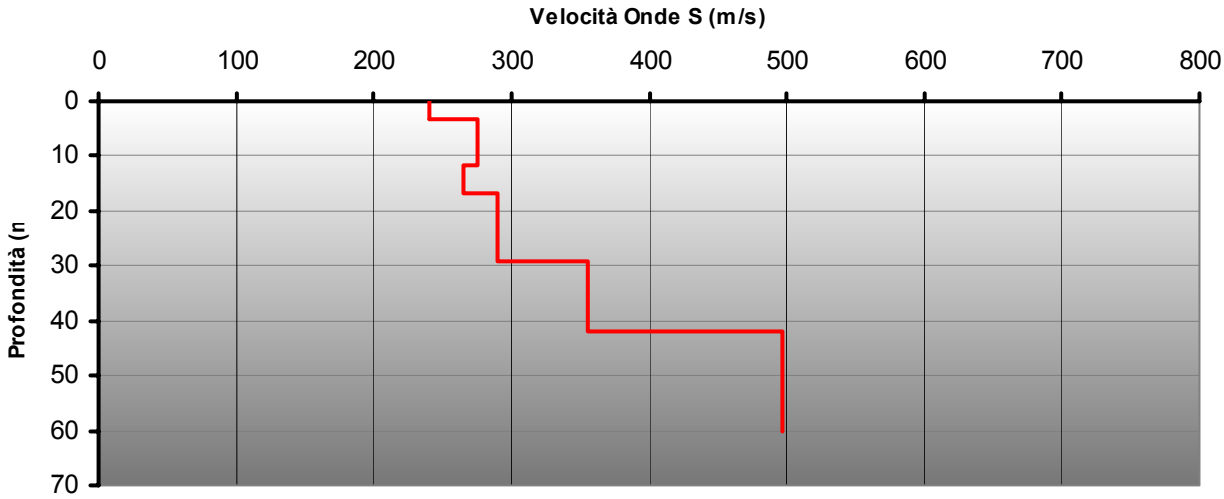
Profilo di velocità delle onde S stimato nel Sito G1



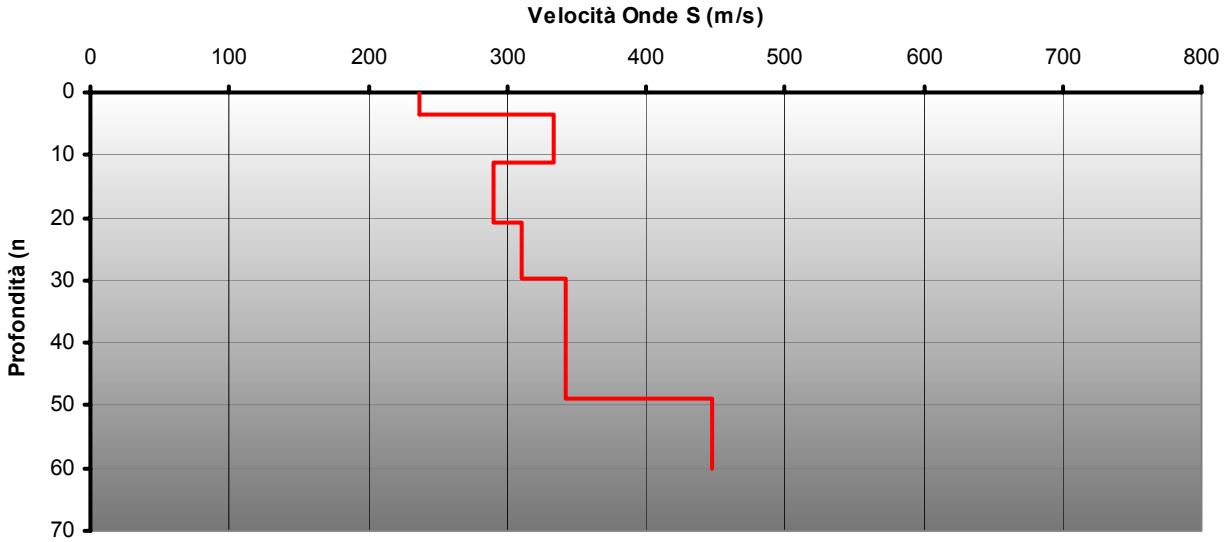
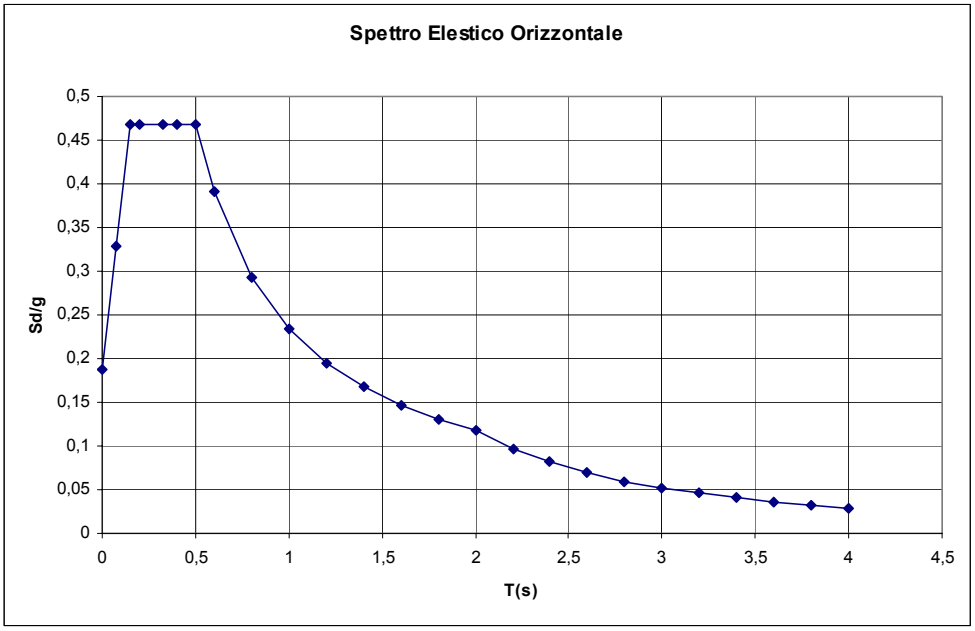
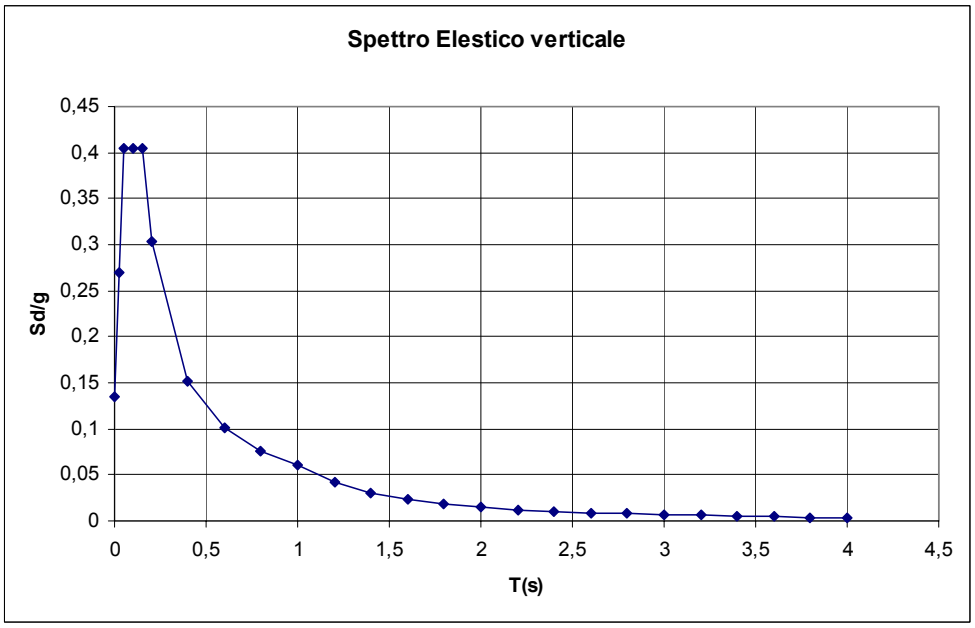
Profilo di velocità delle onde S stimato nel Sito G2



Profilo di velocità delle onde S stimato nel Sito G3



Profilo di velocità delle onde S stimato nel Sito G4



Gli spettri elastici previsti dalla Normativa vigente sono rappresentati nelle seguenti figure.