



COMUNE DI CALCI

PROVINCIA DI PISA

REALIZZAZIONE VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Carlo De Rosa

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE A CURA DI :

STRINGA s.r.l.

strutture, ingegneria, architettura

Località Carraia 1, 56017 S. Giuliano T. (PI)
Tel. +39 050 6138385 Fax +39 050 6138386
mail: direzione@stringasrl.it stringa@pec.it

PROGETTAZIONE :

Dott. Ing. Fabrizio Daini

PIANO DELLA SICUREZZA :

Dott. Ing. Stefano Maria Pallottino

DESCRIZIONE ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

SCALA

-

PRATICA

691

TAV.

PE.B.REL.001

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Giugno 2019	Prima Emissione	F.Daini	F.Daini	

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 2 di 11

INDICE

INDICE	2
1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
2 INQUADRAMENTO GEOTECNICO	4
2.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE	4
2.1.1 Prove penetrometriche	4
2.1.2 Prelievo di campioni indisturbati e analisi di laboratorio geotecnico	6
2.2 CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE	7
3 CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI IMPOSTA DEL RILEVATO	9
4 CEDIMENTO DEL TERRENO DI IMPOSTA DEL RILEVATO	10

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 3 di 11

1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto riguarda le considerazioni geologico-geotecniche si rinvia alle relazioni specialistiche, ed ai relativi elaborati grafici redatte dal dott. geol. Florindo Granucci, sulla scorta delle indagini geognostiche fornite dall'Amministrazione Comunale. Si riporta di seguito solo le premesse di tale relazione rimandando a specifico elaborato per gli approfondimenti.

2 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si estrae di seguito sintesi relativa a quanto riportato nella sua relazione geologico-geotecnica il dott. Florindo Granucci, presa a riferimento per le verifiche geotecniche

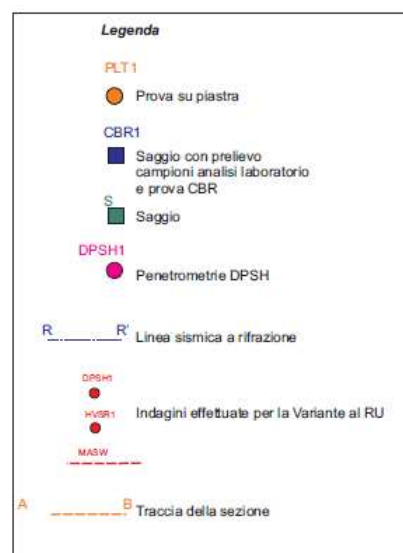
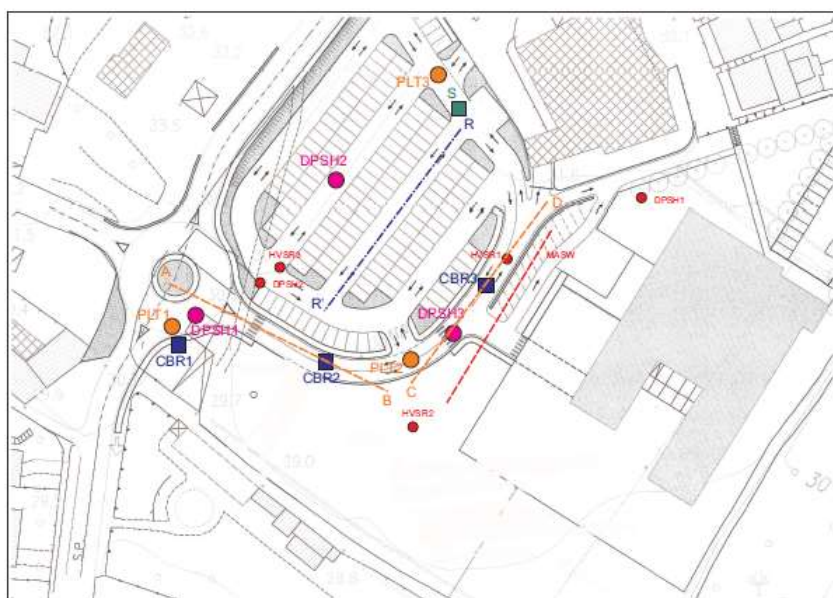
2.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

L'indagine di terreno ha previsto un rilevamento geologico di dettaglio dell'area di interesse; per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei terreni affioranti, della loro distribuzione verticale e per l'individuazione della categoria di suolo sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti
- n° 1 indagine simica a rifrazione onde P e onde SH
- n° 3 prove di carico su piastra n° 4 saggi con escavatore
- n° 3 prove laboratorio e CBR su materiale dei saggi 1, 2, 3

In aggiunta per la caratterizzazione dei suoli si sono acquisite dalle indagini effettuate per la Variante al RU:

- n° 1 indagine MASW
- n° 1 indagine HVSR
- n° 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti



2.1.1 Prove penetrometriche

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 5 di 11

Al fine di caratterizzare meccanicamente i litotipi affioranti, sono state eseguite n°3 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH); per l'indagine geognostica è stato impiegato un penetrometro statico - dinamico tipo Pagani TG63-200; per maggiori dettagli sul penetrometro si rimanda all'apposito allegato.

Le prove sono state eseguite in modalità dinamica a causa della evidente presenza, sia in affioramento che in sezione di ghiaie, anche grossolane.

Le indagini penetrometriche sono state effettuate nell'area della rotatoria, prova DPSH1, nell'area che sarà adibita a parcheggio, prova DPSH2 e lungo il tracciato, prova DPSH3; l'ubicazione delle prove è riportata in allegato.

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità prima di arrivare per tutte al rifiuto strumentale:

<i>Prova</i>	<i>Profondità (m)</i>
P1	1.80
P2	4.40
P3	2.20

I parametri meccanici sono stati dedotti in base ai caratteri rilevati nelle prove e osservati e per altro ben noti in letteratura a cui si fa riferimento secondo quanto previsto all'art. 7 del DPGR 9.07.2009 n° 36/R. La natura dei terreni della zona di interesse è stata quindi ricostruita sia in base a quanto osservato negli affioramenti che a quanto riportato in letteratura; secondo i dati raccolti e quelli desunti dalla prova si è ricostruita la stratigrafia riportata di seguito.

Le prove penetrometriche hanno fornito la seguente stratigrafia e parametri meccanici dei terreni identificati con Rpd = resistenza alla punta, ϕ = angolo di attrito interno, cu = coesione non drenata, Dr = densità relativa, γ_{sat} = peso di volume saturo, mv = coefficiente di compressibilità volumetrica

Tabelle Riepilogative:

DPSH 1

n	Profondità (m)	N			N _{SP1}	Rd (kg cm ⁻²)			cu (kg cm ⁻²)			ϕ (°)			Dr	mv (cm ² kg ⁻¹)	γ (t m ⁻³)
		min	max	media		min	max	media	min	max	media	min	max	media			
1	0.00-1.20	1	7	4.0	6	7.0	52.0	28.8	0.13	0.69	0.38	26.8	30.3	28.0	0.21	0.021	1.89
2	1.20-1.60	11	26	18.5	27	76.0	180.0	127.7	1.00	2.50	1.69	31.8	38.5	35.0	0.60	0.006	2.03
3	1.60-1.80	65	65	65.0	99	449.0	449.0	448.8	6.19	6.19	6.19	45.0	45.0	45.0	1.00	0.002	2.24

DPSH 2

n	Profondità (m)	N			N _{SP1}	Rd (kg cm ⁻²)			cu (kg cm ⁻²)			ϕ (°)			Dr	mv (cm ² kg ⁻¹)	γ (t m ⁻³)
		min	max	media		min	max	media	min	max	media	min	max	media			
1	0.00-0.80	2	5	3.0	5	15.0	37.0	22.3	0.19	0.50	0.31	27.2	29.2	28.0	0.18	0.024	1.86
2	0.80-3.00	10	40	22.9	35	60.0	276.0	106.2	0.94	3.81	2.19	31.5	42.7	37.0	0.70	0.005	2.08
3	3.00-4.20	6	9	6.7	11	34.0	51.0	39.3	0.56	0.88	0.69	29.6	31.2	30.0	0.36	0.013	1.94
4	4.20-4.40	50	50	50.0	76	283.0	283.0	283.2	4.75	4.75	4.75	44.0	44.0	44.0	0.94	0.002	2.21

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 6 di 11

DPSH 3

n	Profondità (m)	N			N _{SPR}	Rd (kg cm ⁻²)			cu (kg cm ⁻²)			φ (°)			Dr	mv (cm ² kg ⁻¹)	γ (tm ⁻³)
		min	max	media		min	max	media	min	max	media	min	max	media			
1	0.00-0.60	1	2	1.3	2	7.0	15.0	9.9	0.06	0.19	0.13	26.4	27.2	26.8	0.07	0.042	1.85
2	0.60-1.20	12	18	14.3	21	83.0	124.0	101.3	1.13	1.89	1.31	32.4	35.1	33.0	0.51	0.007	2.00
3	1.20-2.00	33	56	41.0	62	228	387	278.9	3.13	4.80	3.88	41.0	45.0	42.0	0.89	0.003	2.18
4	2.00-2.20	61	61	61.0	93	393	393	392.5	5.81	5.81	5.81	45.0	45.0	45.0	1.00	0.002	2.24

2.1.2 Prelievo di campioni indisturbati e analisi di laboratorio geotecnico

Sulla rotatoria e lungo il tracciato sono stati eseguiti n° 4 saggi con escavatore della profondità di 1.00 m circa per osservare direttamente il materiale presente; nei saggi n° 1, n°2 e n°3 sono stati prelevati i campioni inviati in laboratorio

Il materiale dei saggi n°1, n° 2 e n° 3 è stato sottoposto ad analisi di laboratorio per la classificazione delle terre, per i cui risultati si rimanda all'apposito allegato e a prova CBR. In termini stradali (G. Centolani; Hoepli) si intende per sottofondo il piano di appoggio della sovrastruttura e la portanza del sottofondo sta ad indicare l'attitudine a sopportare un numero prefissato di ripetizione dei carichi senza subire deformazioni di entità tali da ammalorare la sovrastruttura stessa.

Pur potendo ricorrere a modelli matematici per definire tale portanza, in generale sono largamente diffusi ed utilizzati sistemi basati su prove empiriche (CBR, prove di carico su piastra) tuttora affidabili e di determinazione abbastanza semplice.

La prova CBR (Californian Bearing Ratio) determina la portanza attraverso la punzonatura su un campione del terreno preventivamente costipato in una fustella. La prova può essere condotta sia su terreno compattato secondo apposita metodologia, sia su un terreno dopo quattro giorni di immersione della fustella in acqua; la prova a saturazione è preferibile qualora si tema che il terreno in situ possa essere imbibito di acqua per capillarità.

Ciascun campione è stato sottoposto ad analisi granulometrica, classificazione di una terra, determinazione della capacità stabilizzante della calce, contenuto in ceneri e sostanze organiche, prova di compattazione Proctor modificata, prova di penetrazione CBR, i cui risultati sono riportati in relazione geologica.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 7 di 11

2.2 CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

L'idrografia dell'area è rappresentata dal corso del Torrente Zambra di Calci che scorre a W dell'area di interesse ad una distanza di circa 100.0 m, in un alveo fortemente incassato e spesso con argini in muratura, che man mano che procede verso la pianura diventa pensile e dal corso del Vallino di San Pietro, affluente minore di sinistra del Torrente Zambra di Calci, che scorre a E a circa 150 m di distanza, anche in questo caso con alveo incassato nelle alluvioni.

Per il resto l'idrografia è rappresentata dalla rete di scolo superficiale di fossette interpoderali e stradali che fanno capo ai corsi principali.

L'andamento generale della rete idrografica in questo piccolo settore è di tipo subdendritico e mostra molti tratti rettilinei e sub rettilinei che si collegano frequentemente con angolature piuttosto accentuate denotando uno stretto controllo tettonico. Il regime di deflusso del corso principale è di carattere torrentizio, dal momento che il bacino imbrifero drenato è di dimensioni relativamente ridotte e pertanto si rilevano sostanziali incrementi nei periodi piovosi o contraddistinti da eventi meteorici di forte intensità, andando per altro incontro a periodi di magra anche marcati durante il periodo estivo.

Nella zona interessata dalle indagini affiora sostanzialmente una sola formazione costituita dai depositi alluvionali antichi; questi litotipi sono disposti in orizzonti con alternanze ed eteropie di depositi a dominante sabbioso ghiaiosa con altri a dominante limoso argillosa, come deducibile da prove effettuate nell'area adiacente che hanno raggiunto al massimo i 35.0 m di profondità e confermata per profondità maggiori dalle stratigrafie di pozzi realizzati in aree vicine, dove questa alternanza è confermata almeno fino alla quota di 60.00 m dal piano di campagna; il substrato roccioso è segnalato, più a valle in prossimità della Lungomonte (S.P. n°30), a profondità di 90.00 – 100.00 m.

La permeabilità dei litotipi affioranti è di tipo primario, si sviluppa per porosità e varia da medio alta a media ($10^{-3} < k < 10^{-2}$ cm s⁻¹) nei depositi a dominante granulare dove è assente la matrice coesiva, fino ad arrivare a medio bassa, bassa ($10^{-6} < k < 10^{-4}$ cm s⁻¹) fino ad impermeabile, nei depositi molto sottili o dove le ghiaie, talora anche grossolane, presentano una matrice compatta sottile a dominante coesiva.

Infatti gli orizzonti ghiaiosi benché abbiano un abbondante scheletro litico grossolano presentano a volte una ricca matrice argilloso limosa, spesso molto compatta derivante dal disfacimento e alterazione delle formazioni filladiche che ne limita fortemente la permeabilità. La permeabilità invece aumenta nei livelli dove la frazione sabbiosa e sabbioso ghiaiosa è maggiore fino a diventare il litotipo dominante, ma la continuità laterale di questi livelli è talvolta limitata ed eteropica con litotipi più sottili; la permeabilità è sostanzialmente scarsa e addirittura nulla per i livelli limosi e limoso argillosi.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 8 di 11

Negli orizzonti ghiaioso sabbiosi sono presenti acquiferi frequentemente multifalda, almeno parzialmente anastomizzati e talora comunicanti fra loro sia in senso verticale che orizzontale; si tratta in genere di acquiferi con medi valori di trasmissività, continuità laterale variabile secondo la direzione e frequenti caratteri di artesianità e semiartesianità.

La falda viene segnalata dai dati disponibili ad una profondità di circa 6.00 – 7.00 m dal piano di campagna con risalite durante le fasi di morbida fino a 2.50 – 3.00 m dal p.c., ma in periodi di magra la falda può scendere al di sotto dei 15.00 m di profondità.

Nella campagna di indagini eseguita la falda non è stata rinvenuta all'interno dei perfori penetrometrici che hanno raggiunto al massimo i 4.40 m dal piano di campagna.

Si osserva comunque che vista la natura e giacitura dei livelli acquiferi, è probabile che si possano incontrare localmente anche piccole falde sospese non comunicanti idraulicamente con il sistema acquifero della piana.

Si ritiene che la falda principale sia in ogni modo in collegamento idraulico con il Torrente Zambra di Calci, ma le condizioni di permeabilità dei litotipi fanno sì che il livello si mantenga basso nonostante il deflusso del corso d'acqua, il cui livello di base risulta sospeso rispetto al livello sotterraneo e quindi in condizioni di alimentazione.

Il modello idrogeologico può quindi essere ricondotto ad un acquifero multifalda circolante in un deposito di conoide alluvionale di buone dimensioni con alternanza e continuità variabile dei livelli permeabili ed impermeabili con gli acquiferi per lo più idraulicamente comunicanti; scendendo verso la pianura si ha una separazione sempre più netta fra la falda freatica e le falde sottostanti che assumono nettamente caratteri di falde in pressione.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 9 di 11

3 CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI IMPOSTA DEL RILEVATO

Trattando di terreni a prevalente matrice coesiva, il carico di rottura si determina attraverso l'equazione di Skempton:

$$q_u = 5 C_u (1+2 D_f/B) (1+0.B/L)$$

ed assumendo :

- Cu = coesione non drenata
- Df = profondità del piano di posa
- B = larghezza della fondazione
- L = lunghezza della fondazione (infinita)

Durante il tracciato vi è essenzialmente n.1 tratto costante in rilevato:

- A) tratto con Hmax rilevato pari a 1.40m e larghezza B =15.00m

Dalle indagini geognostiche si ricavano valori medi della Cu relativa allo strato sottostante il manto vegetale (si prevede scotico minimo di 40cm per l'imposta del piano di posa del rilevato

- **Nel tratto** (valori ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche) Cu min. = 0.30 Kg/cm²

Capacità portante $q_u (A) = 1.58 \text{ Kg/cm}^2 = 158 \text{ KPa}$

Carico max all'imposta del rilevato

Peso proprio rilevato $q_{\max} (A) = 1.40 \times 19 \times 1.35 = 35.91$

Variabile Q1k = $600 / [(2 \times 1.40 + 1.60) \times (2 \times 1.40 + 2.40)] \times 1.35 = 35.40$

Variabile q1k = $9 \times 3.00 / (2 \times 1.40 + 3.00) \times 1.35 = \underline{6.28}$

Carico max totale $77.59 \text{ kPa} < 158 \text{ kPa}$

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE GEOTECNICA	Pag. 10 di 11

4 CEDIMENTO DEL TERRENO DI IMPOSTA DEL RILEVATO

La stima dei cedimenti, per i rilevati stradali, appare "viziata" da un'incognita molto importante che riguarda le modalità e i tempi di realizzazione del manufatto. I calcoli sono, infatti, applicati ad un sistema terreno struttura (rilevato) come se quest'ultimo fosse realizzato in un tempo istantaneo. Nella realtà la realizzazione delle opere in terra avviene attraverso varie fasi delle quali le più importanti appaiono:

- l'asportazione di una porzione superficiale di terreno (bonifica del piano di fondazione);
- la disposizione di strati di terreno, con indici di umidità prossimi all'ottimo di Proctor, da compattare mediante numerosi passaggi operati da apposite, pesanti macchine vibranti.

Il terreno di fondazione, quindi, inizia a consolidarsi immediatamente dopo l'inizio dei lavori ed una porzione del cedimento stimato si sviluppa prima ancora che l'opera sia terminata. La valutazione di questa porzione di cedimento appare di obiettiva, difficile quantificazione.

Si può comunque ipotizzare, in via qualitativa, che i cedimenti immediati (che si sviluppano cioè in fase di cantiere) siano nell'ordine del 20% del cedimento totale.

Di seguito si riporta il calcolo del cedimento nel tratto preso in esame per il calcolo della portanza, prendendo cautelativamente i valori maggiori di m_v (indice di compressibilità volumetrica) per i vari strati per le varie penetrometrie effettuate nei tratti. Si riportano i valori del cedimento in corrispondenza dell'asse e al bordo del rilevato.

TRATTO A=	15,00	m
carico q =	0,780	Kg/cm ²
carico netto=	0,704	Kg/cm ²
distanza dal centro fondazione		
del punto di calcolo (m):	0	
fondazione nastriforme		

**PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA
MEDIA A CALCI (PI)**

RELAZIONE GEOTECNICA

Pag. 11 di 11

strato	profondità m	spessore m	Peso Vol t/m3	ovo somm Kg/cm2	ovo base Kg/cm2	ovo mezz Kg/cm2	mv cm2/Kg	prof. mezz.	z	I	I	DP Kg/cm2	DH cm
A	1,40	1,40	1,90	0,000	0,266								
B	0,40	-1,00	1,90	0,266	0,076								
1	0,60	0,20	1,85	0,076	0,113	0,095	0,0420	0,50	0,10	1,00	3,1416	0,704	0,59
2	0,90	0,30	2,00	0,113	0,173	0,143	0,0070	0,75	0,35	1,00	3,1415	0,704	0,15
3	1,20	0,30	2,00	0,173	0,233	0,203	0,0007	1,05	0,65	1,00	3,1407	0,704	0,01
4	2,00	0,80	2,18	0,233	0,407	0,320	0,0030	1,60	1,20	1,00	3,1363	0,703	0,17
5	2,20	0,20	2,24	0,407	0,452	0,430	0,0020	2,10	1,70	1,00	3,127	0,701	0,03
6	3,00	0,80	2,24	0,452	0,631	0,542	0,0020	2,60	2,20	0,99	3,1111	0,697	0,11
7	4,00	1,00	2,24	0,631	0,855	0,743	0,0020	3,50	3,10	0,98	3,0637	0,687	0,14
8	5,00	1,00	2,24	0,855	1,079	0,967	0,0020	4,50	4,10	0,95	2,9828	0,668	0,13
9	6,00	1,00	2,24	1,079	1,303	1,191	0,0020	5,50	5,10	0,92	2,8772	0,645	0,13
10	7,00	1,00	2,24	1,303	1,527	1,415	0,0020	6,50	6,10	0,88	2,755	0,617	0,12
11	8,00	1,00	2,24	1,527	1,751	1,639	0,0020	7,50	7,10	0,84	2,6241	0,588	0,12
12	9,00	1,00	2,24	1,751	1,975	1,863	0,0020	8,50	8,10	0,79	2,491	0,558	0,11
ced. totale												1,81 cm	

distanza dal centro fondazione

del punto di calcolo (m):

fondazione nastriforme

strato	profondità m	spessore m	Peso Vol t/m3	ovo somm Kg/cm2	ovo base Kg/cm2	ovo mezz Kg/cm2	mv cm2/Kg	prof. mezz.	z	I	I	DP Kg/cm2	DH cm
A	1,40	1,40	1,90	0,000	0,266								
B	0,40	-1,00	1,90	0,266	0,076								
1	0,60	0,20	1,85	0,076	0,113	0,095	0,0420	0,50	0,10	0,50	1,5708	0,352	0,30
2	0,90	0,30	2,00	0,113	0,173	0,143	0,0070	0,75	0,35	0,50	1,5708	0,352	0,07
3	1,20	0,30	2,00	0,173	0,233	0,203	0,0007	1,05	0,65	0,50	1,5707	0,352	0,01
4	2,00	0,80	2,18	0,233	0,407	0,320	0,0030	1,60	1,20	0,50	1,5705	0,352	0,08
5	2,20	0,20	2,24	0,407	0,452	0,430	0,0020	2,10	1,70	0,50	1,5698	0,352	0,01
6	3,00	0,80	2,24	0,452	0,631	0,542	0,0020	2,60	2,20	0,50	1,5687	0,352	0,06
7	4,00	1,00	2,24	0,631	0,855	0,743	0,0020	3,50	3,10	0,50	1,5652	0,351	0,07
8	5,00	1,00	2,24	0,855	1,079	0,967	0,0020	4,50	4,10	0,50	1,5583	0,349	0,07
9	6,00	1,00	2,24	1,079	1,303	1,191	0,0020	5,50	5,10	0,49	1,5478	0,347	0,07
10	7,00	1,00	2,24	1,303	1,527	1,415	0,0020	6,50	6,10	0,49	1,5335	0,344	0,07
11	8,00	1,00	2,24	1,527	1,751	1,639	0,0020	7,50	7,10	0,48	1,5154	0,340	0,07
12	9,00	1,00	2,24	1,751	1,975	1,863	0,0020	8,50	8,10	0,48	1,4937	0,335	0,07
ced. totale												0,94 cm	

Il valore dei cedimenti attesi sono perfettamente compatibili con la funzionalità dell'infrastruttura.