



Comune di Villamassargia
- Provincia di Carbonia-Iglesias -



Regione Autonoma della Sardegna
- Assessorato dei Trasporti -
Servizio delle Infrastrutture di Trasporto e della Logistica

Realizzazione del Centro Intermodale di Villamassargia

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO
PRIMO STRALCIO FUNZIONALE

Allegato : **G**

Elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Il Progettista: Ing. Vitellino Maria Grazia



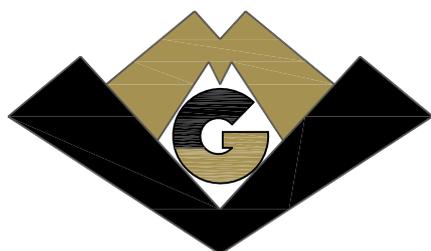
Vitellino Maria Grazia

Dott. Geol. Pilia Marco



Il R.U.P. :
Ing. Antonello Medda

Altri Visti:



Studio Tecnico d'Ingegneria
Dott. Ing. Vitellino Maria Grazia

Tel. 3487290741 - Fax 070-380787
ingvitellin@yahoo.it - mariagrazia.vitellino@ingpec.eu
Sede Legale - Via Pontida n°66 - 09134 - Cagliari

C.F. - VTLMGR71R56F977R - P.IVA 02570260923

Data : Luglio 2016 - Aggiornamento Settembre 2016

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.2 di 21	Rev. 0

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO	3
3.1.	Inquadramento territoriale	3
3.2.	Inquadramento cartografico	4
4.	MODELLO GEOLOGICO	6
5.	FONDAZIONI: TIPOLOGIA, RESISTENZE E CEDIMENTI	11
5.1.	Opere in progetto	11
5.2.	Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno	13
5.3.	Caratteristiche tipologiche delle fondazioni	13
5.4.	Carico limite delle fondazioni dirette (Resistenza Rd)	13
5.5.	Carichi eccentrici	17
5.6.	Cedimenti	18
5.7.	Interazione terreno-struttura - [terreno alla Winkler]	19
6.	CONCLUSIONI	21

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.3 di 21	Rev. 0

1. PREMESSA

In seguito all'incarico conferitomi dal Comune di Villamassargia il sottoscritto Dott. Geol. Marco Pilia ha redato il presente studio geologico nell'ambito del Progetto Esecutivo per la "Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia.

Lo scopo del presente studio è di fornire, sulla base dei dati geognostici e geotecnici in possesso, la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto ed in particolare, indicazioni sulle tipologie di fondazione più opportune e sui relativi valori del carico limite utilizzabili e relativi cedimenti.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto di cui alla presente relazione è redatto in conformità alle disposizioni delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni (di seguito "N.T.C."), emesse con Decreto Ministro delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008, di concerto con il Ministro dell'interno e con il Capo del Dipartimento della Protezione Civile, ai sensi delle Leggi 05/11/1971, n. 1086, e 02/02/1974, n. 64, così come riunite nel "Testo Unico per l'Edilizia" di cui al D.P.R. 06/06/2001, n. 380, e dell'art. 5 del Decreto legge 28/05/2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27/07/2004, n. 186 e ss. mm. ii.; è inoltre redatto in conformità alle seguenti disposizioni di legge:

- *Circolare del Ministero dei lavori Pubblici, n. 3797 (Pres. Cons. Superiore-Servizio Tecnico Centrale, 6 novembre 1967)* Istruzioni per il progetto, esecuzione e collaudo delle fondazioni.
- *Circolare 9 gennaio 1996 n. 218/24/3*
Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.
- *Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617*
Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

3.1. Inquadramento territoriale

L'area oggetto del presente studio è ubicata nella Sardegna Sud Occidentale, nella regione storica del Sulcis ed in particolare nel territorio del Comune di Villamassargia.

Il sito in questione è facilmente raggiungibile. Dal centro abitato di Villamassargia si percorre la SP 87 in direzione Nord. **Fig. 3.1/A**

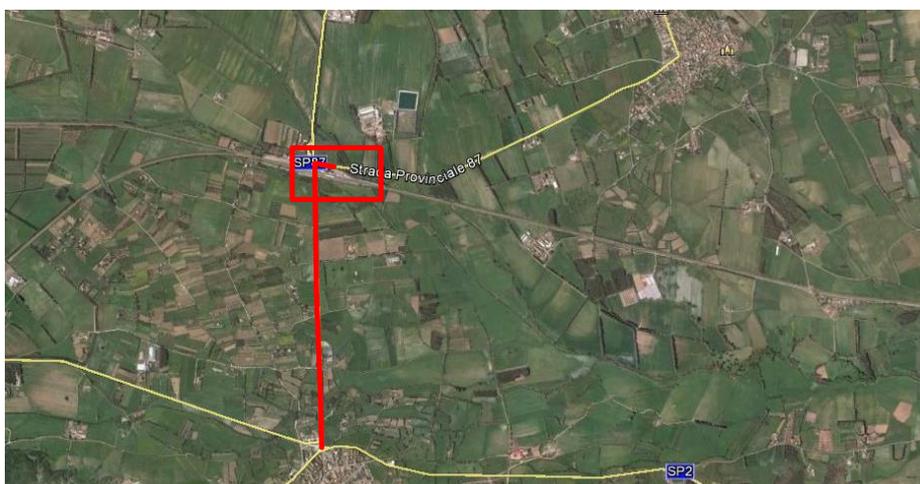


Fig. 3.1/A: viabilità

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	Fg.4 di 21
				Fg.4 di 21

3.2. Inquadramento cartografico

Nella cartografia ufficiale il sito di interesse è interamente contenuto:

- Nel foglio 555 dell'IGM in Scala 1:50.000;
- nel Foglio 555 Sez. II "Villamassargia" della carta dell'I.G.M. in scala 1:25.000 **Fig. 3.2/A**;
- nel Foglio 555 n. 120 "Villamassargia" del CTR numerico della Regione Sardegna in scala 1:10.000 **Fig. 3.2/B**;

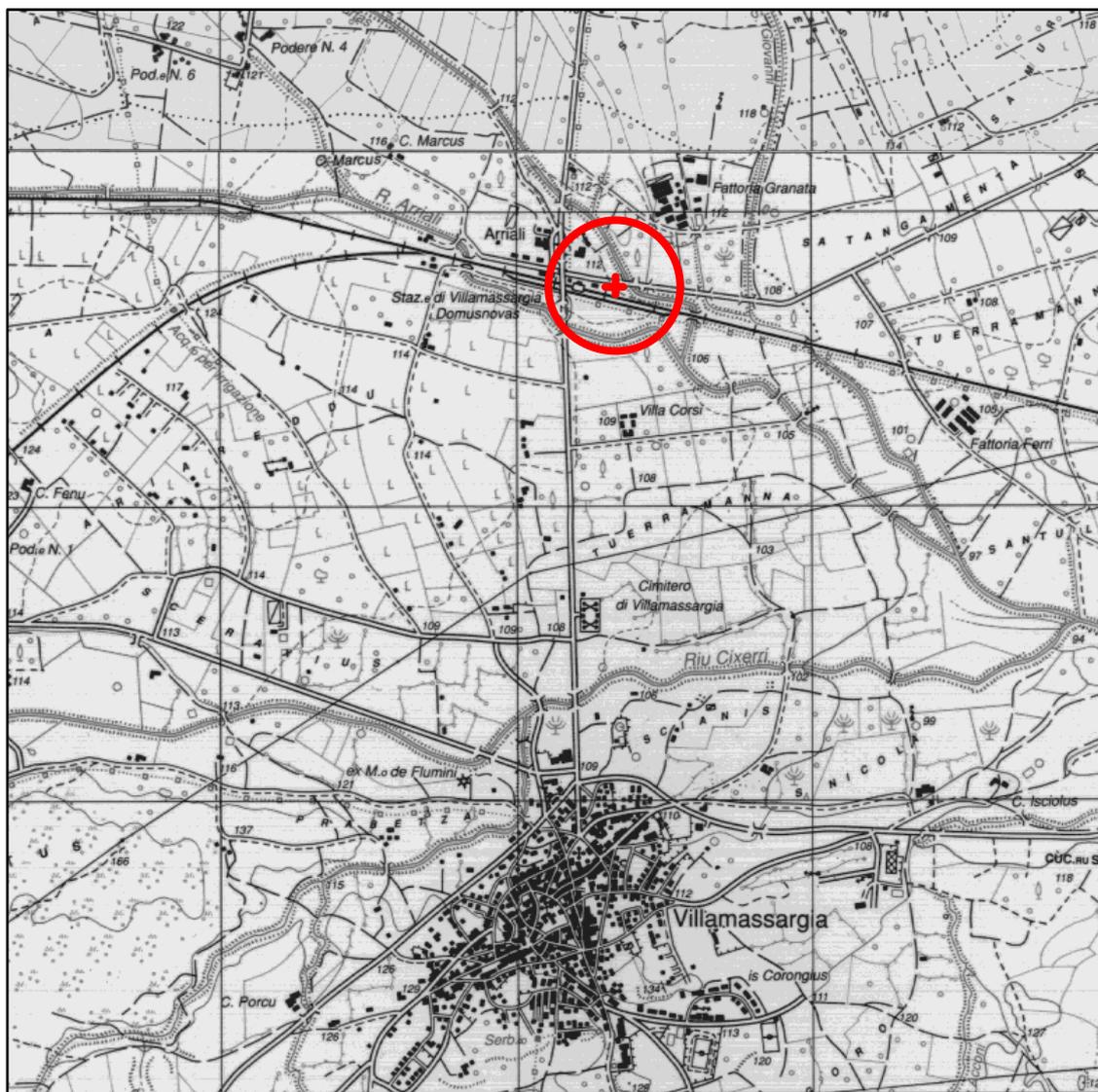


Fig. 3.2/A: Stralcio del foglio 555 sez. II "Villamassargia" della carta dell'I.G.M. in scala 1:25.000.

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	Fg.5 di 21
				Rev. 0

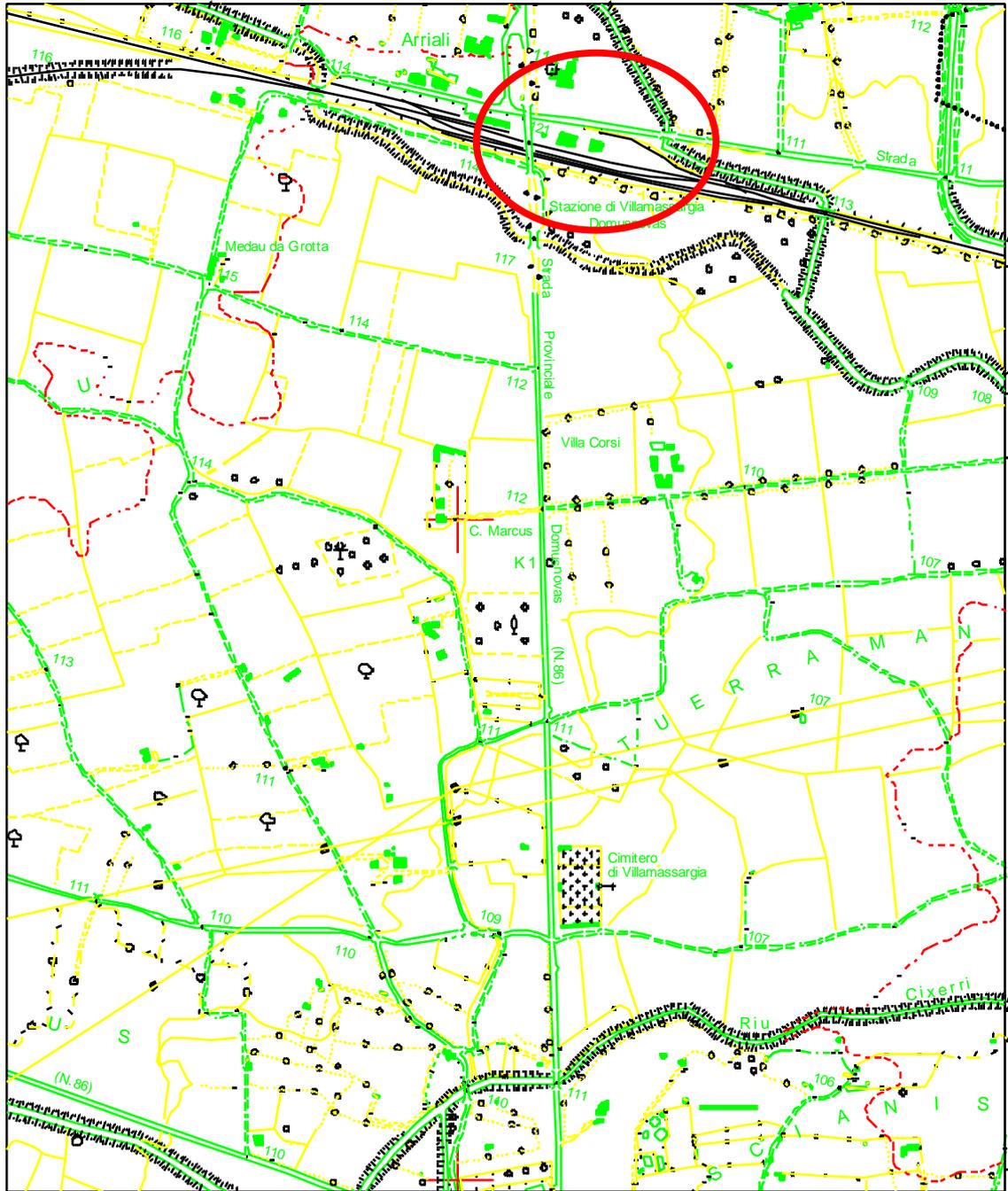


Fig. 3.2/B. Stralcio del foglio 555 n° 120 "Villamassargia" del CTR della Sardegna in scala 1:10.000.

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia			Fg.6 di 21



Fig. 3.2/C. Vista aerea dell'area di interesse

4. MODELLO GEOLOGICO

La formulazione del modello geologico del sottosuolo è stata possibile oltre che dal rilievo geologico di superficie anche dall'indagine geognostica eseguita in fase di progettazione del gasdotto Galsi. Il tracciato di questo infatti passa a nord dell'area di interesse Fig. 4/A.

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	Rev. 0

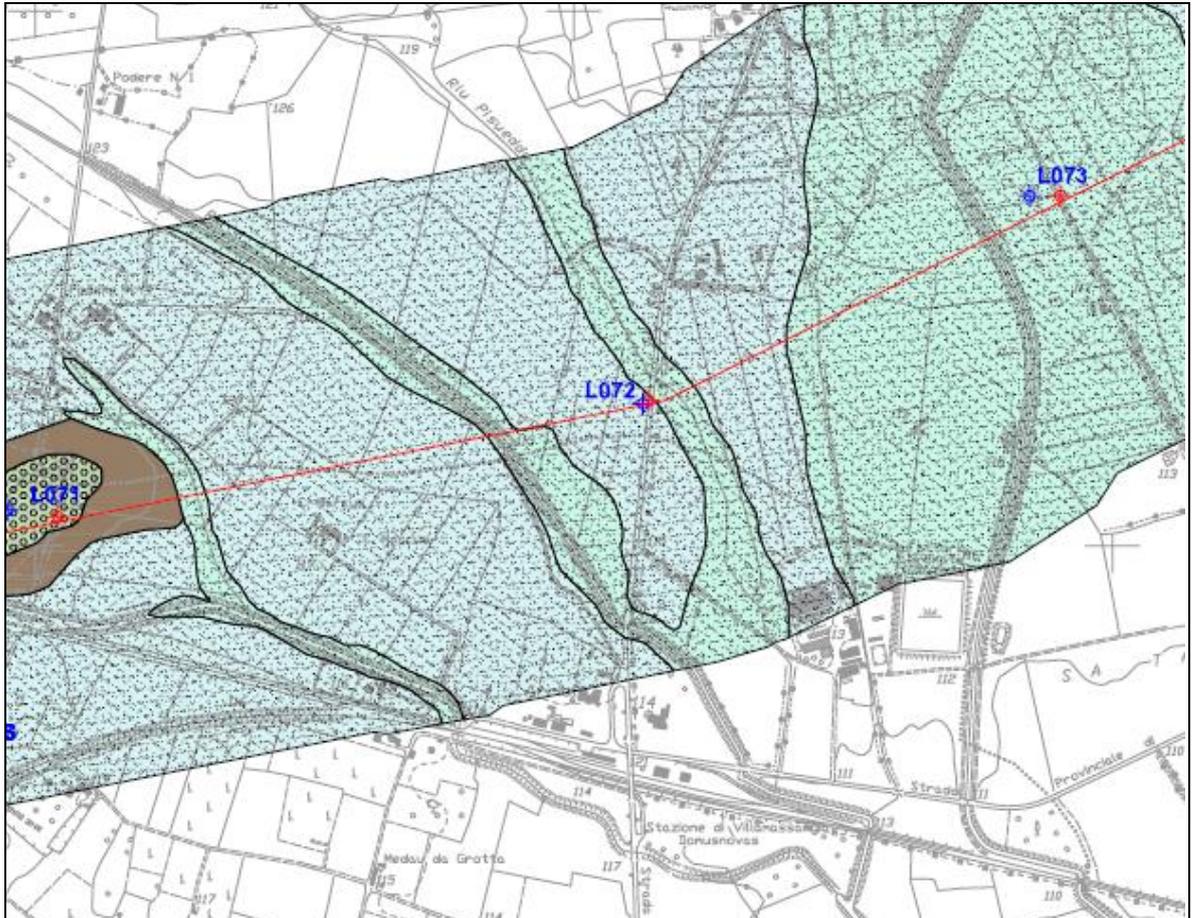


Fig. 4/A: ubicazione delle indagini geognostiche del gasdotto Galsi.

Nello specifico sono risultate utili ai fini del presente studio i sondaggi denominati L071, L072 e L073. Tali sondaggi hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 4,90, 10 e 10 m ritenute, vista la natura delle opere in progetto, sufficienti a definire dal punto di vista geologico e geotecnico il volume significativo. Nelle figure seguenti si riportano le stratigrafie dei terreni investigati.

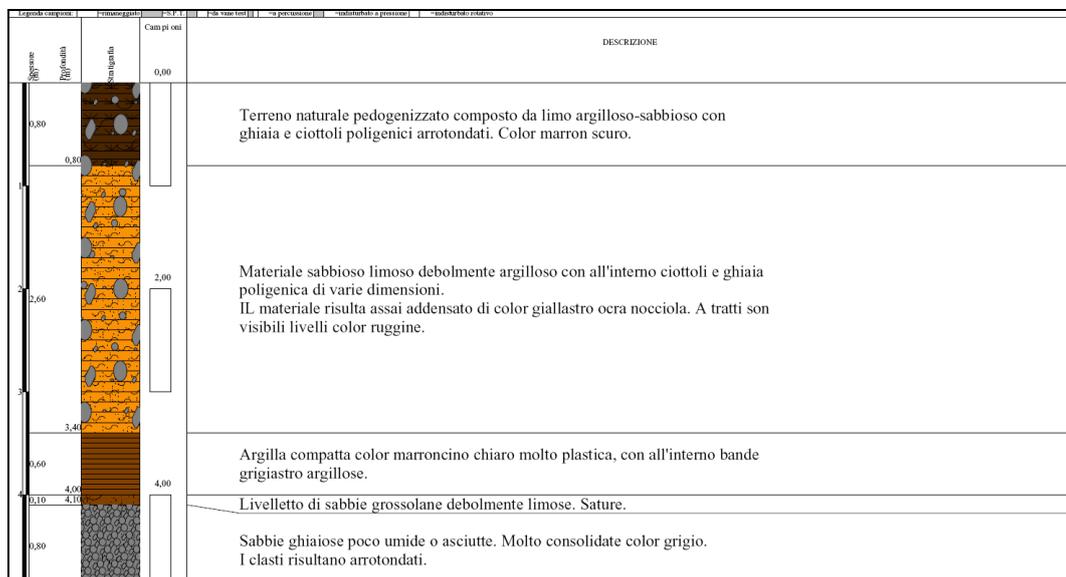


Fig. 4/B: stratigrafia del sondaggio L071

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	
				Fg.8 di 21

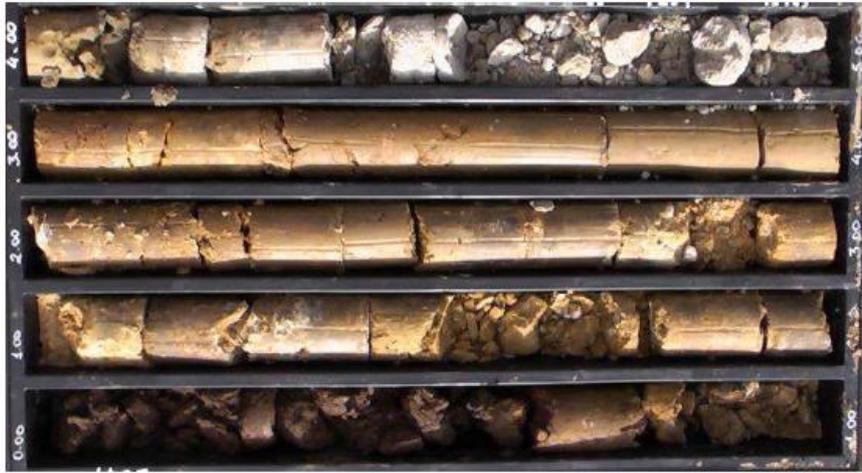


Fig. 4/C: restituzione fotografica della stratigrafia del sondaggio L071

metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	S.P.T.		RQD %	prof. m	DESCRIZIONE
					0 --- 100	S.P.T.			
0.00									
0.40		1) Dis < 0,40						0,4	Argille leggermente sabbiose ghiaiose con clasti millimetrici eterogenei spigolosi. Colore marrone scuro. Leggermente umida. Resti di apparati radicali.
1.40		1,40							Ghiaie argilloso limose con clasti eterometrici poligenici da subarrotondati ad arrotondati. Il materiale risulta asciutto e di color marrone chiaro.
3.20								3,2	Argille leggermente sabbiose umide di color marrone chiaro.
4.50		2) Dis < 4,50						4,5	Sabbie argillose di color grigio da debolmente umide ad asciutte.
5.50		5,50							
8.50		3) Dis < 8,50						9,5	Sabbie limose asciutte di color marrone chiaro.
9.50		9,50						10,0	
10.00									

Fig. 4/D: stratigrafia del sondaggio L072

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	
				Fg.9 di 21

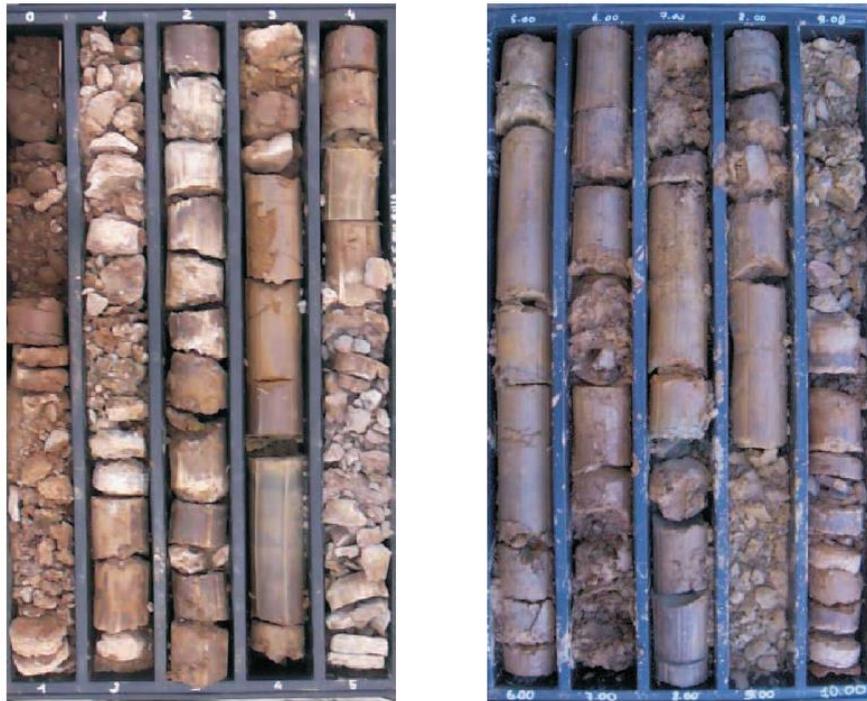


Fig. 4/E: restituzione fotografica della stratigrafia del sondaggio L072

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:		Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia			Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia			Fg.10 di 21	Rev. 0



Fig. 4/G: stratigrafia del sondaggio L073

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	
				Fg.11 di 21



Fig. 4/H: restituzione fotografica della stratigrafia del sondaggio L072

Come si evince dalle stratigrafie il volume significativo è da considerarsi, limitatamente alle profondità raggiunte come un terreno multistrato costituito da livelli da decimetrici a metrici di sedimenti alluvionali a varia granulometria tipico della deposizione fluviale. Delle tre stratigrafie la più significativa è quella del sondaggio L072 in quanto questo sondaggio ha interessato direttamente lo stesso deposito che costituisce il terreno di sedime delle opere in progetto.

5. FONDAZIONI: TIPOLOGIA, RESISTENZE E CEDIMENTI

5.1. Opere in progetto

Il progetto prevede la realizzazione di un centro intermodale (**Fig. 5.1/A**) da realizzarsi nel piazzale antistante la stazione della ferrovia. Pur costituendo un intervento articolato dal punto di vista geotecnico e quindi dei carichi trasmessi nel sottosuolo si può far rientrare tra gli interventi di modesta entità. L'analisi degli elaborati progettuali ha permesso di individuare, tra le strutture capaci di trasmettere carichi nel sottosuolo, quanto segue:

- Muro di contenimento;
- Fondazioni recinzioni;
- Massciata per pavimentazione piazzale.

Muro di contenimento

Il muro di contenimento dovrà essere realizzato lungo il perimetro NE del centro intermodale, in corrispondenza di un canale e per una lunghezza è di circa 23. Nella Fig. 5.1/B si riportano i particolari costruttivi.

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO: Dott. Geol. Marco Pilia	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Incarico del Luglio/2015	
				Fig.12 di 21

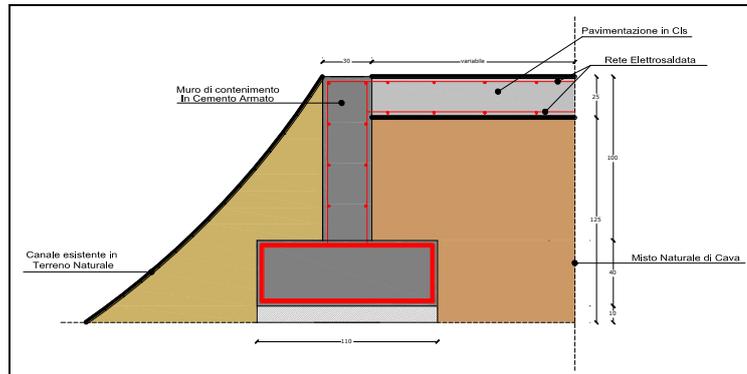


Fig. 5.1/B: particolare della struttura Muro di contenimento

Fondazioni recinzioni

Questa opera sarà realizzata lungo il perimetro del centro intermodale. **Fig. 5.1/C**

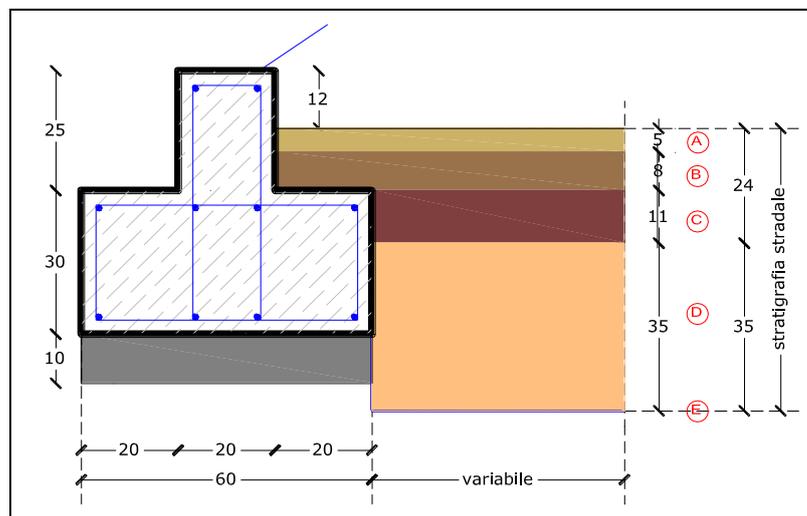


Fig. 5.1/C: particolare della struttura Fondazioni recinzioni

Massciata per pavimentazione piazzale.

L'opera (**Fig. 5.1/D**) riveste particolare importanza per la natura del progetto in quanto il sottofondo avrà il compito di sostenere il carico dinamico esercitato dai mezzi che insisteranno sul piazzale.

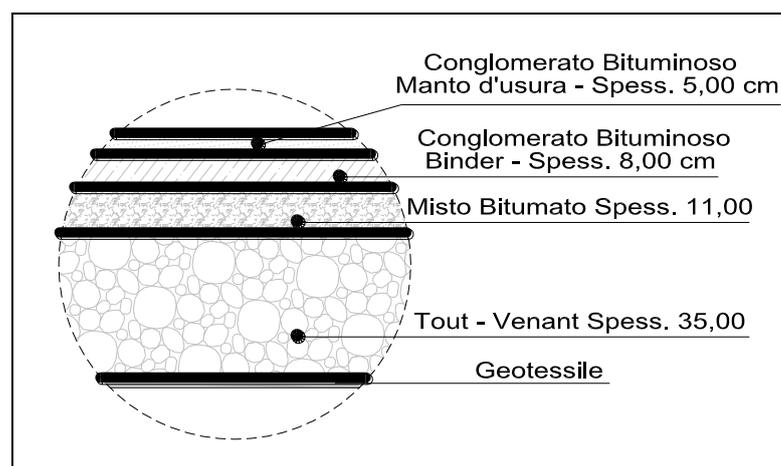


Fig. 5.1/D: particolare della massciata piazzale

 Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.13 di 21	Rev. 0

5.2. Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno

Ai fini della definizione esecutiva dell'intervento in progetto, sono state sviluppate apposite indagini (rilievi topografici di dettaglio, indagini geognostiche, analisi generali di carattere geologico), i cui risultati hanno permesso la definizione degli aspetti progettuali correlati alle problematiche accertate; ovvero: le condizioni morfologiche, litologiche e geotecniche dei terreni.

La caratterizzazione del sito, la definizione dell'assetto litologico e la modellazione geotecnica, costituiscono una delle basi progettuali dell'opera. Tali valutazioni, basate sui risultati delle indagini geognostiche effettuate, sono state ritenute commisurate alla dimensione ed alla scala del problema, all'importanza ed all'estensione dell'opera, e conseguentemente alle finalità progettuali. La profondità e l'estensione delle analisi condotte comprendono, infatti, i volumi di terreno direttamente od indirettamente coinvolti dalle sollecitazioni di progetto.

Nello specifico in letteratura sono disponibili i valori dei parametri geotecnici.

Nella stratigrafia del sondaggio L072 è presente uno strato superficiale (0,40 m) pedogenizzato che non sarà considerato in quanto in corrispondenza dell'area di interesse sostituito da pavimentazione stradale. Ne consegue che la stratigrafia geotecnica è composta da 4 strati.

Nella **Tab. 5.2/A** si riportano natura, profondità e potenza dei diversi litotipi costituenti il volume significativo, mentre in **Tab. 5.2/B** i valori dei parametri geotecnici caratteristici.

Strato	Profondità m	Spessore m	Litotipo
1	da 0,00 a 3,20	3,20	Depositi alluvionali da sabbiosi a sabbioso – limoso Ciottolosi in profondità
2	da 3,20 a 4,50	1,30	
3	da 4,50 a 9,50	5,00	
4	da 9,50 a 10,00	0,50	

Tab. 5.2/A: litotipi costituenti i diversi strati geo-meccanici

Strato	Profondità m	Parametri geotecnici			
		Dr %	ϕ °	γ t/mc	Mo kg/cm ²
1	da 0,00 a 3,20	70	35	1850	250
2	da 3,20 a 4,50	70	26	1750	100
3	da 4,50 a 9,50	70	28	1750	120
4	da 9,50 a 10,00	70	26	1750	100

Tab. 5.2/B: valore del grado di addensamento, angolo di attrito interno e peso di volume naturale e modulo di deformazione elastico

5.3. Caratteristiche tipologiche delle fondazioni

La natura e le caratteristiche del terreno di fondazione, unitamente alle indicazioni progettuali di massima (con previsione di limitati carichi trasmessi sul terreno), sono tali da consentire l'uso generalizzato di fondazioni dirette superficiali del tipo Trave Rovescia

5.4. Carico limite delle fondazioni dirette (Resistenza Rd)

In accordo alle N.T.C., par. 6.2.3.1.2, di seguito sono esposti i risultati ottenuti per i valori della resistenza R nei riguardi degli stati limite di resistenza con il "metodo dei coefficienti parziali".

 Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.14 di 21	Rev. 0

A tal fine si utilizzano il “modello geotecnico” ed i “parametri caratteristici” riassunti nella precedente **Tab. 4.2/D** ed i “coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno” esposti nelle N.T.C., Par. 6.2.3.1.2 *Resistenze*, nelle due condizioni:

- Verifiche allo Stato Limite Ultimo [Condizioni SLU (M1 e M2)];
- Verifiche agli Stati Limite di Esercizio [Condizioni SLE coincidente con la condizione SLU (M1)].

I valori caratteristici dei parametri geotecnici del terreno sono stati divisi per i coefficienti parziali γ_M specificati nella successiva **Tab. 5.4/A**, desunta dalla normativa citata.

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale γ_M		Parametro di calcolo		Strato
		(M1)	(M2)	(M1)	(M2)	
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\phi'_k$	$\gamma_\phi = 1.0$	$\gamma_\phi = 1.25$	$\phi = 35.00^\circ$	$\phi = 28.00^\circ$	1 2 3 4
				$\phi = 26.00^\circ$	$\phi = 20.80^\circ$	
				$\phi = 28.00^\circ$	$\phi = 22.40$	
				$\phi = 26.00^\circ$	$\phi = 20.80$	
Coesione efficace (kN/m^2)	c'_k	$\gamma_c = 1.0$	$\gamma_c = 1.25$	$c = 0.0$	$c = 0.0$	Tutti gli strati
Peso di volume (t/m^3)	γ	$\gamma_\gamma = 1.0$	$\gamma_\gamma = 1.0$	$\gamma = 1.850$	$\gamma = 1.850$	1 2 3 4
				$\gamma = 1.750$	$\gamma = 1.750$	
				$\gamma = 1.750$	$\gamma = 1.750$	
				$\gamma = 1.750$	$\gamma = 1.750$	

Tab. 5.4/A: Coefficienti parziali e parametri geotecnici di calcolo

Il carico limite, R, per le fondazioni dirette è stato calcolato, mediante apposito foglio di calcolo basato sulla formula di Brinch-Hansen (1970)

$$R = 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + \sigma_{v0} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c$$

in funzione delle dimensioni minime (B) dell'impronta di fondazione, sotto le due ipotesi di calcolo:

- carico esterno perfettamente centrato, essendo necessario tenere conto dell'eccentricità dei carichi con il valore massimo esposto nel successivo paragrafo;
- fondazioni rigide.

Muro di sostegno

Come evidenziato per questa struttura si è optato, in fase progettuale, per fondazioni dirette superficiali nastriformi tipo trave rovescia **Fig.5.1/A**. Estendendo il calcolo di R ed Rd ad un carico di progetto di 60 ton ad una fondazione a geometria variabile (con lato **B = 1.00 ÷ 2.00 m**) poggiante alla profondità **D = 1.00 ÷ 3.00 m** rispetto al p.c. finale, si ottengono i risultati di **Tab. 5.4/B.** e **5.4/C** sia per lo stato limite ultimo **S.L.U**, sia per quello di esercizio **S.L.E**.

	B (m)	L (m)	D (m)	Carico SLU l2 (kg/cmq)	Carico di progetto
1	1,00	23,00	1,50	0,16	0,274
2	1,20	23,00	1,50	0,16	0,228
3	1,40	23,00	1,50	0,16	0,196
4	1,60	23,00	1,50	0,18	0,171
5	1,80	23,00	1,50	0,18	0,152
6	2,00	23,00	1,50	0,20	0,137
7	1,00	23,00	2,00	0,31	0,274

Tab. 5.4/B(seg): Valori di R per fondazioni S.L.U

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia			
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia			Fg.15 di 21

	B (m)	L (m)	D (m)	Carico SLU I2 (kg/cmq)	Carico di progetto
8	1,20	23,00	2,00	0,31	0,228
9	1,40	23,00	2,00	0,31	0,196
10	1,60	23,00	2,00	0,31	0,171
11	1,80	23,00	2,00	0,32	0,152
12	2,00	23,00	2,00	0,34	0,137
13	1,00	23,00	2,50	0,45	0,274
14	1,20	23,00	2,50	0,45	0,228
15	1,40	23,00	2,50	0,45	0,196
16	1,60	23,00	2,50	0,45	0,171
17	1,80	23,00	2,50	0,47	0,152
18	2,00	23,00	2,50	0,47	0,137
19	1,00	23,00	3,00	0,59	0,274
20	1,20	23,00	3,00	0,59	0,228
21	1,40	23,00	3,00	0,59	0,196
22	1,60	23,00	3,00	0,61	0,171
23	1,80	23,00	3,00	0,61	0,152
24	2,00	23,00	3,00	0,86	0,137

Tab. 5.4/B: Valori di R per fondazioni S.L.U

	B (m)	L (m)	D (m)	Carico S.L.E (kg/cmq)
1	1,00	23,00	1,50	0,35
2	1,20	23,00	1,50	0,36
3	1,40	23,00	1,50	0,39
4	1,60	23,00	1,50	0,42
5	1,80	23,00	1,50	0,45
6	2,00	23,00	1,50	0,48
7	1,00	23,00	2,00	0,62
8	1,20	23,00	2,00	0,63
9	1,40	23,00	2,00	0,66
10	1,60	23,00	2,00	0,68
11	1,80	23,00	2,00	0,71
12	2,00	23,00	2,00	0,75
13	1,00	23,00	2,50	0,90
14	1,20	23,00	2,50	0,91
15	1,40	23,00	2,50	0,94
16	1,60	23,00	2,50	0,96
17	1,80	23,00	2,50	0,98
18	2,00	23,00	2,50	1,02
19	1,00	23,00	3,00	1,19
20	1,20	23,00	3,00	1,20
21	1,40	23,00	3,00	1,33
22	1,60	23,00	3,00	1,25
23	1,80	23,00	3,00	1,26
24	2,00	23,00	3,00	1,68

Tab. 5.4/C: Valori di R per fondazioni S.L.E

In particolare (cfr. par. 6.2.3.1 N.T.C.) nelle verifiche agli Stati Limite, per le resistenze, il relativo valore di progetto dovrà essere calcolato come:

$$R_d = \frac{R}{\gamma_R}$$

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia			
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia			Fg.16 di 21

Il Progettista dovrà tener conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (cfr. N.T.C., par. 6.4 Opere di Fondazione e 6.5 Opere di Sostegno).

Nel caso specifico trattandosi di opere di fondazione si applica un γ_R pari a 1.80. In **Tab. 5.4/D** si riportano i valori di R_d

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico SLU I2 (kg/cm²)</i>	<i>Carico di progetto</i>
1	1,00	23,00	1,50	0,09	0,274
2	1,20	23,00	1,50	0,09	0,228
3	1,40	23,00	1,50	0,09	0,196
4	1,60	23,00	1,50	0,1	0,171
5	1,80	23,00	1,50	0,1	0,152
6	2,00	23,00	1,50	0,11	0,137
7	1,00	23,00	2,00	0,17	0,274
8	1,20	23,00	2,00	0,17	0,228
9	1,40	23,00	2,00	0,17	0,196
10	1,60	23,00	2,00	0,17	0,171
11	1,80	23,00	2,00	0,18	0,152
12	2,00	23,00	2,00	0,19	0,137
13	1,00	23,00	2,50	0,25	0,274
14	1,20	23,00	2,50	0,25	0,228
15	1,40	23,00	2,50	0,25	0,196
16	1,60	23,00	2,50	0,25	0,171
17	1,80	23,00	2,50	0,26	0,152
18	2,00	23,00	2,50	0,26	0,137
19	1,00	23,00	3,00	0,33	0,274
20	1,20	23,00	3,00	0,33	0,228
21	1,40	23,00	3,00	0,33	0,196
22	1,60	23,00	3,00	0,34	0,171
23	1,80	23,00	3,00	0,34	0,152
24	2,00	23,00	3,00	0,48	0,137

Tab. 5.4/D: Valori di R_d per opere di fondazione

Fondazioni recinzioni

Come evidenziato per questa struttura si è optato, in fase progettuale per fondazioni dirette superficiali nastriformi tipo trave rovescia. Estendendo il calcolo di R ed R_d ad una fondazione a geometria variabile (con lato $B = 0,30 \div 0,60$ m) poggiante alla profondità $D = 0,30 \div 0,60$ m rispetto al p.c. finale, si ottengono i risultati di **Tab. 5.4/E.** e **5.4/F** sia per lo stato limite ultimo **S.L.U**, sia per quello di esercizio **S.L.E**.

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico SLU I2 (kg/cm²)</i>
1	0,30	5	0,30	1,68
2	0,40	5	0,30	1,73
3	0,50	5	0,30	1,81
4	0,60	5	0,30	1,91
5	0,30	5	0,40	2,08
6	0,40	5	0,40	2,23
7	0,50	5	0,40	2,28
8	0,60	5	0,40	2,36
9	0,30	5	0,50	2,55
10	0,40	5	0,50	2,60
11	0,50	5	0,50	2,79
12	0,60	5	0,50	2,89

Tab. 5.4/E: Valori di R per fondazioni S.L.U

 Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia			
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia			Fg.17 di 21

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico S.L.E (kg/cmq)</i>
1	0,30	5	0,30	3,46
2	0,40	5	0,30	3,64
3	0,50	5	0,30	3,89
4	0,60	5	0,30	4,15
5	0,30	5	0,40	4,23
6	0,40	5	0,40	4,59
7	0,50	5	0,40	4,79
8	0,60	5	0,40	5,03
9	0,30	5	0,50	5,12
10	0,40	5	0,50	5,32
11	0,50	5	0,50	5,76
12	0,60	5	0,50	5,96

Tab. 5.4/F: Valori di R per fondazioni S.L.E

In particolare (cfr. par. 6.2.3.1 N.T.C.) nelle verifiche agli Stati Limite, per le resistenze, il relativo valore di progetto dovrà essere calcolato come:

$$R_d = \frac{R}{\gamma_R}$$

Il Progettista dovrà tener conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (cfr. N.T.C., par. 6.4 Opere di Fondazione e 6.5 Opere di Sostegno).

Nel caso specifico trattandosi di opere di fondazione si applica un γ_R pari a 1.80. In **Tab. 5.4/G** si riportano i valori di R_d

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico SLU I2 (kg/cmq)</i>
1	0,30	5	0,30	0,93
2	0,40	5	0,30	0,96
3	0,50	5	0,30	1,01
4	0,60	5	0,30	1,06
5	0,30	5	0,40	1,16
6	0,40	5	0,40	1,24
7	0,50	5	0,40	1,27
8	0,60	5	0,40	1,31
9	0,30	5	0,50	1,42
10	0,40	5	0,50	1,44
11	0,50	5	0,50	1,55
12	0,60	5	0,50	1,61

Tab. 5.4/G: Valori di R_d per opere di fondazione

5.5. Carichi eccentrici

Si fa osservare che nel caso di carico eccentrico, con eccentricità e_B in una data direzione (B), si deve fare riferimento alle dimensioni equivalenti (area equivalente) della fondazione (Meyerhof, 1963). Analogamente, nel caso di carico eccentrico in entrambe le direzioni:

$$A = (B - 2 \cdot e_B) \times (L - 2 \cdot e_L) = B' \times L'$$

Il concetto dell'area equivalente (= area rispetto alla quale il carico esterno risulta baricentrico) è rappresentato dalla precedente espressione.

Pertanto, il tasso di sollecitazione massimo indotto sul terreno dai carichi di fondazione, sia in relazione al carico limite che ai cedimenti attesi, sarà valutato secondo l'espressione suggerita da Meyerhof (1963):

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia			
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.18 di 21	Rev. 0

$$\sigma_t = \frac{N}{(B - 2e_B)(L - 2e_L)} \quad \text{dove:}$$

- N = carico totale massimo agente sul piano di posa della fondazione;
 B, L = larghezza e lunghezza della fondazione, rispettivamente;
 e_B, e_L = eccentricità di N rispetto a B ed a L.

5.6. Cedimenti

La valutazione dei cedimenti di fondazioni dirette è stata effettuata mediante il programma di calcolo "QSB2", basato sul metodo che prevede la valutazione dell'incremento delle tensioni verticali efficaci secondo la teoria di Boussinesq (1883), e dei cedimenti per ogni verticale in esame secondo l'espressione semplificata:

$$s_t = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma'_{zi}}{M_{0i}} h_i$$

Muro di sostegno

I valori dei cedimenti attesi per impronta di carico infinitamente rigida, per le previste tipologie di fondazione e con carichi di progetto ipotizzati in 0,50 kg/cm² sono riportati in **Tab. 5.6/A**.

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico di progetto (kg/cm²)</i>	<i>Cedimenti s (mm)</i>
1	1,00	23,00	1,50	0,274	3,0
2	1,20	23,00	1,50	0,228	2,8
3	1,40	23,00	1,50	0,196	2,7
4	1,60	23,00	1,50	0,171	2,6
5	1,80	23,00	1,50	0,152	2,5
6	2,00	23,00	1,50	0,137	2,4
7	1,00	23,00	2,00	0,274	3,0
8	1,20	23,00	2,00	0,228	2,9
9	1,40	23,00	2,00	0,196	2,7
10	1,60	23,00	2,00	0,171	2,6
11	1,80	23,00	2,00	0,152	2,6
12	2,00	23,00	2,00	0,137	2,5
13	1,00	23,00	2,50	0,274	3,1
14	1,20	23,00	2,50	0,228	3,0
15	1,40	23,00	2,50	0,196	2,9
16	1,60	23,00	2,50	0,171	2,8
17	1,80	23,00	2,50	0,152	2,7
18	2,00	23,00	2,50	0,137	2,6
19	1,00	23,00	3,00	0,274	2,3
20	1,20	23,00	3,00	0,228	3,3
21	1,40	23,00	3,00	0,196	3,1
22	1,60	23,00	3,00	0,171	2,9
23	1,80	23,00	3,00	0,152	2,8
24	2,00	23,00	3,00	0,137	2,7

Tab. 5.6/A: Cedimenti massimi previsti. Fondazioni rigide "Fondazione Rovescia"

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.19 di 21	Rev. 0

Fondazione recinzione

I valori dei cedimenti attesi per impronta di carico infinitamente rigida, per le previste tipologie di fondazione e con carichi di progetto ipotizzati in $0,5 \text{ kg/cm}^2$ sono riportati in **Tab. 5.6/B**.

	<i>B (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (m)</i>	<i>Carico di progetto (kg/cm²)</i>	<i>Cedimenti s (mm)</i>
1	0,30	5	0,30	0,5	1,5
2	0,40	5	0,30	0,5	1,9
3	0,50	5	0,30	0,5	2,3
4	0,60	5	0,30	0,5	2,7
5	0,30	5	0,40	0,5	1,6
6	0,40	5	0,40	0,5	2,0
7	0,50	5	0,40	0,5	2,3
8	0,60	5	0,40	0,5	2,7
9	0,30	5	0,50	0,5	1,6
10	0,40	5	0,50	0,5	2,0
11	0,50	5	0,50	0,5	2,3
12	0,60	5	0,50	0,5	2,7

Tab. 5.6/B: Cedimenti massimi previsti. Fondazioni rigide "Trave Rovescia"

5.7. Interazione terreno-struttura - [terreno alla Winkler]

Per le valutazioni dell'interazione tra le strutture di fondazione ed il terreno di fondazione, questo può essere caratterizzato mediante l'assunzione di un modulo di reazione verticale.

Il **coefficiente** o **modulo di reazione del terreno** viene definito come quel legame che vi è tra la pressione esercitata su un terreno ed il suo cedimento. Tale strumento è largamente usato nelle analisi strutturali sia per la buona approssimazione dei risultati ottenuti sia per la semplicità d'uso. Viene indicato come:

$$k = q/s \text{ [kg/cm}^3\text{]}$$

dove **q** è la pressione esercitata e **d** è il cedimento.

Bowles (1974) propone la seguente relazione:

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 \times Q \times f_c$$

dove $f_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$ e $Q = \text{carico di esercizio (kPa)}$.

Si tratta di una formula di semplice utilizzo, ma che generalmente conduce a valori di k eccessivamente conservativi. Si consiglia di usarla solo per ottenere una prima indicazione.

Di seguito in **Tab. 5.7/A** e **Tab. 5.7/B** e **5.7/C** si riportano i valori del modulo di reazione del terreno calcolati sulla base del carico di progetto rispettivamente per la "fondazione recinzione ($0,5 \text{ kg/cm}^2$)" "Muro di contenimento ($0,50 \text{ kg/cm}^2$)" e "Massciata"

COMMITTENTE:  Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.20 di 21	Rev. 0

	B	L	D	Ed	s	Valori k
	m	m	m		mm	Kg/cm ³
1	0,30	5	0,30	0,50	3	5,0
2	0,40	5	0,30	0,50	2,6	5,8
3	0,50	5	0,30	0,50	2,3	6,5
4	0,60	5	0,30	0,50	2,1	7,1
5	0,30	5	0,40	0,50	2,9	5,0
6	0,40	5	0,40	0,50	2,5	5,8
7	0,50	5	0,40	0,50	2,2	6,5
8	0,60	5	0,40	0,50	2	7,1
9	0,30	5	0,50	0,50	3	5,0
10	0,40	5	0,50	0,50	2,6	5,8
11	0,50	5	0,50	0,50	2,3	6,5
12	0,60	5	0,50	0,50	2,1	7,1

Tab.5.7/A: modulo di reazione per i terreni di sedime per la fondazione "trave rovescia"

	B	L	D	Ed	s	Valori k
	m	m	m	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ³
1	1,00	23,00	1,50	0,274	3,0	2,73
2	1,20	23,00	1,50	0,228	2,8	2,35
3	1,40	23,00	1,50	0,196	2,7	2,17
4	1,60	23,00	1,50	0,171	2,6	2,04
5	1,80	23,00	1,50	0,152	2,5	1,81
6	2,00	23,00	1,50	0,137	2,4	1,71
7	1,00	23,00	2,00	0,274	3,0	2,73
8	1,20	23,00	2,00	0,228	2,9	2,35
9	1,40	23,00	2,00	0,196	2,7	2,17
10	1,60	23,00	2,00	0,171	2,6	2,04
11	1,80	23,00	2,00	0,152	2,6	1,81
12	2,00	23,00	2,00	0,137	2,5	1,71
13	1,00	23,00	2,50	0,274	3,1	2,73
14	1,20	23,00	2,50	0,228	3,0	2,35
15	1,40	23,00	2,50	0,196	2,9	2,17
16	1,60	23,00	2,50	0,171	2,8	2,04
17	1,80	23,00	2,50	0,152	2,7	1,81
18	2,00	23,00	2,50	0,137	2,6	1,71
19	1,00	23,00	3,00	0,274	2,3	2,73
20	1,20	23,00	3,00	0,228	3,3	2,35
21	1,40	23,00	3,00	0,196	3,1	2,17
22	1,60	23,00	3,00	0,171	2,9	2,04
23	1,80	23,00	3,00	0,152	2,8	1,81
24	2,00	23,00	3,00	0,137	2,7	1,71

Tab. 5.7/B: modulo di reazione per i terreni di sedime per la fondazione "plinto"

Massciata per pavimentazione.

 Comune di Villamassargia Piazza del Pillar, 28	IL GEOLOGO:	Comune di Villamassargia Provincia Carbonia - Iglesias	RELAZIONE GEOTECNICA	
	Dott. Geol. Marco Pilia		Incarico del Luglio/2015	
	Realizzazione del centro intermodale di Villamassargia		Fg.21 di 21	Rev. 0

Come evidenziato dai calcoli per le due fondazioni sono stati ottenuti valori della costante di sottofondazione valori compresi tra 1,71 ed un massimo di 7,1 kg/cm³

Ai fini del dimensionamento della massciata si adotta un valore di

$$K = 5 \text{ kg/cm}^3$$

6. CONCLUSIONI

In relazione ai dati scaturiti dai calcoli geotecnici si possono riassumere le seguenti considerazioni conclusive:

- il calcolo delle Resistenze Rd eseguito con il metodo degli stati limite ha fornito, per fondazioni superficiali tipo trave rovescia “fondazione recezione”, valori compresi, **Tab. 5.4/D**, tra un minimo di 0,93 ad un massimo di 1,61 kg/cm²;
- il calcolo delle Resistenze Rd eseguito con il metodo degli stati limite ha fornito, per fondazioni superficiali tipo trave rovescia “muro di contenimento”, valori compresi, **Tab. 5.4/G**, tra un minimo di 0,09 ad un massimo di 0,48 kg/cm²;
- utilizzando i carichi di progetto derivanti dalle diverse geometrie delle fondazioni è stato eseguito il calcolo dei cedimenti delle fondazioni, che hanno fornito valori, **Tab. 5.6/A**, valori molto bassi limitati a qualche millimetro.

Sulla base delle considerazioni su esposte, nella realizzazione dell’opera in progetto, non esistono particolari problematiche dal punto di vista geotecnico da inficiarne la realizzazione.

Cagliari, luglio 2016

Il Geologo

