

S.S.121 "Catane"se"
Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – rotatoria Bolognetta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. UP62

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Luigi Mupo

OPERE D'ARTE MAGGIORI

GALLERIE

GA03 – GALLERIA ARTIFICIALE INCORBINA

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	UP62_P00GA03STRRE01_A			
DPUP0062	D 23	CODICE ELAB.	P00GA03STRRE01	A	-
D		-	-		
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	FEB. 2023	E. SOLTANI	E. STRAMACCI	G.PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

INDICE

1	GENERALITA'	3
1.1	OGGETTO.....	3
1.2	VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'OPERA	3
1.2.1	<i>Vita Nominale V_N</i>	3
1.2.2	<i>Classi d'Uso</i>	4
1.2.3	<i>Periodo di Riferimento per l'azione sismica</i>	4
1.3	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	5
1.3.1	<i>Galleria artificiale</i>	5
1.3.2	<i>Paratie di imbocco</i>	7
2	NORMATIVE E RIFERIMENTI	8
3	NORME TECNICHE	8
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E RESISTENZE DI PROGETTO	9
4.1	CALCESTRUZZI	9
4.1.1	<i>Caratteristiche ai fini della durabilità</i>	9
4.1.2	<i>Copriferri nominali</i>	12
4.1.3	<i>Resistenze di progetto</i>	13
4.1.4	<i>Verifiche a fessurazione</i>	15
4.2	ACCIAIO IN BARRE PER CEMENTO ARMATO E RETI ELETTRISALDATE.....	16
4.2.1	<i>Qualità dell'acciaio</i>	16
4.2.2	<i>Resistenze di progetto</i>	16
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	17
5.1	STRATIGRAFIA DI CALCOLO	17
6	CRITERI DI VERIFICA DELLE PARATIE	21
6.1	MODELLO DI CALCOLO.....	21
6.2	COEFFICIENTI DI SPINTA	22
6.3	STORIE DI CARICO.....	24

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

7	ANALISI DEI CARICHI	26
7.1	ANALISI ESEGUITE.....	26
7.2	AZIONE SISMICA.....	26
7.3	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI.....	27
7.4	SPINTA DELLE TERRE	27
7.5	CARICHI ACCIDENTALI	27
7.6	COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	28
8	MODELLO DI ANALISI E RISULTATI.....	30
8.1	GALLERIA ARTIFICIALE.....	30
8.2	SINTESI DEI RISULTATI.....	36
9	VERIFICHE STRUTTURALI	41
9.1	SOLETTA DI COPERTURA – SEZIONI DI VERIFICA.....	41
9.2	PALI IN C.A. – SEZIONI DI VERIFICA	41
9.3	VERIFICHE A FLESSIONE – SOLETTA.....	42
9.4	VERIFICHE A TAGLIO – SOLETTA.....	49
9.5	VERIFICHE A FLESSIONE E A TAGLIO – PALI IN C.A.....	50
10	VERIFICHE GEOTECNICHE	56
10.1	VERIFICA DEL GRADO DI MOBILITAZIONE DI SPINTA PASSIVA	56
10.2	VERIFICHE DI PORTANZA SLU DEI PALI DELLA GALLERIA	56
10.2.1	<i>Criteria di Calcolo.....</i>	56
10.2.2	<i>Applicazione al caso in oggetto.....</i>	59
11	ALLEGATI.....	62
11.1	VERIFICHE GEOTECNICHE DI PORTANZA PER I SETTI IN PALI TRIVELLATI	62

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

1 GENERALITA'

1.1 Oggetto

La presente relazione illustra l'analisi e le verifiche strutturali e geotecniche effettuate per la **Galleria artificiale Incorbina** alle **progressive pr 5+780.00 e pr 5+935.00** dell'asse principale dei lavori di realizzazione dell'ammmodernamento dell'itinerario Palermo – Agrigento (S.S. 121 – Catanese) tratto Palermo (A19) – rotatoria Bolognetta.

I calcoli e le verifiche strutturali di resistenza relative alle sezioni più sollecitate sono stati elaborati utilizzando lo schema statico bidimensionale nel rispetto del metodo semiprobabilistico agli stati limite. Gli stati limite di tipo geotecnico vengono verificati secondo l'equilibrio limite.

Le analisi e le verifiche statiche sono condotte conformemente al livello di Progettazione Definitiva di cui trattasi e mirano al dimensionamento degli elementi principali per consentirne una piena definizione dal punto di vista prestazionale ed economico (§art. 26 e 29 D.P.R. 5/10/2010, n°207).

Le analisi e le verifiche degli aspetti di dettaglio, saranno sviluppate nella successiva fase di Progettazione Esecutiva.

1.2 Vita Nominale di progetto, Classe d'uso e Periodo di Riferimento dell'opera

1.2.1 Vita Nominale V_N

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. (§ 2.4.1 NTC2018). Tali valori possono essere impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1.1 – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

È stato assunto:

- Vita Nominale di progetto: $V_N = 50$ anni (costruzioni con livelli di prestazione ordinari).

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

1.2.2 Classi d'Uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite (§2.4.2 NTC2018):

- Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Relativamente alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, delle opere di cui trattasi, vi si attribuisce:

- Classe d'Uso: **IV**;
- Coefficiente d'Uso: $C_U = 2.0$.

1.2.3 Periodo di Riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento, impiegato nella valutazione delle azioni sismiche risulta pari a:

- Periodo di Riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

1.3 Descrizione delle opere

Le opere oggetto della relazione sono le seguenti:

- Paratia di imbocco in SX e in DX (da pk 5+780.00 m a pk 5+795.00 m, $L_{tot} = 15$ m)
- Galleria GA03 doppia canna (da pk 5+795.00 m a pk 5+920.00 m, $L_{tot} = 125$ m)
- Galleria GA03 canna singola in DX (da pk 5+920.00 m a pk 5+935.00 m, $L_{tot} = 15$ m)

Per uno sviluppo totale complessivo di circa 155 m.

1.3.1 Galleria artificiale

Le strutture portanti della galleria artificiale sono costituite da paratie di pali trivellati di grande diametro disposti ad interasse ravvicinato; la soletta di copertura e quella di fondo in c.a. sono realizzate attraverso getti controterra.

I pali e la soletta di copertura realizzano un telaio che svolge funzione portante i carichi verticali e di contrasto delle spinte laterali esercitate dal terreno.

La soletta di fondo ha esclusiva funzione di puntone al piede.

La galleria è scavata con metodo Top-Down; ovvero lo scavo avviene sotto copertura solo dopo aver realizzato le paratie di pali laterali e il solettone superiore.

Nel dettaglio, sono previste le seguenti fasi costruttive:

1. Sbancamento fino alla quota di imposta del solettone di copertura;
2. Esecuzione paratie di pali della galleria artificiale;
3. Esecuzione solettone superiore con getto contro terra;
4. Esecuzione impermeabilizzazione della soletta di copertura;
5. Ritombamento delle gallerie artificiali;
6. Rimodellamento secondo progetto;
7. Esecuzione scavo progressivo del terreno sottocopertura fino alla quota di imposta della soletta di fondo;
8. Esecuzione del solettone di fondo e completamento finiture interne.

Gli elementi strutturali hanno le seguenti caratteristiche:

- pali trivellati in c.a. di diametro 1.20 m ad interasse 1.40 m, la lunghezza totale dei pali è di 30.00 m per i pali centrali e di 20.00 m per i pali laterali;
- solettone di copertura in c.a. di spessore 1.50 m;
- soletta di fondazione in c.a. di spessore 0.80 m.

L'altezza massima del ricoprimento di terreno al disopra del solettone di copertura è pari a 1.00 m.

1.3.2 Paratie di imbocco

Le paratie di imbocco sono realizzate con pali trivellati $\phi 1200$ disposti ad interasse 1.40 m. Per i calcoli [si fa riferimento all'altezza massima di scavo](#).

La fase più critica è quella rappresentata dalla massima altezza di scavo e precedente alla realizzazione di una soletta di fondo con funzione di contrasto al piede, gettata tra i due ordini di paratie contrapposte.

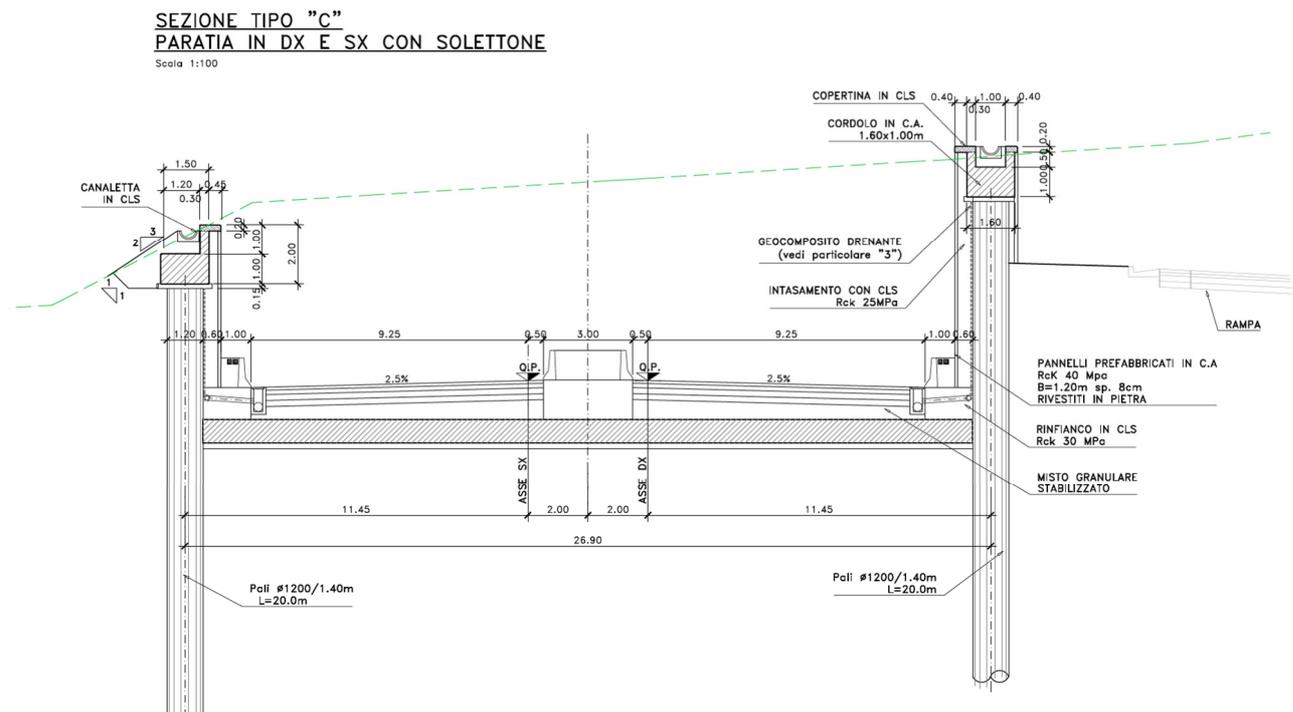


Figura 1-3 sezione tipo paratia in DX e in SX

S.S.121 "Cataneese" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI

Le analisi e le verifiche delle strutture sono state effettuate nel rispetto della seguente normativa vigente:

- [D_1]. DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>> (nel seguito indicate come NTC18).
- [D_2]. Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018, supplemento ordinario n° 5 alla G. U. n° 35 del 11/02/2019 (nel seguito indicate come CNTC18).
- [D_3]. Norma Europea UNI EN 206: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità (Dicembre 2016).
- [D_4]. Norma Italiana UNI 11104: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206 (luglio 2016).

3 NORME TECNICHE

Il metodo di calcolo adottato è quello semiprobabilistico agli stati limite, con applicazione di coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni, variabili in ragione dello stato limite indagato.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E RESISTENZE DI PROGETTO

4.1 Calcestruzzi

4.1.1 Caratteristiche ai fini della durabilità

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alle norme EN206 e UNI 11104.

Relativamente alla scelta delle classi di esposizione, in accordo alla “Classificazione del livello di rischio di attacco del gelo per aree climatiche del territorio italiano” contenuta nell’appendice A alla norma, che attribuisce alla **Sicilia** un livello di rischio **Nullo**, è stata esclusa l’applicazione della classe **XF** (Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti), e conseguentemente della classe **XD** (corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall’acqua di mare).

Relativamente all’applicazione della classe **XA** (Attacco chimico da parte del terreno naturale e delle acque contenute nel terreno), le analisi chimiche eseguite su campioni di terreno e su acqua di falda ai sensi della norma UNI EN 206, hanno evidenziato acidità nei terreni e concentrazioni di CO2 nell’acqua, tali da rientrare nei range illustrati nel prospetto 2 della norma.

Di seguito il prospetto di sintesi riportato nel report “Relazione sul monitoraggio ambientale ante operam”.

Campione		S35_PZ_Amb	S02_DH_Amb	S05_PZ_Amb	S8_PZ_Amb	UNI EN 206:2016		
RAPPORTO DI PROVA		2146213-001	2145765-001	2145765-002	2145765-003			
PROFONDITÀ (m da p.c.)		9 - 10	2 - 3	2 - 3	9 - 10			
PARAMETRO	U.M.	VALORE				XA1 Aggressività debole	XA2 Aggressività moderata	XA3 Aggressività forte
So ²⁻ ₄ (ione solfato)	mg/kg	920	154	40,8	38,9	≥2000e ≤ 3000 _e	>3000 _e e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000
Acidità (Baumann – Gully)	ml NaOH0,1 M/Kg	12	20	12	12	> 200	Non incontrato nella pratica	

Campione		S12_PZ_Amb	S15_PZ_Amb	S20_DH_Amb	S24_PZ_Amb	UNI EN 206:2016		
RAPPORTO DI PROVA		2145765-004	2145765-005	2145765-006	2145765-007			
PROFONDITÀ (m da p.c.)		2 - 3	10 - 11	2 - 3	2 - 3			
PARAMETRO	U.M.	VALORE				XA1 Aggressività debole	XA2 Aggressività moderata	XA3 Aggressività forte
So ²⁻ ₄ (ione solfato)	mg/kg	18000	21	862	44,1	≥2000e ≤ 3000 _e	>3000 _e e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000
Acidità (Baumann – Gully)	ml NaOH0,1 M/Kg	20	16	12	8	> 200	Non incontrato nella pratica	

Tabella 4-1 - Confronto dei risultati analitici sull'aggressività del terreno con i valori delle classi UNI EN 206:2016

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Sulla base delle concentrazioni rilevate, confrontate con i limiti stabiliti dalla norma UNI EN 206:2016, i campioni di terra esaminati risultano non aggressivi fatta eccezione per il campione prelevato in corrispondenza del sondaggio denominato S12_PZ_Amb il quale risulta fortemente aggressivo per il parametro SO_4^{2-} (ione solfato).

Campione		S05_PZ_Amb	S12_PZ_Amb	S28_PZ_Amb	S35_PZ_Amb	S22	SN3	UNI EN 206:2016		
RAPPORTO DI PROVA		2146823-001	2146823-003	2146823-006	2146823-007	2149554-001	2149554-002			
PROFONDITÀ PIEZOMETRO (m da p.c.)		27	27,1	27,5	24,5	28,6	29,5			
PARAMETRO	U.M.	VALORE	VALORE	VALORE	VALORE	VALORE	VALORE	XA1 Aggressività debole	XA2 Aggressività moderata	XA3 Aggressività forte
SO_4^{2-} (ione solfato)	mg/l	511	2599	237	2437	124	177	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3000	> 3000 e ≤ 6000
pH	unità	7,2	7,4	8,7	7,6	7,5	7,6	$\leq 6,5$ e $\geq 5,5$	$< 5,5$ e $\geq 4,5$	$< 4,5$ e $\geq 4,0$
CO ₂ (aggressiva)	mg/l	0,1	1,1	13,2	1,1	< 0,1	< 0,1	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH ⁴⁺ (ione ammonio)	mg NH ₄ /l	< 0,04	0,24	1,1	1,3	0,5	0,6	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100

Tabella 4-2 - Confronto dei risultati analitici sull'aggressività delle acque sotterranee con i valori delle classi UNI EN 206:2016

Sulla base delle concentrazioni rilevate, confrontate con i limiti stabiliti dalla norma UNI EN 206:2016, i campioni di acqua sotterranea prelevati in corrispondenza dei piezometri S12_PZ_Amb e S35_PZ_Amb, denotano un ambiente chimico moderatamente aggressivo per il parametro SO_4^{2-} (ione solfato); i campioni di acqua sotterranea prelevati in corrispondenza dei piezometri S05_PZ_Amb e S28_PZ_Amb, hanno evidenziato valori di concentrazione del parametro SO_4^{2-} (ione solfato) tali per cui si denota un ambiente chimico debolmente aggressivo. Per i restanti campioni prelevati si riscontra la presenza di un ambiente chimico non aggressivo.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Di seguito, per ciascun elemento viene riportata la classe di esposizione che risulta vincolante ai fini delle caratteristiche della miscela. Inoltre, sono riportati la classe di resistenza, i range previsti per le dimensioni massime degli aggregati, la classe di consistenza, il valore massimo del rapporto acqua/cemento, il tipo di cemento da impiegare in funzione della parte d'opera e il contenuto minimo di cemento.

CARATTERISTICHE DEI CALCESTRUZZI (UNI EN 206-1 / UNI 11104)				
CALCESTRUZZO PER	Magrone	Sottofondazioni - Pali trivellati e diaframmi	Galleria - Soletta di copertura e di base	Galleria e paratie - Elevazioni, cordoli di coronamento
Classe di resistenza (fck/Rck) (Mpa)	C12/15	C25/30	C25/30	C32/40
Classe di esposizione ambientale	-	XC2	XC2	XC4
φ max inerti (mm)	Dupper	32	32	25
	Dlower	20	20	16
Classe di consistenza	-	S5	S4	S4
Rapporto max acqua/cemento	-	0.60	0.60	0.50
Tipo di cemento (secondo UNI EN 197-1)	-	CEM IV	CEM IV	CEM IV
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	150	300	300**	340

Tabella 4.3 – Caratteristiche dei Calcestruzzi

* Cemento LH (Low Heat) a basso calore di idratazione.

** I contenuti di cemento indicati saranno verificati in sede di prequalifica, imponendo che il riscaldamento del calcestruzzo del nucleo in condizioni adiabatiche rispetti le seguenti condizioni:

- $\delta T_{3gg} \leq 35^\circ$ per getti di spessore non superiore a 2 m;
- $\delta T_{7gg} \leq 35^\circ$ per getti di spessore superiore a 2 m.

In ogni caso, dovrà essere garantito il rispetto delle classi di esposizione e resistenza sopra indicate.

*** cemento tipo SR resistente ai solfati secondo EN 197/1.

S.S.121 "Catane" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

4.1.2 Copriferrini nominali

I valori minimi dello spessore dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferrino), ai fini della protezione delle armature dalla corrosione, sono riportati nella Tab. C4.1.IV delle circolari applicative §[D_2], nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tab. 4.1.IV delle NTC:

Tabella C4.1.IV - Copriferrini minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C ₀	ambiente	C≥C ₀	C _{min} <C<C ₀	C≥C ₀	C _{min} <C<C ₀	C≥C ₀	C _{min} <C<C ₀	C≥C ₀	C _{min} <C<C ₀
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

I valori della tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con Vita Nominale di 50 anni (tipo 2 della Tab. 2.4.1 delle NTC).

Per la definizione del calcestruzzo nominale, ai valori minimi di copriferrino vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

La tabella seguente illustra, i valori del calcestruzzo nominale, richiesti in base all'applicazione dei criteri sopra esposti e specializzati al caso in esame:

ambiente	R _{ckmin}	R _{ck0}	barre da c.a.				cavi da c.a.p.			
			elementi a piastra		altri elementi		elementi a piastra		altri elementi	
			R _{ck} ≥R _{ck0}	R _{ckmin} ≤R _{ck} ≤R _{ck0}	R _{ck} ≥R _{ck0}	R _{ckmin} ≤R _{ck} ≤R _{ck0}	R _{ck} ≥R _{ck0}	R _{ckmin} ≤R _{ck} ≤R _{ck0}	R _{ck} ≥R _{ck0}	R _{ckmin} ≤R _{ck} ≤R _{ck0}
ordinario	30	45	15	20	20	25	25	30	30	35
aggressivo	37	50	25	30	30	35	35	40	40	45
molto ag.	45	55	35	40	40	45	5	50	50	50

Elemento	Sottofondazioni - Pali trivellati e diaframmi			Galleria - Soletta di copertura e di base			Galleria e paratie - Elevazioni, cordoli di coronamento			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Tipo di armatura (1=barre da c.a.; 2=cavi da c.a.p.)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Elemento a piastra	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	
Classe di esposizione	XC2	XC2	XC4	XC2	XC2	XC4	XC2	XC2	XC4	
Ambiente	ordinario	ordinario	aggressivo	ordinario	ordinario	aggressivo	ordinario	ordinario	aggressivo	
R _{ck}	Mpa	30	40	30	30	40	30	30	40	
Check R _{ck} min		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
copriferrino minimo (Tab. C4.1.IV NTC)	mm	25	30	20	20	30	25	20	30	
incremento Per V _n =100 (tipo di costruzione 3)	mm	0	0	0	0	0	0	0	0	
elem. prefabbricato con ver. Copriferrini*		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
riduzione per produzioni con ver. Copriferrini		0	0	0	0	0	0	0	0	
Tolleranza di posa		10	10	10	10	10	10	10	10	
copriferrino nominale	mm	35	40	30	30	40	35	30	40	
* Elemento prefabbricato prodotto con sistema sottoposto a controllo di qualità che comprenda la verifica dei copriferrini										
copriferrino nominale di progetto	mm	75	50	50	50	50	75	50	50	

Tabella 4.4 – Valori dei copriferrini nominali in base alle NTC2018

S.S.121 "Catane" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

I valori effettivamente adottati per i copriferri nominali di progetto tengono conto anche di criteri di uniformità e della volontà di garantire valori maggiori dei minimi di norma per superfici contro-terra e particolarmente per le opere di sottofondazione. In questo caso, si è fatto riferimento alla indicazione dell'EC2 (EN 1992-1-1), che fissa a 75 mm il valore da garantire per il copriferro di opere gettate direttamente contro il terreno.

4.1.3 Resistenze di progetto

Calcestruzzo C25/30:

Caratteristiche Calcestruzzo	Var	unità	C25/30
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R_{ck}	Mpa	30
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	Mpa	25
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	Mpa	33.00
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	Mpa	2.56
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk5\%} = 0.7 f_{ctm}$	Mpa	1.80
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk95\%} = 1.3 f_{ctm}$	Mpa	3.33
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	Mpa	3.08
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	Mpa	31476

STATI LIMITE ULTIMI	Var	unità	
coefficiente γ_c	γ_c		1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	Mpa	14.17
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	1.20

STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	unità	
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{c, max} = 0.60 f_{ck}$	Mpa	15.00
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico quasi permanente	$\sigma_{c, max} = 0.45 f_{ck}$	Mpa	11.25
σ_t - stato limite di formazione delle fessure	$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	Mpa	2.14

ANCORAGGIO DELLE BARRE	Var	unità	
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	Mpa	2.69
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - non buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 0.7 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	MPa	1.89

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Calcestruzzo C32/40:

Caratteristiche Calcestruzzo	Var	unità	C32/40
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R_{ck}	Mpa	40
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	Mpa	32
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	Mpa	40.00
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	Mpa	3.02
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk5\%} = 0.7 f_{ctm}$	Mpa	2.12
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk95\%} = 1.3 f_{ctm}$	Mpa	3.93
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	Mpa	3.63
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	Mpa	33346

STATI LIMITE ULTIMI	Var	unità	
coefficiente γ_c	γ_c		1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	Mpa	18.13
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	1.41

STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	unità	
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{c, max} = 0.60 f_{ck}$	Mpa	19.20
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico quasi permanente	$\sigma_{c, max} = 0.45 f_{ck}$	Mpa	14.40
σ_t - stato limite di formazione delle fessure	$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	Mpa	2.52
Resistenza cubica cls allo scassero	R_{ckj}	Mpa	
tensioni max iniziali di compressione	$\sigma_c < 0.6 f_{ckj}$	Mpa	0.00
tensioni max iniziali di compr. - elementi con arm.pretesa	$\sigma_c < 0.7 f_{ckj}$	Mpa	0.00

ANCORAGGIO DELLE BARRE	Var	unità	
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	Mpa	3.18
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - non buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 0.7 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	MPa	2.22

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

4.1.4 Verifiche a fessurazione

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considerano:

- Condizioni **Ordinarie**: per le verifiche a fessurazione **delle solette** (classe di esposizione **XC2**);
- Condizioni **Aggressive**: per le verifiche a fessurazione **dei pali** (classe di esposizione **XC4**).

La Tab. 4.1.IV stabilisce i criteri per la scelta degli stati limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali e del tipo di armatura:

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Pertanto, nel caso in esame si ha:

- Verifiche a fessurazione – condizioni ambientali **Ordinarie** – Armatura poco sensibile:
 - o Combinazione di azioni frequente: $w_k \leq w_3 = 0.4$ mm
 - o Combinazione di azioni quasi permanente: $w_k \leq w_2 = 0.3$ mm
- Verifiche a fessurazione – condizioni ambientali **Aggressive** – Armatura poco sensibile:
 - o Combinazione di azioni frequente: $w_k \leq w_2 = 0.3$ mm
 - o Combinazione di azioni quasi permanente: $w_k \leq w_1 = 0.2$ mm

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

4.2 Acciaio in barre per cemento armato e Reti Elettrosaldate

4.2.1 Qualità dell'acciaio

Acciaio in barre B450C in accordo a DM 17/01/2018 (Capitolo 11).

Le Reti Elettrosaldate (RES), potranno essere realizzate impiegando acciaio B450A con le limitazioni all'impiego previste nel capitolo 11 delle NTC2018.

4.2.2 Resistenze di progetto

Caratteristiche Acciaio per Calcestruzzo armato	Var	unità		
Qualità dell'acciaio			B450C	B450A
Tensione caratteristica di snervamento nominale	f_{yk}	Mpa	450	450
Tensione caratteristica a carico ultimo nominale	f_{tk}	Mpa	540	450
Modulo elastico	Es	Mpa	210000	210000
diametro minimo della barra impiegabile	ϕ_{min}	mm	6	5
diametro massimo della barra impiegabile	ϕ_{max}	mm	40	10
STATI LIMITE ULTIMI	Var	unità		
coefficiente γ_s	γ_s		1.15	1.15
Resistenza di calcolo	$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$	Mpa	391.3	391.3
STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	unità		
$\sigma_{s,max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{s,max}=0.8 f_{yk}$	Mpa	360.0	360.0

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

5.1 Stratigrafia di calcolo

La figura seguente illustra la successione delle unità litotecniche interessate dagli scavi della galleria artificiale e delle opere di imbocco.

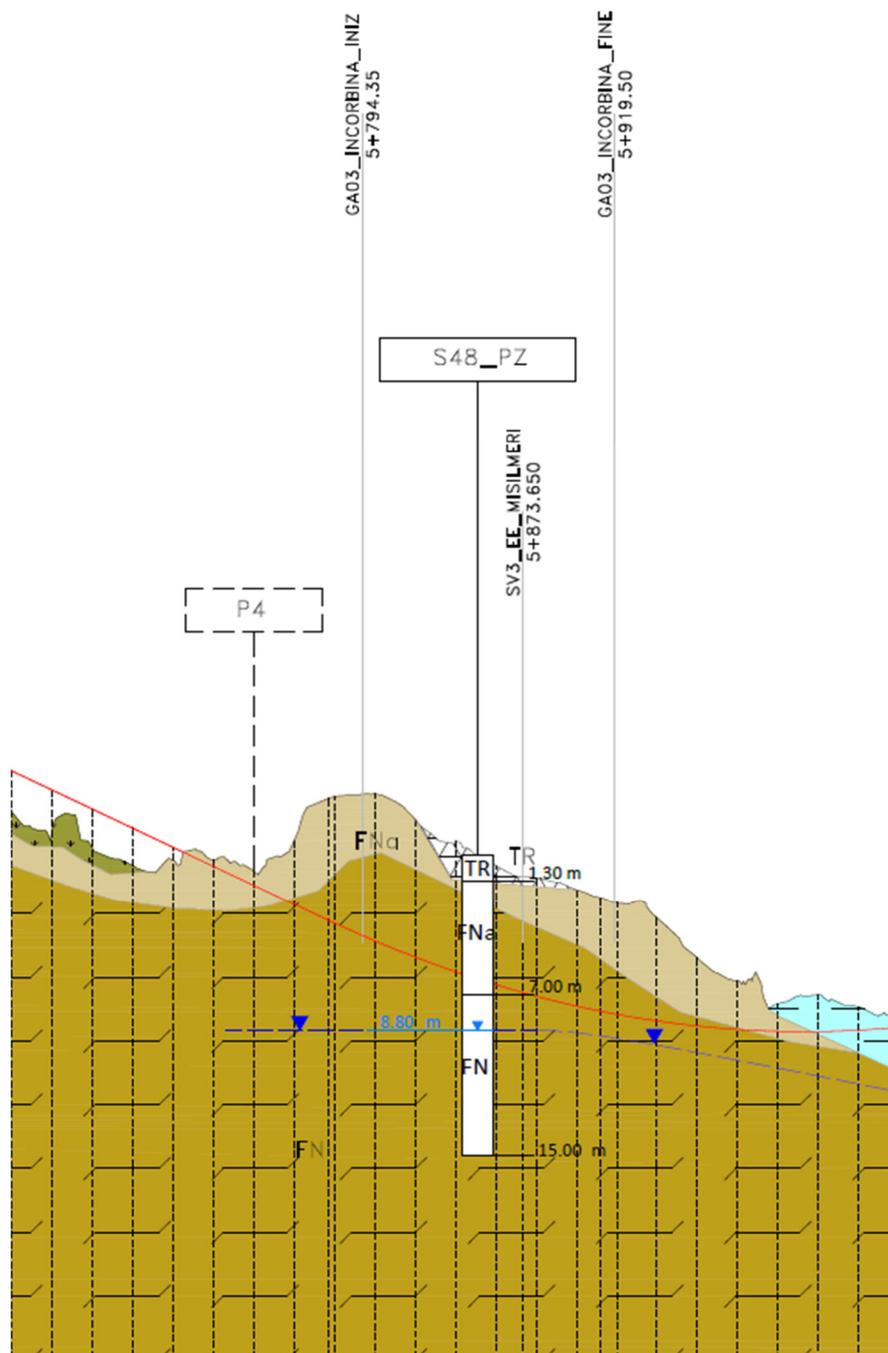


Figura 5-1: Profilo geologico-geotecnico galleria e opere d'imbocco

COLTRI SUPERFICIALI



TERRENO VEGETALE (TV)

Suolo agrario di colore marrone-nerastro, limo-argilloso con inclusi clasti poligenici e frustoli vegetali.



TERRENO DI RIPORTO (TR)

Terreno di riporto di varia natura e granulometria. Sottofondo stradale. Asfalto.



TERRE ROSSE (LR)

Limo sabbioso e sabbia limosa di colore rossastro, con ghiaia di natura calcarea.



DETRITO A GRANA FINE (DTf)

Detrito a grana fina. Argilla limosa sabbiosa, limo argilloso, limo sabbioso – rimaneggiato, originato dall'alterazione e disgregazione della porzione più superficiale dei terreni.



DETRITO A GRANA GROSSA (DTg)

Detrito a grana grossa di natura prevalentemente calcarea variamente frammisto a limo e sabbia, materiale milonitizzato (breccie di faglia).



ALLUVIONI A GRANA FINE (ALF)

Alluvioni a grana fina: limo sabbioso e limo argilloso sabbioso di colore marrone; $w_n < w_p$.



ALLUVIONI A GRANA GROSSA (ALG)

Alluvioni a grana grossa: ghiaia con sabbia con livelli di limo sabbioso.

FORMAZIONI DI BASE A GRANA FINA



LIMI ARGILLOSI (LA)

Limo argilloso a tratti sabbioso di colore giallastro rossastro, da consistente a poco consistente, $w_n > w_p$, con venature grigie, noduli di sabbia e frustoli carboniosi rossastri, talora fossili anche in frammenti.



SABBIE CALCARENITICHE (SC)

Sabbia e sabbia limosa calcarenitica, di colore variabile dal giallastro, al biancastro al bruno, con frammenti di calcarenite di dimensioni centimetriche e decimetriche variamente sparsi nella massa e con noduli di calcarenite.



FLYSCH NUMIDICO (FN)

Argille del Flysch Numidico. Argilla e argilla marnosa, argillite, di colore grigio, generalmente dura o molto consistente, scagliettata, a tratti intensamente fratturata. Struttura a scaglie di forma prismatica, da minute a centimetriche, da debolmente a ben serrate, a spigoli vivi. Sono presenti discontinuità variamente orientate, A tratti si rinvencono livelli di quarzarenite di colore grigio-ocraceo. Possono rinvenirsi patine di dickite e livelli di calcite e di calcare. Nella parte superiore si presenta alterata (FNa) di colore marrone ocraceo per ossidazione.



ARGILLE MARNOSE (AM)

Argilla e argilla marnosa, scagliettata, da consistente a molto consistente, a tratti dura, di colore variabile dal grigio al verdastro $w_n \ll w_p$. Nella parte superiore può presentarsi alterata con patine rossastre (AMa).



ARGILLA SABBIOSA (AS)

Argilla a tratti sabbiosa di colore marrone, consistente, talora marnosa. A tratti struttura scagliettata. Fm. Scillato.

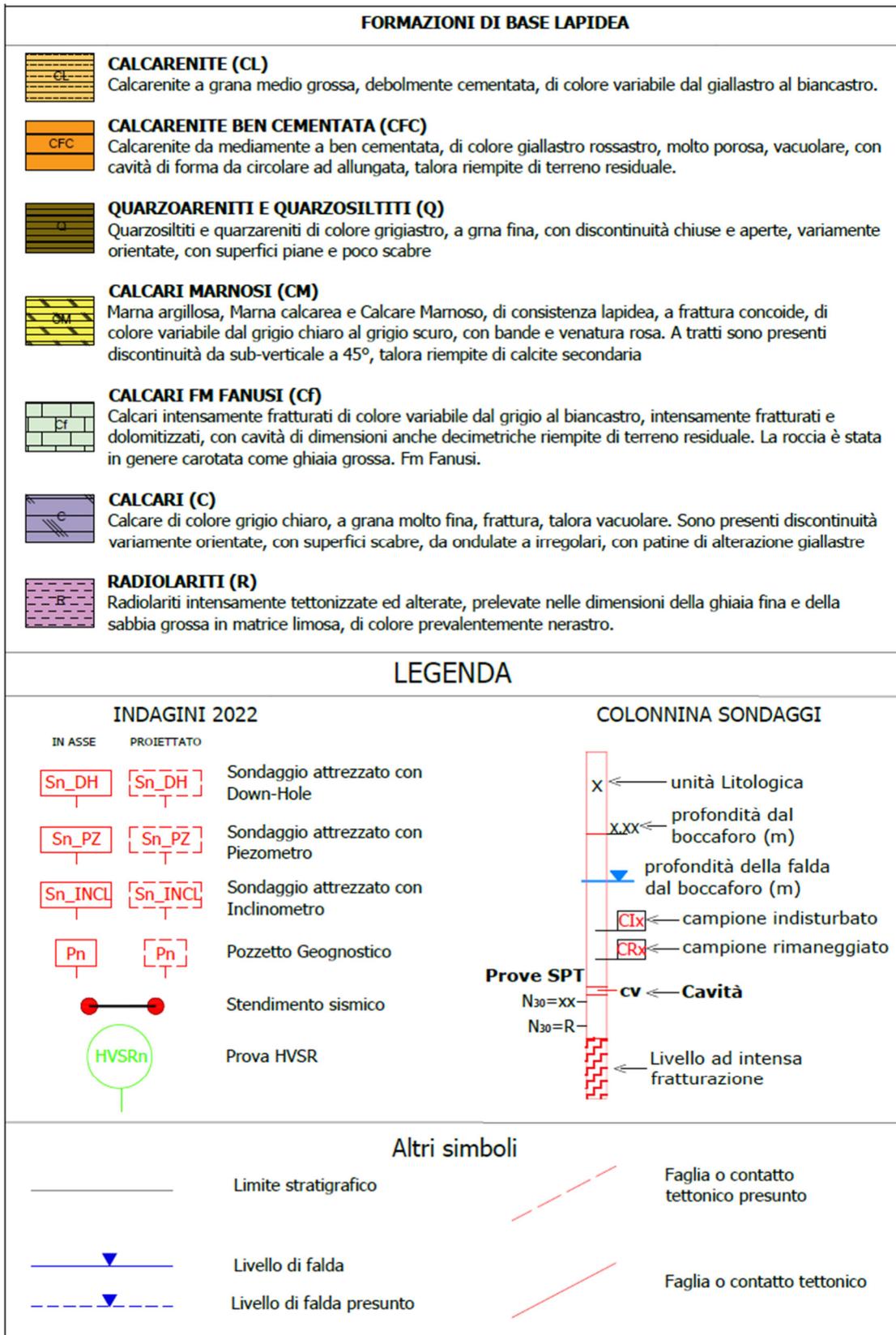


Figura 5-2 Legenda profilo geologico-geotecnico

S.S.121 "Cataneese" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Si evidenzia la presenza di una coltre di copertura costituita da [terreno di riporto \(TR\)](#) di varia natura e granulometria, cui succedono le [Argille del Flysch Numidico \(FN\)](#) che [nella parte superiore si presentano alterate \(FN_a\)](#).

Nei calcoli, si è fatto riferimento ad un'unica stratigrafia, in cui i terreni di copertura sono stati assimilati alle caratteristiche delle [Argille del Flysch Numidico \(FN\)](#).

S.S.121 "Catane" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

6 CRITERI DI VERIFICA DELLE PARATIE

6.1 Modello di calcolo

Le analisi di stabilità locale delle opere di sostegno e quelle per la valutazione delle sollecitazioni negli elementi resistenti (micropali e tiranti) sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Pratie Plus prodotto da CeAS.

In tale codice la schematizzazione dell'interazione tra paratia e terreno avviene considerando:

- la paratia come una serie di elementi il cui comportamento è caratterizzato dalla rigidità flessionale EJ;
- il terreno come una serie di molle di tipo elasto-plastico connesse ai nodi della paratia.

Il problema è risolto con una schematizzazione a modello piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico": le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie puntonate/tirantate viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un insieme di puntoni/tiranti applicati, da una precisa disposizione di carichi.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

S.S.121 "Catane" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

Nei modelli di calcolo implementati, l'esecuzione dello scavo è schematizzata mediante una successione di step. Il calcolo della pressione dell'acqua nei pori è, per ipotesi, del tutto indipendente da qualsiasi deformazione e conseguente stato di sforzo nello scheletro solido del terreno.

La legge costitutiva, rappresentativa del comportamento elasto-plastico del terreno, è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

6.2 Coefficienti di spinta

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a ed il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

Dove

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Per tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno il software PARATIE impiega per K_a e K_p la formulazione rispettivamente di Coulomb e Caquot – Kerisel.

Secondo la formulazione di Coulomb il coefficiente di spinta attiva K_a vale:

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \varphi') \cdot \text{sen}(\varphi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

dove:

φ' è l'angolo di attrito del terreno

β è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

δ è l'angolo di attrito paratia-terreno posto pari a $2/3 \varphi'$.

i è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

Secondo la formulazione di Caquot – Kerisel il coefficiente di spinta passiva K_p viene calcolato secondo la seguente figura:

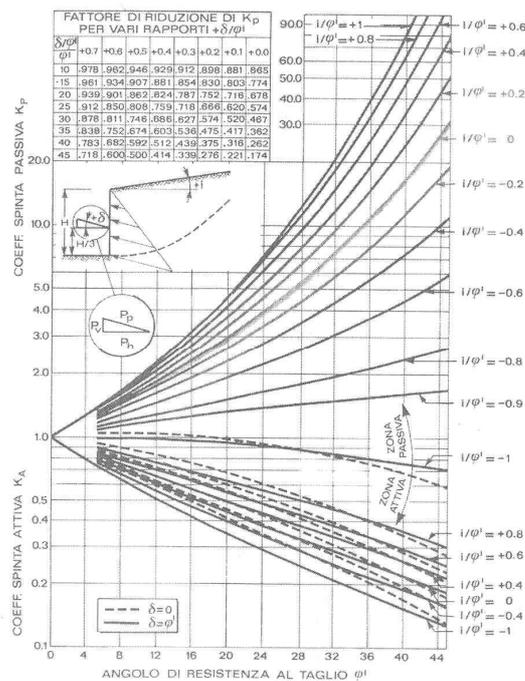


Figura 6-1: Formulazione di Caquot – Kerisel per K_p che considera superfici di rottura curvilinee

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_h = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse, k , è data da:

$$K = E / L$$

ove E è un modulo di rigidità del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica.

Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidità di ogni molla è:

$$K = (E \cdot \Delta) / L$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva.

In zona attiva (uphill) $L_A = 2/3 \cdot l_a \cdot \tan(45^\circ - \phi'/2)$

In zona passiva (downhill) $L_P = 2/3 \cdot l_p \cdot \tan(45^\circ + \phi'/2)$

con l_a e l_p rispettivamente:

$$l_a = \min(l, 2H)$$

$$l_p = \min(l - H, H)$$

dove l = altezza totale della paratia e H = altezza corrente dello scavo.

Per i coefficienti di spinta attiva e passiva, tenuto conto che le corrispondenti forze risultano inclinate sul piano orizzontale, si considerano le componenti in direzione orizzontale.

6.3 Storie di carico

Tenendo conto delle verifiche da effettuare agli SLE ed agli SLU sono state considerate le seguenti storie di carico:

- **Configurazione A1+M1 (STATICA):** Una prima storia di carico in cui i parametri del terreno sono considerati con riferimento ai loro valori caratteristici ed le azioni sono considerate con fattore parziale unitario. Questa storia fornisce le sollecitazioni sugli elementi strutturali e gli spostamenti orizzontali delle paratie per le successive verifiche agli SLE. Inoltre, le sollecitazioni per la verifica SLU combinazione A1 + M1, sono ottenute da questa storia di carico applicando il fattore moltiplicativo γ_F .
- **Configurazione A1+M1 (SISMICA):** Una seconda storia di carico anch'essa con parametri del terreno caratteristici ed le azioni sono considerate con fattore parziale unitario in cui è presente l'azione sismica. Questa storia fornisce le sollecitazioni sugli

S.S.121 "Cataneese" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

elementi strutturali per le successive verifiche agli SLU-SLV. In questo caso, le sollecitazioni per la verifica SLU combinazione A1 + M1, sono ottenute da questa storia di carico applicando il fattore moltiplicativo γ_F pari ad 1.0.

- **Configurazione A2+M2 (STATICA):** Una terza storia di carico in cui i parametri del terreno sono considerati con riferimento ai coefficienti parziali M2, e le azioni sono considerate con i fattori parziali A2. Questa storia permette di valutare le condizioni di stabilità geotecnica della paratia.
- **Configurazione A2+M2 (SISMICA):** Una quarta storia di carico anch'essa con i parametri del terreno considerati con riferimento ai coefficienti parziali M2, e le azioni sono considerate con i fattori parziali A2. In questo caso è presente l'azione sismica. Questa storia permette di valutare le condizioni di stabilità geotecnica della paratia.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

7 ANALISI DEI CARICHI

Si descrivono nel seguito le verifiche eseguite per le tipologie di opere in oggetto.

7.1 Analisi eseguite

Sono stati analizzati tutti i casi di verifica, secondo i criteri esposti al Par. 6.3, come segue:

SLE	STR
SLU (A1+M1)	STR
SLU (A2+M2)	GEO
SLV	STR
SLV	GEO

7.2 Azione sismica

Per le opere si tiene conto della seguente azione sismica:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLV	949	0.230	2.429	0.306

Tabella 7.1: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per suolo rigido

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} è definita attraverso la seguente relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui:

$a_g = 0.230$ g accelerazione massima su sito rigido;

$S_S = 1.36$ coefficiente d'amplificazione stratigrafica;

$S_T = 1.0$ coefficiente d'amplificazione topografica.

L'analisi della spinta del terreno in condizioni sismiche è stato eseguita in maniera differenziata in funzione delle rigidità delle strutture di contrasto e delle relative capacità di spostamento.

S.S.121 "Catane" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

In particolare:

- Per le strutture a telaio scatolare della galleria artificiale si è utilizzata la teoria di Wood per elementi rigidi;
- Per le paratie di imbocco di maggiore altezza, vincolate al piede dalla soletta di base in c.a., è stata impiegata la teoria di Mononobe – Okabe ponendo il coefficiente di spostamento $\beta = 1$;
- Per le paratie a sbalzo, tipicamente deformabili, l'azione sismica è stata calcolata sempre secondo la teoria di Mononobe - Okabe considerando un coefficiente di spostamento b in funzione di uno spostamento massimo ammissibile $U_s = 0.005 H_{paratia}$. Le componenti dell'accelerazione equivalente a_h (orizzontale) e a_v (verticale), sono valutate come:

$$a_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

$$a_v = 0$$

essendo

α = coefficiente di deformabilità;

β = coefficiente di spostamento.

7.3 Carichi permanenti strutturali

Per quanto riguarda la struttura il peso proprio degli elementi strutturali è automaticamente valutato dal programma di calcolo utilizzato per l'analisi. Esso è calcolato considerando per il calcestruzzo un peso per unità di volume pari a 25 kN/m³.

7.4 Spinta delle terre

Il peso del terreno a tergo della paratia determina una spinta laterale sulla stessa avente distribuzione triangolare.

7.5 Carichi accidentali

A tergo della paratia è stato considerato un carico accidentale distribuito pari a 20 kPa. Quest'azione è largamente cautelativa anche relativamente alle azioni variabili di traffico che si esercitano a piano di campagna sul sedime della strada che attraversa la galleria artificiale, ove si consideri la limitata larghezza della strada e la diffusione sino al piano estradossale del solettone di copertura.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

7.6 Combinazioni delle azioni

In accordo al par. 2.5.3 delle NTC2018 ai fini delle verifiche degli stati limite sono state considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

- *Combinazione fondamentale*, impiegata per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- *Combinazione frequente*, impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- *Combinazione quasi permanente*, impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- *Combinazione sismica*, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Di seguito si riportano le tabelle che esplicitano i coefficienti parziali sopra illustrati:

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

8 MODELLO DI ANALISI E RISULTATI

8.1 Galleria artificiale

Per la determinazione delle sollecitazioni agenti nei vari elementi strutturali relativamente alla configurazione definitiva, e relativamente alla galleria a doppia canna, è stato sviluppato un modello di calcolo agli elementi finiti. Per semplicità di calcolo è stato analizzato un concio di larghezza unitaria dell'opera.

Nel modello di calcolo tutti gli elementi strutturali sono stati modellati con elementi di tipo "frame" e le unioni tra la soletta di copertura ed i pali sono state modellate come incastri. Le unioni tra la soletta di fondazione (puntone) ed i pali, invece, sono state modellate come cerniere (*release*). Gli spessori degli elementi strutturali utilizzati per modellare la soletta superiore, i piedritti laterali costituiti da pali e la soletta inferiore corrispondono a quelli riportati negli elaborati grafici.

Per la modellazione dell'interazione terreno-struttura, i pali sono stati modellati come travi su suolo alla Winkler.

Il valore della costante orizzontale di sottofondo è stato determinato con la formulazione proposta da Vesic.

Rigidezza orizzontale

Diametro del palo	m	1.20
Interasse pali	m	1.40
Ep Modulo di elasticità normale palo	MPa	31476
Es Modulo di elasticità terreno	MPa	15
ν Modulo di Poisson terreno		0.30
Kt Costante di reazione orizzontale	kN/mc	6068
Kt Costante di reazione orizzontale al ml	kN/mc/m	4334

La conformazione della struttura limita notevolmente la sua deformabilità, pertanto, nel calcolo delle spinte del terreno a tergo dei piedritti, è da adottarsi il coefficiente di spinta a riposo K_0 .

I pesi strutturali del telaio scatolare sono automaticamente valutati dal programma di calcolo in base all'effettiva sezione di ciascun elemento ed al peso di volume del materiale. In questa maniera è stato possibile rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di rigidezza e resistenza della struttura in esame.

Per la risoluzione del modello, è stato utilizzato il programma di calcolo automatico SAP 2000 Advanced, vers. 14.0.0 della Computers and Structures Inc, Berkeley, CA.

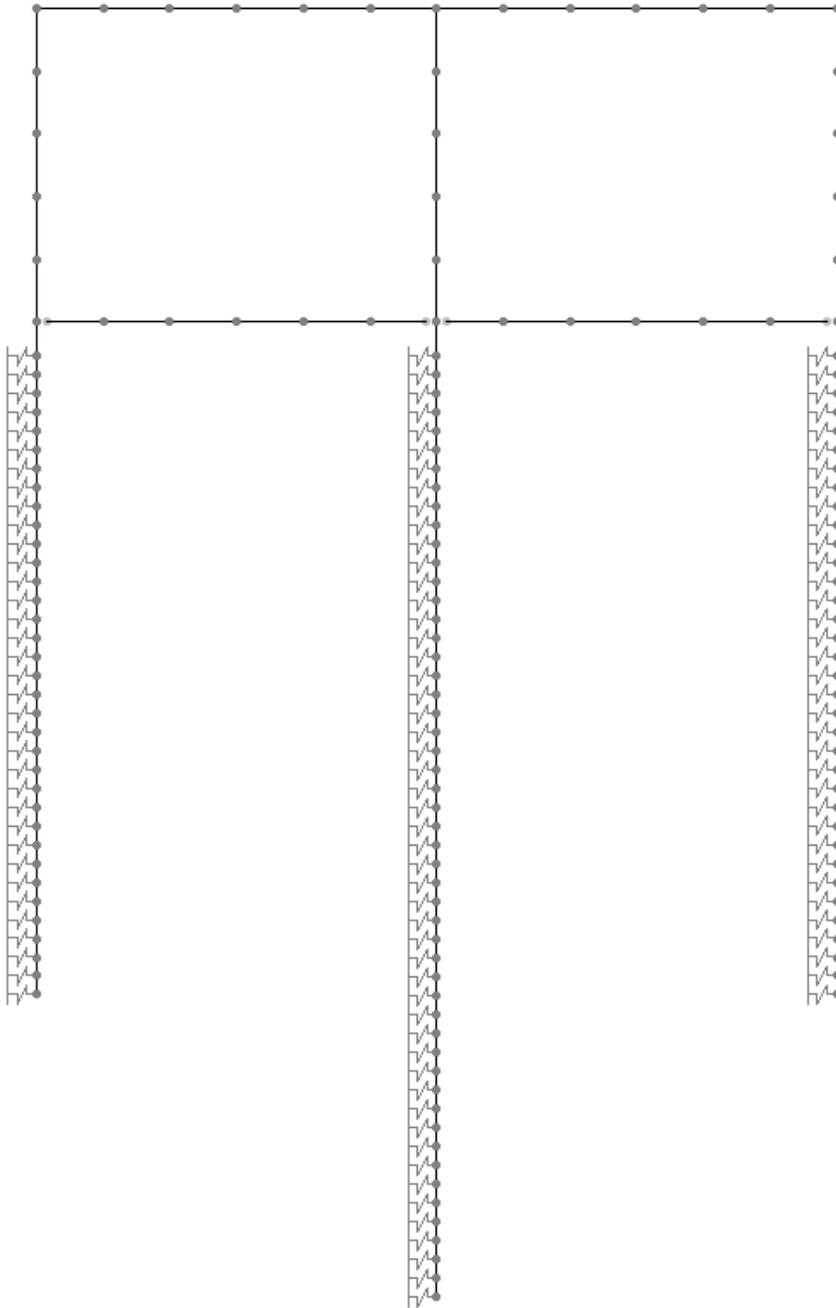


Figura 8-1 Vista modello di calcolo

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Relativamente alla galleria a singola canna, è stato sviluppato un modello all'interno del codice di calcolo Pratie Plus prodotto da CeAS.

La sezione di calcolo esaminata è quella che corrisponde al massimo ricoprimento di terreno pari a circa 1.00 m.

Il modello della galleria prevede le seguenti fasi:

1. configurazione iniziale, condizioni litostatiche;
2. scavo fino a quota realizzazione pali;
3. realizzazione pali e solettone di copertura e applicazione del carico equivalente al reinterro massimo;
4. scavo fino a quota massima;
5. realizzazione del solaio di fondo secondo la configurazione finale;
6. applicazione delle forze sismiche.

Il reinterro massimo è di 1.00 m, considerando un terreno di ritombamento con peso di volume pari a $\gamma = 19$ kN/mc si ottiene un carico equivalente pari a:

$$q_{\text{ritombamento}} = 1.00 \times 19 = 19 \text{ kPa.}$$

In corrispondenza della soletta di fondazione, modellata come elemento "slab", al carico dovuto al ritombamento viene aggiunto il peso proprio della soletta calcolato come:

$$q_{\text{pp soletta}} = 1.5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 37.5 \text{ kPa}$$

L'altezza di scavo massimo, corrispondente alla fase di scavo per il getto della soletta di fondo, è di 8.30 m.

Di seguito si riportano le fasi costruttive per la galleria.

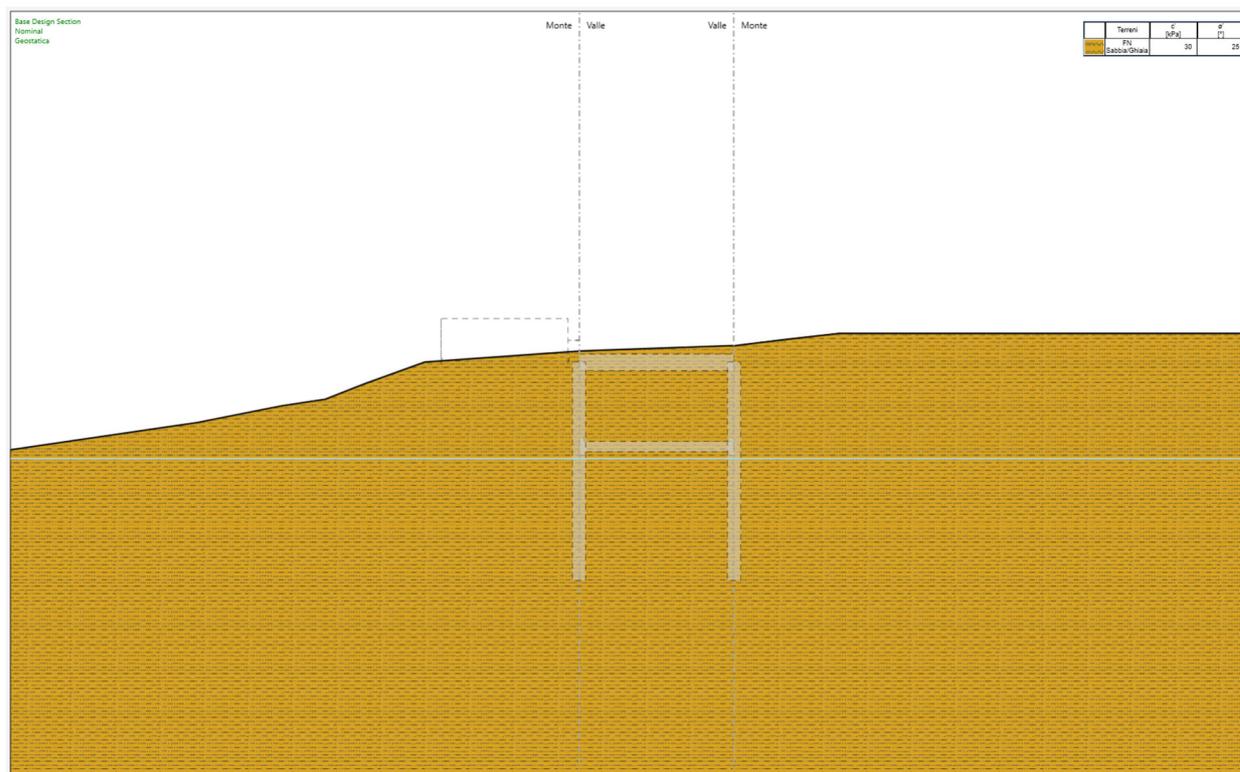


Figura 8-2 Configurazione iniziale

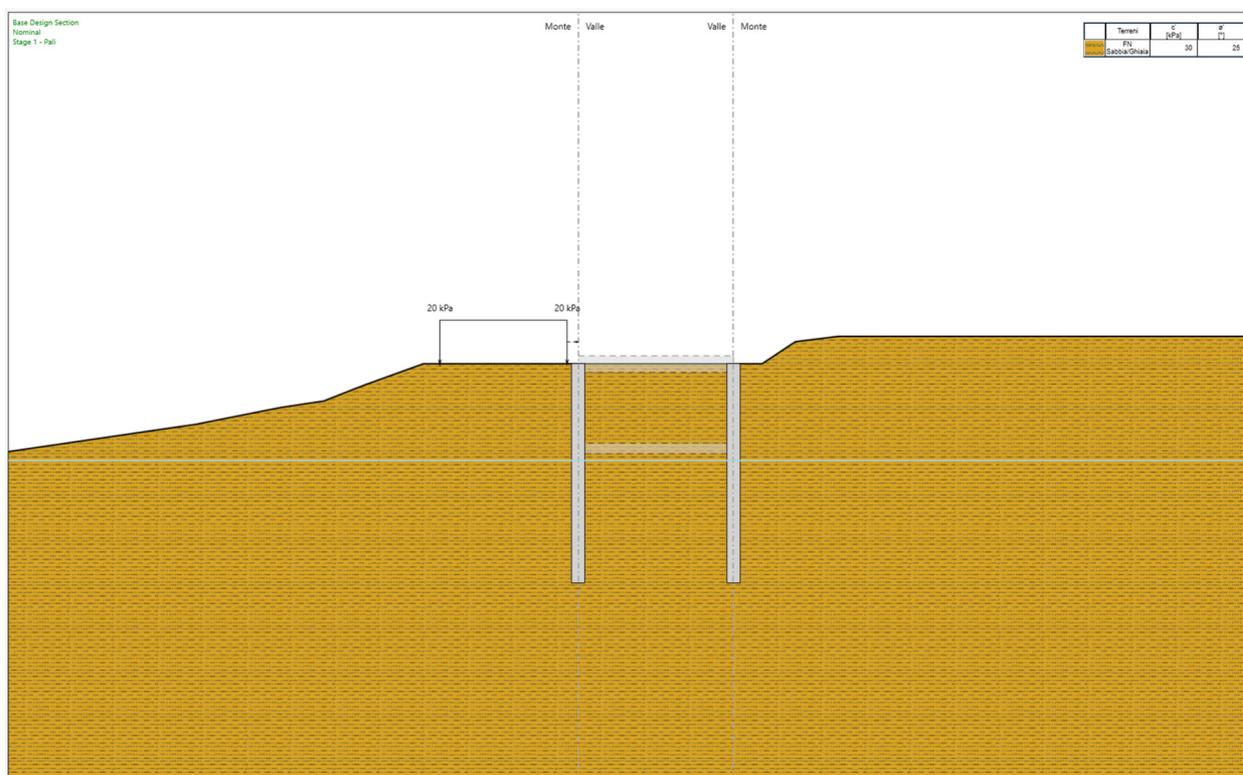


Figura 8-3 Sbancamento fino a quota testa pali e realizzazione pali

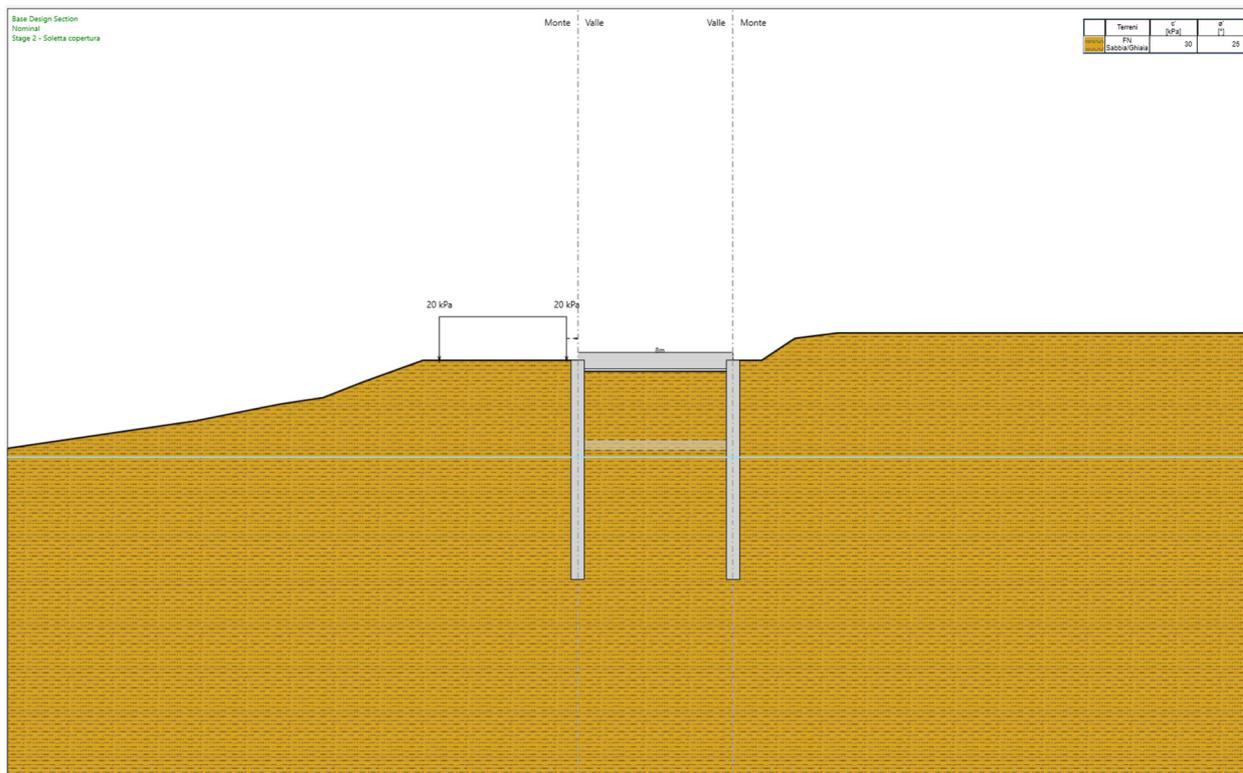


Figura 8-4 Realizzazione soletta di copertura

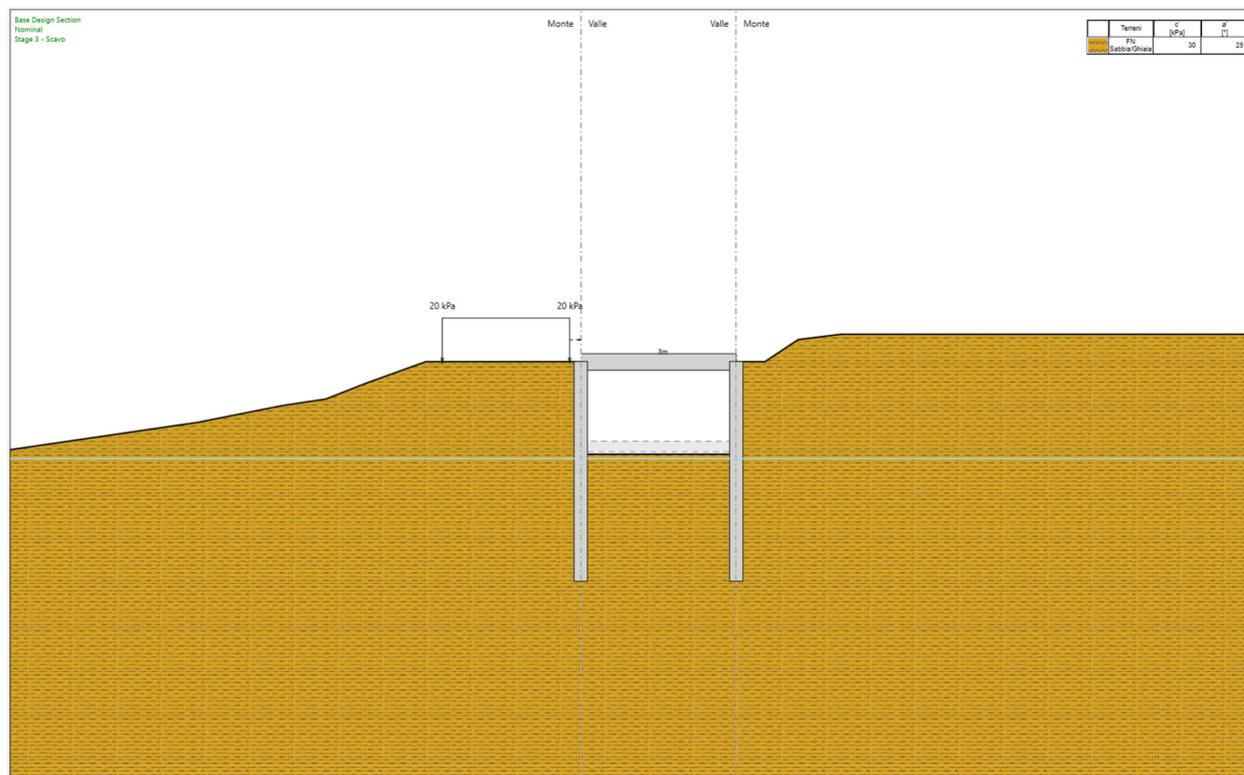


Figura 8-5 Scavo fino a quota massima

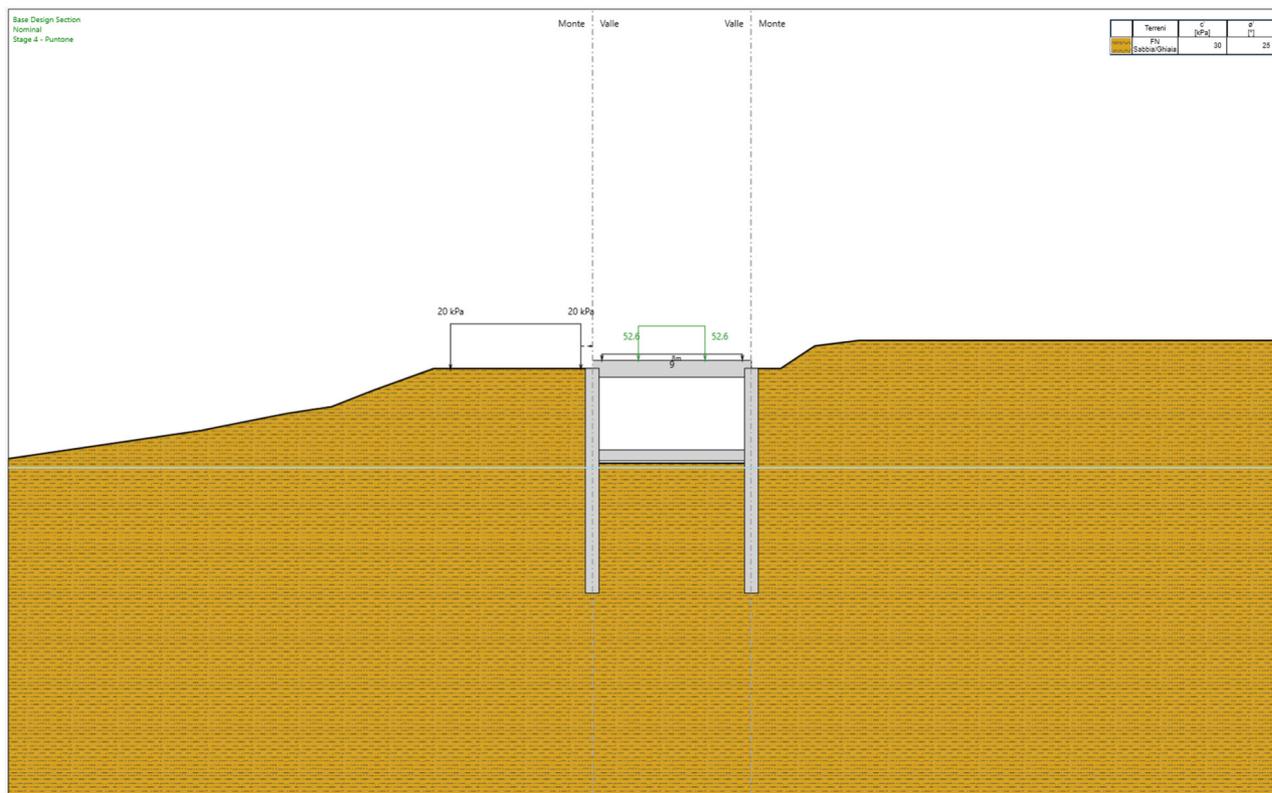


Figura 8-6 Configurazione finale

8.2 Sintesi dei risultati

Di seguito sono riportati i valori di sollecitazione relativi agli involucri delle combinazioni di carico SLU e SLE. Le verifiche sono state svolte considerando le sollecitazioni massime.

Di seguito si riportano le sollecitazioni ottenute.

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO			COPERTURA		PALI	
			incastro	mezzeria	1° gabbia	2° gabbia
INVILUPPO SLU/SLV	M _{SLU}	kNm	-2042.00	1969.00	3648.00	1398.60
	V _{SLU}	kN	973.00		1040.20	562.80
STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE CARATTERISTICA	M _{SLE-R}	kNm	-1443.00	1381.00	1353.80	180.00
STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE FREQUENTE	M _{SLE-F}	kNm	-1194.00	1167.00	1285.20	135.00
STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE	M _{SLE-QP}	kNm	-848.00	681.00	840.00	124.00

Di seguito si riportano i diagrammi del momento e del taglio per l'involuppo SLU-SLV.

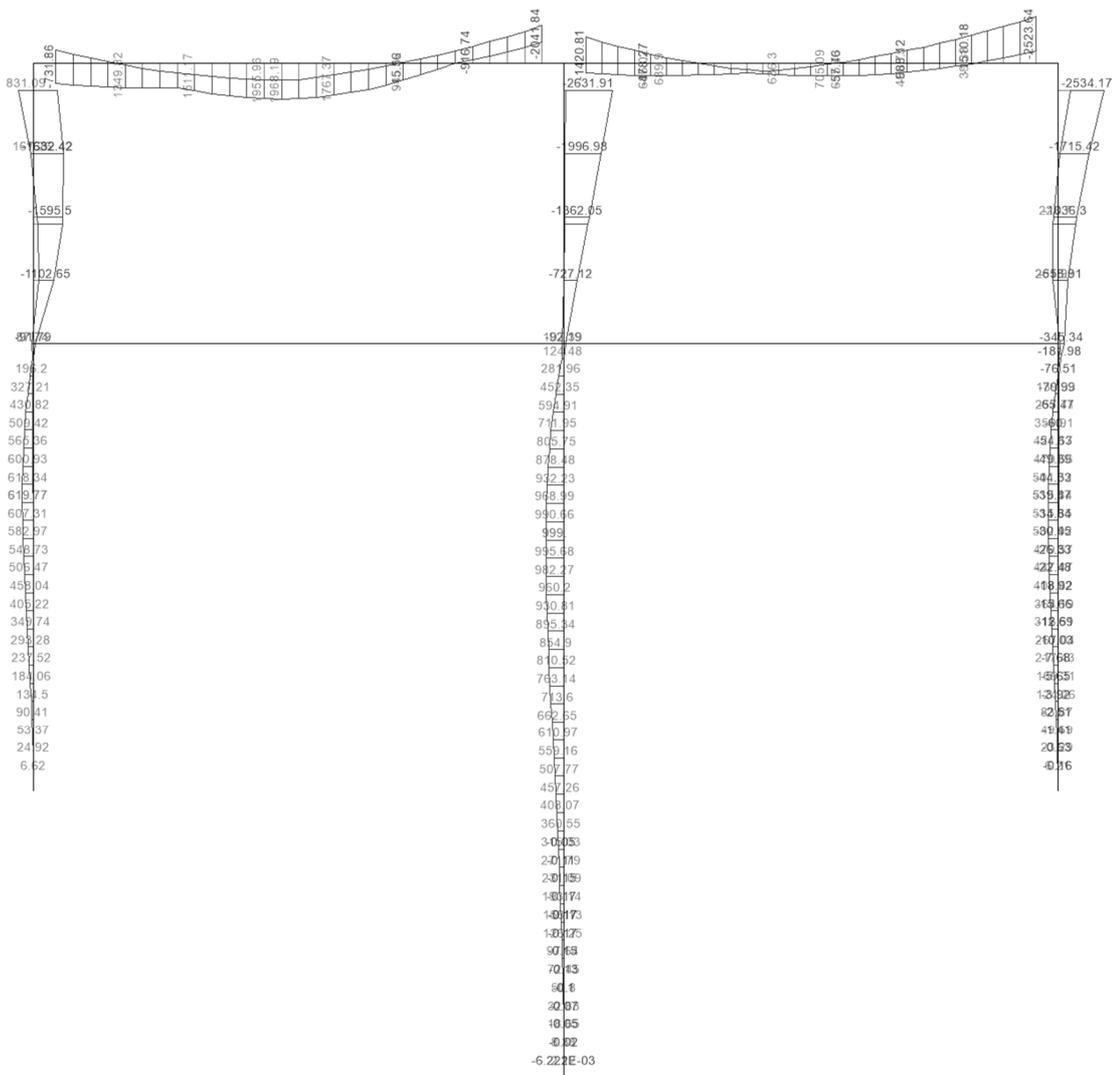


Figura 8-7 Momento flettente ENV SLU-SLV

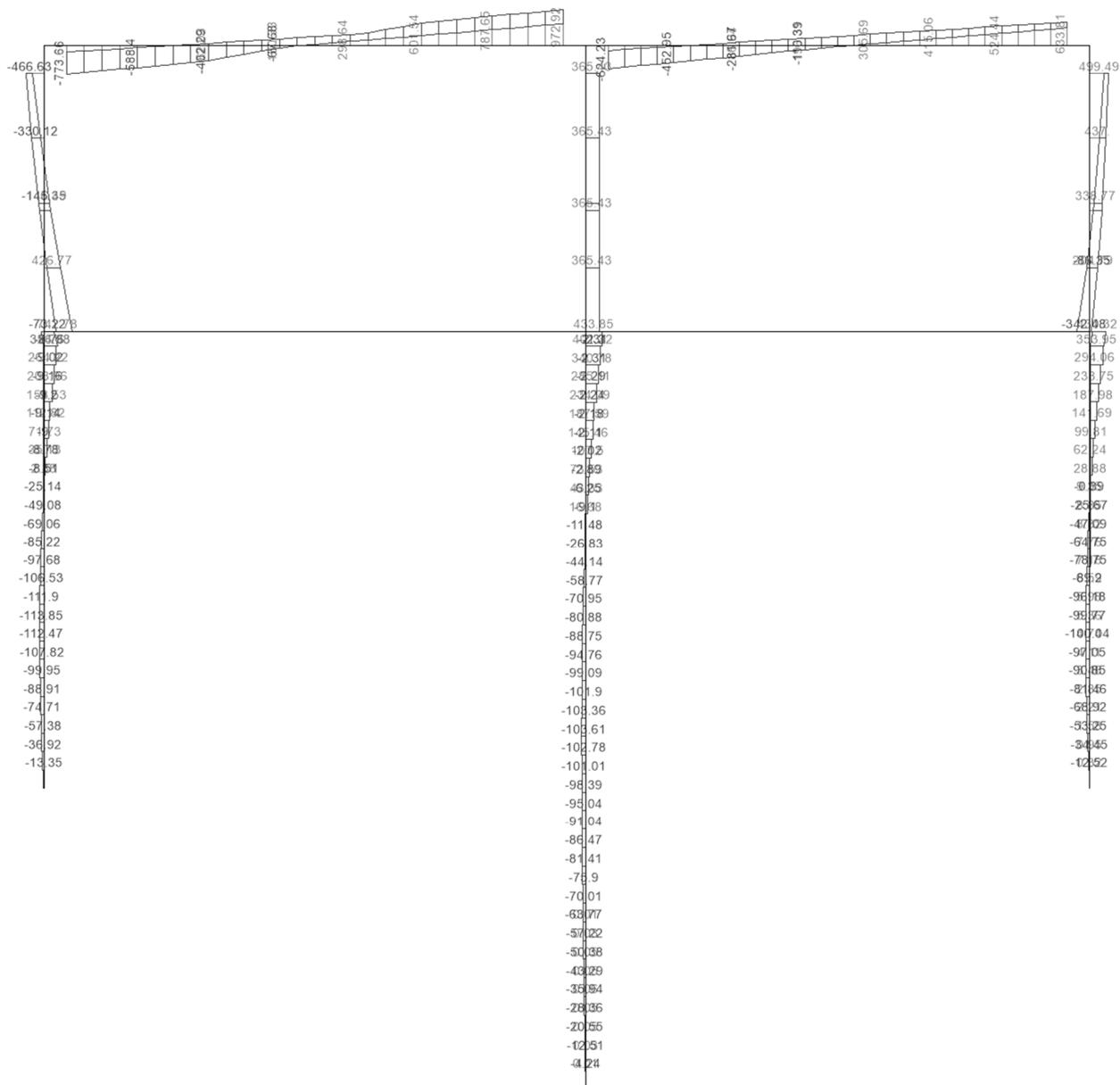


Figura 8-8 Taglio ENV SLU-SLV

Di seguito si riportano i diagrammi del momento per gli SLE.

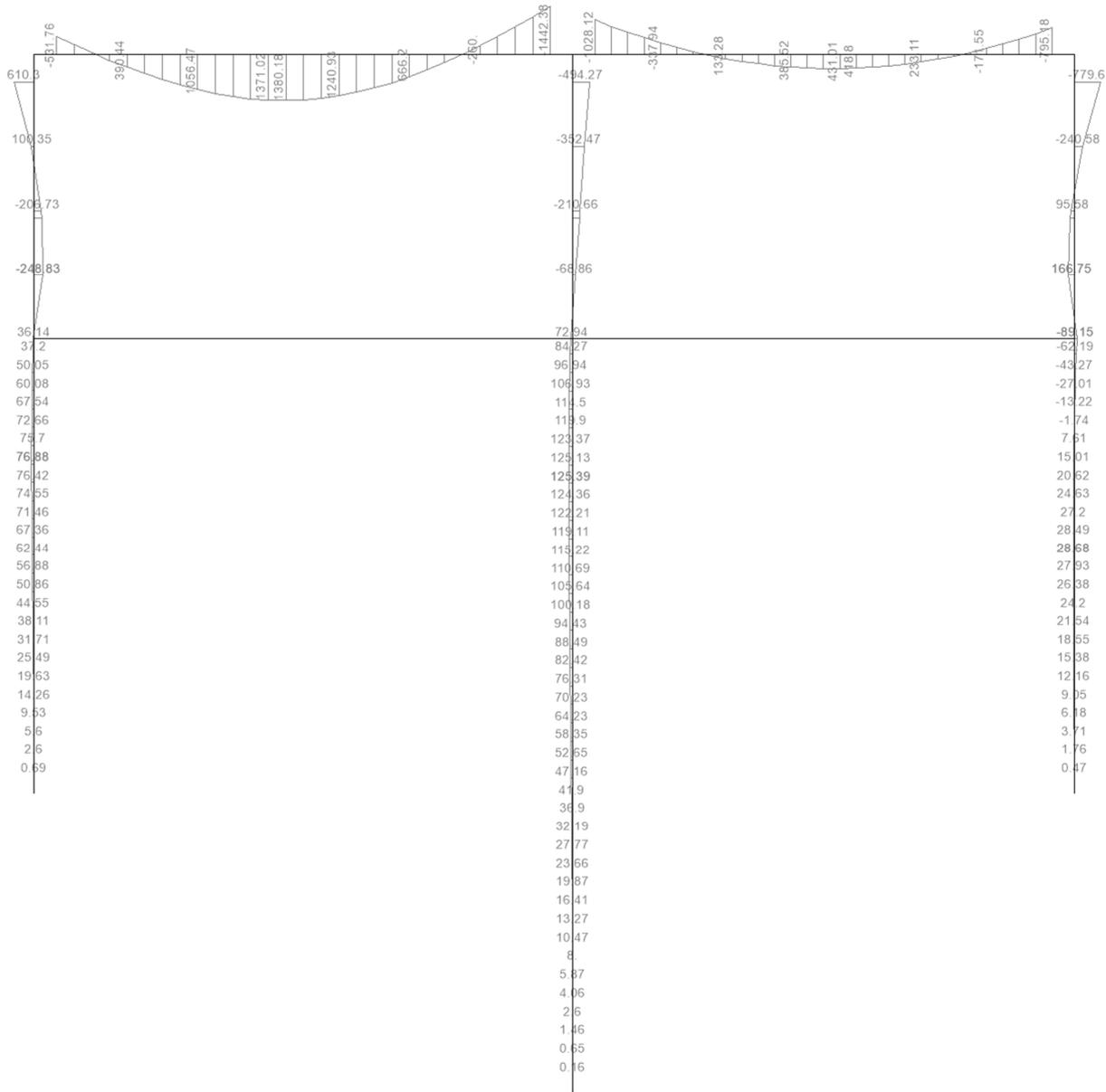
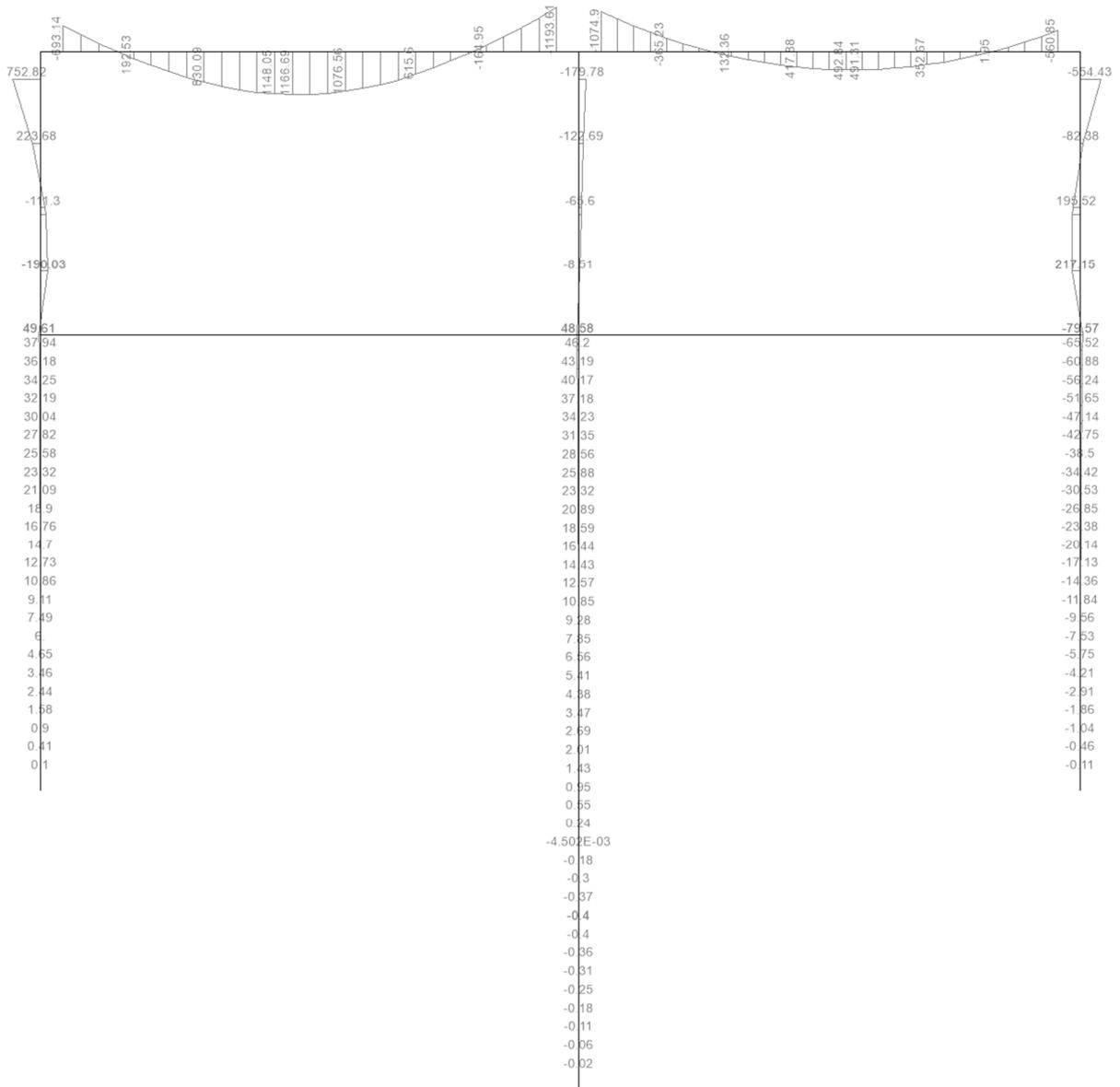


Figura 8-9 Momento flettente SLE-R



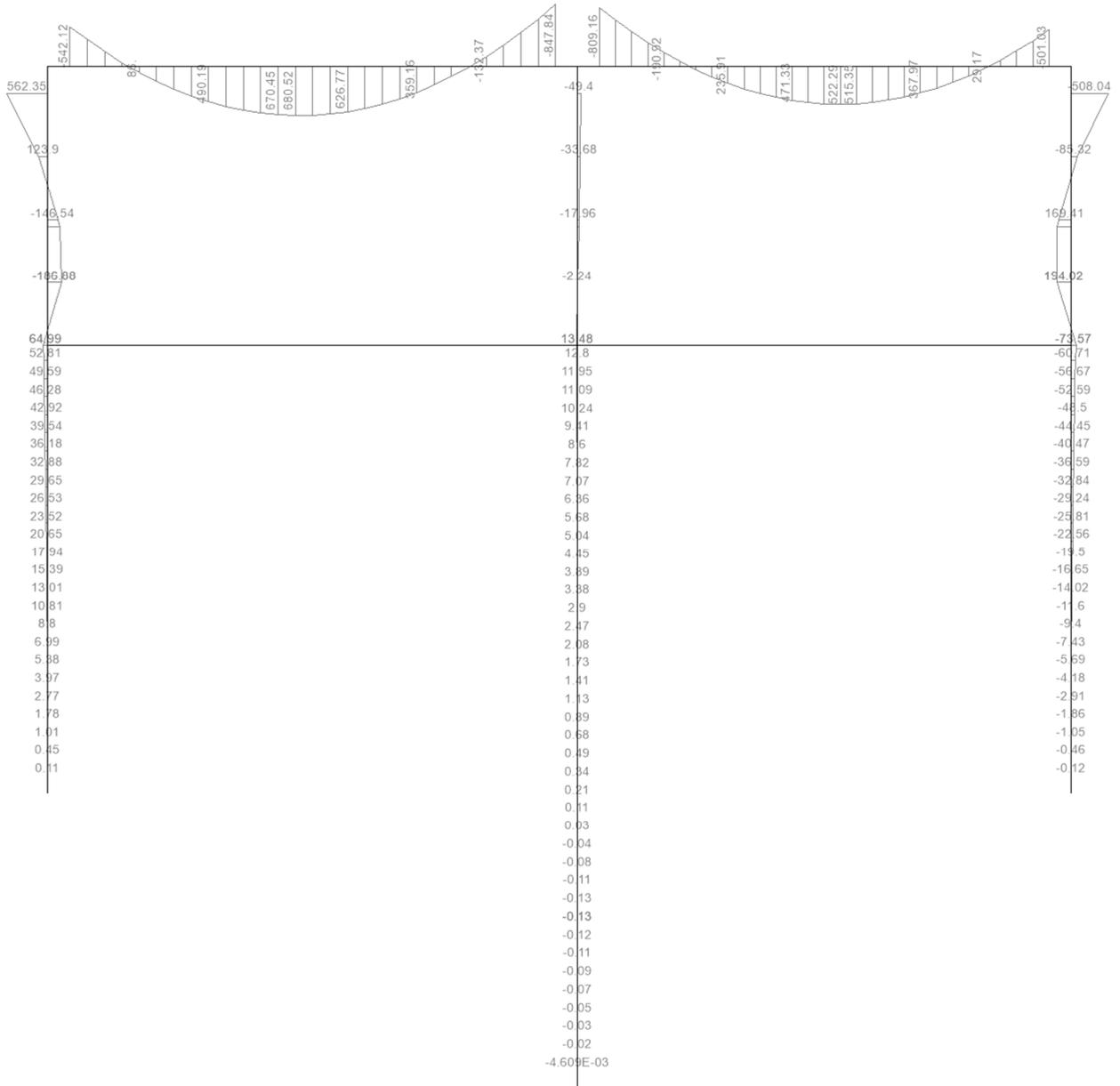


Figura 8-11 Momento flettente SLE-QP

S.S.121 "Cataneſe"		
Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

9 VERIFICHE STRUTTURALI

9.1 Soletta di copertura – Sezioni di verifica

Per quanto riguarda la soletta di copertura, sono state verificate le seguenti sezioni.

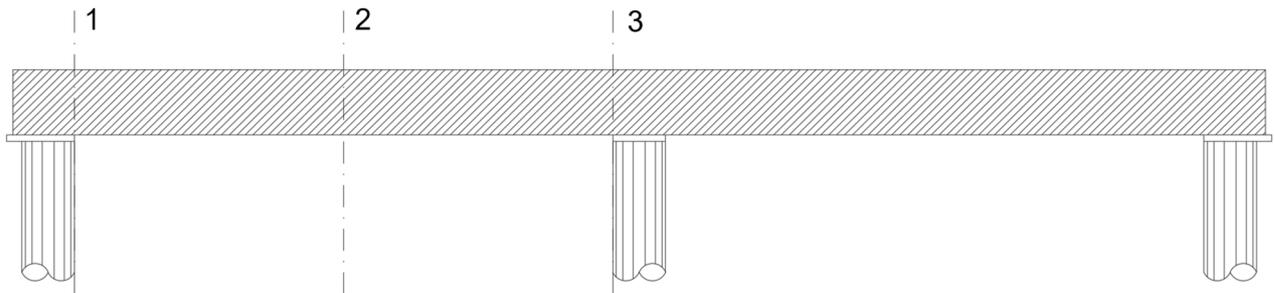


Figura 9-1 Sezioni di verifica soletta di copertura

Le armature presenti nelle diverse sezioni esaminate sono appresso riepilogate:

Sez.1 - Sezione in corrispondenza dei pali laterali:

- La soletta sar  armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/10$. Armatura inferiore: $\varnothing 26/20$. Come armatura a taglio   prevista una maglia di cavallotti $\varnothing 26/100 \times 100$.

Sez.2 - Sezione di campata:

- La soletta sar  armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/20$. Armatura inferiore: $\varnothing 26/10$. Non   prevista armatura a taglio.

Sez.3 - Sezione in corrispondenza dei pali centrali:

- La soletta sar  armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/10$. Armatura inferiore: $\varnothing 26/20$. Come armatura a taglio   prevista una maglia di cavallotti $\varnothing 26/100 \times 100$.

La soletta inferiore che ha mera funzione di puntone, sar  armata come segue:

- La soletta sar  armata con $\varnothing 20/20$ superiori e $\varnothing 20/20$ inferiori. Non   prevista armatura a taglio.

9.2 Pali in c.a. – Sezioni di verifica

I pali in c.a. saranno armati come segue:

- La gabbia di testa sar  armata con $24+24+24\varnothing 26$ accoppiati, e spirale $\varnothing 12/10$. Le gabbie inferiori saranno armate con $24\varnothing 26$ e spirale $\varnothing 12/20$.

Le verifiche della sezione di testa sono state effettuate considerando le armature della prima gabbia, le verifiche della sezione in campata, considerando le armature delle gabbie inferiori.

Nelle verifiche nel caso di ferri accoppiati si utilizza il diametro equivalente: $\varnothing_{eq} = \varnothing_{singolo} \times \sqrt{2}$.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

9.3 Verifiche a flessione – Soletta

Di seguito si riportano le verifiche a flessione per le sezioni di verifica suddette.

SOLETTA DI COPERTURA - SEZ.1 E SEZ.3 INCASTRO

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A. CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Calcestruzzo:	C25/30	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-75.0
2	-50.0	75.0
3	50.0	75.0
4	50.0	-75.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.9	-66.9	26
2	-41.9	66.9	26
3	41.9	66.9	26
4	41.9	-66.9	26

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	26
2	2	3	8	26

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-2042.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1016.00	0.00	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
---	---

UP62

Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-1443.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-1194.00 (-1166.59)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-848.00 (-1166.59)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.7 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)

Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia

N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)

Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia

Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.45)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-2042.00	0.00	0.00	-2821.28	0.00	1.38	53.1(21.0)
2	S	0.00	1016.00	0.00	0.00	1433.89	0.00	1.41	26.5(21.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione

x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45

Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.088	-50.0	-75.0	0.00122	-41.9	-66.9	-0.03638	-41.9	66.9
2	0.00350	0.058	-50.0	75.0	0.00008	-41.9	66.9	-0.05636	-41.9	-66.9

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000281059	-0.017579403	0.088	0.700
2	0.000000000	0.000421859	-0.028139388	0.058	0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.05	-50.0	-75.0	-209.1	32.6	66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00113	0.00000	0.500	26.0	68	0.00071 (0.00063)	398	0.281 (990.00)	-1166.59	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.18	-50.0	-75.0	-173.0	32.6	66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00093	0.00000	0.500	26.0	68	0.00053 (0.00052)	398	0.210 (0.30)	-1166.59	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.97	-50.0	-75.0	-122.9	32.6	66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00066	0.00000	0.500	26.0	68	0.00039 (0.00037)	398	0.155 (0.20)	-1166.59	0.00

SOLETTA DI COPERTURA - SEZ.2 MEZZERIA

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.
CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Calcestruzzo: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-75.0
2	-50.0	75.0
3	50.0	75.0
4	50.0	-75.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.9	-66.9	26
2	-41.9	66.9	26
3	41.9	66.9	26
4	41.9	-66.9	26

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	3	26

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1969.00	0.00	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	1381.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	1167.00 (1166.59)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	681.00 (1166.59)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.7 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.45)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1969.00	0.00	0.00	2821.28	0.00	1.43	53.1(21.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.088	-50.0	75.0	0.00122	-41.9	66.9	-0.03638	-41.9	-66.9

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000281059	-0.017579403	0.088	0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.83	-50.0	75.0	-200.1	32.6	-66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
Esito della verifica
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00108	0.00000	0.500	26.0	68	0.00066 (0.00060)	398 0.264 (990.00)		1166.59	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.08	-50.0	75.0	-169.1	32.6	-66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00091	0.00000	0.500	26.0	68	0.00051 (0.00051)	398 0.202 (0.30)		1166.59	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.38	-50.0	75.0	-98.7	32.6	-66.9	2000	53.1

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00053	0.00000	0.500	26.0	68	0.00030 (0.00030)	398 0.118 (0.20)		1166.59	0.00

SOLETTA DI FONDAZIONE

La soletta di fondazione risulta sostanzialmente poco sollecitata ove si consideri che su di essa si esercitano esclusivamente gli incrementi di sollecitazione dovuti alle azioni simiche. In questa sede se ne omettono le verifiche che appaiono poco significative.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

9.4 Verifiche a taglio – Soletta

La resistenza massima agli SLU è calcolata come segue.

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Sollecitazioni di calcolo	Var	unità	COPERTURA
Taglio di calcolo	V_{Ed}	kN	973.0
Dati	Var	unità	
Resistenza a compressione cubica caratteristica	R_{ck}	Mpa	30
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	f _{ck}	Mpa	24.9
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	f _{cd}	Mpa	14.1
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	f _{yk}	Mpa	450
tensione di calcolo acciaio	f _{ywd}	Mpa	391.3
Caratteristiche geometriche sezione			
Altezza (porre = 0 in caso di sezione circolare)	H	m	1.50
Larghezza/ Diametro	B	m	1.00
Area calcestruzzo	A _c	m ²	1.50
Larghezza anima	b _w	m	1.00
copriferro	c	m	0.085
altezza utile della sezione	d	m	1.42
Compressione agente nella sezione			
Sforzo normale di calcolo	N_{Ed}	kN	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio			
Area dell'armatura longitudinale di trazione che si estende per non meno di (l _{bd} + d) oltre la sezione considerata, dove l _{bd} è la lunghezza di ancoraggio	A _{sl}	mmq	2655
Coefficiente k	k	m	1.38
v _{min}	v _{min}		0.28
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00188
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	390.6
Elementi con armature trasversali resistenti al taglio			
<i>Verifica del conglomerato</i>			
Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN	5989.7
<i>Verifica dell'armatura trasversale</i>			
diametro staffe	f _{sw}	mm	26
passo staffe	s _{cp}	m	1.00
numero di bracci	n _b		2.00
Armatura a taglio (staffe)	A _{sw}	mmq	1062
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg	90
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg	21.8
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	kPa	0
coefficiente alpha	α_c		1.00
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN	1323.0
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN	3098.0
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	1323.0
Coefficiente di Sicurezza a Taglio	V_{rd}/V_{ed}		1.36

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

9.5 Verifiche a flessione e a taglio – Pali in c.a.

VERIFICA 1° GABBIA

DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	120.0	cm
Barre circonferenza:	24Ø45	(381.7 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	9.9	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	3684.80	1040.20	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	1353.80

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	1285.20 (897.16)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	840.00 (897.16)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.7	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.6	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.5	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	3684.80	0.18	5912.74	1.605	21.4	---	---	381.7 (33.9)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	60.0	0.00260	50.1	-0.00648	-50.1

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature:	12	mm	
Passo staffe:	10.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	22.6	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw/z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	1040.20	2824.11	1800.38	107.1 81.4	2.500	1.000	13.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

S.S.121 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	6.06	-60.0	0.00	60.0	-124.9	50.1	24.8	3561	174.9	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00072	0.00045		0.50	0.60	0.000380 (0.000375)	416 0.158 (990.00)		897.16

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.75	-60.0	0.00	60.0	-118.6	50.1	24.8	3561	174.9	----

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00068	0.00043		0.50	0.60	0.000356 (0.000356)	416 0.148 (0.30)		897.16

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.76	-60.0	0.00	60.0	-77.5	50.1	24.8	3561	174.9	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00045	0.00028		0.50	0.40	0.000232 (0.000232)	416 0.097 (0.20)		897.16

VERIFICA 2° GABBIA

DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	120.0	cm
Barre circonferenza:	24Ø26	(127.4 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	9.9	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
---------	---	----	----	----

S.S.121 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	60.0	0.00215	50.1	-0.01153	-50.1

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
 N.Bracci staffe: 2
 Area staffe/m : 11.3 cm²/m [Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm²/m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
 Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
 Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
 bw|z Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Braccio coppia interna
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	AST
1	S	562.80	2786.25	987.24	96.3 89.2	2.500	1.000	6.4

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [MPa]
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
 Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.51	-60.0	0.00	60.0	-45.2	50.1	24.8	3561	58.4	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
 K2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
 srm Distanza massima in mm tra le fessure
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00026	0.00011		0.50	0.60	0.000136 (0.000136)	562	0.076 (990.00)	649.84

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.13	-60.0	0.00	60.0	-33.9	50.1	24.8	3561	58.4	----

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00019	0.00008		0.50	0.60	0.000102 (0.000102)	562	0.057 (0.30)	649.84

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.04	-60.0	0.00	60.0	-31.1	50.1	24.8	3561	58.4	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00018	0.00008		0.50	0.40	0.000093 (0.000093)	562	0.052 (0.20)	649.84

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

10 VERIFICHE GEOTECNICHE

10.1 Verifica del grado di mobilitazione di spinta passiva

La sicurezza nei confronti dello stato limite d'equilibrio geotecnico è calcolata confrontando la spinta passiva mobilitata con la spinta passiva massima ammissibile.

La verifica di stabilità geotecnica risulta soddisfatta in quanto il grado di mobilitazione della spinta passiva nella fase immediatamente precedente alla realizzazione della soletta di fondo scavo è pari al **45.2%** cui corrisponde un coefficiente di sicurezza **FS = 2.21**.

10.2 Verifiche di portanza SLU dei pali della galleria

10.2.1 Criteri di Calcolo

Le verifiche agli stati limite ultimi finalizzate al dimensionamento geotecnico per carico limite dei setti nei riguardi dei carichi assiali, sono state effettuate riferendosi all'Approccio 2 con i gruppi parziali A1, M1, R3 definiti dalle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.II:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1} .

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Deve essere:

$$Fcd \leq Rcd$$

Dove:

Fcd è il carico assiale di compressione assunto in progetto nelle verifiche allo SLU agente sul setto;

Rcd la Resistenza di progetto allo SLU per il setto fornita dalla seguente espressione:

$$Rcd = Rbd + Rsd - Wp$$

Essendo:

Rbd = Rbk / γ_b la resistenza alla base di progetto;

Rsd = Rsk / γ_s la resistenza laterale di progetto;

Wp il peso del setto alleggerito;

γ_b, γ_s coefficienti di sicurezza parziali da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali, forniti dalla Tab. 6.4.II delle NTC2018 precedentemente illustrata;

Rbk = Min [(Rbc,cal)_{media} / ξ_3 ; (Rbc,cal)_{min} / ξ_4] la resistenza alla punta caratteristica;

Rsk = Min [(Rsc,cal)_{media} / ξ_3 ; (Rsc,cal)_{min} / ξ_4] la resistenza laterale caratteristica;

ξ_3, ξ_4 coefficienti di riduzione che dipendono dal numero di verticali indagate, determinati in base alla Tab. 6.4.IV delle NTC2018:

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Rb,cal ed Rs,cal rappresentano le resistenze alla base e laterale di calcolo del setto valutate con la seguenti espressioni:

Rb,cal = qb Ap la resistenza alla punta e:

Rs,cal = $\sum_i^n q_s A_i$ la resistenza laterale

i è lo strato iesimo attraversato dal setto ed n il numero totale degli strati.

Per unità a comportamento coesivo (argille e limi), quali quelle che caratterizzano il caso in esame, la verifica è effettuata in termini di tensioni totali.

S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

La resistenza unitaria alla base viene determinata attraverso la seguente espressione:

$$q_b = \sigma_v + 9 c_u$$

essendo σ_v la tensione verticale totale alla quota della base del setto e c_u la coesione non drenata del terreno di fondazione alla base.

Relativamente alla resistenza laterale, il valore di q_{s_i} viene determinato come:

$$q_{s_i} = \alpha_i c_{ui}$$

Essendo:

α un coefficiente riduttivo della coesione non drenata c_u , variabile secondo quanto suggerito da AGI (1984) per pali trivellati:

Tipo di palo	Valori di c_u [kPa]	Valori di α
Trivellato	$c_u < 25$	0.9
	$25 \leq c_u < 50$	0.8
	$50 \leq c_u < 75$	0.6
	$c_u \geq 75$	0.4

Tabella 10.1 – Valori di α (AGI 1984)

S.S.121 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

10.2.2 Applicazione al caso in oggetto

Si riportano le verifiche di portanza SLU dei pali della galleria nei confronti delle azioni assiali di progetto.

LAVORO: UP62 - SS131 PALERMO-BOLOGNETTA - GA03 INCORBINA - CANNA SINGOLA CARICHI ASSIALI AGENTI SUI PALI LATERALI

Dati	Var	unità	
Diametro pali	Dp	m	1.20
interasse pali lato Hmax	ip_Hmax	m	1.40
interasse pali lato Hmin	ip_Hmin	m	1.40
Spessore solettone di copertura	Ssup	m	1.50
altezza cordolo lato Hmax	H_Hmax	m	0.00
larghezza cordolo lato Hmax	B_Hmax	m	0.00
altezza cordolo lato Hmin	H_Hmin	m	0.00
larghezza cordolo lato Hmin	B_Hmin	m	0.00
Profondità scavo galleria da intradosso copertura	Hsc	m	8.30
Distanza asse pali paratia	B	m	13.50
Aggetto soletta copertura lato Hmax	a	m	0.80
Aggetto soletta copertura lato Hmin	b	m	0.80
Altezza ricoprimento terreno lato Hmax	Ht1	m	1.00
Altezza ricoprimento terreno lato Hmin	ht2	m	1.00
peso specifico terreno	gter	kN/m3	18.0
sovraccarico accidentale	q	kN/m2	20.0

Calcolo dei carichi assiali agenti sui pali con riferimento ai valori nominali delle azioni - SLE

Carichi su una striscia di lunghezza pari ad ip	p	Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
Condizione di carico	kN/m	kN	kN
Peso proprio soletta	52.50	396.4	396.4
Permanente terreno ht2	25.20	190.3	190.3
Permanente terreno (ht1-ht2)	0.00	0.0	0.0
Sovraccarichi accidentali	28.00	211.4	211.4
Peso proprio cordoli		0.0	0.0
Carichi complessivi		Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
		kN	kN
Carichi assiali in testa pali		798	798
Carichi assiali a quota fondo scavo		1033	1033
Carichi complessivi al ml di galleria		Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
		kN	kN
Carichi assiali in testa pali		570	570
Carichi assiali a quota fondo scavo		738	738

Calcolo dei carichi assiali agenti sui pali agli SLU-STR

Carichi su una striscia di lunghezza pari ad ip	Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
Condizione di carico	kN	kN
Peso proprio soletta	515.3	515.3
Permanente terreno ht2	247.3	247.3
Permanente terreno (ht1-ht2)	0.0	0.0
Sovraccarichi accidentali	317.1	317.1
Peso proprio cordoli	0.0	0.0
Carichi complessivi	Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	1080	1080
Carichi assiali a quota fondo scavo	1385	1385
Carichi complessivi al ml di galleria	Rpalo lato Hmax	Rpalo lato Hmin
	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	771	771
Carichi assiali a quota fondo scavo	989	989

**LAVORO: UP62 - SS131 PALERMO-BOLOGNETTA - GA03 INCORBINA - DOPPIA CANNA
CARICHI ASSIALI AGENTI SUI PALI**

Dati	Var	unità	
Diametro pali	Dp	m	1.20
interasse pali lato Hrmax	ip_Hrmax	m	1.40
interasse pali lato Hrmin	ip_Hrmin	m	1.40
Spessore solettone di copertura	Ssup	m	1.50
altezza cordolo lato Hrmax	H_Hrmax	m	0.00
larghezza cordolo lato Hrmax	B_Hrmax	m	0.00
altezza cordolo lato Hrmin	H_Hrmin	m	0.00
larghezza cordolo lato Hrmin	B_Hrmin	m	0.00
Profondità scavo galleria da intradosso copertura	Hsc	m	8.30
Distanza asse pali paratia	B	m	14.00
Aggetto soletta copertura lato Hrmax	a	m	0.80
Aggetto soletta copertura lato Hrmin	b	m	0.80
Altezza ricoprimento terreno lato Hrmax	ht1	m	1.00
Altezza ricoprimento terreno lato Hrmin	ht2	m	1.00
peso specifico terreno	gter	kN/m ³	18.0
sovaccarico accidentale	q	kN/m ²	20.0

Calcolo dei carichi assiali agenti sui pali con riferimento ai valori nominali delle azioni - SLE

Carichi su una striscia di lunghezza pari ad ip	p	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
Condizione di carico	kN/m	kN	kN	kN
Peso proprio soletta	52.50	409.5	918.8	409.5
Permanente terreno ht2	25.20	196.6	441.0	196.6
Permanente terreno (ht1-ht2)	0.00	0.0	0.0	0.0
Sovraccarichi accidentali	28.00	218.4	490.0	218.4
Peso proprio cordoli		0.0	0.0	0.0

Carichi complessivi	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
	kN	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	824	1850	824
Carichi assiali a quota fondo scavo	1059	2084	1059

Carichi complessivi al ml di galleria	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
	kN	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	589	1321	589
Carichi assiali a quota fondo scavo	757	1489	757

Calcolo dei carichi assiali agenti sui pali agli SLU-STR

Carichi su una striscia di lunghezza pari ad ip	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
Condizione di carico	kN	kN	kN
Peso proprio soletta	532.4	1194.4	532.4
Permanente terreno ht2	255.5	573.3	255.5
Permanente terreno (ht1-ht2)	0.0	0.0	0.0
Sovraccarichi accidentali	327.6	735.0	327.6
Peso proprio cordoli	0.0	0.0	0.0

Carichi complessivi	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
	kN	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	1115	2503	1115
Carichi assiali a quota fondo scavo	1421	2808	1421

Carichi complessivi al ml di galleria	Rpalo lato Hrmax	Rpalo interno	Rpalo lato Hrmin
	kN	kN	kN
Carichi assiali in testa pali	797	1788	797
Carichi assiali a quota fondo scavo	1015	2006	1015

S.S.121 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta		 anas GRUPPO FS ITALIANE
UP62	Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA	

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche geotecniche di portanza verticale.

Per il calcolo della resistenza a compressione si vedano gli allegati.

LAVORO: **UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA**

OPERA:

GA03 INCORBINA

CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE

RIEPILOGO RISULTATI			PALI SOGGETTI A COMPRESSIONE									PALI SOGGETTI A TRAZIONE				
			PARAMETRI MEDI			PARAMETRI MINIMI			ENV			MEDI		MINIMI		ENV
Stratigrafia	Allineamenti	Lp [m]	Rsd [kN]	Rbd [kN]	Rcd [kN]	Rsd [kN]	Rbd [kN]	Rcd [kN]	Rcd [kN]	Edc [kN]	c.u. %	Rtd [kN]	Rtd [kN]	Rtd [kN]	Edt [kN]	c.u. %
DOPPIA CANNA	PALO DI MONTE	12.0	865	786	1603	788	666	1400	1400	1015	72%	654	605	605	0	0%
	PALO INTERNO	22.0	1735	861	2507	1498	744	2145	2145	2006	94%	1303	1146	1146	0	0%
	PALO DI VALLE	12.0	865	786	1603	788	666	1400	1400	1015	72%	654	605	605	0	0%
CANNA SINGOLA	PALO DI MONTE	12.0	865	786	1603	788	666	1400	1400	989	71%	654	605	605	0	0%
	PALO DI VALLE	12.0	865	786	1603	788	666	1400	1400	989	71%	654	605	605	0	0%

<i>S.S.121 "Cataneese"</i> <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i>		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	<i>Relazione tecnica e di calcolo – GA03 INCORBINA</i>	

11 ALLEGATI

11.1 Verifiche Geotecniche di portanza per i setti in pali trivellati

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA **OPERA: GA03 INCORBINA** **ALLINEAMENTI: DOPPIA CANNA**
RESISTENZA UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE **VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MEDI**

Il valore di progetto Rcd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di compressione è pari a:
Rcd = Rbd + Rsd - Wp
 Il valore di progetto Rtd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di trazione è pari a:
Rtd = 0.7 Rsd + Wp
 in cui:
 Rbd = Rbk / γb: Resistenza alla base di progetto
 Rsd = Rsk / γs: Resistenza laterale di progetto
 Rbk = Min [(Rbc,cal)_{media} / ξ₃; (Rbc,cal)_{min} / ξ₄] Resistenza alla punta caratteristica
 Rsk = Min [(Rsc,cal)_{media} / ξ₃; (Rsc,cal)_{min} / ξ₄] Resistenza laterale caratteristica
 Rsc,calc = Qb: Resistenza alla base di calcolo
 Rsc,calc = Qs: Resistenza laterale di calcolo
 Wp: peso proprio del palo alleggerito

I Coefficienti parziali gR da applicare alle resistenze Rk a carico verticale sono forniti dalla presente tabella:	γ _R	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γ _b	1.15	1.35	1.30
Laterale in compressione	γ _s	1.15	1.15	1.15
Totale (*)	γ	1.15	1.30	1.25
Laterale in trazione	γ _{st}	1.25	1.25	1.25

I Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate sono dati dalla seguente tabella

n. Vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Peso del palo
 Si considera il peso del palo dovuto alla differenza tra il peso di volume del cls e quello del volume di terreno asportato:
 Wp(z) = (γ_{cls} - γ_{nat}) Ap Δz

La Resistenza alla base di calcolo è pari a:
 Qb = qb x Ab
 dove:
 Ab: Area della superficie di base del palo
 qb: resistenza unitaria alla base appresso specificata per terreni coesivi e granulari
 La Resistenza laterale di calcolo è pari a:
 Qs = As x Σ (qsi x dzi)
 dove:
 As: Area della superficie laterale del palo
 qsi: resistenza laterale unitaria dell'iesimo strato
 dzi: altezza dell'iesimo strato

Terreni coesivi (c<>0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Totali
Resistenza unitaria alla base
 La resistenza alla base viene espressa come:
 qb = σv + 9 cu
Resistenza laterale unitaria
 qs = α cu con:
 α variabile in funzione di cu secondo la seguente tabella [AGI]

cu (kPa)	α
<=25	0.9
da 26 a 50	0.8
da 50 a 75	0.6
>75	0.4

In ogni caso non viene superato il valore limite di:
 qs,max = 100 kPa (AGI 1984).

Terreni granulari (c' = 0, φ' <> 0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Efficaci
Resistenza unitaria alla base
 In accordo alla teoria di Berenzantsev⁽¹⁾:
 qb = Nq* x σ'v con:
 Nq*: coefficiente di capacità portante corrispondente all'insorgere delle prime deformazioni plastiche (dp = 0,06-0,1 D)
 In ogni caso viene assunto per qp il valore limite qp,max pari al minimo tra i valori forniti dalla seguente espressione:
 qp,max1 = Nspt x α_N con:
 α_N = 150 per Ghiaie, 120 per Sabbie e 85 per Sabbie limose [Gwizdala (1984), Reese & O'Neill (1988), Matsui (1993)] e dalla seguente tabella
 Ghiaie: qb,max = 7500 kPa
 Sabbie: qb,max = 5800 kPa
 Sabbie limose: qb,max = 4300 kPa
Resistenza laterale unitaria
 ql = β σ'v con:
 1.20 >= β = 1.50 - 0.42 z^{0.34} >= 0.25 per i depositi sabbiosi
 1.80 >= β = 2.0 - 0.15 z^{0.75} >= 0.25 per i depositi sabbioso-ghiaiosi e ghiaiosi
 In ogni caso non viene superato il valore limite di ql,max, ricavabile dalle seguenti espressioni per pali trivellati con uso di fanghi (Reese&Wright 1977):
 qs,max = 3 x Nspt per Nspt <= 53
 qs,max = 142 + 0.32 x Nspt per Nspt > 53

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL SETTO

	unità	var	
Spessore del setto	m		1.20
Superficie resistente alla base	m ²	Ab	0.81
Superficie laterale per lunghezza unitaria	m ²	As	2.00
Peso specifico del setto	kN/m ³	γp	25.00

SOVRACCARICO A PIANO TESTA PALO

	kPa	σ _{vi}	
Tensione totale in testa palo			62.3
Tensione efficace in testa palo			62.3

LIVELLO DELLA FALDA E AFF. DELLA TESTA DEL PALO (DA P.C.)

	unità	var	
Profondità della falda da piano di campagna	zw	m	0.00
Affondamento della testa del palo da piano di campagna	ztp	m	0.00

N.B. Per palo che emerge da p.c. valore negativo

COEFFICIENTI PARZIALI RESISTENZE CARATTERISTICHE

	R3
Metodologia realizzativa (1 = Pali infissi; 2 = Pali trivellati; 3 =pali ad elica)	2
coefficiente γb	1.35
coefficiente γs	1.15

FATTORI DI CORRELAZIONE RESISTENZA CARATTERISTICA

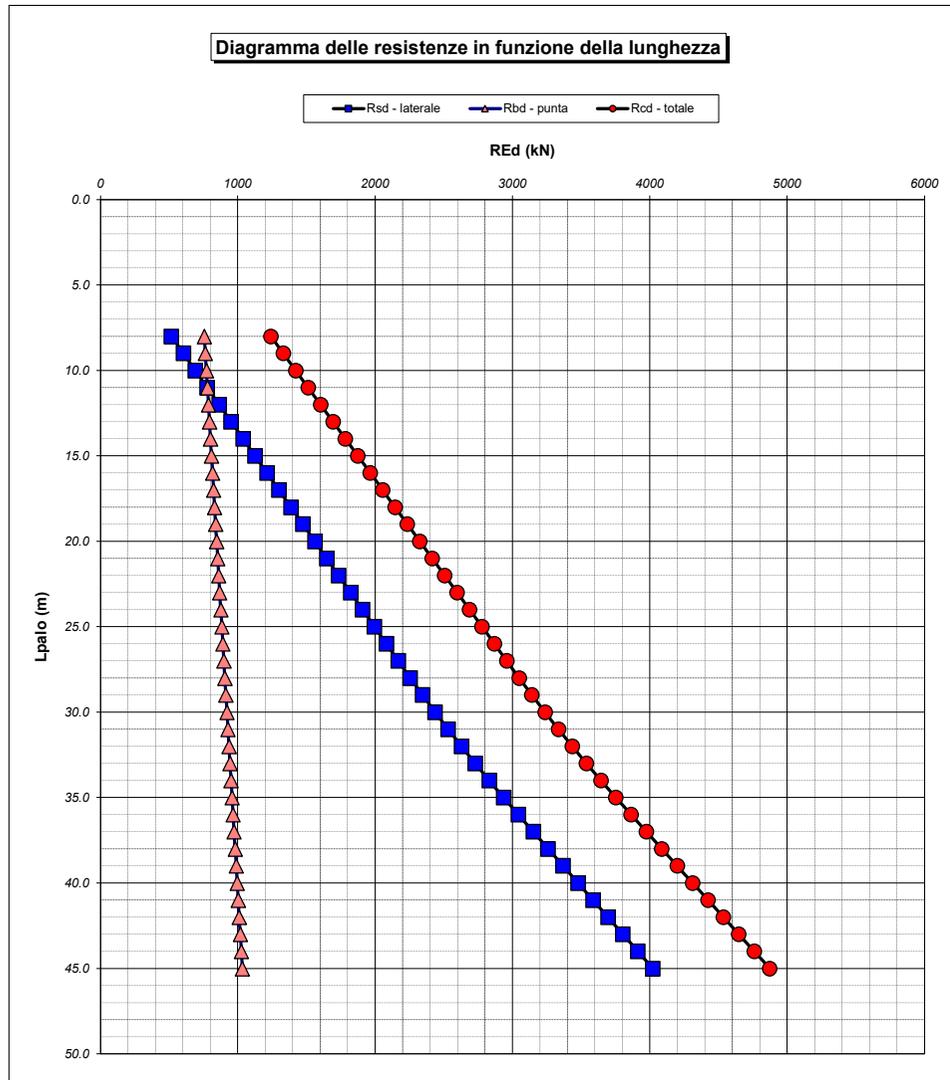
	MEDI
Valori dei parametri geotecnici (MEDI - MINIMI)	MEDI
Numero delle verticali indagate spinte a profondità superiore della lunghezza dei pali	3
coefficiente ξ	1.60

STRATIGRAFIA DI PROGETTO (DA p.c.) **COMBINAZIONE M1**

Unità n.	DESCRIZIONE	DA m	A m	Tipo	cuk - quk kPa	φ'k deg	γcu	γφ'	cud-qud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	Nspt side	ql,max kPa	α _N	Nspt*α _N	qp,max kPa	Nspt base
1	FN	0.0	60.0	C	200		1.00	1.00	200.0	0.0	20.0		100			4000	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	

Tip = C: Terreni coesivi - S: sabbie - G: ghiaie - SL: sabbie limose - R: roccia

Unità	Tip	z m	Lp (m)	cud - qud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	qa kPa	σv kPa	σv' kPa	β	qs,max kPa	qs kPa	Qs kN	Nq*	9°cu kPa	qb,max kPa	qb kPa	Qb kN	Rsd kN	Rbd kN	Wp kN	Rcd kN	Rtd kN
1	C	0.0	0.0			20.0	20.0		62.3	62.3												0		
1	C	1.0	1.0	200.0	0.0	20.0	10.2	39.9	82.3	72.5		100	39.9	80		1800.0	4000	1882.3	1521	43	704	4	743	34
1	C	2.0	2.0	200.0	0.0	20.0	10.2	45.5	102.3	82.7		100	45.5	171		1800.0	4000	1902.3	1537	93	711	8	796	73
1	C	3.0	3.0	200.0	0.0	20.0	10.2	51.1	122.3	92.9		100	51.1	273		1800.0	4000	1922.3	1553	148	719	12	855	116
1	C	4.0	4.0	200.0	0.0	20.0	10.2	56.7	142.3	103.1		100	56.7	386		1800.0	4000	1942.3	1569	210	726	16	920	163
1	C	5.0	5.0	200.0	0.0	20.0	10.2	62.3	162.3	113.3		100	62.3	511		1800.0	4000	1962.3	1585	278	734	20	991	215
1	C	6.0	6.0	200.0	0.0	20.0	10.2	67.9	182.3	123.4		100	67.9	647		1800.0	4000	1982.3	1601	351	741	24	1069	270
1	C	7.0	7.0	200.0	0.0	20.0	10.2	73.5	202.3	133.6		100	73.5	794		1800.0	4000	2002.3	1618	431	749	28	1152	330
1	C	8.0	8.0	200.0	0.0	20.0	10.2	79.1	222.3	143.8		100	79.1	952		1800.0	4000	2022.3	1634	517	756	32	1241	394
1	C	9.0	9.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	242.3	154.0		100	80.0	1112		1800.0	4000	2042.3	1650	604	764	36	1332	459
1	C	10.0	10.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	262.3	164.2		100	80.0	1272		1800.0	4000	2062.3	1666	691	771	40	1422	524
1	C	11.0	11.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	282.3	174.4		100	80.0	1432		1800.0	4000	2082.3	1682	778	779	44	1512	589
1	C	12.0	12.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	302.3	184.6		100	80.0	1592		1800.0	4000	2102.3	1698	865	786	48	1603	654
1	C	13.0	13.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	322.3	194.8		100	80.0	1752		1800.0	4000	2122.3	1714	952	794	53	1693	719
1	C	14.0	14.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	342.3	205.0		100	80.0	1912		1800.0	4000	2142.3	1731	1039	801	57	1784	784
1	C	15.0	15.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	362.3	215.2		100	80.0	2072		1800.0	4000	2162.3	1747	1126	809	61	1874	849
1	C	16.0	16.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	382.3	225.3		100	80.0	2232		1800.0	4000	2182.3	1763	1213	816	65	1964	914
1	C	17.0	17.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	402.3	235.5		100	80.0	2392		1800.0	4000	2202.3	1779	1300	824	69	2055	979
1	C	18.0	18.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	422.3	245.7		100	80.0	2552		1800.0	4000	2222.3	1795	1387	831	73	2145	1043
1	C	19.0	19.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	442.3	255.9		100	80.0	2712		1800.0	4000	2242.3	1811	1474	839	77	2236	1108
1	C	20.0	20.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	462.3	266.1		100	80.0	2872		1800.0	4000	2262.3	1828	1561	846	81	2326	1173
1	C	21.0	21.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	482.3	276.3		100	80.0	3032		1800.0	4000	2282.3	1844	1648	854	85	2416	1238
1	C	22.0	22.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	502.3	286.5		100	80.0	3192		1800.0	4000	2302.3	1860	1735	861	89	2507	1303
1	C	23.0	23.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	522.3	296.7		100	80.0	3352		1800.0	4000	2322.3	1876	1822	869	93	2597	1368
1	C	24.0	24.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	542.3	306.9		100	80.0	3512		1800.0	4000	2342.3	1892	1909	876	97	2688	1433
1	C	25.0	25.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	562.3	317.1		100	80.0	3672		1800.0	4000	2362.3	1908	1996	883	101	2778	1498
1	C	26.0	26.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	582.3	327.2		100	80.0	3832		1800.0	4000	2382.3	1925	2082	891	105	2868	1563
1	C	27.0	27.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	602.3	337.4		100	80.0	3992		1800.0	4000	2402.3	1941	2169	898	109	2959	1628
1	C	28.0	28.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	622.3	347.6		100	80.0	4152		1800.0	4000	2422.3	1957	2256	906	113	3049	1693
1	C	29.0	29.0	200.0	0.0	20.0	10.2	82.3	642.3	357.8		100	82.3	4316		1800.0	4000	2442.3	1973	2346	913	117	3142	1759
1	C	30.0	30.0	200.0	0.0	20.0	10.2	84.6	662.3	368.0		100	84.6	4486		1800.0	4000	2462.3	1989	2438	921	121	3238	1828
1	C	31.0	31.0	200.0	0.0	20.0	10.2	87.0	682.3	378.2		100	87.0	4660		1800.0	4000	2482.3	2005	2532	928	125	3336	1898
1	C	32.0	32.0	200.0	0.0	20.0	10.2	89.3	702.3	388.4		100	89.3	4838		1800.0	4000	2502.3	2021	2629	936	129	3436	1970
1	C	33.0	33.0	200.0	0.0	20.0	10.2	91.7	722.3	398.6		100	91.7	5022		1800.0	4000	2522.3	2038	2729	943	133	3539	2044
1	C	34.0	34.0	200.0	0.0	20.0	10.2	94.0	742.3	408.8		100	94.0	5210		1800.0	4000	2542.3	2054	2831	951	137	3645	2119
1	C	35.0	35.0	200.0	0.0	20.0	10.2	96.4	762.3	419.0		100	96.4	5402		1800.0	4000	2562.3	2070	2936	958	141	3753	2197
1	C	36.0	36.0	200.0	0.0	20.0	10.2	98.7	782.3	429.1		100	98.7	5600		1800.0	4000	2582.3	2086	3043	966	145	3864	2276
1	C	37.0	37.0	200.0	0.0	20.0	10.2	101.0	802.3	439.3		100	100.0	5800		1800.0	4000	2602.3	2102	3152	973	149	3976	2356
1	C	38.0	38.0	200.0	0.0	20.0	10.2	103.4	822.3	449.5		100	100.0	6000		1800.0	4000	2622.3	2118	3261	981	153	4088	2436
1	C	39.0	39.0	200.0	0.0	20.0	10.2	105.7	842.3	459.7		100	100.0	6200		1800.0	4000	2642.3	2135	3369	988	158	4200	2516
1	C	40.0	40.0	200.0	0.0	20.0	10.2	108.1	862.3	469.9		100	100.0	6400		1800.0	4000	2662.3	2151	3478	996	162	4312	2596
1	C	41.0	41.0	200.0	0.0	20.0	10.2	110.4	882.3	480.1		100	100.0	6600		1800.0	4000	2682.3	2167	3587	1003	166	4424	2676
1	C	42.0	42.0	200.0	0.0	20.0	10.2	112.8	902.3	490.3		100	100.0	6800		1800.0	4000	2702.3	2183	3696	1011	170	4537	2757
1	C	43.0	43.0	200.0	0.0	20.0	10.2	115.1	922.3	500.5		100	100.0	7000		1800.0	4000	2722.3	2199	3804	1018	174	4649	2837
1	C	44.0	44.0	200.0	0.0	20.0	10.2	117.5	942.3	510.7		100	100.0	7200		1800.0	4000	2742.3	2215	3913	1026	178	4761	2917
1	C	45.0	45.0	200.0	0.0	20.0	10.2	119.8	962.3	520.9		100	100.0	7400		1800.0	4000	2762.3	2231	4022	1033	182	4873	2997
1	C	46.0	46.0	200.0	0.0	20.0	10.2	122.1	982.3	531.0		100	100.0	7600		1800.0	4000	2782.3	2248	4130	1041	186	4985	3077
1	C	47.0	47.0	200.0	0.0	20.0	10.2	124.5	1002.3	541.2		100	100.0	7800		1800.0	4000	2802.3	2264	4239	1048	190	5097	3157
1	C	48.0	48.0	200.0	0.0	20.0	10.2	126.8	1022.3	551.4		100	100.0	8000		1800.0	4000	2822.3	2280	4348	1056	194	5209	3237
1	C	49.0	49.0	200.0	0.0	20.0	10.2	129.2	1042.3	561.6		100	100.0	8200		1800.0	4000	2842.3	2296	4456	1063	198	5321	3317
1	C	50.0	50.0	200.0	0.0	20.0	10.2	131.5	1062.3	571.8		100	100.0	8400		1800.0	4000	2862.3	2312	4565	1070	202	5434	3398



RESISTENZA A COMPRESSIONE TRAZIONE DEL PALO SINGOLO									
ALLINEAMENTO	Lp (m)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rcd (kN)	Ecd (kN)	c.u.c	Rtd (kN)	Etd (kN)	c.u.t
PALO DI MONTE	12.0	865	786	1603	1015	63%	654	0	0%
PALO INTERNO	22.0	1735	861	2507	2006	80%	1303	0	0%
PALO DI VALLE	12.0	865	786	1603	1015	63%	654	0	0%

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA OPERA: GA03 INCORBINA ALLINEAMENTI: DOPPIA CANNA
RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MINIMI

Il valore di progetto Rcd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di compressione è pari a:
Rcd = Rbd + Rsd - Wp
 Il valore di progetto Rtd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di trazione è pari a:
Rtd = 0.7 Rsd + Wp
 in cui:
 Rbd = Rbk / γb: Resistenza alla base di progetto
 Rsd = Rsk / γs: Resistenza laterale di progetto
 Rbk = Min [(Rbc,cal)_{media} / ξ₃; (Rbc,cal)_{min} / ξ₄] Resistenza alla punta caratteristica
 Rsk = Min [(Rsc,cal)_{media} / ξ₃; (Rsc,cal)_{min} / ξ₄] Resistenza laterale caratteristica
 Rsc,calc = Qb: Resistenza alla base di calcolo
 Rsc,calc = Qs: Resistenza laterale di calcolo
 Wp: peso proprio del palo alleggerito

I Coefficienti parziali γR da applicare alle resistenze Rk a carico verticale sono forniti dalla presente tabella:	γR	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γb	1.15	1.35	1.30
Laterale in compressione	γs	1.15	1.15	1.15
Totale (*)	γ	1.15	1.30	1.25
Laterale in trazione	γst	1.25	1.25	1.25

I Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate sono dati dalla seguente tabella

n. Vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Peso del palo
 Si considera il peso del palo dovuto alla differenza tra il peso di volume del cls e quello del volume di terreno asportato:
 Wp(z) = (γ_{cls} - γ_{nat}) Ap Δz

La Resistenza alla base di calcolo è pari a:
 Qb = qb x Ab
 dove:
 Ab: Area della superficie di base del palo
 qb: resistenza unitaria alla base appresso specificata per terreni coesivi e granulari
 La Resistenza laterale di calcolo è pari a:
 Qs = As x Σ (qsi x dzi)
 dove:
 As: Area della superficie laterale del palo
 qsi: resistenza laterale unitaria dell'iesimo strato
 dzi: altezza dell'iesimo strato

Terreni coesivi (c<0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Totali

Resistenza unitaria alla base
 La resistenza alla base viene espressa come:
 qb = σv + 9 cu

Resistenza laterale unitaria
 qs = α cu con:
 α variabile in funzione di cu secondo la seguente tabella [AGI]

cu (kPa)	α
<=25	0.9
da 26 a 50	0.8
da 50 a 75	0.6
>75	0.4

In ogni caso non viene superato il valore limite di:
 qs,max = 100 kPa (AGI 1984).

Terreni granulari (c' = 0, φ' > 0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Efficaci

Resistenza unitaria alla base
 In accordo alla teoria di Berenzantsev⁽¹⁾:
 qb = Nq* x σ'v con:
 Nq*: coefficiente di capacità portante corrispondente all'insorgere delle prime deformazioni plastiche (dp = 0,06-0,1 D)

In ogni caso viene assunto per qp il valore limite qp,max pari al minimo tra i valori forniti dalla seguente espressione:
 qbmax1 = Nspt x αN con:
 αN = 150 per Ghiaie, 120 per Sabbie e 85 per Sabbie limose [Gwizdala (1984), Reese & O'Neill (1988), Matsui (1993)] e dalla seguente tabella

Ghiaie: qb,max = 7500 kPa
 Sabbie: qb,max = 5800 kPa
 Sabbie limose: qb,max = 4300 kPa

Resistenza laterale unitaria
 ql = β σ'v con:
 1.20 >= β = 1.50 - 0.42 z^{0.34} >= 0.25 per i depositi sabbiosi
 1.80 >= β = 2.0 - 0.15 z^{0.75} >= 0.25 per i depositi sabbioso-gliaiosi e ghiaiosi
 In ogni caso non viene superato il valore limite di ql,max, ricavabile dalle seguenti espressioni per pali trivellati con uso di fanghi (Reese&Wright 1977):
 qsmax = 3 x Nspt per Nspt <= 53
 qsmax = 142 + 0.32 x Nspt per Nspt > 53

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PALO

	unità	var	
Diametro palo	m		1.20
Superficie resistente alla base	m ²	Ab	0.81
Superficie laterale per lunghezza unitaria	m ²	As	2.00
peso specifico del palo	kN/m ³	γp	25.00

SOVRACCARICO A PIANO TESTA PALO

	kPa	σ'v	
Tensione totale in testa palo			62.3
Tensione efficace in testa palo			62.3

LIVELLO DELLA FALDA E AFF. DELLA TESTA DEL PALO (DA P.C.)

	unità	var	
Profondità della falda da piano di campagna	zw	m	0.00
Affondamento della testa del palo da piano di campagna	ztp	m	0.00

N.B. Per palo che emerge da p.c. valore negativo

COEFFICIENTI PARZIALI RESISTENZE CARATTERISTICHE

	R3
Metodologia realizzativa (1 = Pali infissi; 2 = Pali trivellati; 3 =pali ad elica)	2
coefficiente γb	1.35
coefficiente γs	1.15

FATTORI DI CORRELAZIONE RESISTENZA CARATTERISTICA

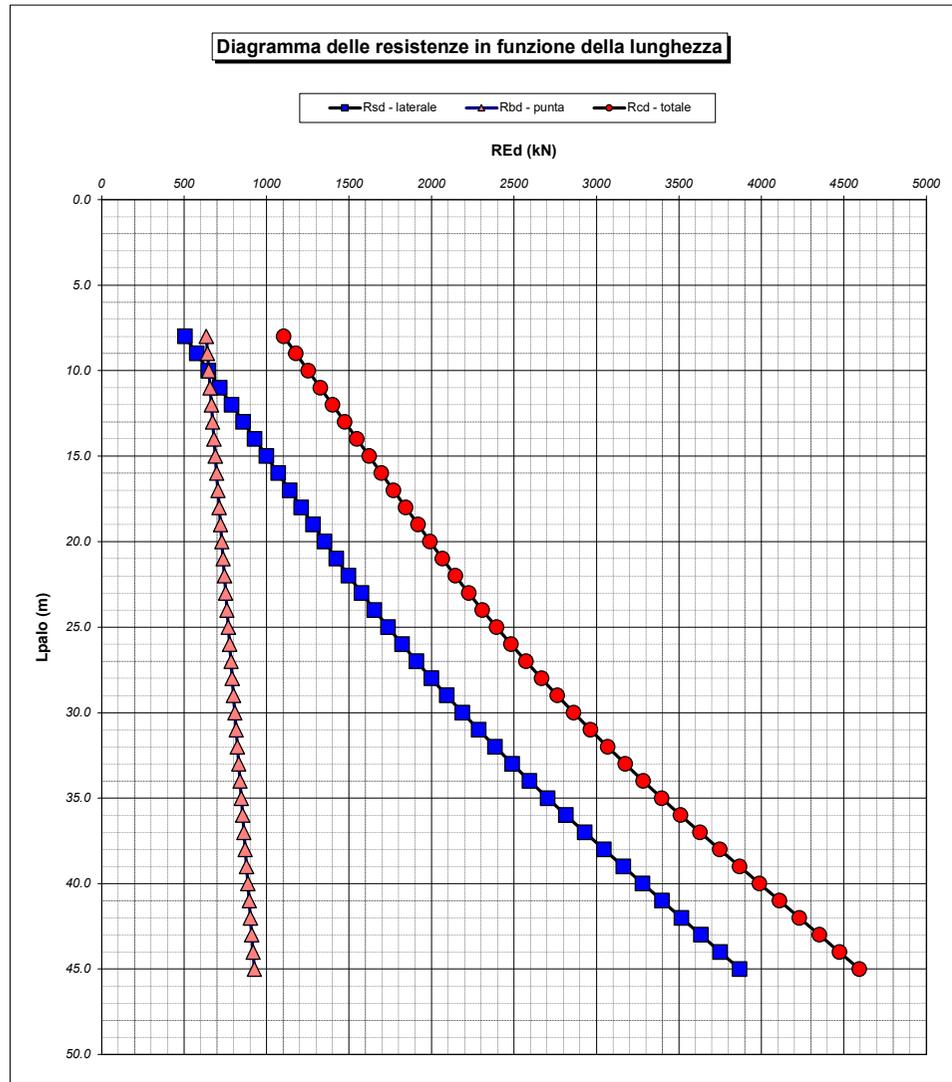
	MINIMI
Valori dei parametri geotecnici (MEDI - MINIMI)	
Numero delle verticali indagate spinte a profondità superiore della lunghezza dei pali	3
coefficiente ξ	1.48

STRATIGRAFIA DI PROGETTO (DA p.c.) COMBINAZIONE M1

Unità n.	DESCRIZIONE	DA m	A m	Tip	cuk - quk kPa	φ'k deg	γcu	γφ'	cud-qud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	Nspt side	ql,max kPa	αN	Nspt*αN	qp,max kPa	Nspt base
1	FN	0.0	60.0	C	150		1.00	1.00	150.0	0.0	19.5		100			4000	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	

Tip = C: Terreni coesivi - S: sabbie - G: ghiaie - SL: sabbie limose - R: roccia

Unità	Tip	z m	Lp (m)	cud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	qa kPa	σv kPa	σ'v kPa	β	qs,max kPa	qs kPa	Qs kN	Nq*	9°cu kPa	qb,max kPa	qb kPa	Qb kN	Rsd kN	Rbd kN	Wp kN	Rcd kN	Rtd kN
1	C	0.0	0.0			19.5	19.5		62.3	62.3												0		
1	C	1.0	1.0	150.0	0.0	19.5	9.7	39.6	81.8	72.0		100	39.6	79		1350.0	4000	1431.8	1157	47	579	4	621	37
1	C	2.0	2.0	150.0	0.0	19.5	9.7	44.9	101.3	81.7		100	44.9	169		1350.0	4000	1451.3	1172	99	587	9	677	78
1	C	3.0	3.0	150.0	0.0	19.5	9.7	50.3	120.8	91.4		100	50.3	270		1350.0	4000	1470.8	1188	158	595	13	740	124
1	C	4.0	4.0	150.0	0.0	19.5	9.7	55.6	140.3	101.1		100	55.6	381		1350.0	4000	1490.3	1204	224	603	18	808	174
1	C	5.0	5.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	159.8	110.8		100	60.0	501		1350.0	4000	1509.8	1220	294	610	22	882	228
1	C	6.0	6.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	179.3	120.4		100	60.0	621		1350.0	4000	1529.3	1235	365	618	27	956	282
1	C	7.0	7.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	198.8	130.1		100	60.0	741		1350.0	4000	1548.8	1251	435	626	31	1030	336
1	C	8.0	8.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	218.3	139.8		100	60.0	861		1350.0	4000	1568.3	1267	506	634	36	1104	390
1	C	9.0	9.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	237.8	149.5		100	60.0	981		1350.0	4000	1587.8	1283	576	642	40	1178	443
1	C	10.0	10.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	257.3	159.2		100	60.0	1101		1350.0	4000	1607.3	1298	647	650	44	1252	497
1	C	11.0	11.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	276.8	168.9		100	60.0	1221		1350.0	4000	1626.8	1314	717	658	49	1326	551
1	C	12.0	12.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	296.3	178.6		100	60.0	1341		1350.0	4000	1646.3	1330	788	666	53	1400	605
1	C	13.0	13.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	315.8	188.3		100	60.0	1461		1350.0	4000	1665.8	1346	858	674	58	1474	659
1	C	14.0	14.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	335.3	198.0		100	60.0	1581		1350.0	4000	1685.3	1361	929	681	62	1548	712
1	C	15.0	15.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	354.8	207.7		100	60.0	1701		1350.0	4000	1704.8	1377	999	689	67	1622	766
1	C	16.0	16.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	374.3	217.3		100	60.0	1821		1350.0	4000	1724.3	1393	1070	697	71	1696	820
1	C	17.0	17.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	393.8	227.0		100	60.0	1941		1350.0	4000	1743.8	1409	1140	705	76	1770	874
1	C	18.0	18.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	413.3	236.7		100	60.0	2061		1350.0	4000	1763.3	1424	1211	713	80	1844	928
1	C	19.0	19.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	432.8	246.4		100	60.0	2181		1350.0	4000	1782.8	1440	1281	721	84	1918	981
1	C	20.0	20.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	452.3	256.1		100	60.0	2301		1350.0	4000	1802.3	1456	1352	729	89	1992	1035
1	C	21.0	21.0	150.0	0.0	19.5	9.7	61.1	471.8	265.8		100	61.1	2423		1350.0	4000	1821.8	1472	1424	737	93	2067	1090
1	C	22.0	22.0	150.0	0.0	19.5	9.7	63.4	491.3	275.5		100	63.4	2550		1350.0	4000	1841.3	1487	1498	744	98	2145	1146
1	C	23.0	23.0	150.0	0.0	19.5	9.7	65.6	510.8	285.2		100	65.6	2681		1350.0	4000	1860.8	1503	1575	752	102	2225	1205
1	C	24.0	24.0	150.0	0.0	19.5	9.7	67.8	530.3	294.9		100	67.8	2817		1350.0	4000	1880.3	1519	1655	760	107	2308	1265
1	C	25.0	25.0	150.0	0.0	19.5	9.7	70.0	549.8	304.6		100	70.0	2957		1350.0	4000	1899.8	1535	1737	768	111	2394	1327
1	C	26.0	26.0	150.0	0.0	19.5	9.7	72.3	569.3	314.2		100	72.3	3101		1350.0	4000	1919.3	1550	1822	776	116	2483	1391
1	C	27.0	27.0	150.0	0.0	19.5	9.7	74.5	588.8	323.9		100	74.5	3250		1350.0	4000	1938.8	1566	1910	784	120	2574	1457
1	C	28.0	28.0	150.0	0.0	19.5	9.7	76.7	608.3	333.6		100	76.7	3404		1350.0	4000	1958.3	1582	2000	792	124	2667	1524
1	C	29.0	29.0	150.0	0.0	19.5	9.7	79.0	627.8	343.3		100	79.0	3562		1350.0	4000	1977.8	1598	2093	800	129	2763	1594
1	C	30.0	30.0	150.0	0.0	19.5	9.7	81.2	647.3	353.0		100	81.2	3724		1350.0	4000	1997.3	1613	2188	808	133	2862	1665
1	C	31.0	31.0	150.0	0.0	19.5	9.7	83.4	666.8	362.7		100	83.4	3891		1350.0	4000	2016.8	1629	2286	815	138	2964	1738
1	C	32.0	32.0	150.0	0.0	19.5	9.7	85.6	686.3	372.4		100	85.6	4062		1350.0	4000	2036.3	1645	2387	823	142	3068	1813
1	C	33.0	33.0	150.0	0.0	19.5	9.7	87.9	705.8	382.1		100	87.9	4238		1350.0	4000	2055.8	1661	2490	831	147	3174	1890
1	C	34.0	34.0	150.0	0.0	19.5	9.7	90.1	725.3	391.8		100	90.1	4418		1350.0	4000	2075.3	1677	2596	839	151	3284	1968
1	C	35.0	35.0	150.0	0.0	19.5	9.7	92.3	744.8	401.5		100	92.3	4603		1350.0	4000	2094.8	1692	2704	847	156	3396	2049
1	C	36.0	36.0	150.0	0.0	19.5	9.7	94.6	764.3	411.1		100	94.6	4792		1350.0	4000	2114.3	1708	2815	855	160	3510	2131
1	C	37.0	37.0	150.0	0.0	19.5	9.7	96.8	783.8	420.8		100	96.8	4985		1350.0	4000	2133.8	1724	2929	863	164	3627	2215
1	C	38.0	38.0	150.0	0.0	19.5	9.7	99.0	803.3	430.5		100	99.0	5183		1350.0	4000	2153.3	1740	3045	871	169	3747	2301
1	C	39.0	39.0	150.0	0.0	19.5	9.7	101.2	822.8	440.2		100	100.0	5383		1350.0	4000	2172.8	1755	3163	879	173	3868	2387
1	C	40.0	40.0	150.0	0.0	19.5	9.7	103.5	842.3	449.9		100	100.0	5583		1350.0	4000	2192.3	1771	3281	886	178	3989	2474
1	C	41.0	41.0	150.0	0.0	19.5	9.7	105.7	861.8	459.6		100	100.0	5783		1350.0	4000	2211.8	1787	3398	894	182	4110	2561
1	C	42.0	42.0	150.0	0.0	19.5	9.7	107.9	881.3	469.3		100	100.0	5983		1350.0	4000	2231.3	1803	3516	902	187	4231	2647
1	C	43.0	43.0	150.0	0.0	19.5	9.7	110.2	900.8	479.0		100	100.0	6183		1350.0	4000	2250.8	1818	3633	910	191	4352	2734
1	C	44.0	44.0	150.0	0.0	19.5	9.7	112.4	920.3	488.7		100	100.0	6383		1350.0	4000	2270.3	1834	3751	918	195	4473	2821
1	C	45.0	45.0	150.0	0.0	19.5	9.7	114.6	939.8	498.4		100	100.0	6583		1350.0	4000	2289.8	1850	3868	926	200	4594	2908
1	C	46.0	46.0	150.0	0.0	19.5	9.7	116.8	959.3	508.0		100	100.0	6783		1350.0	4000	2309.3	1866	3986	934	204	4715	2994
1	C	47.0	47.0	150.0	0.0	19.5	9.7	119.1	978.8	517.7		100	100.0	6983		1350.0	4000	2328.8	1881	4103	942	209	4836	3081
1	C	48.0	48.0	150.0	0.0	19.5	9.7	121.3	998.3	527.4		100	100.0	7183		1350.0	4000	2348.3	1897	4221	949	213	4957	3168
1	C	49.0	49.0	150.0	0.0	19.5	9.7	123.5	1017.8	537.1		100	100.0	7383		1350.0	4000	2367.8	1913	4338	957	218	5078	3254
1	C	50.0	50.0	150.0	0.0	19.5	9.7	125.8	1037.3	546.8		100	100.0	7583		1350.0	4000	2387.3	1929	4456	965	222	5199	3341



RESISTENZA A COMPRESSIONE TRAZIONE DEL PALO SINGOLO									
ALLINEAMENTO	Lp (m)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rcd (kN)	Ed (kN)	c.u.	Rtd (kN)	Etd (kN)	c.u.t
PALO DI MONTE	12.0	788	666	1400	1015	72%	605	0	0%
PALO INTERNO	22.0	1498	744	2145	2006	94%	1146	0	0%
PALO DI VALLE	12.0	788	666	1400	1015	72%	605	0	0%

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA OPERA: GA03 INCORBINA ALLINEAMENTI: CANNA SINGOLA
RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MEDI

Il valore di progetto Rcd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di compressione è pari a:
Rcd = Rbd + Rsd - Wp
 Il valore di progetto Rtd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di trazione è pari a:
Rtd = 0.7 Rsd + Wp
 in cui:
 Rbd = Rbk / γb; Resistenza alla base di progetto
 Rsd = Rsk / γs; Resistenza laterale di progetto
 Rbk = Min [(Rbc,cal)_{media} / ξ3; (Rbc,cal)_{min} / ξ4 Resistenza alla punta caratteristica
 Rsk = Min [(Rsc,cal)_{media} / ξ3; (Rsc,cal)_{min} / ξ4 Resistenza laterale caratteristica
 Rsc,calc = Qb; Resistenza alla base di calcolo
 Rsc,calc = Qs; Resistenza laterale di calcolo
 Wp: peso proprio del palo alleggerito

I Coefficienti parziali gR da applicare alle resistenze Rk a carico verticale sono forniti dalla presente tabella:	γR	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	γb	1.15	1.35	1.30
Laterale in compressione	γs	1.15	1.15	1.15
Totale (*)	γ	1.15	1.30	1.25
Laterale in trazione	γst	1.25	1.25	1.25

I Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate sono dati dalla seguente tabella

n. Vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Peso del palo
 Si considera il peso del palo dovuto alla differenza tra il peso di volume del cls e quello del volume di terreno asportato:
 Wp(z) = (γcls - γnat) Ap Δz

La Resistenza alla base di calcolo è pari a:
 Qb = qb x Ab
 dove:
 Ab: Area della superficie di base del palo
 qb: resistenza unitaria alla base appresso specificata per terreni coesivi e granulari
 La Resistenza laterale di calcolo è pari a:
 Qs = As x Σ (qsi x dzi)
 dove:
 As: Area della superficie laterale del palo
 qsi: resistenza laterale unitaria dell'iesimo strato
 dzi: altezza dell'iesimo strato

Terreni coesivi (c<>0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Totali

Resistenza unitaria alla base
 La resistenza alla base viene espressa come:
 qb = σv + 9 cu

Resistenza laterale unitaria
 qs = α cu con:
 α variabile in funzione di cu secondo la seguente tabella [AGI]

cu (kPa)	α
<=25	0.9
da 26 a 50	0.8
da 50 a 75	0.6
>75	0.4

In ogni caso non viene superato il valore limite di:
 qs,max = 100 kPa (AGI 1984).

Terreni granulari (c' = 0, φ' <> 0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Efficaci
Resistenza unitaria alla base
 In accordo alla teoria di Berenzantsev^(*):
 qb = Nq* x σ'v con:
 Nq*: coefficiente di capacità portante corrispondente all'insorgere delle prime deformazioni plastiche (dp = 0,06-0,1 D)
 In ogni caso viene assunto per qp il valore limite qp,max pari al minimo tra i valori forniti dalla seguente espressione:
 qbmax1 = Nspt x αN con:

αN = 150 per Ghiaie, 120 per Sabbie e 85 per Sabbie limose
 [Gwizdala (1984), Reese & O'Neill (1988), Matsui (1993)]
 e dalla seguente tabella

Ghiaie:	qb,max = 7500 kPa
Sabbie:	qb,max = 5800 kPa
Sabbie limose:	qb,max = 4300 kPa

Resistenza laterale unitaria
 ql = β σ'v con:
 1.20 >= β = 1.50 - 0.42 z^{0.34} >= 0.25 per i depositi sabbiosi
 1.80 >= β = 2.0 - 0.15 z^{0.75} >= 0.25 per i depositi sabbioso-ghiaiosi e ghiaiosi
 In ogni caso non viene superato il valore limite di ql,max, ricavabile dalle seguenti espressioni per pali trivellati con uso di fanghi (Reese&Wright 1977):

qsmax = 3 x Nspt	per Nspt <= 53
qsmax = 142 + 0.32 x Nspt	per Nspt > 53

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PALO	unità	var	
Diametro palo	m		1.20
Superficie resistente alla base	m ²	Ab	0.81
Superficie laterale per lunghezza unitaria	m ²	As	2.00
peso specifico del palo	kN/m ³	γp	25.00

LIVELLO DELLA FALDA E AFF. DELLA TESTA DEL PALO (DA P.C.)	unità	var	
Profondità della falda da piano di campagna	zw	m	0.00
Affondamento della testa del palo da piano di campagna	ztp	m	0.00

N.B. Per palo che emerge da p.c. valore negativo

SOVRACCARICO A PIANO TESTA PALO			
Tensione totale in testa palo	kPa	σvi	62.3
Tensione efficace in testa palo	kPa	σ'vi	62.3

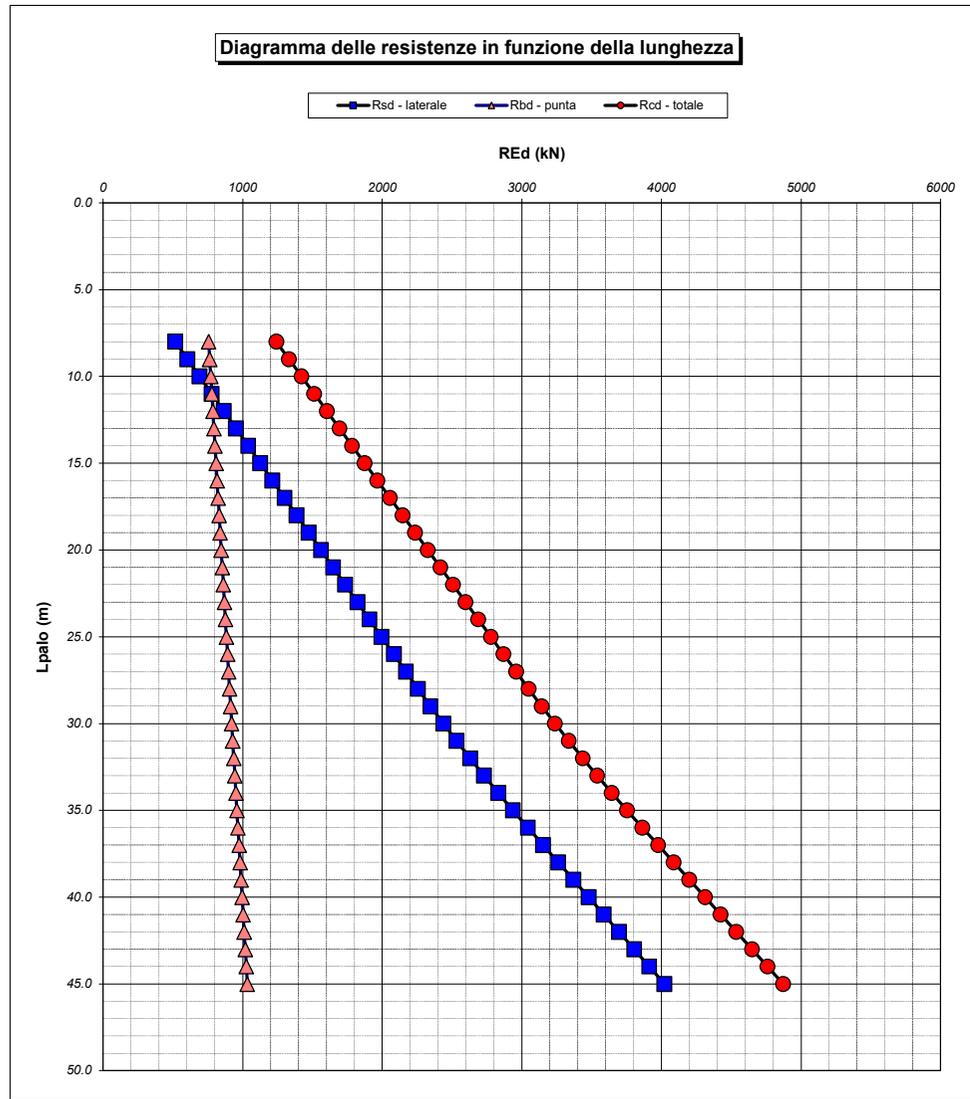
COEFFICIENTI PARZIALI RESISTENZE CARATTERISTICHE		R3
Metodologia realizzativa (1 = Pali infissi; 2 = Pali trivellati; 3 =pali ad elica)		2
coefficiente γb		1.35
coefficiente γs		1.15

FATTORI DI CORRELAZIONE RESISTENZA CARATTERISTICA		
Valori dei parametri geotecnici (MEDI - MINIMI)		MEDI
Numero delle verticali indagate spinte a profondità superiore della lunghezza dei pali		3
coefficiente ξ		1.60

STRATIGRAFIA DI PROGETTO (DA p.c.)		COMBINAZIONE M1															
Unità n.	DESCRIZIONE	DA m	A m	Tip	cuk - quk kPa	φ'k deg	γcu	γφ'	cud-qud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	Nspt side	ql,max kPa	αN	Nspt*αN	qp,max kPa	Nspt base
1	FN	0.0	60.0	C	200		1.00	1.00	200.0	0.0	20.0		100			4000	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	

Tip = C: Terreni coesivi - S: sabbie - G: ghiaie - SL: sabbie limose - R: roccia

Unità	Tip	z m	Lp (m)	cud kPa	φ'd deg	γ kN/m³	γ' kN/m³	qa kPa	σv kPa	σv' kPa	β	qs,max kPa	qs kPa	Qs kN	Nq*	9*cu kPa	qb,max kPa	qb kPa	Qb kN	Rsd kN	Rbd kN	Wp kN	Rcd kN	Rtd kN
1	C	0.0	0.0			20.0	20.0		62.3	62.3												0		
1	C	1.0	1.0	200.0	0.0	20.0	10.2	39.9	82.3	72.5		100	39.9	80		1800.0	4000	1882.3	1521	43	704	4	743	34
1	C	2.0	2.0	200.0	0.0	20.0	10.2	45.5	102.3	82.7		100	45.5	171		1800.0	4000	1902.3	1537	93	711	8	796	73
1	C	3.0	3.0	200.0	0.0	20.0	10.2	51.1	122.3	92.9		100	51.1	273		1800.0	4000	1922.3	1553	148	719	12	855	116
1	C	4.0	4.0	200.0	0.0	20.0	10.2	56.7	142.3	103.1		100	56.7	386		1800.0	4000	1942.3	1569	210	726	16	920	163
1	C	5.0	5.0	200.0	0.0	20.0	10.2	62.3	162.3	113.3		100	62.3	511		1800.0	4000	1962.3	1585	278	734	20	991	215
1	C	6.0	6.0	200.0	0.0	20.0	10.2	67.9	182.3	123.4		100	67.9	647		1800.0	4000	1982.3	1601	351	741	24	1069	270
1	C	7.0	7.0	200.0	0.0	20.0	10.2	73.5	202.3	133.6		100	73.5	794		1800.0	4000	2002.3	1618	431	749	28	1152	330
1	C	8.0	8.0	200.0	0.0	20.0	10.2	79.1	222.3	143.8		100	79.1	952		1800.0	4000	2022.3	1634	517	756	32	1241	394
1	C	9.0	9.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	242.3	154.0		100	80.0	1112		1800.0	4000	2042.3	1650	604	764	36	1332	459
1	C	10.0	10.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	262.3	164.2		100	80.0	1272		1800.0	4000	2062.3	1666	691	771	40	1422	524
1	C	11.0	11.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	282.3	174.4		100	80.0	1432		1800.0	4000	2082.3	1682	778	779	44	1512	589
1	C	12.0	12.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	302.3	184.6		100	80.0	1592		1800.0	4000	2102.3	1698	865	786	48	1603	654
1	C	13.0	13.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	322.3	194.8		100	80.0	1752		1800.0	4000	2122.3	1714	952	794	53	1693	719
1	C	14.0	14.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	342.3	205.0		100	80.0	1912		1800.0	4000	2142.3	1731	1039	801	57	1784	784
1	C	15.0	15.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	362.3	215.2		100	80.0	2072		1800.0	4000	2162.3	1747	1126	809	61	1874	849
1	C	16.0	16.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	382.3	225.3		100	80.0	2232		1800.0	4000	2182.3	1763	1213	816	65	1964	914
1	C	17.0	17.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	402.3	235.5		100	80.0	2392		1800.0	4000	2202.3	1779	1300	824	69	2055	979
1	C	18.0	18.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	422.3	245.7		100	80.0	2552		1800.0	4000	2222.3	1795	1387	831	73	2145	1043
1	C	19.0	19.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	442.3	255.9		100	80.0	2712		1800.0	4000	2242.3	1811	1474	839	77	2236	1108
1	C	20.0	20.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	462.3	266.1		100	80.0	2872		1800.0	4000	2262.3	1828	1561	846	81	2326	1173
1	C	21.0	21.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	482.3	276.3		100	80.0	3032		1800.0	4000	2282.3	1844	1648	854	85	2416	1238
1	C	22.0	22.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	502.3	286.5		100	80.0	3192		1800.0	4000	2302.3	1860	1735	861	89	2507	1303
1	C	23.0	23.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	522.3	296.7		100	80.0	3352		1800.0	4000	2322.3	1876	1822	869	93	2597	1368
1	C	24.0	24.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	542.3	306.9		100	80.0	3512		1800.0	4000	2342.3	1892	1909	876	97	2688	1433
1	C	25.0	25.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	562.3	317.1		100	80.0	3672		1800.0	4000	2362.3	1908	1996	883	101	2778	1498
1	C	26.0	26.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	582.3	327.2		100	80.0	3832		1800.0	4000	2382.3	1925	2082	891	105	2868	1563
1	C	27.0	27.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	602.3	337.4		100	80.0	3992		1800.0	4000	2402.3	1941	2169	898	109	2959	1628
1	C	28.0	28.0	200.0	0.0	20.0	10.2	80.0	622.3	347.6		100	80.0	4152		1800.0	4000	2422.3	1957	2256	906	113	3049	1693
1	C	29.0	29.0	200.0	0.0	20.0	10.2	82.3	642.3	357.8		100	82.3	4316		1800.0	4000	2442.3	1973	2346	913	117	3142	1759
1	C	30.0	30.0	200.0	0.0	20.0	10.2	84.6	662.3	368.0		100	84.6	4486		1800.0	4000	2462.3	1989	2438	921	121	3238	1828
1	C	31.0	31.0	200.0	0.0	20.0	10.2	87.0	682.3	378.2		100	87.0	4660		1800.0	4000	2482.3	2005	2532	928	125	3336	1898
1	C	32.0	32.0	200.0	0.0	20.0	10.2	89.3	702.3	388.4		100	89.3	4838		1800.0	4000	2502.3	2021	2629	936	129	3436	1970
1	C	33.0	33.0	200.0	0.0	20.0	10.2	91.7	722.3	398.6		100	91.7	5022		1800.0	4000	2522.3	2038	2729	943	133	3539	2044
1	C	34.0	34.0	200.0	0.0	20.0	10.2	94.0	742.3	408.8		100	94.0	5210		1800.0	4000	2542.3	2054	2831	951	137	3645	2119
1	C	35.0	35.0	200.0	0.0	20.0	10.2	96.4	762.3	419.0		100	96.4	5402		1800.0	4000	2562.3	2070	2936	958	141	3753	2197
1	C	36.0	36.0	200.0	0.0	20.0	10.2	98.7	782.3	429.1		100	98.7	5600		1800.0	4000	2582.3	2086	3043	966	145	3864	2276
1	C	37.0	37.0	200.0	0.0	20.0	10.2	101.0	802.3	439.3		100	100.0	5800		1800.0	4000	2602.3	2102	3152	973	149	3976	2356
1	C	38.0	38.0	200.0	0.0	20.0	10.2	103.4	822.3	449.5		100	100.0	6000		1800.0	4000	2622.3	2118	3261	981	153	4088	2436
1	C	39.0	39.0	200.0	0.0	20.0	10.2	105.7	842.3	459.7		100	100.0	6200		1800.0	4000	2642.3	2135	3369	988	158	4200	2516
1	C	40.0	40.0	200.0	0.0	20.0	10.2	108.1	862.3	469.9		100	100.0	6400		1800.0	4000	2662.3	2151	3478	996	162	4312	2596
1	C	41.0	41.0	200.0	0.0	20.0	10.2	110.4	882.3	480.1		100	100.0	6600		1800.0	4000	2682.3	2167	3587	1003	166	4424	2676
1	C	42.0	42.0	200.0	0.0	20.0	10.2	112.8	902.3	490.3		100	100.0	6800		1800.0	4000	2702.3	2183	3696	1011	170	4537	2757
1	C	43.0	43.0	200.0	0.0	20.0	10.2	115.1	922.3	500.5		100	100.0	7000		1800.0	4000	2722.3	2199	3804	1018	174	4649	2837
1	C	44.0	44.0	200.0	0.0	20.0	10.2	117.5	942.3	510.7		100	100.0	7200		1800.0	4000	2742.3	2215	3913	1026	178	4761	2917
1	C	45.0	45.0	200.0	0.0	20.0	10.2	119.8	962.3	520.9		100	100.0	7400		1800.0	4000	2762.3	2231	4022	1033	182	4873	2997



RESISTENZA A COMPRESSIONE TRAZIONE DEL PALO SINGOLO									
ALLINEAMENTO	Lp (m)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rcd (kN)	Ed (kN)	c.u.	Rtd (kN)	Etd (kN)	c.u.t
PALO DI MONTE	12.0	865	786	1603	989	62%	654	0	0%
PALO DI VALLE	12.0	865	786	1603	989	62%	654	0	0%

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA OPERA: GA03 INCORBINA ALLINEAMENTI: CANNA SINGOLA
RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MINIMI

Il valore di progetto Rcd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di compressione è pari a:
Rcd = Rbd + Rsd - Wp
 Il valore di progetto Rtd della Resistenza di pali soggetti a carichi assiali di trazione è pari a:
Rtd = 0.7 Rsd + Wp
 in cui:
 Rbd = Rbk / γb; Resistenza alla base di progetto
 Rsd = Rsk / γs; Resistenza laterale di progetto
 Rbk = Min [(Rbc,cal)_{media} / ξ3; (Rbc,cal)_{min} / ξ4 Resistenza alla punta caratteristica
 Rsk = Min [(Rsc,cal)_{media} / ξ3; (Rsc,cal)_{min} / ξ4 Resistenza laterale caratteristica
 Rsc,calc = Qb; Resistenza alla base di calcolo
 Rsc,calc = Qs; Resistenza laterale di calcolo
 Wp: peso proprio del palo alleggerito

I Coefficienti parziali γR da applicare alle resistenze Rk a carico verticale sono forniti dalla presente tabella:	γR	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica (R3)
Base	γb	1.15	1.35	1.30
Laterale in compressione	γs	1.15	1.15	1.15
Totale (*)	γ	1.15	1.30	1.25
Laterale in trazione	γst	1.25	1.25	1.25

I Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate sono dati dalla seguente tabella

n. Vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Peso del palo
 Si considera il peso del palo dovuto alla differenza tra il peso di volume del cls e quello del volume di terreno asportato:
 Wp(z) = (γcls - γnat) Ap Δz

La Resistenza alla base di calcolo è pari a:
 Qb = qb x Ab
 dove:
 Ab: Area della superficie di base del palo
 qb: resistenza unitaria alla base approsso specificata per terreni coesivi e granulari
 La Resistenza laterale di calcolo è pari a:
 Qs = As x Σ (qsi x dzi)
 dove:
 As: Area della superficie laterale del palo
 qsi: resistenza laterale unitaria dell'iesimo strato
 dzi: altezza dell'iesimo strato

Terreni coesivi (c>0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Totali

Resistenza unitaria alla base
 La resistenza alla base viene espressa come:
 qb = σv + 9 cu

Resistenza laterale unitaria
 qs = α cu con:
 α variabile in funzione di cu secondo la seguente tabella [AGI]

cu (kPa)	α
<=25	0.9
da 26 a 50	0.8
da 50 a 75	0.6
>75	0.4

In ogni caso non viene superato il valore limite di:
 qs,max = 100 kPa (AGI 1984).

Terreni granulari (c' = 0, φ' <> 0)
 Il calcolo è svolto in termini di Tensioni Efficaci

Resistenza unitaria alla base
 In accordo alla teoria di Berenzantsev(7):
 qb = Nq* x σ'v con:

Nq*: coefficiente di capacità portante corrispondente all'insorgere delle prime deformazioni plastiche (dp = 0,06-0,1 D)

In ogni caso viene assunto per qp il valore limite qp,max pari al minimo tra i valori forniti dalla seguente espressione:
 qbmax1 = Nspt x αN con:

αN = 150 per Ghiaie, 120 per Sabbie e 85 per Sabbie limose [Gwizdala (1984), Reese & O'Neill (1988), Matsui (1993)] e dalla seguente tabella

Ghiaie:	qb,max = 7500 kPa
Sabbie:	qb,max = 5800 kPa
Sabbie limose:	qb,max = 4300 kPa

Resistenza laterale unitaria
 ql = β σ'v con:
 1.20 >= β = 1.50 - 0.42 z^{0.34} >= 0.2 per i depositi sabbiosi
 1.80 >= β = 2.0 - 0.15 z^{0.75} >= 0.25 per i depositi sabbioso-ghiaiosi e ghiaiosi

In ogni caso non viene superato il valore limite di ql,max, ricavabile dalle seguenti espressioni per pali trivellati con uso di fanghi (Reese&Wright 1977):

qsmax = 3 x Nspt	per Nspt <= 53
qsmax = 142 + 0.32 x Nspt	per Nspt > 53

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PALO

	unità	var	
Diametro palo	m		1.20
Superficie resistente alla base	m ²	Ab	0.81
Superficie laterale per lunghezza unitaria	m ²	As	2.00
peso specifico del palo	kN/m ³	γp	25.00

LIVELLO DELLA FALDA E AFF. DELLA TESTA DEL PALO (DA P.C.)

	unità	var	
Profondità della falda da piano di campagna	zw	m	0.00
Affondamento della testa del palo da piano di campagna	ztp	m	0.00

N.B. Per palo che emerge da p.c. valore negativo

SOVRACCARICO A PIANO TESTA PALO

Tensione totale in testa palo	kPa	σvi	62.3
Tensione efficace in testa palo	kPa	σ'vi	62.3

COEFFICIENTI PARZIALI RESISTENZE CARATTERISTICHE

	R3
Metodologia realizzativa (1 = Pali infissi; 2 = Pali trivellati; 3 =pali ad elica)	2
coefficiente γb	1.35
coefficiente γs	1.15

FATTORI DI CORRELAZIONE RESISTENZA CARATTERISTICA

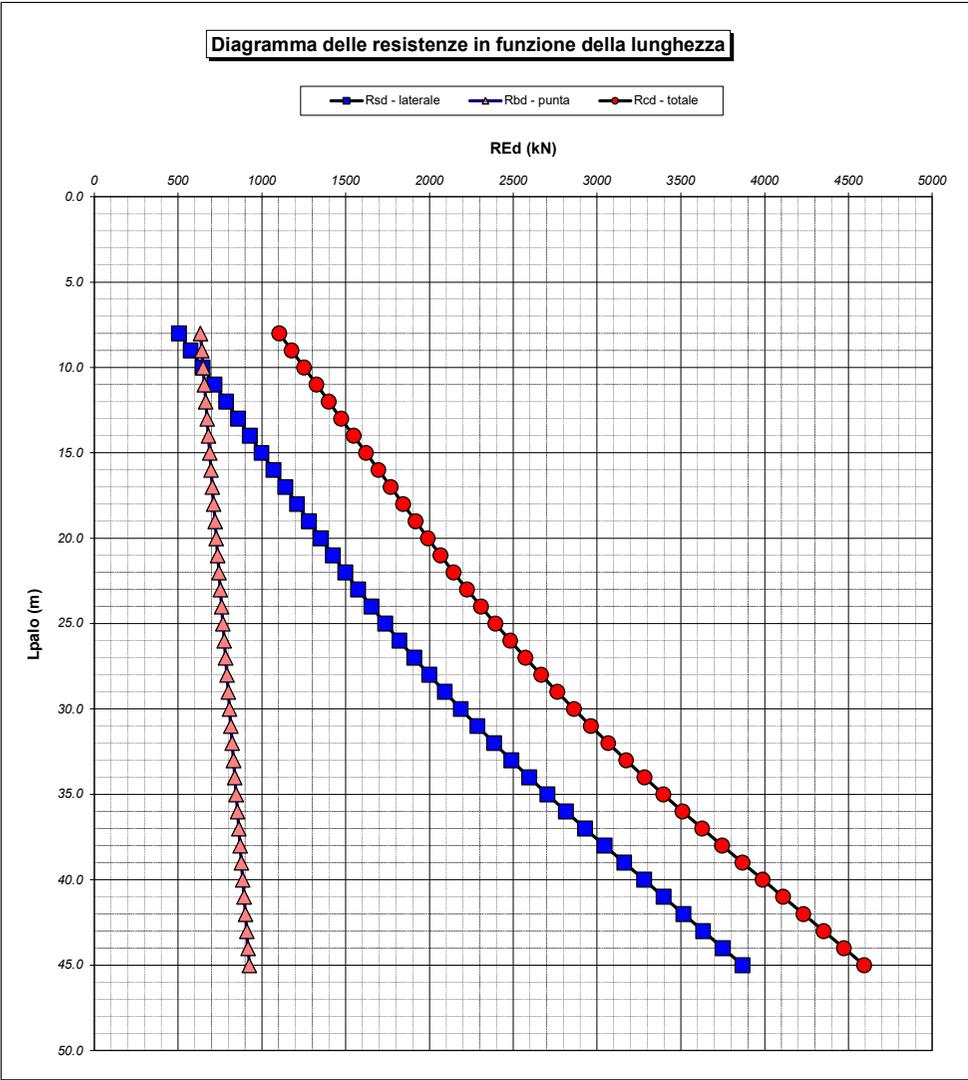
Valori dei parametri geotecnici (MEDI - MINIMI)	MINIMI
Numero delle verticali indagate spinte a profondità superiore della lunghezza dei pali	3
coefficiente ξ	1.48

STRATIGRAFIA DI PROGETTO (DA p.c.) COMBINAZIONE M1

Unità n.	DESCRIZIONE	DA m	A m	Tip	cuk - quk kPa	φ'k deg	γcu	γφ'	cud-qud kPa	φ'd deg	γ kN/m ³	Nspt side	ql,max kPa	αN	Nspt*αN	qp,max kPa	Nspt base
1	FN	0.0	60.0	C	150		1.00	1.00	150.0	0.0	19.5		100			4000	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	

Tip = C: Terreni coesivi - S: sabbie - G: ghiaie - SL: sabbie limose - R: roccia

Unità	Tip	z m	Lp (m)	cud kPa	φ'd deg	γ kN/m³	γ' kN/m³	qa kPa	σv kPa	σ'v kPa	β	qs,max kPa	qs kPa	Qs kN	Nq*	9°cu kPa	qb,max kPa	qb kPa	Qb kN	Rsd kN	Rbd kN	Wp kN	Rcd kN	Rtd kN
1	C	0.0	0.0			19.5	19.5		62.3	62.3												0		
1	C	1.0	1.0	150.0	0.0	19.5	9.7	39.6	81.8	72.0		100	39.6	79		1350.0	4000	1431.8	1157	47	579	4	621	37
1	C	2.0	2.0	150.0	0.0	19.5	9.7	44.9	101.3	81.7		100	44.9	169		1350.0	4000	1451.3	1172	99	587	9	677	78
1	C	3.0	3.0	150.0	0.0	19.5	9.7	50.3	120.8	91.4		100	50.3	270		1350.0	4000	1470.8	1188	158	595	13	740	124
1	C	4.0	4.0	150.0	0.0	19.5	9.7	55.6	140.3	101.1		100	55.6	381		1350.0	4000	1490.3	1204	224	603	18	808	174
1	C	5.0	5.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	159.8	110.8		100	60.0	501		1350.0	4000	1509.8	1220	294	610	22	882	228
1	C	6.0	6.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	179.3	120.4		100	60.0	621		1350.0	4000	1529.3	1235	365	618	27	956	282
1	C	7.0	7.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	198.8	130.1		100	60.0	741		1350.0	4000	1548.8	1251	435	626	31	1030	336
1	C	8.0	8.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	218.3	139.8		100	60.0	861		1350.0	4000	1568.3	1267	506	634	36	1104	390
1	C	9.0	9.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	237.8	149.5		100	60.0	981		1350.0	4000	1587.8	1283	576	642	40	1178	443
1	C	10.0	10.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	257.3	159.2		100	60.0	1101		1350.0	4000	1607.3	1298	647	650	44	1252	497
1	C	11.0	11.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	276.8	168.9		100	60.0	1221		1350.0	4000	1626.8	1314	717	658	49	1326	551
1	C	12.0	12.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	296.3	178.6		100	60.0	1341		1350.0	4000	1646.3	1330	788	666	53	1400	605
1	C	13.0	13.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	315.8	188.3		100	60.0	1461		1350.0	4000	1665.8	1346	858	674	58	1474	659
1	C	14.0	14.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	335.3	198.0		100	60.0	1581		1350.0	4000	1685.3	1361	929	681	62	1548	712
1	C	15.0	15.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	354.8	207.7		100	60.0	1701		1350.0	4000	1704.8	1377	999	689	67	1622	766
1	C	16.0	16.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	374.3	217.3		100	60.0	1821		1350.0	4000	1724.3	1393	1070	697	71	1696	820
1	C	17.0	17.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	393.8	227.0		100	60.0	1941		1350.0	4000	1743.8	1409	1140	705	76	1770	874
1	C	18.0	18.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	413.3	236.7		100	60.0	2061		1350.0	4000	1763.3	1424	1211	713	80	1844	928
1	C	19.0	19.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	432.8	246.4		100	60.0	2181		1350.0	4000	1782.8	1440	1281	721	84	1918	981
1	C	20.0	20.0	150.0	0.0	19.5	9.7	60.0	452.3	256.1		100	60.0	2301		1350.0	4000	1802.3	1456	1352	729	89	1992	1035
1	C	21.0	21.0	150.0	0.0	19.5	9.7	61.1	471.8	265.8		100	61.1	2423		1350.0	4000	1821.8	1472	1424	737	93	2067	1090
1	C	22.0	22.0	150.0	0.0	19.5	9.7	63.4	491.3	275.5		100	63.4	2550		1350.0	4000	1841.3	1487	1498	744	98	2145	1146
1	C	23.0	23.0	150.0	0.0	19.5	9.7	65.6	510.8	285.2		100	65.6	2681		1350.0	4000	1860.8	1503	1575	752	102	2225	1205
1	C	24.0	24.0	150.0	0.0	19.5	9.7	67.8	530.3	294.9		100	67.8	2817		1350.0	4000	1880.3	1519	1655	760	107	2308	1265
1	C	25.0	25.0	150.0	0.0	19.5	9.7	70.0	549.8	304.6		100	70.0	2957		1350.0	4000	1899.8	1535	1737	768	111	2394	1327
1	C	26.0	26.0	150.0	0.0	19.5	9.7	72.3	569.3	314.2		100	72.3	3101		1350.0	4000	1919.3	1550	1822	776	116	2483	1391
1	C	27.0	27.0	150.0	0.0	19.5	9.7	74.5	588.8	323.9		100	74.5	3250		1350.0	4000	1938.8	1566	1910	784	120	2574	1457
1	C	28.0	28.0	150.0	0.0	19.5	9.7	76.7	608.3	333.6		100	76.7	3404		1350.0	4000	1958.3	1582	2000	792	124	2667	1524
1	C	29.0	29.0	150.0	0.0	19.5	9.7	79.0	627.8	343.3		100	79.0	3562		1350.0	4000	1977.8	1598	2093	800	129	2763	1594
1	C	30.0	30.0	150.0	0.0	19.5	9.7	81.2	647.3	353.0		100	81.2	3724		1350.0	4000	1997.3	1613	2188	808	133	2862	1665
1	C	31.0	31.0	150.0	0.0	19.5	9.7	83.4	666.8	362.7		100	83.4	3891		1350.0	4000	2016.8	1629	2286	815	138	2964	1738
1	C	32.0	32.0	150.0	0.0	19.5	9.7	85.6	686.3	372.4		100	85.6	4062		1350.0	4000	2036.3	1645	2387	823	142	3068	1813
1	C	33.0	33.0	150.0	0.0	19.5	9.7	87.9	705.8	382.1		100	87.9	4238		1350.0	4000	2055.8	1661	2490	831	147	3174	1890
1	C	34.0	34.0	150.0	0.0	19.5	9.7	90.1	725.3	391.8		100	90.1	4418		1350.0	4000	2075.3	1677	2596	839	151	3284	1968
1	C	35.0	35.0	150.0	0.0	19.5	9.7	92.3	744.8	401.5		100	92.3	4603		1350.0	4000	2094.8	1692	2704	847	156	3396	2049
1	C	36.0	36.0	150.0	0.0	19.5	9.7	94.6	764.3	411.1		100	94.6	4792		1350.0	4000	2114.3	1708	2815	855	160	3510	2131
1	C	37.0	37.0	150.0	0.0	19.5	9.7	96.8	783.8	420.8		100	96.8	4985		1350.0	4000	2133.8	1724	2929	863	164	3627	2215
1	C	38.0	38.0	150.0	0.0	19.5	9.7	99.0	803.3	430.5		100	99.0	5183		1350.0	4000	2153.3	1740	3045	871	169	3747	2301
1	C	39.0	39.0	150.0	0.0	19.5	9.7	101.2	822.8	440.2		100	100.0	5383		1350.0	4000	2172.8	1755	3163	879	173	3868	2387
1	C	40.0	40.0	150.0	0.0	19.5	9.7	103.5	842.3	449.9		100	100.0	5583		1350.0	4000	2192.3	1771	3281	886	178	3989	2474
1	C	41.0	41.0	150.0	0.0	19.5	9.7	105.7	861.8	459.6		100	100.0	5783		1350.0	4000	2211.8	1787	3398	894	182	4110	2561
1	C	42.0	42.0	150.0	0.0	19.5	9.7	107.9	881.3	469.3		100	100.0	5983		1350.0	4000	2231.3	1803	3516	902	187	4231	2647
1	C	43.0	43.0	150.0	0.0	19.5	9.7	110.2	900.8	479.0		100	100.0	6183		1350.0	4000	2250.8	1818	3633	910	191	4352	2734
1	C	44.0	44.0	150.0	0.0	19.5	9.7	112.4	920.3	488.7		100	100.0	6383		1350.0	4000	2270.3	1834	3751	918	195	4473	2821
1	C	45.0	45.0	150.0	0.0	19.5	9.7	114.6	939.8	498.4		100	100.0	6583		1350.0	4000	2289.8	1850	3868	926	200	4594	2908



RESISTENZA A COMPRESSIONE TRAZIONE DEL PALO SINGOLO									
ALLINEAMENTO	Lp (m)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rcd (kN)	Ed (kN)	c.u.	Rtd (kN)	Etd (kN)	c.u.t
PALO DI MONTE	12.0	788	666	1400	989	71%	605	0	0%
PALO DI VALLE	12.0	788	666	1400	989	71%	605	0	0%