

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

GA05 – GALLERIA ARTIFICIALE AMARI

Relazione tecnica e di calcolo

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|--------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. ANNO | UP62_P00GA05STRRE01_A | | | |
| DPUP0062 | D 23 | CODICE ELAB. | P00GA05STRRE01 | 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 – GA05 AMARI | |

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>Paratia 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> | 14 |
| 4.2 | ACCIAIO IN BARRE PER CEMENTO ARMATO E RETI ELETTRORISALDATE..... | 15 |
| 4.2.1 | <i>Qualità dell'acciaio</i> | 15 |
| 4.2.2 | <i>Resistenze di progetto</i> | 15 |
| 5 | INQUADRAMENTO GEOTECNICO | 16 |
| 5.1 | STRATIGRAFIA DI CALCOLO | 16 |
| 6 | ANALISI DEI CARICHI | 21 |
| 6.1 | ANALISI ESEGUITE..... | 21 |
| 6.2 | AZIONE SISMICA..... | 21 |
| 6.3 | CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI..... | 22 |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

| | | |
|-----------|--|-------------|
| 6.4 | SPINTA DELLE TERRE | 22 |
| 6.5 | CARICHI ACCIDENTALI | 22 |
| 6.6 | COMBINAZIONI DELLE AZIONI..... | 23 |
| 7 | MODELLO DI ANALISI E RISULTATI..... | 25 |
| 7.1 | GALLERIA ARTIFICIALE..... | 25 |
| 7.2 | SINTESI DEI RISULTATI..... | 27 |
| 8 | VERIFICHE STRUTTURALI | 32 |
| 8.1 | SOLETTA DI COPERTURA – SEZIONI DI VERIFICA..... | 32 |
| 8.2 | PALI IN C.A. – SEZIONI DI VERIFICA | 32 |
| 8.3 | VERIFICHE A FLESSIONE – SOLETTA..... | 33 |
| 8.4 | VERIFICHE A TAGLIO – SOLETTA..... | 40 |
| 8.5 | VERIFICHE A FLESSIONE E A TAGLIO – PALI IN C.A..... | 41 |
| 9 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 47 |
| 9.1 | VERIFICA DEL GRADO DI MOBILITAZIONE DI SPINTA PASSIVA | 47 |
| 9.2 | VERIFICHE DI PORTANZA SLU DEI PALI DELLA GALLERIA | 47 |
| 9.2.1 | <i> Criteri di Calcolo.....</i> | <i> 47</i> |
| 9.2.2 | <i> Applicazione al caso in oggetto.....</i> | <i> 50</i> |
| 10 | ALLEGATI..... | 52 |
| 10.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE DI PORTANZA PER I SETTI IN PALI TRIVELLATI | 52 |

| | | |
|---|--|---|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

1 GENERALITA'

1.1 Oggetto

La presente relazione illustra l'analisi e le verifiche strutturali e geotecniche effettuate per la **Galleria artificiale Amari** alle **progressive pr 12+270.00 e pr 12+430.00** dell'asse principale dei lavori di realizzazione dell'ammodernamento dell'itinerario Palermo – Agrigento (S.S. 121 – Cataneese) 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 – GA05 AMARI | |

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 – GA05 AMARI | |

1.3 Descrizione delle opere

Le opere oggetto della relazione sono le seguenti:

- Paratia di imbocco in SX (da pk 12+452.00 m a pk 12+465.00 m, $L_{tot} = 13$ m)
- Galleria GA05 doppia canna (da pk 12+270.00 m a pk 12+430.00 m, $L_{tot} = 160$ m)

Per uno sviluppo totale complessivo di circa 173 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. Sbiancamento 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.

Si riporta la sezione tipo per la galleria a doppia canna.

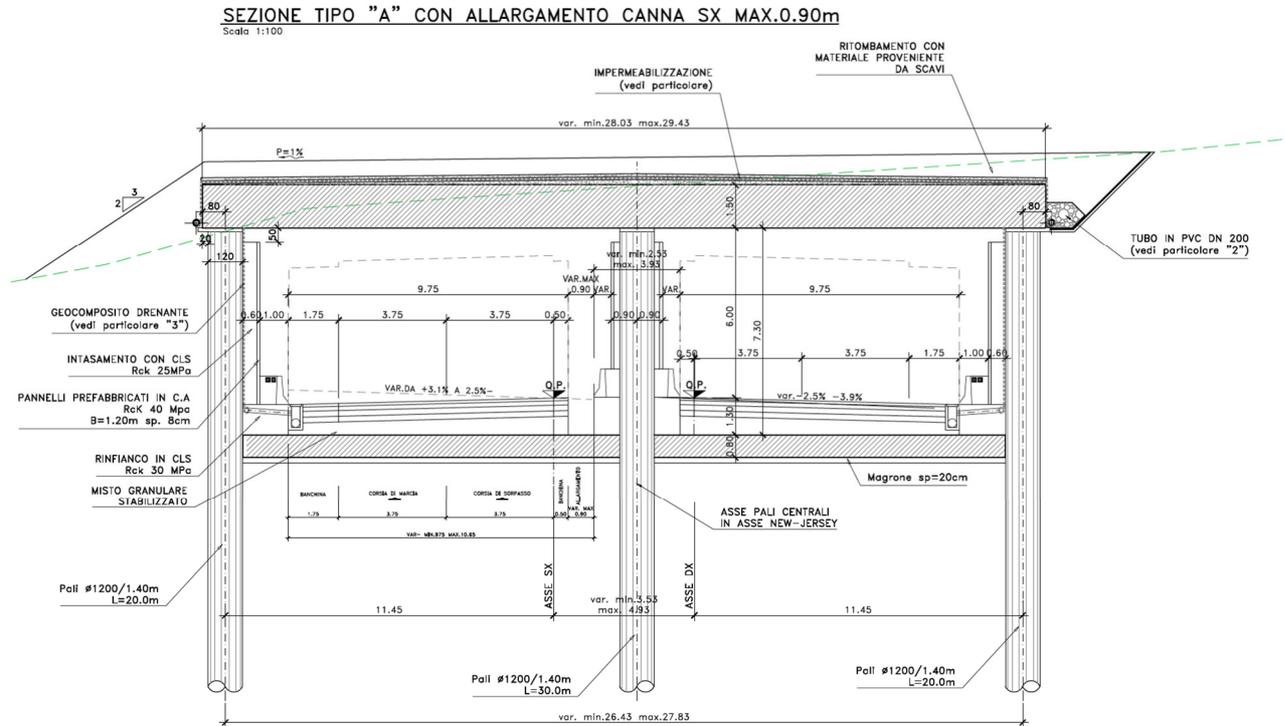


Figura 1-1 sezione tipo galleria artificiale a doppia canna

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 Paratia 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.](#)

SEZIONE TIPO "B" – PARATIA

Scala 1:100

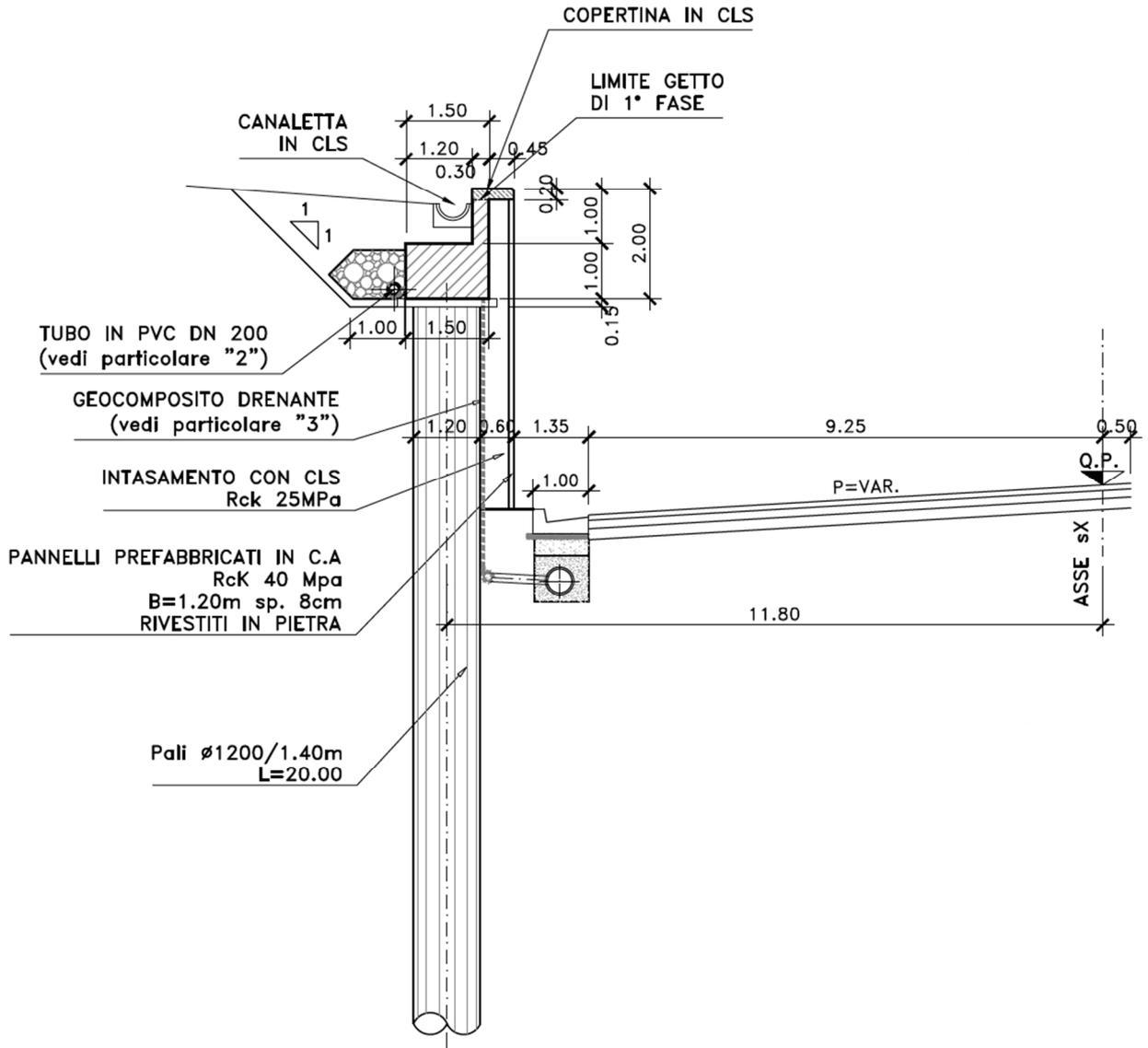


Figura 1-2 sezione tipo paratia in SX

| | | |
|--|--|---|
| S.S.121 "Cataneese" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i> | |  |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 – GA05 AMARI | |

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 ≤ 3000e | >3000e 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 ≤ 3000e | >3000e 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 | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 | C32/40 | C32/40 | C32/40 |
| Classe di esposizione ambientale | | - | XC2-XA2 | XC2-XA2 | XC4 |
| φ max inerti (mm) | Dupper | - | 32 | 32 | 25 |
| | Dlower | - | 20 | 20 | 16 |
| Classe di consistenza | | - | S5 | S4 | S4 |
| Rapporto max acqua/cemento | | - | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Tipo di cemento (secondo UNI EN 197-1) | | - | CEM IV | CEM IV | CEM IV |
| Contenuto minimo di cemento (kg/m ³) | | 150 | 340*** | 340**-.*** | 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.

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 | $C \geq C_0$ | $C_{min} < C < C_0$ | $C \geq C_0$ | $C_{min} < C < C_0$ | $C \geq C_0$ | $C_{min} < C < C_0$ | $C \geq C_0$ | $C_{min} < C < C_0$ |
| 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 | |
| | | | $R_{ck} \geq R_{ck0}$ | $R_{ckmin} \leq R_{ck} \leq R_{ck0}$ | $R_{ck} \geq R_{ck0}$ | $R_{ckmin} \leq R_{ck} \leq R_{ck0}$ | $R_{ck} \geq R_{ck0}$ | $R_{ckmin} \leq R_{ck} \leq R_{ck0}$ | $R_{ck} \geq R_{ck0}$ | $R_{ckmin} \leq R_{ck} \leq R_{ck0}$ |
| 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 |
|--|--|--|---|
| Tipo di armatura (1=barre da c.a.; 2=cavi da c.a.p.) | 1 | 1 | 1 |
| Elemento a piastra | NO | SI | SI |
| Classe di esposizione | XC2 - XA2 | XC2 - XA2 | XC4 |
| Ambiente | aggressivo | aggressivo | aggressivo |
| Rck | 40 | 40 | 40 |
| Check Rck min | OK | OK | OK |
| copriferrino minimo (Tab. C4.1.IV NTC) | 35 | 30 | 30 |
| incremento Per $V_n=100$ (tipo di costruzione 3) | 0 | 0 | 0 |
| elem. prefabbricato con ver. Copriferrini* | NO | NO | NO |
| riduzione per produzioni con ver. Copriferrini | 0 | 0 | 0 |
| Tolleranza di posa | 10 | 10 | 10 |
| copriferrino nominale | 45 | 40 | 40 |
| * Elemento prefabbricato prodotto con sistema sottoposto a controllo di qualità che comprenda la verifica dei copriferrini | | | |
| copriferrino nominale di progetto | 75 | 50 | 50 |

Tabella 4.4 – Valori dei copriferrini nominali in base alle NTC2018

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

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 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 – GA05 AMARI | |

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 **Aggressive**: per le verifiche a fessurazione dei **pali e delle solette** (classe di esposizione **XC4** e **XC2 - XA2**).

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 **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 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 |

| | | |
|---|---|--|
| <i>S.S.121 "Cataneese"</i> <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i> | |  anas GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | <i>Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI</i> | |

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.

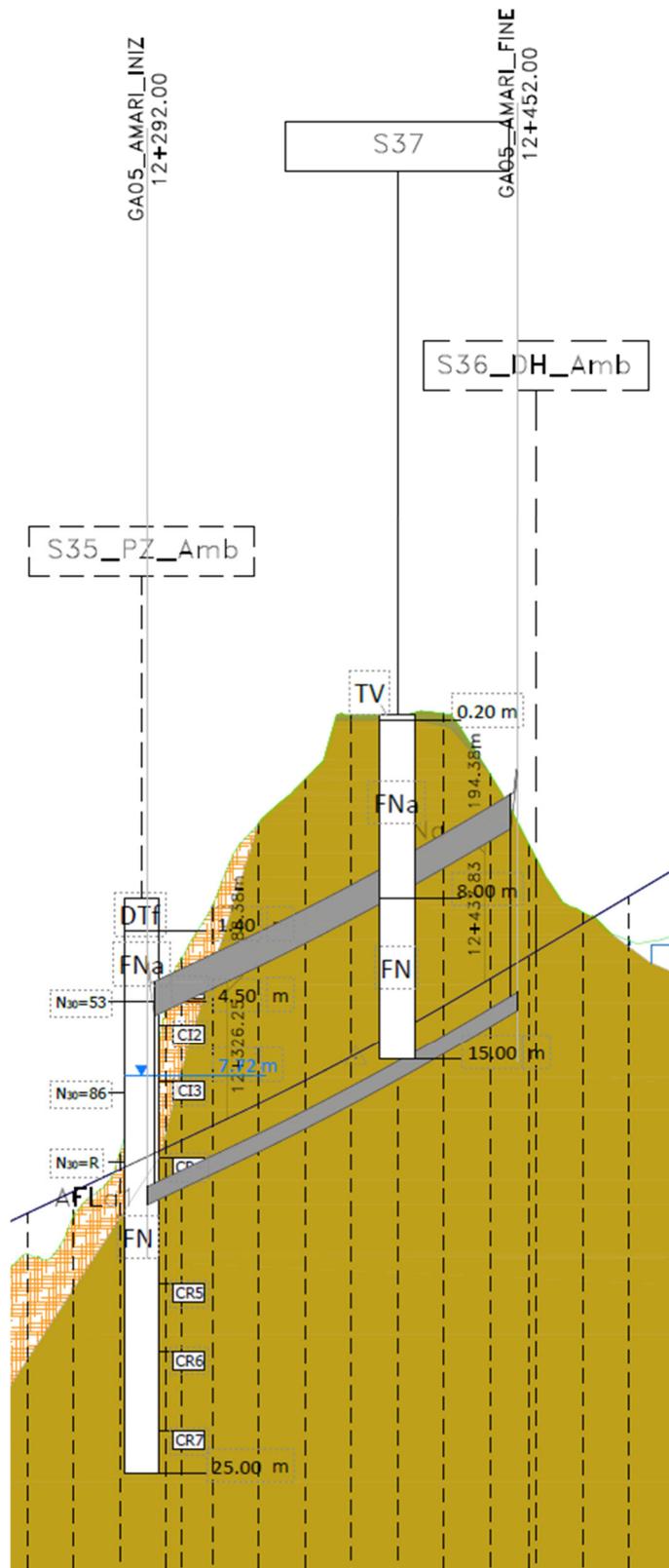


Figura 5-1: Profilo geologico-geotecnico galleria e opere d'imbocco

| COLTRI SUPERFICIALI | |
|---|--|
|  | <p>TERRENO VEGETALE (TV) Suolo agrario di colore marrone-nerastro, limo-argilloso con inclusi clasti poligenici e frustoli vegetali.</p> |
|  | <p>TERRENO DI RIPORTO (TR) Terreno di riporto di varia natura e granulometria. Sottofondo stradale. Asfalto.</p> |
|  | <p>TERRE ROSSE (LR) Limo sabbioso e sabbia limosa di colore rossastro, con ghiaia di natura calcarea.</p> |
|  | <p>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.</p> |
|  | <p>DETRITO A GRANA GROSSA (DTg) Detrito a grana grossa di natura prevalentemente calcarea variamente frammisto a limo e sabbia, materiale milonitizzato (brecce di faglia).</p> |
|  | <p>ALLUVIONI A GRANA FINE (ALF) Alluvioni a grana fina: limo sabbioso e limo argilloso sabbioso di colore marrone; $w_n < w_p$.</p> |
|  | <p>ALLUVIONI A GRANA GROSSA (ALG) Alluvioni a grana grossa: ghiaia con sabbia con livelli di limo sabbioso.</p> |
| FORMAZIONI DI BASE A GRANA FINA | |
|  | <p>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.</p> |
|  | <p>SABBIE CALCARENTICHE (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.</p> |
|  | <p>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 rinvergono 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.</p> |
|  | <p>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).</p> |
|  | <p>ARGILLA SABBIOSA (AS) Argilla a tratti sabbiosa di colore marrone, consistente, talora marnosa. A tratti struttura scagliettata. Fm. Scillato.</p> |

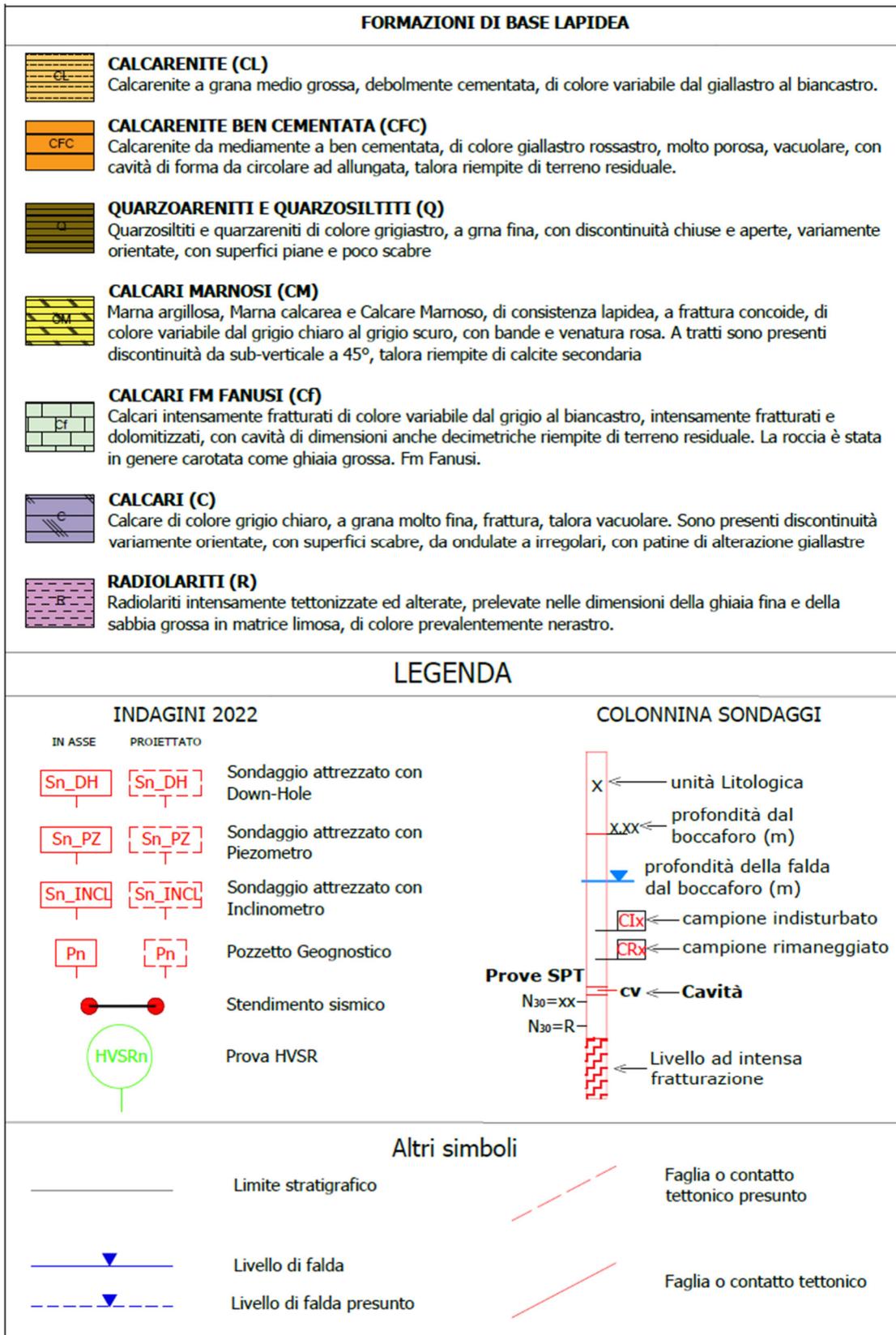


Figura 5-2 Legenda profilo geologico-geotecnico

| | | |
|---|--|---|
| S.S.121 "Catanesa" <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i> | |  |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

Si evidenzia la presenza di una coltre di copertura costituita da [terreno vegetale \(TV\)](#) 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 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

6 ANALISI DEI CARICHI

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

6.1 Analisi eseguite

Sono stati analizzati tutti i casi di verifica, secondo i criteri esposti al Par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, come segue:

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

6.2 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 | 0.220 | 2.450 | 0.308 |

Tabella 6.1: 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:

$a_g = 0.220$ g accelerazione massima su sito rigido;

$S_s = 1.38$ 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 rigidezze 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> | |  |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

In particolare:

- Per le strutture a telaio scatolare della galleria artificiale si è utilizzata la teoria di Wood per elementi rigidi;
- 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.

6.3 Carichi permanenti strutturali

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

6.4 Spinta delle terre

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

6.5 Carichi accidentali

A tergo della paratia è stato considerato un carico accidentale distribuito pari a 5 kPa, in previsione del possibile passaggio di un mezzo di cantiere.

| | | |
|---|--|---|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

6.6 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:

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

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 |
| 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 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

7 MODELLO DI ANALISI E RISULTATI

7.1 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.

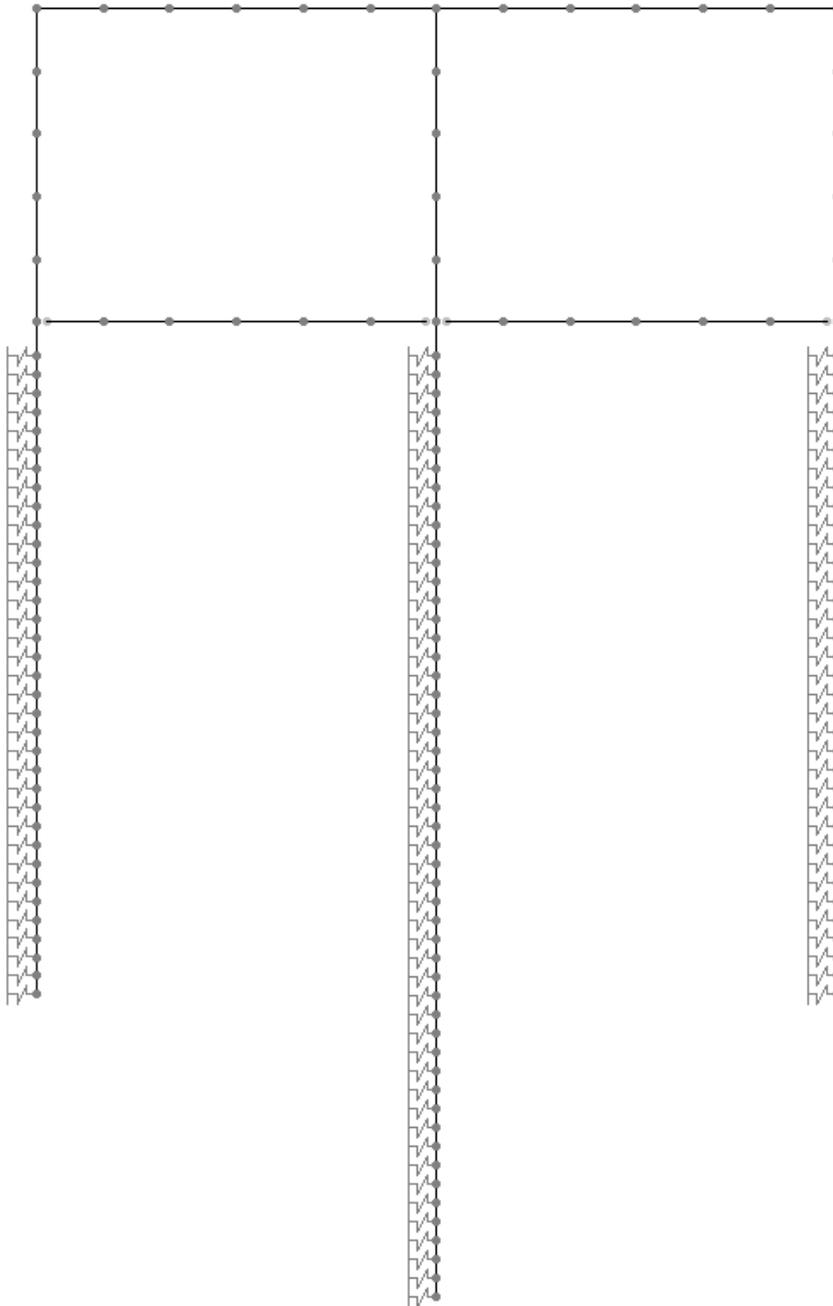


Figura 7-1 Vista modello di calcolo

7.2 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 | -4411.00 | 2428.00 | 6320.00 | 2369.00 | | |
| | V _{SLU} | kN | 1171.00 | | 1689.00 | 931.00 | | |
| STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE CARATTERISTICA | | | M _{SLE-R} | kNm | -1548.00 | 1222.00 | 1405.60 | 189.00 |
| STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE FREQUENTE | | | M _{SLE-F} | kNm | -1550.00 | 1223.00 | 1402.80 | 186.20 |
| STATO LIMITE D'ESERCIZIO - COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE | | | M _{SLE-QP} | kNm | -1554.00 | 1226.00 | 1395.80 | 180.60 |

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

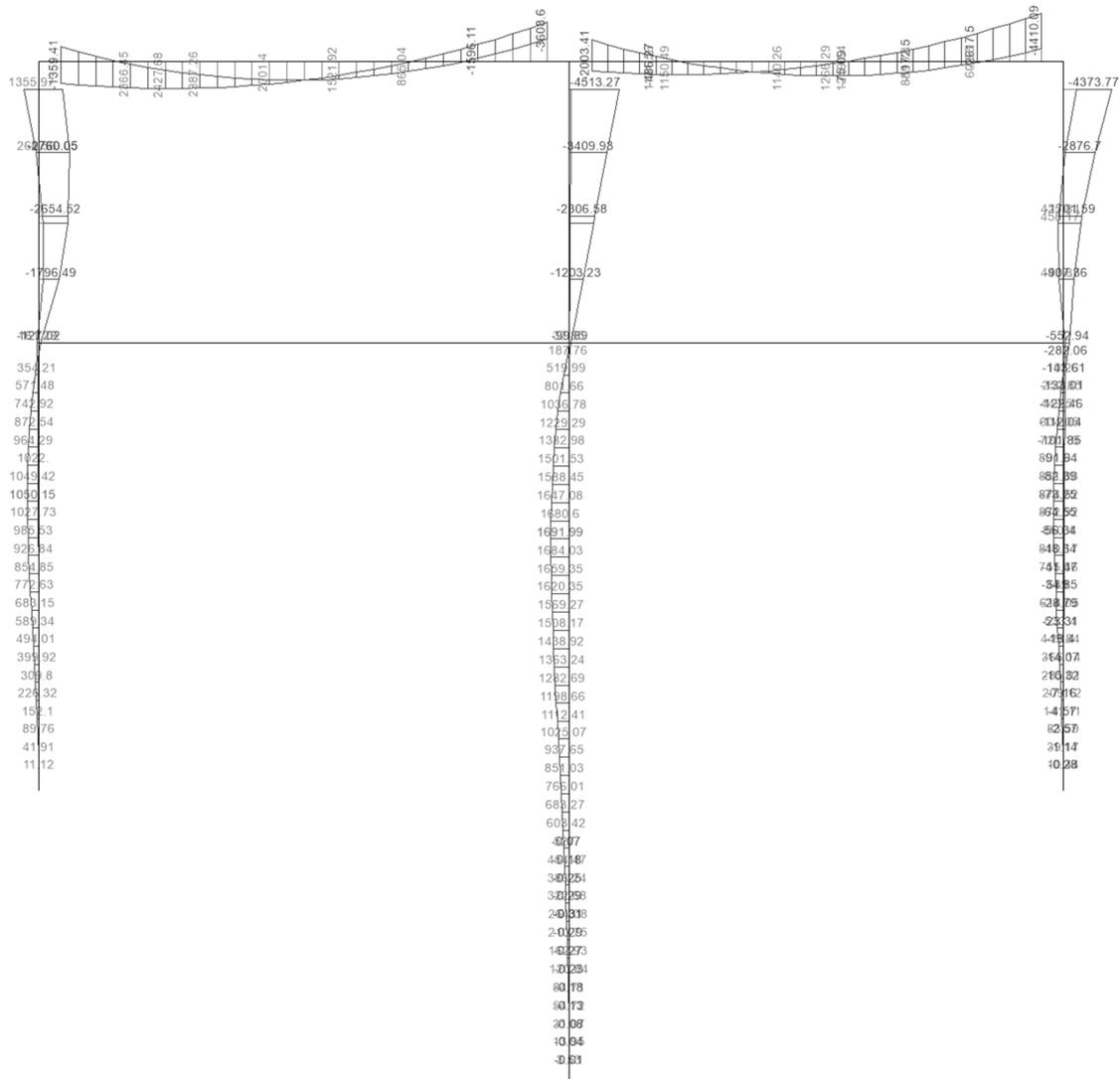


Figura 7-2 Momento flettente ENV SLU-SLV

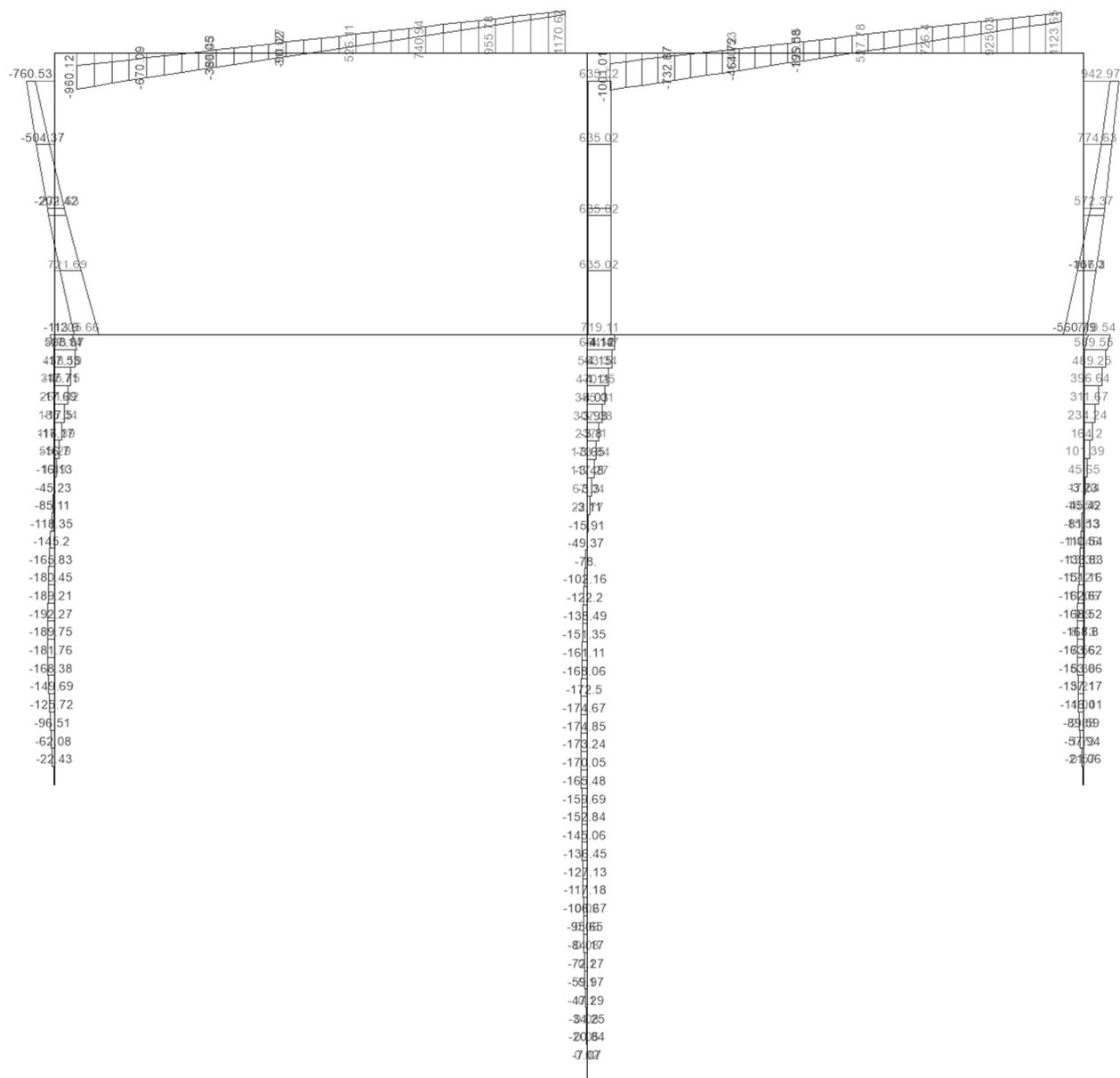


Figura 7-3 Taglio ENV SLU-SLV

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

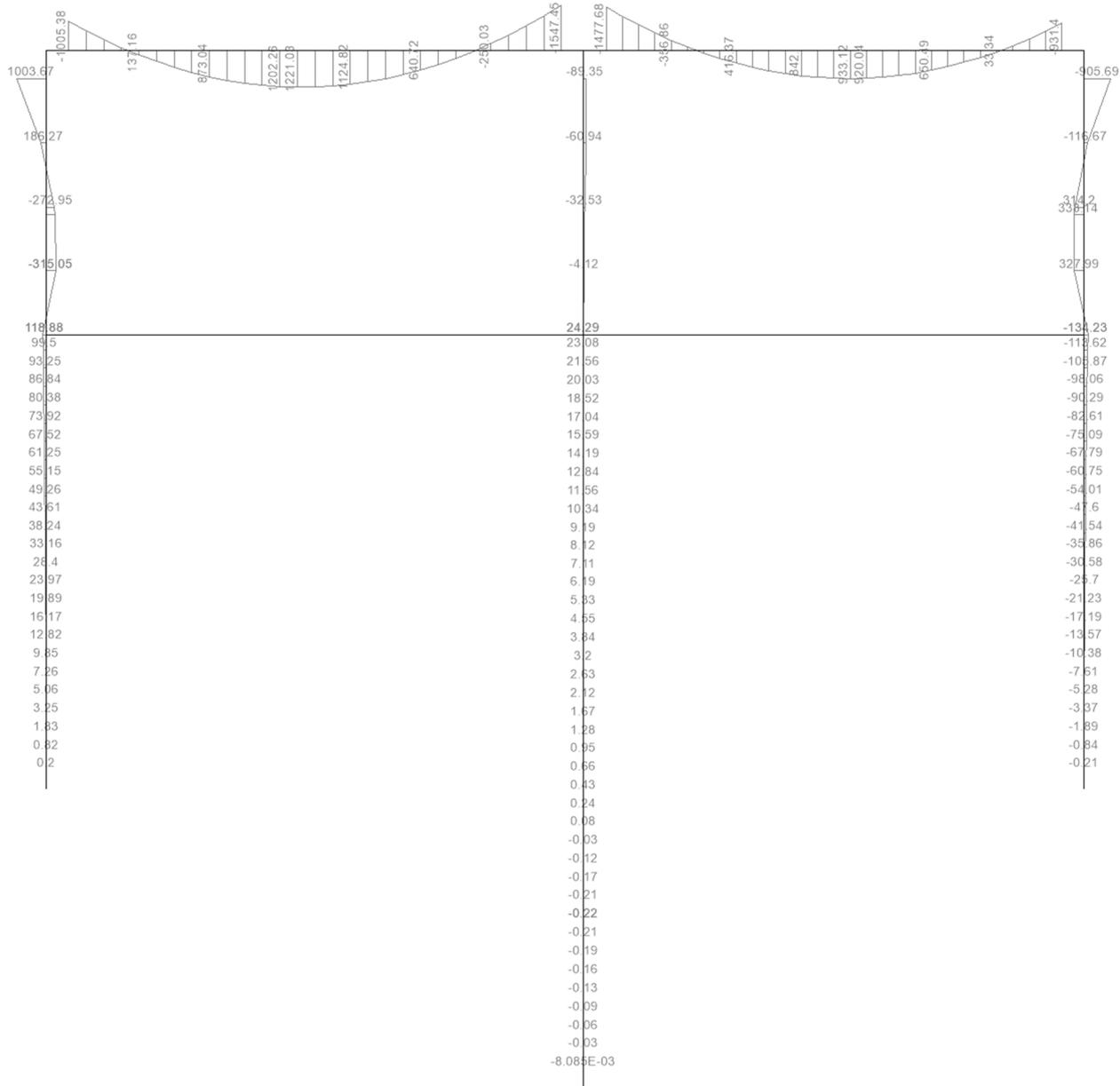


Figura 7-4 Momento flettente SLE-R

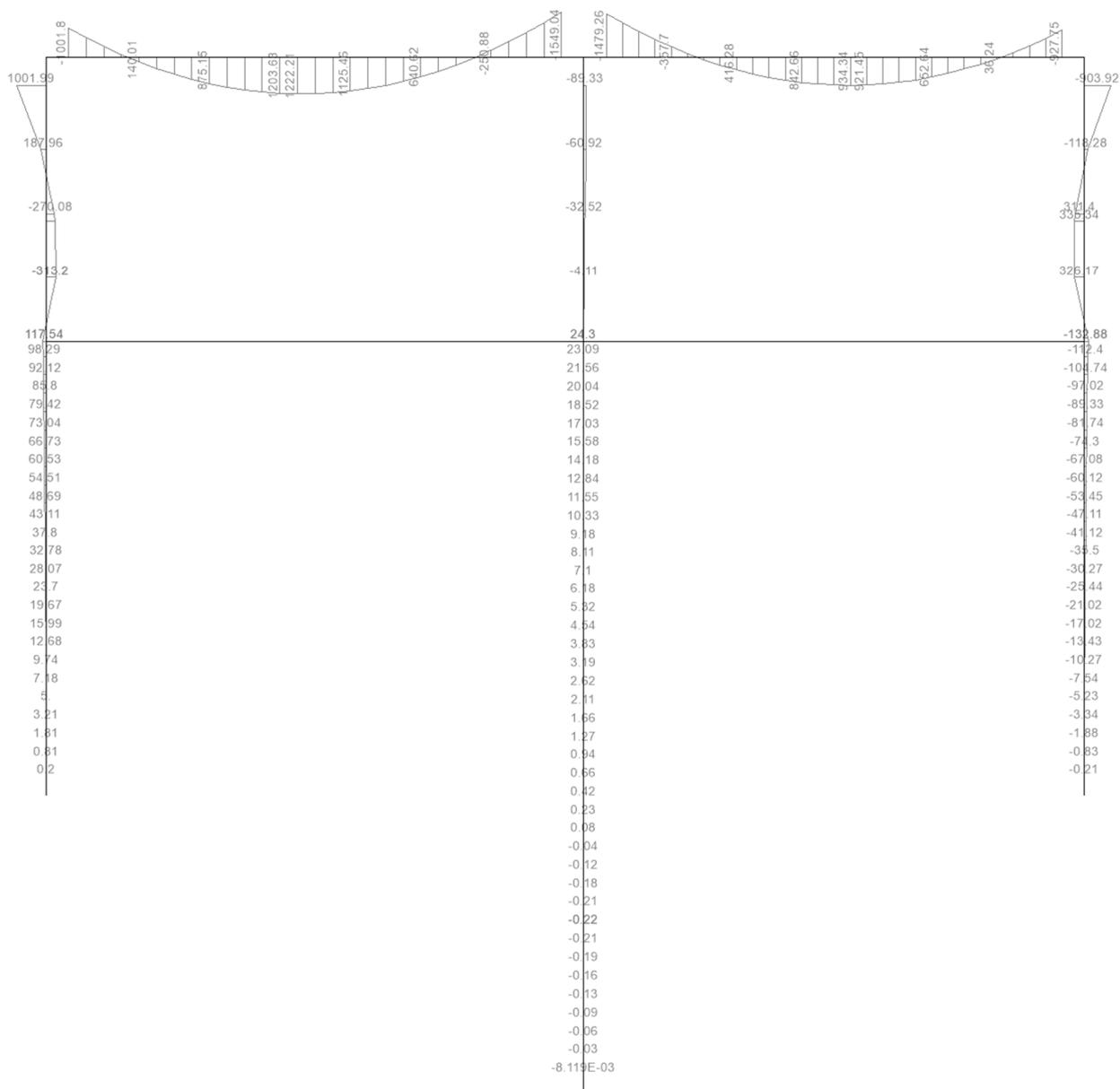


Figura 7-5 Momento flettente SLE-FR

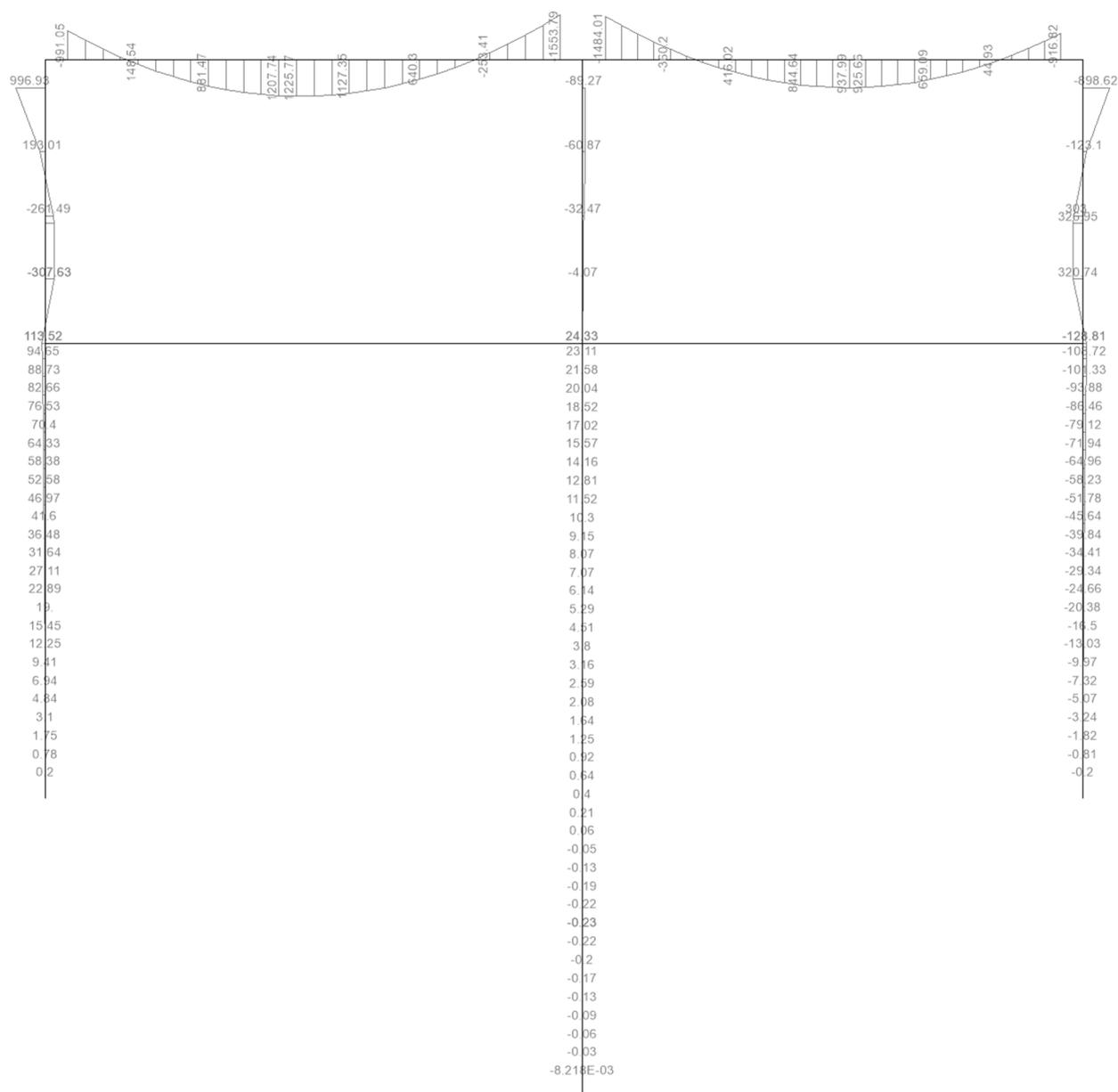


Figura 7-6 Momento flettente SLE-QP

| | | |
|--|--|---|
| S.S.121 "Cataneſe" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

8 VERIFICHE STRUTTURALI

8.1 Soletta di copertura – Sezioni di verifica

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

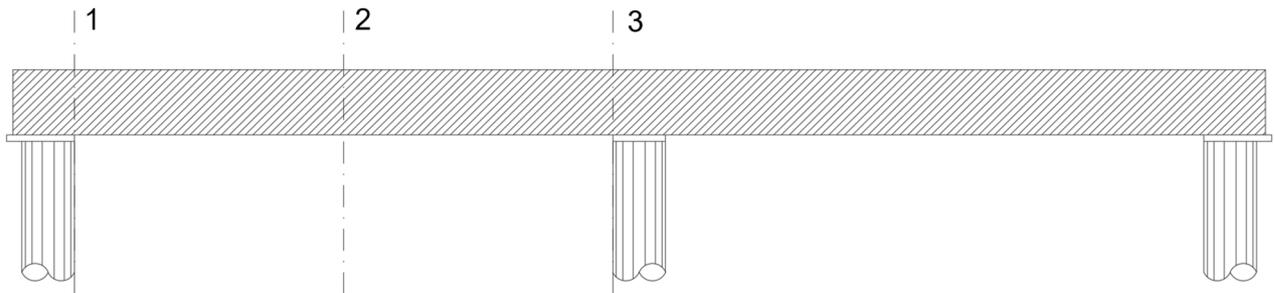


Figura 8-1 Sezioni di verifica soletta di copertura

Le armature presenti nelle diverse sezioni esaminate sono appresso riepilogate:

Sez.1 - Sezione in corrispondenza dei pali laterali:

- La soletta sarà armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/10$ in I strato e $\varnothing 26/10$ in II strato. Armatura inferiore: $\varnothing 26/20$. Come armatura a taglio è prevista una maglia di cavallotti $\varnothing 26/100 \times 100$.

Sez.2 - Sezione di campata:

- La soletta sarà armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/20$. Armatura inferiore: $\varnothing 26/10$ in I strato e $\varnothing 26/20$ in II strato.. Non è prevista armatura a taglio.

Sez.3 - Sezione in corrispondenza dei pali centrali:

- La soletta sarà armata come segue. Armatura superiore: $\varnothing 26/10$ in I strato e $\varnothing 26/10$ in II strato. Armatura inferiore: $\varnothing 26/20$. Come armatura a taglio è prevista una maglia di cavallotti $\varnothing 26/100 \times 100$.

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

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

8.2 Pali in c.a. – Sezioni di verifica

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

- La gabbia di testa sarà armata con $22+22+22\varnothing 30$ accoppiati, e spirale $\varnothing 12/10$. Le gabbie inferiori saranno armate con $22\varnothing 30$ e spirale $\varnothing 12/10$.

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.

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

Nelle verifiche nel caso di ferri accoppiati si utilizza il diametro equivalente:

$$\varnothing_{eq} = \varnothing_{singolo} \times \sqrt{2} \text{ (per 2 ferri accoppiati);}$$

$$\varnothing_{eq} = \varnothing_{singolo} \times \sqrt{3} \text{ (per 3 ferri accoppiati).}$$

8.3 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: | C32/40 | |
| 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 |
| 5 | -41.9 | 60.9 | 26 |
| 6 | 41.9 | 60.9 | 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 |
| 3 | 5 | 6 | 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 |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

| | | | | | |
|---------|---|----------|------|------|------|
| Vx | Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x | | | | |
| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
| 1 | 0.00 | -4411.00 | 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 | -1548.00 | 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 | -1550.00 (-1585.32) | 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 | -1554.00 (-1585.32) | 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: | 3.4 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] |

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| N°Comb | Ver | N | Mx | My | N Res | Mx Res | My Res | Mis.Sic. | As Tesa |
|--------|-----|------|----------|------|-------|----------|--------|----------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | -4411.00 | 0.00 | 0.00 | -5421.78 | 0.00 | 1.23 | 106.2(25.4) |

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 | 0.144 | -50.0 | -75.0 | 0.00212 | -41.9 | -66.9 | -0.02076 | -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 | -0.000170946 | -0.009320952 | 0.144 | 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 | 4.43 | -50.0 | -75.0 | -122.2 | 32.6 | 66.9 | 2800 | 106.2 |

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] |

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| 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 | 0.00037 (0.00037) | 348 | 0.127 (990.00) | -1585.32 | 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 | 4.44 | -50.0 | -75.0 | -122.3 | 32.6 | 66.9 | 2800 | 106.2 |

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 | -0.00067 | 0.00000 | 0.500 | 26.0 | 68 | 0.00037 (0.00037) | 348 | 0.128 (0.30) | -1585.32 | 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 | 4.45 | -50.0 | -75.0 | -122.6 | 32.6 | 66.9 | 2800 | 106.2 |

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 | -0.00067 | 0.00000 | 0.500 | 26.0 | 68 | 0.00041 (0.00037) | 348 | 0.144 (0.20) | -1585.32 | 0.00 |

SOLETTA DI COPERTURA - SEZ.2 MEZZERIA

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

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Calcestruzzo: C32/40

| 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 |
| 5 | -41.9 | -60.9 | 26 |
| 6 | 41.9 | -60.9 | 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

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| N°Gen. | N°Barra Ini. | N°Barra Fin. | N°Barre | Ø |
|--------|--------------|--------------|---------|----|
| 1 | 1 | 4 | 8 | 26 |
| 2 | 2 | 3 | 3 | 26 |
| 3 | 5 | 6 | 3 | 26 |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| N°Comb. | N | Mx | My | Vy | Vx |
|---------|------|---------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 2428.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|---------|------|
| 1 | 0.00 | 1222.00 | 0.00 |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 1223.00 (1499.40) | 0.00 (0.00) |

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

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

| N°Comb. | N | Mx | My |
|---------|------|-------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 1226.00 (1499.40) | 0.00 (0.00) |

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

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.4 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 | 2428.00 | 0.00 | 0.00 | 4150.28 | 0.00 | 1.71 | 79.6(25.4) |

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 | 0.105 | -50.0 | 75.0 | 0.00160 | -41.9 | 66.9 | -0.02983 | -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 | 0.000234882 | -0.014116182 | 0.105 | 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 | 3.80 | -50.0 | 75.0 | -124.3 | 32.6 | -66.9 | 2500 | 79.6 |

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

| | | |
|--|--|--|
| S.S.121 "Catanesa" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  anas GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| | |
|-------------|---|
| 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; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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 $A_{c\ eff}$ [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 = $sr\ max \cdot (e_sm - e_cm)$ [(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 | -0.00067 | 0.00000 | 0.500 | 26.0 | 68 | 0.00037 (0.00037) | 370 | 0.138 (990.00) | 1499.40 | 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 | 3.80 | -50.0 | 75.0 | -124.4 | 32.6 | -66.9 | 2500 | 79.6 |

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 | -0.00067 | 0.00000 | 0.500 | 26.0 | 68 | 0.00037 (0.00037) | 370 | 0.138 (0.30) | 1499.40 | 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 | 3.81 | -50.0 | 75.0 | -124.8 | 32.6 | -66.9 | 2500 | 79.6 |

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 | -0.00068 | 0.00000 | 0.500 | 26.0 | 68 | 0.00039 (0.00037) | 370 | 0.145 (0.20) | 1499.40 | 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 – GA05 AMARI | |

8.4 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 | 1171.0 |
| Dati | Var | unità | |
| Resistenza a compressione cubica caratteristica | R_{ck} | Mpa | 40 |
| Resistenza a compressione cilindrica caratteristica | f _{ck} | Mpa | 33.2 |
| Coefficiente parziale γ_c | γ_c | | 1.50 |
| Coefficiente parziale α_{cc} | α_{cc} | | 0.85 |
| Resistenza a compressione di calcolo | f _{cd} | Mpa | 18.8 |
| 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} | | 0.33 |
| 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 | 429.9 |
| Elementi con armature trasversali resistenti al taglio | | | |
| <i>Verifica del conglomerato</i> | | | |
| Resistenza a taglio del conglomerato | V _{Rcd} | kN | 7986.3 |
| <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 | 4130.6 |
| Resistenza a taglio | V_{Rd} | kN | 1323.0 |
| Coefficiente di Sicurezza a Taglio | V_{rd}/V_{ed} | | 1.13 |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

8.5 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: | 22Ø51 | (449.4 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 |
| 1 | 767.00 | 6320.00 | 1689.00 | 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 | 1405.60 |

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 | 1402.80 (963.02) |

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 | 1395.80 (963.02) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|-----|------------------------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.3 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 9.2 | cm |
| Interferro massimo barre longitudinali: | 0.0 | cm [deve essere < 0.0] |
| Copriferro netto minimo staffe: | 6.1 | 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 – GA05 AMARI | |

| | |
|----------|--|
| 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 | 767.00 | 6320.00 | 766.92 | 6957.64 | 1.101 | 17.7 | --- | --- | 449.4 (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 | 0.00268 | 50.1 | -0.00560 | -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 | 1689.00 | 2889.80 | 1761.33 | 108.1 79.6 | 2.500 | 1.036 | 21.7 |

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 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| 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 | 5.67 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -111.5 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 183.9 | ---- |

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 | -0.00065 | 0.00043 | | 0.50 | 0.60 | 0.000342 (0.000335) | 400 | 0.137 (990.00) | 963.02 |

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 | 5.66 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -111.3 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 183.9 | ---- |

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 | -0.00064 | 0.00042 | | 0.50 | 0.60 | 0.000340 (0.000334) | 400 | 0.136 (0.30) | 963.02 |

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 | 5.63 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -110.7 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 183.9 | ---- |

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 | -0.00064 | 0.00042 | | 0.50 | 0.40 | 0.000410 (0.000332) | 400 | 0.164 (0.20) | 963.02 |

VERIFICA 2° GABBIA

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

| | | |
|----------------------------|-------|--------------------------|
| Diametro sezione: | 120.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 22Ø42 | (304.8 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] |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|---------|--------|------|
| 1 | 0.00 | 2369.00 | 931.00 | 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 | 189.00 |

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 | 186.20 (822.36) |

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 | 180.60 (822.36) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.1 cm
Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe: 6.6 cm

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

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 [cm²]. (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 | 2369.00 | -0.12 | 4849.99 | 2.047 | 24.1 | --- | --- | 304.8 (33.9) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione

| | | |
|---|--|--|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

| | |
|--------|--|
| 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 | 0.00253 | 50.1 | -0.00725 | -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 | 931.00 | 2840.62 | 1832.11 | 105.8 82.8 | 2.500 | 1.000 | 11.5 |

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.) |

| 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 | 0.97 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -21.4 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 124.7 | ---- |

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 | -0.00012 | 0.00007 | | 0.50 | 0.60 | 0.000064 (0.000064) | 447 | 0.029 (990.00) | 822.36 |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

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 | 0.96 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -21.1 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 124.7 | ---- |

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 | -0.00012 | 0.00007 | | 0.50 | 0.60 | 0.000063 (0.000063) | 447 | 0.028 (0.30) | 822.36 |

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 | 0.93 | -60.0 | 0.00 | 60.0 | -20.5 | 50.1 | 24.8 | 3176 | 124.7 | ---- |

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 | -0.00012 | 0.00007 | | 0.50 | 0.40 | 0.000061 (0.000061) | 447 | 0.027 (0.20) | 822.36 |

| | | |
|---|--|---|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

9 VERIFICHE GEOTECNICHE

9.1 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 % cui corrisponde un coefficiente di sicurezza $FS = 2.22$.

9.2 Verifiche di portanza SLU dei pali della galleria

9.2.1 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 | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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:

$Rbd = Rbk / \gamma b$ la resistenza alla base di progetto;

$Rsd = Rsk / \gamma s$ la resistenza laterale di progetto;

Wp il peso del setto alleggerito;

$\gamma b, \gamma s$ coefficienti di sicurezza parziali da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali, forniti dalla Tab. 6.4.II delle NTC2018 precedentemente illustrata;

$Rbk = \text{Min} [(Rbc, cal)_{media} / \xi_3; (Rbc, cal)_{min} / \xi_4]$ la resistenza alla punta caratteristica;

$Rsk = \text{Min} [(Rsc, cal)_{media} / \xi_3; (Rsc, cal)_{min} / \xi_4]$ 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:

$Rs, cal = \sum_i^n qs_i Al_i$ 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 | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

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 9.1 – Valori di α (AGI 1984)

| | | |
|---|--|---|
| S.S.121 "Cataneese" Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta | |  GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI | |

9.2.2 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 - GA05 AMARI

CARICHI ASSIALI AGENTI SUI PALI

| Dati | 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 | 14.50 |
| 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 | 4.00 |
| Altezza ricoprimento terreno lato Hrmin | | ht2 | m | 2.00 |
| peso specifico terreno | | gter | kN/m3 | 18.0 |
| sovraccarico accidentale | | q | kN/m2 | 5.0 |

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 | 422.6 | 951.6 | 422.6 |
| Permanente terreno ht2 | 50.40 | 405.7 | 913.5 | 405.7 |
| Permanente terreno (ht1-ht2) | 50.40 | 18.3 | 228.4 | 182.7 |
| Sovraccarichi accidentali | 7.00 | 56.4 | 126.9 | 56.4 |
| 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 | 903 | 2220 | 1067 |
| Carichi assiali a quota fondo scavo | 1138 | 2455 | 1302 |

| Carichi complessivi al ml di galleria | Rpalo lato Hrmax | Rpalo interno | Rpalo lato Hrmin |
|---------------------------------------|------------------|---------------|------------------|
| | kN | kN | kN |
| Carichi assiali in testa pali | 645 | 1586 | 762 |
| Carichi assiali a quota fondo scavo | 813 | 1754 | 930 |

Calcolo dei carichi assiali agenti sui pali agli SLU-STR

| 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 | | 549.4 | 1237.0 | 549.4 |
| Permanente terreno ht2 | | 527.4 | 1187.6 | 527.4 |
| Permanente terreno (ht1-ht2) | | 23.8 | 296.9 | 237.5 |
| Sovraccarichi accidentali | | 84.5 | 190.3 | 84.5 |
| 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 | 1185 | 2912 | 1399 |
| Carichi assiali a quota fondo scavo | 1490 | 3217 | 1704 |

| Carichi complessivi al ml di galleria | Rpalo lato Hrmax | Rpalo interno | Rpalo lato Hrmin |
|---------------------------------------|------------------|---------------|------------------|
| | kN | kN | kN |
| Carichi assiali in testa pali | 847 | 2080 | 999 |
| Carichi assiali a quota fondo scavo | 1064 | 2298 | 1217 |

| | | |
|---|--|---|
| 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 – GA05 AMARI | |

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: **GA05 AMARI**

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

| RIEPILOGO RISULTATI | | | PALI SOGGETTI A TRAZIONE | | | | | | | | | PALI SOGGETTI A TRAZIONE | | | | | | | |
|---------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----|--|
| Stratigrafia | Allineamenti | Lp [m] | PARAMETRI MEDI | | | PARAMETRI MINIMI | | | ENV | | | Edc [kN] | c.u. % | MEDI | | MINIMI | | ENV | |
| | | | Rsd [kN] | Rbd [kN] | Rcd [kN] | Rsd [kN] | Rbd [kN] | Rcd [kN] | Rcd [kN] | Edc [kN] | Rtd [kN] | | | Rtd [kN] | Rtd [kN] | Edt [kN] | c.u. % | | |
| STR1 | PALO DI MONTE | 12.0 | 1068 | 855 | 1874 | 934 | 753 | 1634 | 1634 | 1064 | 65% | 796 | 707 | 707 | 0 | 0% | | | |
| | PALO INTERNO | 22.0 | 1995 | 934 | 2841 | 1768 | 840 | 2510 | 2510 | 2298 | 92% | 1486 | 1335 | 1335 | 0 | 0% | | | |
| | PALO DI VALLE | 12.0 | 1068 | 855 | 1874 | 934 | 753 | 1634 | 1634 | 1217 | 74% | 796 | 707 | 707 | 0 | 0% | | | |

| | | |
|---|---|--|
| <i>S.S.121 "Cataneese"</i> <i>Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – Rotatoria Bolognetta</i> | |  anas GRUPPO FS ITALIANE |
| UP62 | <i>Relazione tecnica e di calcolo – GA05 AMARI</i> | |

10 ALLEGATI

10.1 Verifiche Geotecniche di portanza per i setti in pali trivellati

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA **OPERA: GA05 AMARI** **ALLINEAMENTI: 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 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 | 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 appreso 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-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 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 |

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 | 102.3 |
| Tensione efficace in testa palo | kPa | σ'vi | 102.3 |

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 | 5 |
| coefficiente ξ | 1.50 |

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 | 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 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

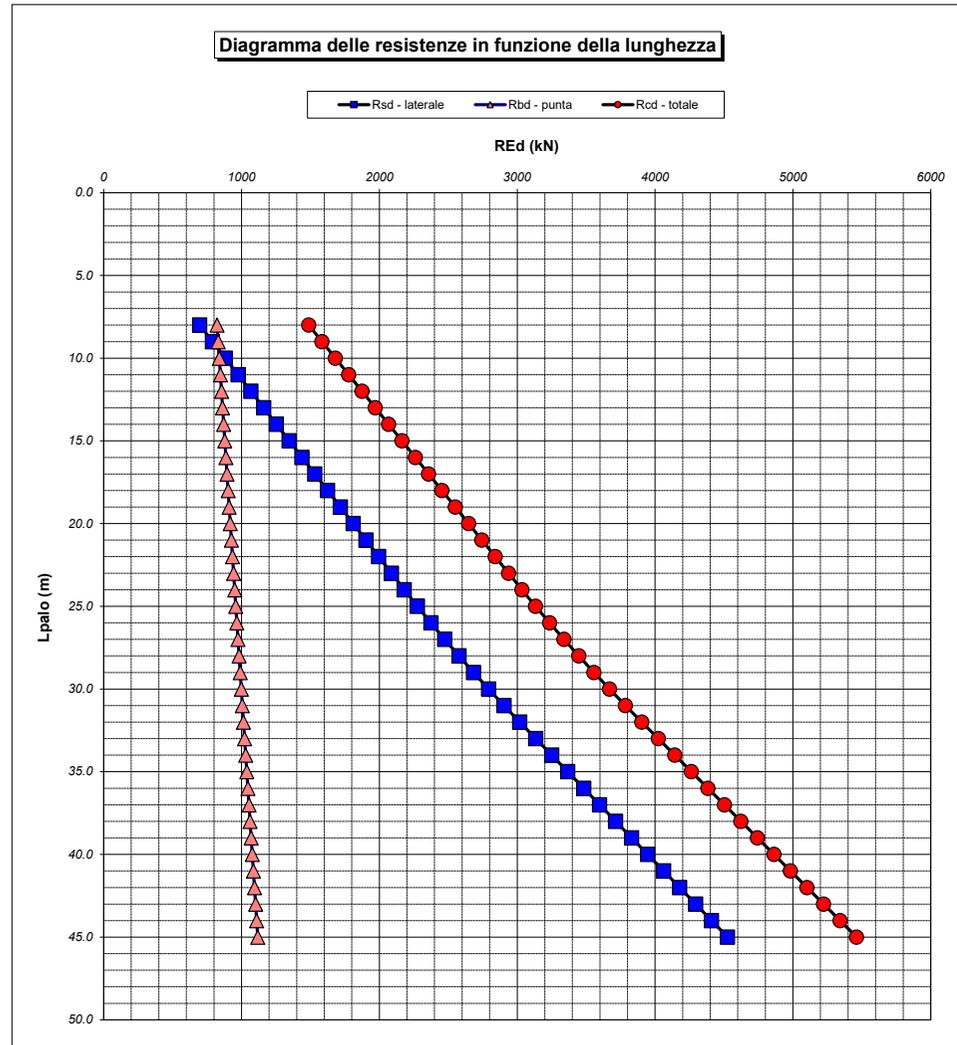
Tip = C: Terreni coesivi - S: sabbie - G: ghiaie - SL: sabbie limose - R: roccia

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA**OPERA: GA05 AMARI****ALLINEAMENTI:****RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE****VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI:****MEDI**

| Unità | Tip | z m | Lp (m) | cud - qud kPa | φ'd deg | γ kN/m ³ | γ' kN/m ³ | qa kPa | qv 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 | | 102.3 | 102.3 | | | | | | | | | | | | 0 | | |
| 1 | C | 1.0 | 1.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 61.9 | 122.3 | 112.5 | | 100 | 61.9 | 124 | | 1800.0 | 4000 | 1922.3 | 1553 | 72 | 767 | 4 | 835 | 54 |
| 1 | C | 2.0 | 2.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 67.5 | 142.3 | 122.7 | | 100 | 67.5 | 259 | | 1800.0 | 4000 | 1942.3 | 1569 | 150 | 775 | 8 | 917 | 113 |
| 1 | C | 3.0 | 3.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 73.1 | 162.3 | 132.9 | | 100 | 73.1 | 405 | | 1800.0 | 4000 | 1962.3 | 1585 | 235 | 783 | 12 | 1005 | 176 |
| 1 | C | 4.0 | 4.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 78.7 | 182.3 | 143.1 | | 100 | 78.7 | 562 | | 1800.0 | 4000 | 1982.3 | 1601 | 326 | 791 | 16 | 1101 | 244 |
| 1 | C | 5.0 | 5.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 202.3 | 153.3 | | 100 | 80.0 | 722 | | 1800.0 | 4000 | 2002.3 | 1618 | 419 | 799 | 20 | 1197 | 313 |
| 1 | C | 6.0 | 6.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 222.3 | 163.4 | | 100 | 80.0 | 882 | | 1800.0 | 4000 | 2022.3 | 1634 | 511 | 807 | 24 | 1294 | 382 |
| 1 | C | 7.0 | 7.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 242.3 | 173.6 | | 100 | 80.0 | 1042 | | 1800.0 | 4000 | 2042.3 | 1650 | 604 | 815 | 28 | 1391 | 451 |
| 1 | C | 8.0 | 8.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 262.3 | 183.8 | | 100 | 80.0 | 1202 | | 1800.0 | 4000 | 2062.3 | 1666 | 697 | 823 | 32 | 1487 | 520 |
| 1 | C | 9.0 | 9.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 282.3 | 194.0 | | 100 | 80.0 | 1362 | | 1800.0 | 4000 | 2082.3 | 1682 | 790 | 831 | 36 | 1584 | 589 |
| 1 | C | 10.0 | 10.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 302.3 | 204.2 | | 100 | 80.0 | 1522 | | 1800.0 | 4000 | 2102.3 | 1698 | 882 | 839 | 40 | 1681 | 658 |
| 1 | C | 11.0 | 11.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 322.3 | 214.4 | | 100 | 80.0 | 1682 | | 1800.0 | 4000 | 2122.3 | 1714 | 975 | 847 | 44 | 1777 | 727 |
| 1 | C | 12.0 | 12.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 342.3 | 224.6 | | 100 | 80.0 | 1842 | | 1800.0 | 4000 | 2142.3 | 1731 | 1068 | 855 | 48 | 1874 | 796 |
| 1 | C | 13.0 | 13.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 362.3 | 234.8 | | 100 | 80.0 | 2002 | | 1800.0 | 4000 | 2162.3 | 1747 | 1161 | 863 | 53 | 1971 | 865 |
| 1 | C | 14.0 | 14.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 382.3 | 245.0 | | 100 | 80.0 | 2162 | | 1800.0 | 4000 | 2182.3 | 1763 | 1253 | 871 | 57 | 2067 | 934 |
| 1 | C | 15.0 | 15.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 402.3 | 255.2 | | 100 | 80.0 | 2322 | | 1800.0 | 4000 | 2202.3 | 1779 | 1346 | 879 | 61 | 2164 | 1003 |
| 1 | C | 16.0 | 16.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 422.3 | 265.3 | | 100 | 80.0 | 2482 | | 1800.0 | 4000 | 2222.3 | 1795 | 1439 | 887 | 65 | 2261 | 1072 |
| 1 | C | 17.0 | 17.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 442.3 | 275.5 | | 100 | 80.0 | 2642 | | 1800.0 | 4000 | 2242.3 | 1811 | 1532 | 895 | 69 | 2358 | 1141 |
| 1 | C | 18.0 | 18.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 462.3 | 285.7 | | 100 | 80.0 | 2802 | | 1800.0 | 4000 | 2262.3 | 1828 | 1624 | 903 | 73 | 2454 | 1210 |
| 1 | C | 19.0 | 19.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 482.3 | 295.9 | | 100 | 80.0 | 2962 | | 1800.0 | 4000 | 2282.3 | 1844 | 1717 | 910 | 77 | 2551 | 1279 |
| 1 | C | 20.0 | 20.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 502.3 | 306.1 | | 100 | 80.0 | 3122 | | 1800.0 | 4000 | 2302.3 | 1860 | 1810 | 918 | 81 | 2648 | 1348 |
| 1 | C | 21.0 | 21.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 522.3 | 316.3 | | 100 | 80.0 | 3282 | | 1800.0 | 4000 | 2322.3 | 1876 | 1903 | 926 | 85 | 2744 | 1417 |
| 1 | C | 22.0 | 22.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 542.3 | 326.5 | | 100 | 80.0 | 3442 | | 1800.0 | 4000 | 2342.3 | 1892 | 1995 | 934 | 89 | 2841 | 1486 |
| 1 | C | 23.0 | 23.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 562.3 | 336.7 | | 100 | 80.0 | 3602 | | 1800.0 | 4000 | 2362.3 | 1908 | 2088 | 942 | 93 | 2938 | 1555 |
| 1 | C | 24.0 | 24.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 80.0 | 582.3 | 346.9 | | 100 | 80.0 | 3762 | | 1800.0 | 4000 | 2382.3 | 1925 | 2181 | 950 | 97 | 3034 | 1624 |
| 1 | C | 25.0 | 25.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 82.1 | 602.3 | 357.1 | | 100 | 82.1 | 3926 | | 1800.0 | 4000 | 2402.3 | 1941 | 2276 | 958 | 101 | 3134 | 1694 |
| 1 | C | 26.0 | 26.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 84.5 | 622.3 | 367.2 | | 100 | 84.5 | 4095 | | 1800.0 | 4000 | 2422.3 | 1957 | 2374 | 966 | 105 | 3235 | 1767 |
| 1 | C | 27.0 | 27.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 86.8 | 642.3 | 377.4 | | 100 | 86.8 | 4269 | | 1800.0 | 4000 | 2442.3 | 1973 | 2475 | 974 | 109 | 3340 | 1841 |
| 1 | C | 28.0 | 28.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 89.2 | 662.3 | 387.6 | | 100 | 89.2 | 4447 | | 1800.0 | 4000 | 2462.3 | 1989 | 2578 | 982 | 113 | 3447 | 1918 |
| 1 | C | 29.0 | 29.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 91.5 | 682.3 | 397.8 | | 100 | 91.5 | 4630 | | 1800.0 | 4000 | 2482.3 | 2005 | 2684 | 990 | 117 | 3557 | 1996 |
| 1 | C | 30.0 | 30.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 93.8 | 702.3 | 408.0 | | 100 | 93.8 | 4818 | | 1800.0 | 4000 | 2502.3 | 2021 | 2793 | 998 | 121 | 3670 | 2076 |
| 1 | C | 31.0 | 31.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 96.2 | 722.3 | 418.2 | | 100 | 96.2 | 5010 | | 1800.0 | 4000 | 2522.3 | 2038 | 2905 | 1006 | 125 | 3786 | 2158 |
| 1 | C | 32.0 | 32.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 98.5 | 742.3 | 428.4 | | 100 | 98.5 | 5207 | | 1800.0 | 4000 | 2542.3 | 2054 | 3019 | 1014 | 129 | 3904 | 2242 |
| 1 | C | 33.0 | 33.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 100.9 | 762.3 | 438.6 | | 100 | 100.0 | 5407 | | 1800.0 | 4000 | 2562.3 | 2070 | 3135 | 1022 | 133 | 4024 | 2328 |
| 1 | C | 34.0 | 34.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 103.2 | 782.3 | 448.8 | | 100 | 100.0 | 5607 | | 1800.0 | 4000 | 2582.3 | 2086 | 3251 | 1030 | 137 | 4143 | 2413 |
| 1 | C | 35.0 | 35.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 105.6 | 802.3 | 459.0 | | 100 | 100.0 | 5807 | | 1800.0 | 4000 | 2602.3 | 2102 | 3367 | 1038 | 141 | 4263 | 2498 |
| 1 | C | 36.0 | 36.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 107.9 | 822.3 | 469.1 | | 100 | 100.0 | 6007 | | 1800.0 | 4000 | 2622.3 | 2118 | 3483 | 1046 | 145 | 4383 | 2583 |
| 1 | C | 37.0 | 37.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 110.2 | 842.3 | 479.3 | | 100 | 100.0 | 6207 | | 1800.0 | 4000 | 2642.3 | 2135 | 3598 | 1054 | 149 | 4503 | 2668 |
| 1 | C | 38.0 | 38.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 112.6 | 862.3 | 489.5 | | 100 | 100.0 | 6407 | | 1800.0 | 4000 | 2662.3 | 2151 | 3714 | 1062 | 153 | 4623 | 2754 |
| 1 | C | 39.0 | 39.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 114.9 | 882.3 | 499.7 | | 100 | 100.0 | 6607 | | 1800.0 | 4000 | 2682.3 | 2167 | 3830 | 1070 | 158 | 4743 | 2839 |
| 1 | C | 40.0 | 40.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 117.3 | 902.3 | 509.9 | | 100 | 100.0 | 6807 | | 1800.0 | 4000 | 2702.3 | 2183 | 3946 | 1078 | 162 | 4863 | 2924 |
| 1 | C | 41.0 | 41.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 119.6 | 922.3 | 520.1 | | 100 | 100.0 | 7007 | | 1800.0 | 4000 | 2722.3 | 2199 | 4062 | 1086 | 166 | 4983 | 3009 |
| 1 | C | 42.0 | 42.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 122.0 | 942.3 | 530.3 | | 100 | 100.0 | 7207 | | 1800.0 | 4000 | 2742.3 | 2215 | 4178 | 1094 | 170 | 5103 | 3094 |
| 1 | C | 43.0 | 43.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 124.3 | 962.3 | 540.5 | | 100 | 100.0 | 7407 | | 1800.0 | 4000 | 2762.3 | 2231 | 4294 | 1102 | 174 | 5222 | 3180 |
| 1 | C | 44.0 | 44.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 126.7 | 982.3 | 550.7 | | 100 | 100.0 | 7607 | | 1800.0 | 4000 | 2782.3 | 2248 | 4410 | 1110 | 178 | 5342 | 3265 |
| 1 | C | 45.0 | 45.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 129.0 | 1002.3 | 560.9 | | 100 | 100.0 | 7807 | | 1800.0 | 4000 | 2802.3 | 2264 | 4526 | 1118 | 182 | 5462 | 3350 |
| 1 | C | 46.0 | 46.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 131.3 | 1022.3 | 571.0 | | 100 | 100.0 | 8007 | | 1800.0 | 4000 | 2822.3 | 2280 | 4642 | 1126 | 186 | 5582 | 3435 |
| 1 | C | 47.0 | 47.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 133.7 | 1042.3 | 581.2 | | 100 | 100.0 | 8207 | | 1800.0 | 4000 | 2842.3 | 2296 | 4758 | 1134 | 190 | 5702 | 3520 |
| 1 | C | 48.0 | 48.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 136.0 | 1062.3 | 591.4 | | 100 | 100.0 | 8407 | | 1800.0 | 4000 | 2862.3 | 2312 | 4874 | 1142 | 194 | 5822 | 3606 |
| 1 | C | 49.0 | 49.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 138.4 | 1082.3 | 601.6 | | 100 | 100.0 | 8607 | | 1800.0 | 4000 | 2882.3 | 2328 | 4990 | 1150 | 198 | 5942 | 3691 |
| 1 | C | 50.0 | 50.0 | 200.0 | 0.0 | 20.0 | 10.2 | 140.7 | 1102.3 | 611.8 | | 100 | 100.0 | 8807 | | 1800.0 | 4000 | 2902.3 | 2345 | 5106 | 1158 | 202 | 6062 | 3776 |

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA
 OPERA: GA05 AMARI
 RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESIONE/TRAZIONE

ALLINEAMENTI:
 VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MEDI



| RESISTENZA A COMPRESIONE 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 | 1068 | 855 | 1874 | 1064 | 57% | 796 | 0 | 0% |
| PALO INTERNO | 22.0 | 1995 | 934 | 2841 | 2298 | 81% | 1486 | 0 | 0% |
| PALO DI VALLE | 12.0 | 1068 | 855 | 1874 | 1217 | 65% | 796 | 0 | 0% |

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA OPERA: GA05 AMARI ALLINEAMENTI: VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: MINIMI
RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE

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 | 2 | 3 |
| 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}) A_p 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 α_N con:
 α_N = 150 per Ghiaie, 120 per Sabbie e 85 per Sabbie limose [Gwizzala (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 |

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

| | kPa | σ _{vi} | |
|---------------------------------|-----|-----------------|-------|
| Tensione totale in testa palo | | | 102.3 |
| Tensione efficace in testa palo | | | 102.3 |

COEFFICIENTI PARZIALI RESISTENZE CARATTERISTICHE

| | R3 |
|--|------|
| Metodologia realizzativa (1 = Pali infissi; 2 = Pali trivellati; 3 =pali ad elica) | 2 |
| coefficiente γ _b | 1.35 |
| coefficiente γ _s | 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 | 5 |
| coefficiente ξ | 1.34 |

STRATIGRAFIA DI PROGETTO (DA p.c.)

| Unità n. | DESCRIZIONE | DA m | A m | Tip | COMBINAZIONE M1 | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------|------|------|-----|-----------------|---------|------|------|-------------|---------|---------------------|-----------|------------|----------------|---------------------|------------|-----------|
| | | | | | 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 | 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

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA

OPERA: GA05 AMARI

ALLINEAMENTI:

RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESSIONE/TRAZIONE

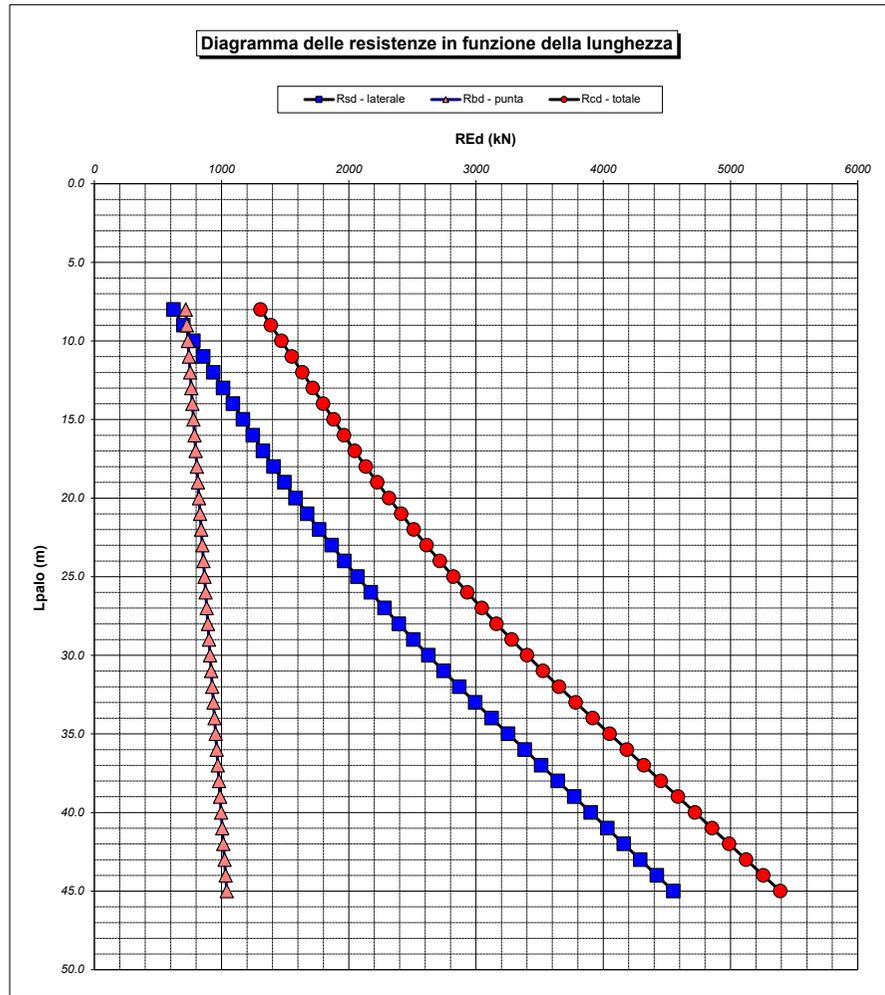
VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI:

MINIMI

| 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 | | | 19.5 | 19.5 | | 102.3 | 102.3 | | | | | | | | | | | | 0 | | |
| 1 | C | 1.0 | 1.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 121.8 | 112.0 | | 100 | 60.0 | 120 | | 1350.0 | 4000 | 1471.8 | 1189 | 78 | 657 | 4 | 731 | 59 |
| 1 | C | 2.0 | 2.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 141.3 | 121.7 | | 100 | 60.0 | 240 | | 1350.0 | 4000 | 1491.3 | 1205 | 156 | 666 | 9 | 813 | 118 |
| 1 | C | 3.0 | 3.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 160.8 | 131.4 | | 100 | 60.0 | 360 | | 1350.0 | 4000 | 1510.8 | 1220 | 234 | 675 | 13 | 895 | 177 |
| 1 | C | 4.0 | 4.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 180.3 | 141.1 | | 100 | 60.0 | 480 | | 1350.0 | 4000 | 1530.3 | 1236 | 311 | 683 | 18 | 977 | 236 |
| 1 | C | 5.0 | 5.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 199.8 | 150.8 | | 100 | 60.0 | 600 | | 1350.0 | 4000 | 1549.8 | 1252 | 389 | 692 | 22 | 1059 | 295 |
| 1 | C | 6.0 | 6.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 219.3 | 160.4 | | 100 | 60.0 | 720 | | 1350.0 | 4000 | 1569.3 | 1268 | 467 | 701 | 27 | 1141 | 354 |
| 1 | C | 7.0 | 7.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 238.8 | 170.1 | | 100 | 60.0 | 840 | | 1350.0 | 4000 | 1588.8 | 1283 | 545 | 710 | 31 | 1224 | 413 |
| 1 | C | 8.0 | 8.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 258.3 | 179.8 | | 100 | 60.0 | 960 | | 1350.0 | 4000 | 1608.3 | 1299 | 623 | 718 | 36 | 1306 | 472 |
| 1 | C | 9.0 | 9.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 277.8 | 189.5 | | 100 | 60.0 | 1080 | | 1350.0 | 4000 | 1627.8 | 1315 | 701 | 727 | 40 | 1388 | 531 |
| 1 | C | 10.0 | 10.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 297.3 | 199.2 | | 100 | 60.0 | 1200 | | 1350.0 | 4000 | 1647.3 | 1331 | 779 | 736 | 44 | 1470 | 590 |
| 1 | C | 11.0 | 11.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 316.8 | 208.9 | | 100 | 60.0 | 1320 | | 1350.0 | 4000 | 1666.8 | 1347 | 857 | 744 | 49 | 1552 | 648 |
| 1 | C | 12.0 | 12.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 336.3 | 218.6 | | 100 | 60.0 | 1440 | | 1350.0 | 4000 | 1686.3 | 1362 | 934 | 753 | 53 | 1634 | 707 |
| 1 | C | 13.0 | 13.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 355.8 | 228.3 | | 100 | 60.0 | 1560 | | 1350.0 | 4000 | 1705.8 | 1378 | 1012 | 762 | 58 | 1716 | 766 |
| 1 | C | 14.0 | 14.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 375.3 | 238.0 | | 100 | 60.0 | 1680 | | 1350.0 | 4000 | 1725.3 | 1394 | 1090 | 770 | 62 | 1798 | 825 |
| 1 | C | 15.0 | 15.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 394.8 | 247.7 | | 100 | 60.0 | 1800 | | 1350.0 | 4000 | 1744.8 | 1410 | 1168 | 779 | 67 | 1881 | 884 |
| 1 | C | 16.0 | 16.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 60.0 | 414.3 | 257.3 | | 100 | 60.0 | 1920 | | 1350.0 | 4000 | 1764.3 | 1425 | 1246 | 788 | 71 | 1963 | 943 |
| 1 | C | 17.0 | 17.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 61.4 | 433.8 | 267.0 | | 100 | 61.4 | 2043 | | 1350.0 | 4000 | 1783.8 | 1441 | 1326 | 797 | 76 | 2047 | 1003 |
| 1 | C | 18.0 | 18.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 63.6 | 453.3 | 276.7 | | 100 | 63.6 | 2170 | | 1350.0 | 4000 | 1803.3 | 1457 | 1408 | 805 | 80 | 2134 | 1066 |
| 1 | C | 19.0 | 19.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 65.9 | 472.8 | 286.4 | | 100 | 65.9 | 2302 | | 1350.0 | 4000 | 1822.8 | 1473 | 1494 | 814 | 84 | 2223 | 1130 |
| 1 | C | 20.0 | 20.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 68.1 | 492.3 | 296.1 | | 100 | 68.1 | 2438 | | 1350.0 | 4000 | 1842.3 | 1488 | 1582 | 823 | 89 | 2316 | 1196 |
| 1 | C | 21.0 | 21.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 70.3 | 511.8 | 305.8 | | 100 | 70.3 | 2579 | | 1350.0 | 4000 | 1861.8 | 1504 | 1673 | 831 | 93 | 2412 | 1265 |
| 1 | C | 22.0 | 22.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 72.6 | 531.3 | 315.5 | | 100 | 72.6 | 2724 | | 1350.0 | 4000 | 1881.3 | 1520 | 1768 | 840 | 98 | 2510 | 1335 |
| 1 | C | 23.0 | 23.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 74.8 | 550.8 | 325.2 | | 100 | 74.8 | 2873 | | 1350.0 | 4000 | 1900.8 | 1536 | 1865 | 849 | 102 | 2611 | 1407 |
| 1 | C | 24.0 | 24.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 77.0 | 570.3 | 334.9 | | 100 | 77.0 | 3027 | | 1350.0 | 4000 | 1920.3 | 1551 | 1965 | 858 | 107 | 2716 | 1482 |
| 1 | C | 25.0 | 25.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 79.2 | 589.8 | 344.6 | | 100 | 79.2 | 3186 | | 1350.0 | 4000 | 1939.8 | 1567 | 2067 | 866 | 111 | 2823 | 1558 |
| 1 | C | 26.0 | 26.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 81.5 | 609.3 | 354.2 | | 100 | 81.5 | 3349 | | 1350.0 | 4000 | 1959.3 | 1583 | 2173 | 875 | 116 | 2933 | 1637 |
| 1 | C | 27.0 | 27.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 83.7 | 628.8 | 363.9 | | 100 | 83.7 | 3516 | | 1350.0 | 4000 | 1978.8 | 1599 | 2282 | 884 | 120 | 3046 | 1717 |
| 1 | C | 28.0 | 28.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 85.9 | 648.3 | 373.6 | | 100 | 85.9 | 3688 | | 1350.0 | 4000 | 1998.3 | 1614 | 2393 | 892 | 124 | 3161 | 1800 |
| 1 | C | 29.0 | 29.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 88.2 | 667.8 | 383.3 | | 100 | 88.2 | 3865 | | 1350.0 | 4000 | 2017.8 | 1630 | 2508 | 901 | 129 | 3280 | 1884 |
| 1 | C | 30.0 | 30.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 90.4 | 687.3 | 393.0 | | 100 | 90.4 | 4045 | | 1350.0 | 4000 | 2037.3 | 1646 | 2625 | 910 | 133 | 3402 | 1971 |
| 1 | C | 31.0 | 31.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 92.6 | 706.8 | 402.7 | | 100 | 92.6 | 4231 | | 1350.0 | 4000 | 2056.8 | 1662 | 2745 | 918 | 138 | 3526 | 2059 |
| 1 | C | 32.0 | 32.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 94.8 | 726.3 | 412.4 | | 100 | 94.8 | 4420 | | 1350.0 | 4000 | 2076.3 | 1677 | 2868 | 927 | 142 | 3653 | 2150 |
| 1 | C | 33.0 | 33.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 97.1 | 745.8 | 422.1 | | 100 | 97.1 | 4614 | | 1350.0 | 4000 | 2095.8 | 1693 | 2994 | 936 | 147 | 3784 | 2243 |
| 1 | C | 34.0 | 34.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 99.3 | 765.3 | 431.8 | | 100 | 99.3 | 4813 | | 1350.0 | 4000 | 2115.3 | 1709 | 3123 | 945 | 151 | 3917 | 2337 |
| 1 | C | 35.0 | 35.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 101.5 | 784.8 | 441.5 | | 100 | 100.0 | 5013 | | 1350.0 | 4000 | 2134.8 | 1725 | 3253 | 953 | 156 | 4051 | 2433 |
| 1 | C | 36.0 | 36.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 103.8 | 804.3 | 451.1 | | 100 | 100.0 | 5213 | | 1350.0 | 4000 | 2154.3 | 1740 | 3383 | 962 | 160 | 4185 | 2528 |
| 1 | C | 37.0 | 37.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 106.0 | 823.8 | 460.8 | | 100 | 100.0 | 5413 | | 1350.0 | 4000 | 2173.8 | 1756 | 3513 | 971 | 164 | 4319 | 2623 |
| 1 | C | 38.0 | 38.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 108.2 | 843.3 | 470.5 | | 100 | 100.0 | 5613 | | 1350.0 | 4000 | 2193.3 | 1772 | 3642 | 979 | 169 | 4453 | 2719 |
| 1 | C | 39.0 | 39.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 110.4 | 862.8 | 480.2 | | 100 | 100.0 | 5813 | | 1350.0 | 4000 | 2212.8 | 1788 | 3772 | 988 | 173 | 4587 | 2814 |
| 1 | C | 40.0 | 40.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 112.7 | 882.3 | 489.9 | | 100 | 100.0 | 6013 | | 1350.0 | 4000 | 2232.3 | 1803 | 3902 | 997 | 178 | 4721 | 2909 |
| 1 | C | 41.0 | 41.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 114.9 | 901.8 | 499.6 | | 100 | 100.0 | 6213 | | 1350.0 | 4000 | 2251.8 | 1819 | 4032 | 1006 | 182 | 4855 | 3004 |
| 1 | C | 42.0 | 42.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 117.1 | 921.3 | 509.3 | | 100 | 100.0 | 6413 | | 1350.0 | 4000 | 2271.3 | 1835 | 4162 | 1014 | 187 | 4989 | 3100 |
| 1 | C | 43.0 | 43.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 119.4 | 940.8 | 519.0 | | 100 | 100.0 | 6613 | | 1350.0 | 4000 | 2290.8 | 1851 | 4291 | 1023 | 191 | 5123 | 3195 |
| 1 | C | 44.0 | 44.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 121.6 | 960.3 | 528.7 | | 100 | 100.0 | 6813 | | 1350.0 | 4000 | 2310.3 | 1866 | 4421 | 1032 | 195 | 5257 | 3290 |
| 1 | C | 45.0 | 45.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 123.8 | 979.8 | 538.4 | | 100 | 100.0 | 7013 | | 1350.0 | 4000 | 2329.8 | 1882 | 4551 | 1040 | 200 | 5391 | 3386 |
| 1 | C | 46.0 | 46.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 126.0 | 999.3 | 548.0 | | 100 | 100.0 | 7213 | | 1350.0 | 4000 | 2349.3 | 1898 | 4681 | 1049 | 204 | 5525 | 3481 |
| 1 | C | 47.0 | 47.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 128.3 | 1018.8 | 557.7 | | 100 | 100.0 | 7413 | | 1350.0 | 4000 | 2368.8 | 1914 | 4811 | 1058 | 209 | 5660 | 3576 |
| 1 | C | 48.0 | 48.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 130.5 | 1038.3 | 567.4 | | 100 | 100.0 | 7613 | | 1350.0 | 4000 | 2388.3 | 1929 | 4940 | 1067 | 213 | 5794 | 3671 |
| 1 | C | 49.0 | 49.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 132.7 | 1057.8 | 577.1 | | 100 | 100.0 | 7813 | | 1350.0 | 4000 | 2407.8 | 1945 | 5070 | 1075 | 218 | 5928 | 3767 |
| 1 | C | 50.0 | 50.0 | 150.0 | 0.0 | 19.5 | 9.7 | 135.0 | 1077.3 | 586.8 | | 100 | 100.0 | 8013 | | 1350.0 | 4000 | 2427.3 | 1961 | 5200 | 1084 | 222 | 6062 | 3862 |

LAVORO: UP62-SS131 PALERMO-BOLOGNETTA OPERA: GA05 AMARI
 RESISTENZA DI UN PALO TRIVELLATO SOGGETTO AD AZIONI ASSIALI DI COMPRESIONE/TRAZIONE

ALLINEAMENTI:
 VALORI DEI PARAMETRI GEOTECNICI: **MINIMI**



| RESISTENZA A COMPRESIONE 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 | 934 | 753 | 1634 | 1064 | 65% | 707 | 0 | 0% |
| PALO INTERNO | 22.0 | 1768 | 840 | 2510 | 2298 | 92% | 1335 | 0 | 0% |
| PALO DI VALLE | 12.0 | 934 | 753 | 1634 | 1217 | 74% | 707 | 0 | 0% |