

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)**

**Da Pk 114+565 a Pk 115+990**

**Dimensionamento pali gallerie artificiali realizzate con il metodo top-down**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: _____	Valido per costruzione Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	C L	G A 0 6 0 0	0 0 3	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	Data
A	Emissione	LUCIA	15/11/18	MERLINI	15/11/18	15/11/18	15/11/18
B							
C							



CIG. 751447334A      File: INOR1 EE2CLGA0600003A.docx



CUP: F81H9100000008

**INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	3
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	4
2.3.	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	5
2.4.	BIBLIOGRAFIA .....	10
3.	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	12
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	13
5.	CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE.....	17
5.1.	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO .....	17
5.1.1.	<i>Stati limite ultimi</i> .....	17
5.1.2.	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	20
5.2.	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO .....	20
5.2.1.	<i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i> .....	20
5.2.2.	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	21
5.2.3.	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	22
6.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) .....	23
7.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) .....	33



## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione riporta le verifiche geotecniche, relativamente alla sola definizione delle lunghezze, dei pali trivellati di grande diametro ( $\phi = 1200$  mm) adottati per la realizzazione delle gallerie artificiali realizzate con il metodo top – down, appartenenti alla galleria artificiale Lonato Ovest (GA06), che costituisce l'opera di approccio sul lato Ovest, alla galleria naturale Lonato (GN02).

La galleria artificiale Lonato Ovest (GA06) è compresa tra la progressiva 114+565 (ingresso lato Ovest), in corrispondenza dell'intersezione con il cavalcavia n° 233 dell'autostrada A4 e la progressiva 115+890, riferite all'asse pari.

Lo sviluppo della galleria GA06, partendo dall'ingresso lato Ovest, è caratterizzato da:

- un tratto iniziale monocanna doppio binario con tipologia costruttiva top-down (detto anche metodo Milano);
- un tratto intermedio monocanna doppio binario (top-down) ma con setto intermedio che, per un primo tratto è finestrato e successivamente diventa continuo;
- un tratto finale, che termina all'imbocco della galleria naturale, in cui i due assi si separano in due sezioni monocanna singolo binario.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. Normativa di riferimento

- **D. M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 (NTC 2008)** "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"
- **CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617** "Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008"
- **Legge 05.11.1971 n. 1086** "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- **UNI EN 1992-1-1 novembre 2005 (EC2)** "Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici"
- **UNI EN 1998-5 gennaio 2005 (EC8)** "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica– Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"
- **Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014** relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.
- **Regolamento U.E. nr. 1303/2014 della commissione del 18 novembre 2014** relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la «sicurezza nelle gallerie ferroviarie» del sistema ferroviario dell'Unione europea (*norma STI*)

### 2.2. Specifiche Tecniche di Riferimento

La presente revisione progettuale, fa riferimento al nuovo Manuale di Progettazione RFI.

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008;

### 2.3. Documentazione di progetto

Codifica documento	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)
INOR11EE2F6GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Profilo geologico e geotecnico
INOR11EE2ROGA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di confronto PD/PE
INOR11EE2ROGA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione Generale
INOR11EE2CLGA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di calcolo opere provvisionali
INOR11EE2CLGA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di calcolo opere provvisionali - allegati numerici
INOR11EE2CLGA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di calcolo galleria
INOR11EE2CLGA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di calcolo galleria - allegati numerici
INOR11EE2ROGA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Relazione di monitoraggio
INOR11EE2CLGA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Dimensionamento pali gallerie artificiali realizzate con il metodo top-down
INOR11EE2P7GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Planimetria (TAV. 1/2)
INOR11EE2P7GA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Planimetria (TAV. 2/2)
INOR11EE2F7GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Profilo longitudinale BP (TAV. 1/2)
INOR11EE2F7GA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Profilo longitudinale BP (TAV. 2/2)
INOR11EE2F7GA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Profilo longitudinale BD (TAV. 1/2)
INOR11EE2F7GA0600004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Profilo longitudinale BD (TAV. 2/2)
INOR11EE2P9GA0605001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 1/9)
INOR11EE2P9GA0605002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 2/9)
INOR11EE2P9GA0605003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 3/9)
INOR11EE2P9GA0605004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 4/9)
INOR11EE2P9GA0605005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 5/9)
INOR11EE2P9GA0605006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 6/9)
INOR11EE2P9GA0605007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 7/9)
INOR11EE2P9GA0605008	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 8/9)
INOR11EE2P9GA0605009	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Pianta P.F. vista dall'alto e sez. long.(TAV. 9/9)
INOR11EE2P8GA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Ovest - Fasi 1 e 2 (Tav. 1/3)
INOR11EE2P8GA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Ovest - Fasi 3 e 4 (Tav. 2/3)
INOR11EE2P8GA0601003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Ovest - Fasi 5 e 6 (Tav. 3/3)
INOR11EE2P8GA0601004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Centrale (Feralpi) - Fasi 1 e 2 (Tav. 1/3)
INOR11EE2P8GA0601005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Centrale (Feralpi) - Fasi 3 e 4 (Tav. 2/3)
INOR11EE2P8GA0601006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Centrale (Feralpi) - Fasi 5 e 6 (Tav. 3/3)
INOR11EE2P8GA0601007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Est - Fasi 1 e 2 (Tav. 1/3)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 CL GA 060 0 003Rev.  
AFoglio  
6 di 34

Codifica documento	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)
INOR11EE2P8GA0601008	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Est - Fasi 3 e 4 (Tav. 2/3)
INOR11EE2P8GA0601009	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Est - Fasi 5 e 6 (Tav. 3/3)
INOR11EE2P8GA0601012	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Centrale (Feralpi) - Fasi realizzative piazzale (Tav. 1/2)
INOR11EE2P8GA0601013	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi - Planimetria parte Centrale (Feralpi) - Fasi realizzative piazzale (Tav. 2/2)
INOR11EE2W9GA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di prima fase per realizzazione solettone - Sezioni (Tav. 1/3)
INOR11EE2W9GA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di prima fase per realizzazione solettone - Sezioni (Tav. 2/3)
INOR11EE2W9GA0601003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di prima fase per realizzazione solettone - Sezioni (Tav. 3/3)
INOR11EE2W9GA0601004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di seconda fase per avanzamento a foro cieco - Sezioni (Tav. 1/3)
INOR11EE2W9GA0601005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di seconda fase per avanzamento a foro cieco - Sezioni (Tav. 2/3)
INOR11EE2W9GA0601006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scavi di seconda fase per avanzamento a foro cieco - Sezioni (Tav. 3/3)
INOR11EE2P9GA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratie provvisionali A e B
INOR11EE2P9GA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia provvisoriale C
INOR11EE2P9GA0601003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia provvisoriale D pk 115+639,81
INOR11EE2PZGA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia provvisoriale E pk 115+223
INOR11EE2BZGA0601001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia provvisoriale F e armatura pali pk 114+566
INOR11EE2PZGA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia e particolari costruttivi zona cvf IV30
INOR11EE2BZGA0601002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia e particolari costruttivi zona Wierer
INOR11EE2BZGA0601003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia e particolari costruttivi zona Feralpi Tav (1/2)
INOR11EE2BZGA0601010	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia e particolari costruttivi zona Feralpi Tav (2/2)
INOR11EE2BZGA0601004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata paratia e particolari costruttivi zona piazzola di sosta
INOR11EE2P9GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 1/7)
INOR11EE2P9GA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 2/7)
INOR11EE2P9GA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 3/7)
INOR11EE2P9GA0600004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 4/7)
INOR11EE2P9GA0600005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 5/7)
INOR11EE2P9GA0600006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 6/7)
INOR11EE2P9GA0600007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sviluppata pali sezioni top-down (Tav. 7/7)
INOR11EE2BZGA0601005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Armatura pali paratia A e B
INOR11EE2BZGA0601006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Armatura pali paratia C
INOR11EE2BZGA0601007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Armatura pali paratia D pk 115+639,81



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 CL GA 060 0 003Rev.  
AFoglio  
7 di 34

Codifica documento	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)
INOR11EE2BZGA0601008	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Armatura pali paratia E pk 115+223
INOR11EE2P8GA0601010	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Planimetria e sezioni monitoraggio paratie e scavi Tav 1/3
INOR11EE2P8GA0601011	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Planimetria e sezioni monitoraggio paratie e scavi Tav 2/3
INOR11EE2PZGA0601003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Planimetria e sezioni monitoraggio paratie e scavi Tav 3/3
INOR11EE2BZGA0601009	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Particolari costruttivi opere provvisoriali
INOR11EE2P8GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - planimetria (Tav. 1/3)
INOR11EE2P8GA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - planimetria (Tav. 2/3)
INOR11EE2P8GA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - planimetria (Tav. 3/3)
INOR11EE2W9GA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - sezioni (Tav. 1/4)
INOR11EE2W9GA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - sezioni (Tav. 2/4)
INOR11EE2W9GA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - sezioni (Tav. 3/4)
INOR11EE2W9GA0600004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistemazione finale - sezioni (Tav. 4/4)
INOR11EE2BZGA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600024	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 conci 3, 4, 6, 7, 8 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600034	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 conci 9, 10, 11, 13, 14 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600022	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis conci 28, 29, 31 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600042	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3 conci dal 32 al 39 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M2bis conci dal 15 al 23 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario dispari - Carpenteria 1/2
INOR11EE2BZGA0600005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario dispari - Carpenteria 2/2
INOR11EE2BZGA0600018	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario pari - Carpenteria 1/2
INOR11EE2BZGA0600019	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario pari - Carpenteria 2/2
INOR11EE2BZGA0600006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - By pass 2 - carpenteria
INOR11EE2BZGA0600007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - Carpenteria Nicchie
INOR11EE2BZGA0600043	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Carpenteria Nicchie NLF+NRDG+FG
INOR11EE2BZGA0600044	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Carpenteria Nicchie TT
INOR11EE2BZGA0600023	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Carpenteria Nicchie concio 2
INOR11EE2BZGA0600045	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Carpenteria Nicchie concio 5
INOR11EE2BZGA0600046	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Carpenteria Nicchie concio 12
INOR11EE2BZGA0600025	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Concio n°1 cvf IV42 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600047	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M2bis - Concio n°24 - Carpenteria

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 CL GA 060 0 003Rev.  
AFoglio  
8 di 34

Codifica documento	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)
INOR11EE2BZGA0600026	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°25 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600027	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°26 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600028	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°27 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600029	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°30 - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600030	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Bypass 1 - Concio n°40 - Carpenteria (Tav. 1/2)
INOR11EE2BZGA0600048	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Bypass 1 - Concio n°40 - Carpenteria (Tav. 2/2)
INOR11EE2BZGA0600031	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Conci n°42.d e 42.p - Carpenteria
INOR11EE2BZGA0600049	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Particolari costruttivi - Carpenterie
INOR11EE2BZGA0600008	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600032	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600009	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 conci 3, 4, 6, 7, 8 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600050	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 conci 9, 10, 11, 13, 14 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600010	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M2bis conci dal 15 al 21 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600059	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M2bis conci 22 e 23 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600011	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis conci 28, 29, 31 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600051	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3 conci dal 32 al 39 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600012	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario dispari - Armatura 1/2
INOR11EE2BZGA0600013	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario dispari - Armatura 2/2
INOR11EE2BZGA0600020	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario pari - Armatura 1/2
INOR11EE2BZGA0600021	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Scatolare di transizione binario pari - Armatura 2/2
INOR11EE2BZGA0600014	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - By pass 2 - armatura
INOR11EE2BZGA0600052	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - By pass 2 - armatura di rinforzo
INOR11EE2BZGA0600015	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - Nicchie NLF+NRDG+FG - armatura
INOR11EE2BZGA0600016	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo S1 - Nicchie TT - armatura
INOR11EE2BZGA0600033	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Nicchie concio 2 - armatura
INOR11EE2BZGA0600053	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Nicchie concio 5 - armatura
INOR11EE2BZGA0600054	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Nicchie concio 12 - armatura
INOR11EE2BZGA0600055	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Nicchie NLF+NRDG+FG - armatura
INOR11EE2BZGA0600056	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Nicchie TT - armatura
INOR11EE2BZGA0600035	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M1 - Concio n°1 cvf IV42 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600057	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M2bis - Concio n°24 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600036	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°25 - Armatura



GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 CL GA 060 0 003Rev.  
AFoglio  
9 di 34

Codifica documento	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06)
INOR11EE2BZGA0600037	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°26 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600038	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°27 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600039	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M3bis - Concio n°30 - Armatura
INOR11EE2BZGA0600040	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Bypass 1 - Concio n°40 - Armatura Tav (1/2)
INOR11EE2BZGA0600058	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Bypass 1 - Concio n°40 - Armatura Tav (2/2)
INOR11EE2BZGA0600041	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sezione tipo M4 - Conci n°42.d e 42.p - Armatura
INOR11EE2BZGA0609001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Impermeabilizzazione e opere di drenaggio. Particolari costruttivi transizione Galleria Artificiale
INOR11EE2BZGA0609002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Impermeabilizzazione e opere di drenaggio. Particolari costruttivi sezione S1 e M4
INOR11EE2BZGA0609003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Impermeabilizzazione e opere di drenaggio. Particolari costruttivi sezione M1, M2bis e M3bis-M3
INOR11EE2P8GA0606001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistema di smaltimento delle acque meteoriche esterne. Fase provvisoria. Planimetria (Tav. 1/2)
INOR11EE2P8GA0606002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistema di smaltimento delle acque meteoriche esterne. Fase provvisoria. Planimetria (Tav. 2/2)
INOR11EE2P8GA0606003	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistema di smaltimento delle acque meteoriche esterne. Fase definitiva. Planimetria (Tav. 1/2)
INOR11EE2P8GA0606004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Sistema di smaltimento delle acque meteoriche esterne. Fase definitiva. Planimetria (Tav. 2/2)
INOR11EE2PZGA0609001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Cabina elettrica - Piante e sezioni
INOR11EE2PBGA0609001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Cabina elettrica - Prospetti
INOR11EE2BZGA0609005	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Cabina elettrica - Armatura elevazioni
INOR11EE2BZGA0609004	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Cabina elettrica - Armatura travi e solaio
INOR11EE2PBGA0609002	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Torrini di ventilazione - Piante e sezioni
INOR11EE2BZGA0609006	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Torrini di ventilazione - Armatura elevazioni
INOR11EE2BZGA0609007	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Torrini di ventilazione - Armatura travi e solaio
INOR11EE24TGA0600001	GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06) - DA PK 114+565 A PK 115+990 - Tabella materiali

Codifica documento	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02)
INOR11EE2RBGN0200001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione geotecnica

## 2.4. Bibliografia

- Berezantsev, V. G. et al. (1961). Load bearing capacity and deformation of piled foundations. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference, ISSMFE, Paris, Vol. 2, pp. 11-12.
- Brown D.A., Reese L.C. (1985) "Behaviour of a large-scale pile group subjected to cyclic lateral loading" Report to Mineral Management Service, U.S. Dept. Of Interior, Reston, Virginia, Dept. Of Research, Federal Highway Administration, Washington, D.C., U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Geotechnical Engineering Report GR85-12, Geotechnical Engineering Center, Bureau of Engineering Research, Austin, Texas.
- Brown D.A., Morrison C., Reese L.C. (1988) "Lateral load behaviour of pile group in sand" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol.114, n° 11.
- Burland J.B. (1973) "Shaft friction of piles in clay – A simple fundamental approach" Ground Engineering, vol.6, n° 3.
- Burland J.B., Burbidge M.C. (1985) "Settlement of foundations on sand and gravel" Proc. ICE, Part 1, 78.
- Burland J.B., Coatsworth S.R. (1987) "Estimating the settlement of foundations on sands and gravels" Proc. Int. Conference on Foundations and Tunnels, London, vol 1, Engineering Technics Press.
- Di Laora, R. (2009) Seismic soil-structure interaction for pile supported systems, PhD Thesis
- Dobry R., O'Rourke M.J. "Discussion on 'Seismic response of end-bearing piles' by Flores-Berrones R., Whitman R.V. ". J. Geotech. Engng Div., ASCE, 109, pp. 778-781, 1983.
- Elson W.K. (1984) "Design of laterally loaded piles" CIRIA Report n°103.
- Ghionna, V.N., Jamiolkowski. M.B., Pedroni. S. and Salgado, R. et al (1994). "Tip displacement of drilled shafts in sands". In Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments. Ed. A.T. Yeung and G.Y. Felio, ASCE , GSP40, New York, 2, 1039-1057.
- Gwizdala K. (1984) "Large bored piles in non cohesive soils" Swedish Geotechnical Institute, Report n° 26.
- Fleming W.G.K., Weltman A.J., Randolph M.F., Elson W.K. (1985) "Piling Engineering" Surrey University Press, Glasgow and London, Halsted Press, a division of John Wiley & Sons, New York.
- Jamiolkowski M. (2000) "Axial load capacity of bored piles in sand and gravel" 3rd Symposium on Deep Foundations, Mexico City.
- Maiorano R.M.S., Aversa S., "Importanza relativa di interazione cinematica ed inerziale nell'analisi dei pali di fondazione sotto azioni sismiche", Università di Napoli Parthenope, Napoli, Italy.
- Matlock, H., Reese, L.C. (1960). "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.86, No.SM5, pp.63-91.
- Meyerhof G.G. (1976) "Bearing capacity and settlement of pile foundation" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol.102, March.
- Mylonakis, G. (2001) "Simplified model for seismic pile bending at soil interface". Soils and Foundations, 41(4), 47-58
- Nikolaou S., Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T. (2001) "Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements". Géotechnique, 51 (5), 425-440

- O'Neill M.W, Hassan K.M. (1994) "Drilled shaft: effects of construction on performance and design criteria" Proc. Int. Conference on Design and Construction of Deep Foundations, Orlando, Florida, U.S., F.H.W.A., vol.I.
- Poulos H.G. (1990) "Program DEFPIG – Deformation analysis of pile groups" Centre for Geotechnical Research. University of Sydney.
- Poulos H.G., Davis E.H. (1974) "Elastic solutions for soil and rock mechanics" John Wiley & Sons, pp.166-169.
- Poulos H.G. e Davis E.H. (1980), "Pile foundation analysis and design", John Wiley and Sons.
- Randolph M.F. (1977) "A theoretical study of the performance of piles" PhD Thesis, Cambridge University.
- Randolph M.F. (1981) "The response of flexible piles to lateral loading" Gèotechnique 31, n° 2.
- Randolph M.F. (1983) "PIGLET – A computer program for the analysis and design of pile groups under general loading conditions" University Engineering Department, Cambridge.
- Reese L.C., Cox W.R., Koop F.D. (1974) "Analysis of laterally loaded piles in sand" Proc. VI Offshore Technology Conference, OTC 2080, Houston, Texas.
- Reese L.C., Cox W.R., Koop F.D. (1975) "Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay" Proc. VII Offshore Technology Conference, OTC 2313, Houston, Texas.
- Reese L.C., Wright S.J. (1977) "Drilled shaft manual" U.S. Department of Transportation, Office of Research and Development, Div. HDV 2, Washington.
- Reese L.C., O'Neill M.W. (1988) "Drilled shaft: construction procedures and design methods" Publication N.FHWA-HI-88-042, Federal Highway Administration, Washington, D.C..
- Reese L.C., Wang S.T. (1990) "Analysis of load versus settlement for an axially loaded deep foundation" Documentation of Computer Program APILE2, Ensoft Inc., Austin, Texas.
- Reese L.C., Awoshika K., Lam P.H.F., Wang S.T. (1990) "Analysis of a group of piles subjected to axial and lateral loading - Documentation of Computer Program GROUP", Ensoft Inc., Austin, Texas.
- Reese L.C., Wang S.T. (1997) "Stress and deformation analysis of piles under lateral loading with special feature of use to piles to stabilize a slope - Documentation of Computer Program LPILEPLUS" Ensoft Inc., Austin, Texas.

### 3. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le tratte della galleria artificiale Lonato Ovest (GA06) nelle quali è stato adottato il metodo top – down sono riepilogate nella seguente Tabella 3.1, a sua volta suddivise nelle seguenti quattro sezioni tipo denominate M1, M2bis, M3bis-M3, M4, di seguito descritte in dettaglio:

- Sezione tipo M1, da pk 114+565 a pk 114+900, che prevede 2 file di pali del diametro di 1200 mm ad interasse di 1.4 m disposti ad una distanza variabile da 19.45 m a 15.32 m, la soletta di copertura ha uno spessore di 1.5 m e i cordoli laterali hanno altezza di 1 m sul lato piazzale Feralpi e variabile da 1 a 2 m sul lato dell'autostrada A4. Tale sezione è applicata su entrambe le canne.
- Sezione tipo M2bis, da pk 114+900 a pk 115+100, che prevede 3 file di pali di cui le file laterali sono costituite da pali del diametro di 1200 mm ad interasse di 1.4 m, mentre la fila centrale è finestrata e composta da 4 pali disposti ad interasse di 1.2 m (tangenti) ogni 10 m. L'interdistanza tra le file laterali e la fila centrale è variabile da 11.34 m a 9.58 m, la soletta ha uno spessore di 1.2 m e i cordoli hanno un'altezza di 1 m sia lungo le file laterali sia lungo la fila centrale.
- Sezione tipo M3bis, da pk 115+100 a pk 115+260, che prevede 3 file di pali di cui le file laterali sono costituite da pali del diametro di 1200 mm ad interasse di 1.4 m, mentre per la fila centrale i pali sempre del diametro di 1200 mm sono disposti ad interasse di 2.8 m.
- Sezione tipo M3, da pk 115+260 a pk 115+470, che prevede 3 file di pali di cui le file laterali sono costituite da pali del diametro di 1200 mm ad interasse di 1.4 m, mentre per la fila centrale i pali sempre del diametro di 1200 mm sono disposti ad interasse di 1.4 m.
- Sezione tipo M4, da pk 115+476 a pk 115+890, che prevede 2 file di pali del diametro di 1200 mm ad interasse di 1.4 m disposti ad una distanza di 9.3 m costante lungo la tratta di applicazione, la soletta di copertura ha uno spessore di 1.0 m e i cordoli laterali hanno altezza di 1.0 m. Tale sezione è applicata su entrambe le canne.

Da pk	A pk	Sezione tipo	Descrizione	Ritombamento massimo	Note
114+565	114+900	M1	Top - down monocanna doppio binario	1 m	Dalla pk 114+745 alla pk 114+900 sulla soletta di copertura insistono dei sovraccarichi della proprietà Feralpi. Alla pk 114+837 è presente una nicchia
114+900	115+100	M2bis	Top - down doppia canna con setto finestrato	2.6 m	Sulla base dell'accordo con la proprietà Feralpi, contrariamente al progetto definitivo sulla soletta sono presenti mezzi di trasporto della proprietà Feralpi
115+100	115+260	M3bis	Top - down doppia canna con setto	2.0 m	Interasse fila centrale dei pali pari a 2.8 m
115+260	115+470	M3	Top - down doppia canna con setto	4.3 m	Interasse fila centrale dei pali pari a 1.4 m
115+476	115+890	M4	Top - down monocanna singolo binario	7.0 m	Alla pk 115+835 è presente una nicchia

**Tabella 3.1 – Tipologie e caratteristiche delle sezioni tipo top – down presenti lungo la galleria artificiale.**

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

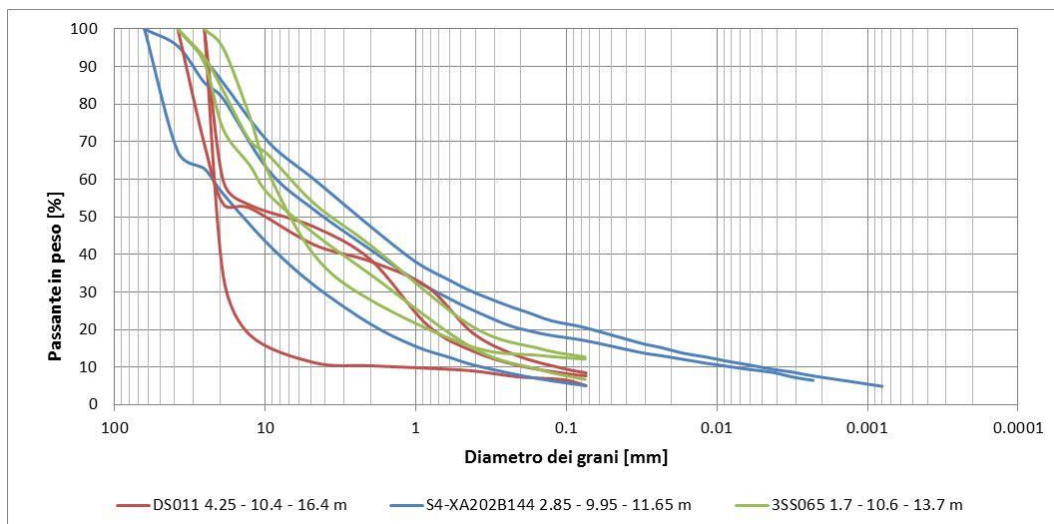
In questa tratta, per la definizione della stratigrafia di progetto e delle proprietà geotecniche dei materiali si sono utilizzati i dati relativi ai sondaggi riportati nella seguente Tabella 4.1:

Indagini geognostiche Galleria Artificiale Ovest (TR04 - GA06)						
Denominazione sondaggio	Campagna	PK [km]	Quota boccaforo [m s.l.m.]	Lunghezza sondaggio [m]	Distanza asse galleria [m]	Prove / strumentazione installata
DS011	1992-1993	114+500	138.71	28.2	15 N	piezometro TA (3 m - 28 m), SPT
S3-XA202B143	2000-2002	114+611	140.7	20.0	16 N	piezometro TA (12 m - 15 m), Lefranc, SPT
DS012	1992-1993	114+760	141.5	30.0	82 N	SPT
S4-XA202B144	2000-2002	114+821	141.9	20.0	21 N	piezometro TA (4 m - 17 m), Lefranc, SPT
3SS065	2003-2004	115+081	142.4	30.0	in asse	piezometro TA, Lefranc, SPT, cross-hole
3SA065	2003-2004	115+081	142.4	30.0	in asse	cross-hole, SPT
3SB065	2003-2004	115+081	142.4	30.0	in asse	cross-hole, SPT
S5-XA202B145	2000-2002	115+124	141.4	20.0	110 N	piezometro TA (4 m - 17 m), Lefranc, SPT
DS013	1992-1993	115+320	143.0	35.0	29 N	piezometro TA (15 m - 33 m), SPT
3SC075	2003-2004	115+380	143.0	40.0	26 N	piezometro C (10 m, 19 m), SPT
S6-XA202B146	2000-2002	115+512	143.3	25.0	13 S	piezometro TA (17 m - 20 m), Lefranc, SPT
14PZ12	2014-2015	115+605	144.8	40.0	in asse	piezometro TA (10 m - 40 m)
S7-XA202B147	2000-2002	115+733	145.8	30.0	21 S	piezometro TA (6 m - 23 m) Lefranc, SPT

**Tabella 4.1 – Indagini geognostiche considerate per la caratterizzazione geotecnica.**

I sondaggi eseguiti in questa tratta hanno raggiunto profondità comprese tra 20 e 40 m dal piano campagna, sufficienti ad indagare i terreni interessati dall'opera prevista. Le stratigrafie dei sondaggi analizzati evidenziano la presenza di un primo strato di riporto o terreno vegetale dello spessore variabile tra circa 1 m e fino a 6 m nel caso del sondaggio S3-XA202B143. Al di sotto di questo primo livello, e fino alla profondità massima indagata, si evidenzia invece la presenza di ghiaia addensata con sabbia debolmente limosa. Possono essere presenti livelli localmente limitati con una maggior concentrazione di fini nella matrice sabbiosa o anche strati di sabbia ghiaiosa.

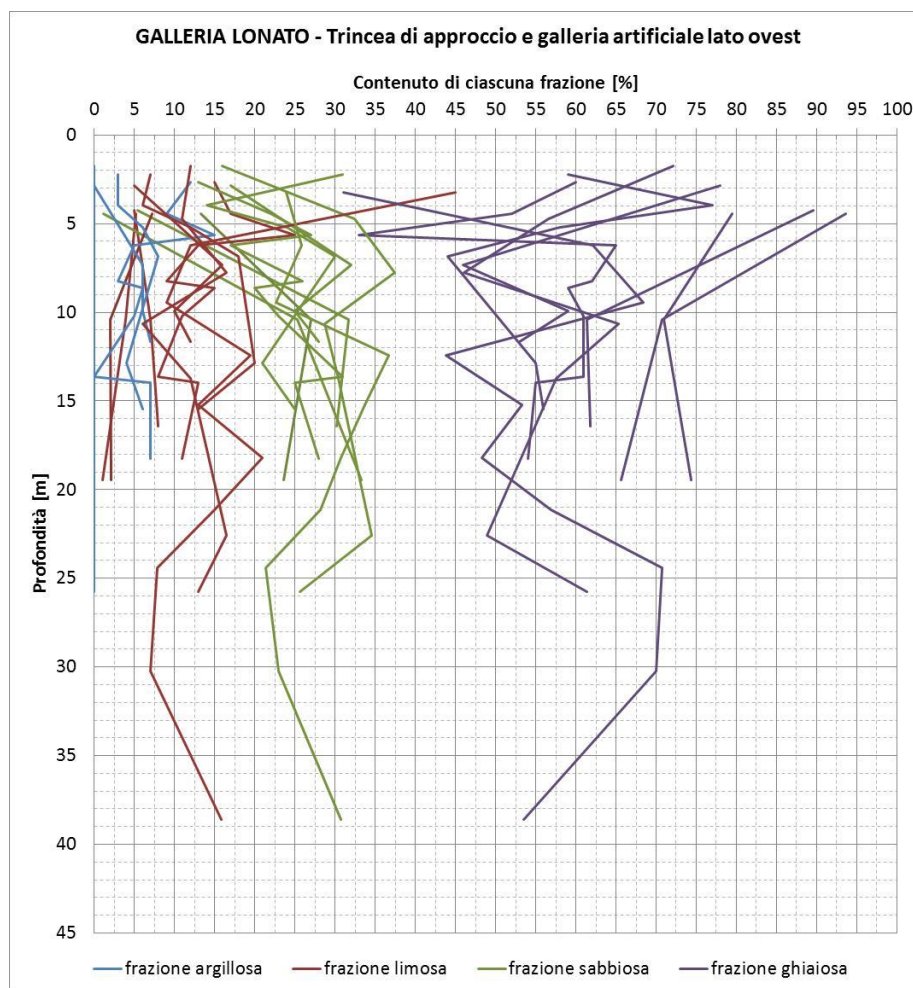
Nella Figura 4.1 sono riportate le curve granulometriche ottenute dai campioni prelevati alle diverse profondità nei sondaggi più prossimi all'area in oggetto. Le curve granulometriche sono generalmente ben assortite ed evidenziano la decisa prevalenza di materiali a grana grossa. I materiali fini sono comunque presenti in percentuale variabile tra il 5 e il 20% circa alle varie profondità.



**Figura 4.1 – Curve granulometriche ottenute da campioni prelevati nei sondaggi eseguiti lungo l'opera in oggetto.**



In Figura 4.2 sono riportate le percentuali in peso di argilla, limo, sabbia e ghiaia riscontrate nei vari campioni analizzati alle varie profondità. Per la definizione delle varie frazioni si fa riferimento alla classificazione dei terreni proposta dall'AGI.



**Figura 4.2 – Percentuali in peso di argilla, limo, sabbia e ghiaia riscontrate nei campioni alle varie profondità, secondo la classificazione dei terreni proposta dall'AGI.**

Con riferimento alla Figura 4.2, la frazione ghiaiosa risulta sempre essere la componente prevalente con una percentuale in peso superiore al 50%. La componente sabbiosa si attesta invece su valori del 20-30%, mentre la componente di fini (limo + argilla) intorno al 10-15%.

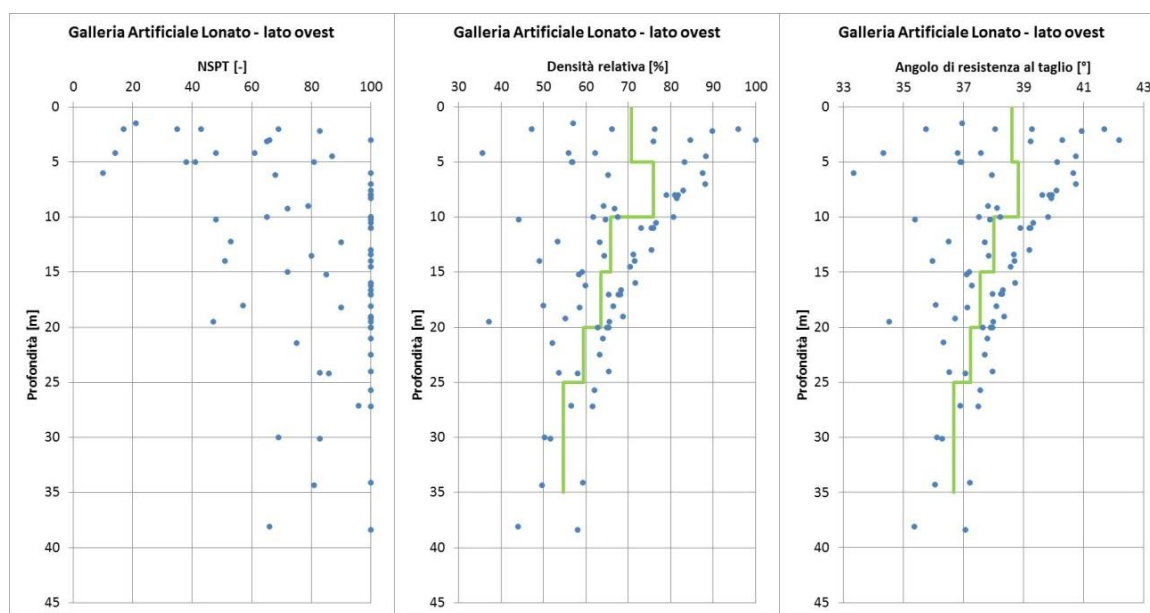
La granulometria dei terreni, come peraltro già evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi, risulta essere piuttosto omogenea e senza particolari variazioni lungo lo sviluppo dell'opera.

Sulla base delle letture piezometriche, la quota di progetto della falda è stata assunta a fondo scavo lungo tutto lo sviluppo delle opere in oggetto.

La determinazione della densità relativa e della resistenza al taglio dei terreni è stata eseguita sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche SPT effettuate nei sondaggi riportati nella Tabella 4.1.



Nella Figura 4.3 sono riportati, per tutte le prove eseguite nella tratta in oggetto, i valori di  $N_{SPT}$  misurati alle varie profondità e i relativi valori stimati della densità relativa e dell'angolo di resistenza al taglio. La linea in verde rappresenta i valori medi dei due parametri valutati su strati di 5 m.



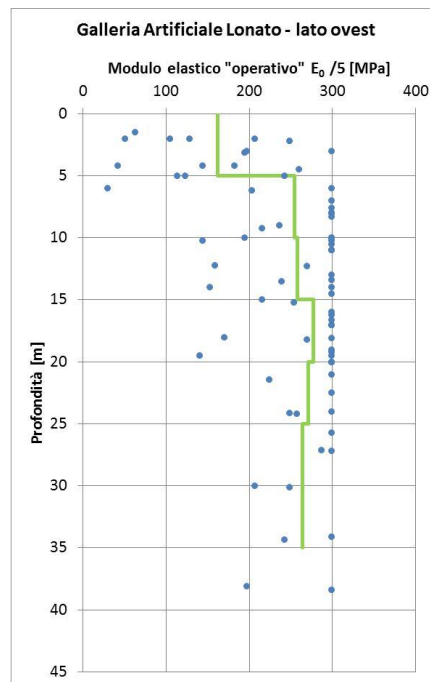
**Figura 4.3 – Valori di  $N_{SPT}$  misurati, densità relativa e angolo di resistenza al taglio stimati in funzione della profondità. La linea verde rappresenta i valori medi dei parametri su strati dello spessore di 5 m.**

Il modulo elastico “operativo” è stato valutato a partire dal modulo di taglio a piccole deformazioni ricavato dai valori di  $N_{SPT}$  delle prove penetrometriche dinamiche utilizzando la correlazione proposta da Seed (1983).

In base alle condizioni deformative indotte nei terreni dalla realizzazione delle opere in oggetto, per la valutazione del modulo elastico “operativo” è stato considerato un decadimento pari a un quinto del modulo elastico a piccole deformazioni.

In Figura 4.4 sono riportati tutti i valori analizzati con in verde i valori medi calcolati su strati dello spessore di 5 m.

A profondità maggiori di 5 m il modulo elastico operativo risulta pressoché costante su valori di circa 265 MPa.



**Figura 4.4 – Valori stimati del modulo elastico operativo. La linea verde rappresenta i valori medi del modulo elastico operativo su strati dello spessore di 5 m.**

Nella seguente Tabella 4.2 sono riepilogati i valori caratteristici dei parametri geotecnici che sono stati adottati per il dimensionamento dei pali di fondazione.

**Tabella 4.2 – Parametri geotecnici caratteristici.**

Strato	Da (m da p.c.)	A (m da p.c.)	Peso di volume $\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	Valore di $N_{SPT}$ (-)	Angolo di resistenza al taglio $\phi_k$ (°)	Modulo di Young operativo $E_{op}$ (MPa)
1	0.0	1.5	16.8	30	23.0	100.0
2	1.5	5.0	21.3	50	38.0	160.0
3	5.0	10.0	21.3	70	38.0	255.0
4	10.0	15.0	21.0	80	38.0	257.0
5	15.0	20.0	21.0	85	37.5	277.0
6	20.0	25.0	20.9	90	37.0	271.0
7	25.0	30.0	20.8	90	36.0	264.0

## 5. CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE

In accordo con quanto definito nel par. 6.2.3. delle NTC 2008, devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 delle NTC 2008})$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ( $A1$  e  $A2$ ), per i parametri geotecnici ( $M1$  e  $M2$ ) e per le resistenze ( $R1$ ,  $R2$  e  $R3$ ). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti).

Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$  utili alle verifiche strutturali, tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Per ogni Stato Limite d'Esercizio (SLE) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 delle NTC 2008})$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

$C_d$  = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

La verifica della condizione  $E_d \leq C_d$  deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

### 5.1. Verifiche di sicurezza in campo statico

#### 5.1.1. Stati limite ultimi

Come riportato al Par. 6.4.3.1 delle NTC-2008, per le opere di fondazione su pali, devono essere prese in considerazione almeno le seguenti verifiche agli stati limite ultimi, quando pertinenti:

SLU di tipo Geotecnico (GEO), relative a condizioni di:

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- stabilità globale.

SLU di tipo strutturale (STRU), relative a condizioni di:

- raggiungimento della resistenza dei pali;
- raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.
- spostamenti o rotazioni eccessive che possano indurre il raggiungimento di uno stato limite ultimo nella struttura in elevazione.

Tutte le verifiche (GEO/STRU) di cui sopra, ad eccezione della verifica di stabilità globale dell'insieme opera-terreno, devono essere svolte considerando almeno uno dei seguenti approcci:

**Approccio 1:**

Combinazione 1:  $A1 + M1 + R1$

Combinazione 2 :  $A2 + M1 + R2$

**Approccio 2:**

Combinazione 1:  $A1 + M1 + R3$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti Tabelle.

In accordo a quanto riportato nelle NTC 2008, nelle verifiche strutturali condotte con l'*Approccio 2*, il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere tenuto in conto ( $R3 = 1$ ); pertanto la verifica in questo caso diventa analoga a quella condotta con l'*Approccio 1 - Combinazione 1*.

Come definito nel Par. C6.4.3.1 delle NTC 2008, l'*Approccio 1 - Combinazione 2* risulta generalmente più cautelativo le verifiche di tipo GEO, mentre per le verifiche di tipo STRU risulta generalmente più cautelativo l'*Approccio 1 - Combinazione 1*.

La verifica di stabilità globale dell'insieme opera-terreno (Par. 6.4.3.1 delle NTC 2008) deve essere svolta secondo l'*Approccio 1 - Combinazione 2*:

**Approccio 1:**

Combinazione 2 :  $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti Tabelle.

Tale verifica, come definito al Par. 6.8.2 delle NTC 2008, si ritiene soddisfatta verificando che non si raggiunga una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni  $E_d$  e delle resistenze  $R_d$ . Ciò è svolto determinando la condizione di minimo per il rapporto  $R_d/E_d$ , applicando rispettivamente i coefficienti parziali  $A2$  sulle azioni caratteristiche, ed i coefficienti  $M2$  sui parametri geotecnici caratteristici. Il coefficiente riduttivo  $R2$ , definito nella Tabella 5.5 va applicato sulla resistenza globale del sistema  $R$  (vedasi Par. C.6.8.6.2 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ( $R = R \left[ \gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$ ). Pertanto, definendo  $R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R$ , la verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

**Tabella 5.1 – Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 6.2.I delle NTC 2008)**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

<sup>(1)</sup> = Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

**Tabella 5.2 – Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) (Tab. 6.2.II delle NTC 2008)**

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.0	1.0

**Tabella 5.3 – Coefficienti parziali sulle resistenze (R1, R2 ed R3) per pali soggetti a carichi assiali (Tab. 6.2.III delle NTC 2008)**

VERIFICA	Coefficiente parziale	PALI INFISSI			PALI TRIVELLATI			PALI AD ELICA		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Punta	$\gamma_b$	1.00	1.45	1.15	1.00	1.7	1.35	1.00	1.6	1.3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1.00	1.45	1.15	1.00	1.45	1.15	1.00	1.45	1.15
Totale <sup>(1)</sup>	$\gamma_t$	1.00	1.45	1.15	1.00	1.6	1.30	1.00	1.55	1.25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1.00	1.60	1.25	1.00	1.6	1.25	1.00	1.6	1.25

**Tabella 5.4 – Coefficienti parziali sulle resistenze (R1, R2 ed R3) per pali soggetti a carichi trasversali (Tab. 6.2.IV delle NTC 2008)**

Coefficiente parziale	(R1)	(R2)	(R3)
$\gamma_T$	1.0	1.6	1.3

**Tabella 5.5 – Coefficiente parziale sulle resistenze (R2) per le verifiche di stabilità globale (Tab. 6.8.I delle NTC 2008)**

Coefficiente parziale	(R2)
$\gamma_R$	1.1

**5.1.2. Stati limite di esercizio (SLE)**

Come riportato al Par. 6.4.3.2 delle NTC 2008, deve essere verificato che la palificata, soggetta alle azioni caratteristiche, non subisca eccessivi cedimenti (o sollevamenti) ed eccessivi spostamenti trasversali, tali da risultare non compatibili con i requisiti prestazionali della stessa e della struttura in elevazione. La geometria della fondazione (numero, lunghezza, diametro e interasse dei pali) deve essere stabilita nel rispetto dei requisiti prestazionali sopracitati, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base, soprattutto in presenza di pali di grande diametro.

**5.2. Verifiche di sicurezza in campo sismico****5.2.1. Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche**

Le NTC-2008 stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'esercizio che ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso e poi in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite.

In particolare si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 delle NTC 2008:

**Stati Limite di Esercizio (SLE):**

- Stato Limite di immediata Operatività **SLO** per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
- Stato Limite di Danno **SLD** definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

**Stati Limite Ultimi (SLU):**

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

La seguente Tabella riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.1.I della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617).

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: **SLV** – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr} = 10\%$  nel periodo  $V_r$ );
- Stato Limite Esercizio: **SLD** – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr} = 63\%$  nel periodo  $V_r$ ).



Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento  $V_T$  per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

**Tabella 5.6 – Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.I, della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617)**

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso			
		I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali			X	X
	Funzionalità degli impianti			X	X
SLD	Resistenza degli elementi strutturali			X	X
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	X	X		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	X	X	X	X
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	X	X	X	X
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	X	X	X	X
	Resistenza delle strutture	X	X	X	X
	Duttilità delle strutture	X	X	X	X
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	X	X	X	X
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	X	X	X	X
	Stabilità del sito	X	X	X	X
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	X	X	X	X
	Resistenza del sistema terreno-fondazione	X	X	X	X
	Stabilità del muro di sostegno	X	X	X	X
	Stabilità delle paratie	X	X	X	X
	Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	X	X	X	X
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	X	X	X	X
	Capacità di spostamento degli isolatori	X	X	X	X

### 5.2.2. Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico, ovvero:

SLU di tipo Geotecnico (GEO), relative a condizioni di:

- collasso per carico limite del complesso pali-terreno nei riguardi dei carichi verticali;
- collasso per carico limite del complesso pali-terreno nei riguardi dei carichi trasversali;

- liquefazione del terreno;
- spostamenti o rotazioni eccessive che possano indurre il raggiungimento di uno stato limite ultimo nella struttura in elevazione;
- stabilità globale.

SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di:

- raggiungimento della resistenza dei pali;
- raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

Tutte le verifiche (GEO/STRU) di cui sopra, tranne quella relativa alla stabilità globale, devono essere svolte considerando la seguente combinazione:

**Approccio 2:**

Combinazione 1:  $A1 + M1 + R3$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle precedenti Tabelle e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 delle NTC 2008).

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tabella 5.6). Per l'opera in oggetto, nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi, l'accelerazione equivalente di progetto è quella associata allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

La verifica di stabilità globale dell'insieme opera-terreno (Par. 6.4.3.1 delle NTC 2008) deve essere svolta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2:

**Approccio 1:**

Combinazione 2 :  $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle precedenti Tabelle e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 delle NTC 2008).

In accordo a quanto già detto, la verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema.

**5.2.3. Stati limite di esercizio (SLE)**

Deve essere verificato che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare. Per l'opera in oggetto, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (SLD).



## 6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Il valore della resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolato applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in Tabella 5.3, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (si veda la Tabella 6.1) alle resistenze di calcolo  $R_{c,cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative. Nel nostro caso, sulla base delle indicazioni del manuale di progettazione delle opere civili di RFI (Parte II, Sezione 2, Ponti e strutture, doc. RFI DTC SI PS MA IFS 001 A), i coefficienti  $\xi_3$  e  $\xi_4$  sono stati assunti pari a 1.7. Pertanto risulta:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} / \gamma_R$$

$R_{c,k}$  = valore caratteristico della resistenza in compressione

$R_{c,cal}$  = resistenza calcolata in compressione

$\gamma_R$  = coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

$\xi$  = fattore di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali funzione del numero di verticali indagate in situ.

**Tabella 6.1 – Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

$\xi$ per n =	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

La resistenza di calcolo  $R_{c,cal}$  a compressione del palo viene valutata come somma della portata limite per attrito laterale più quella di base, secondo l'espressione:

$$R_{c,cal} = Q_{ult} = Q_{ult,lat} + Q_{ult,base}$$

dove:

$Q_{ult}$  = Portata limite totale;

$Q_{ult,lat}$  = Portata limite per attrito laterale;

$Q_{ult,base}$  = Portata limite di base.

La portata limite di base viene calcolata in accordo alla seguente espressione:

$$Q_{ult,base} = A \cdot q_{ult,base}$$

dove:

A = area della sezione di base del palo;

$q_{ult,base}$  = portata limite unitaria alla base del palo.

La portata limite di base nei terreni granulari è quella sviluppata alla base del palo, in corrispondenza di cedimenti pari al 10% del diametro del palo, in accordo a Gwizdala (1984), O'Neill & Reese (1999) e Matsui (1993), fornita dalla seguente espressione:

$$(q_{ult,base})_{\frac{s}{D}=0.1} = \alpha_N \cdot (N_{SPT})_m \leq (q_{ult,base})_{max}$$

dove:

$(q_{ult,base})_{\frac{s}{D}=0.1}$  = pressione limite alla base associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo;

$(N_{SPT})_m$  = valore di  $N_{SPT}$  medio su un tratto pari a  $1.5 \cdot D$  al di sopra e al di sotto della base del palo;

$\alpha_N$  = coefficiente empirico pari a 120-150 kPa (ghiaie e ghiaie sabbiose);

$(q_{ult,base})_{max}$  = pressione limite alla base massima pari a 5800-7500 kPa (ghiaie e ghiaie sabbiose).

Al fine di non utilizzare un criterio eccessivamente cautelativo, per profondità inferiori a  $20 \div 25$  m, è stato anche verificato che la pressione limite di base sia prossima a quella ricavabile con la seguente espressione:

$$(q_{ult,base})_{\frac{s}{D}=0.1} = N_q \cdot \sigma'_{v0} \leq (q_{ult,base})_{max}$$

dove:

$N_q$  = fattore di capacità portante di Berezantsev et al. (1961).

$\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace geostatica calcolata a partire dal p.c. originario.

Infine, per i pali maggiormente sollecitati, con particolare riferimento alle file centrali, i valori della portata limite di base sono stati meglio definiti in funzione della valutazione del cedimento del palo (capitolo 7), assumendo un criterio ulteriormente restrittivo per il cedimento, ovvero sia inferiore al 5% del diametro del palo (cedimento  $\rho < 0.05 D$ ). A questo riguardo si è fatto anche riferimento a Ghionna et al. (1994).

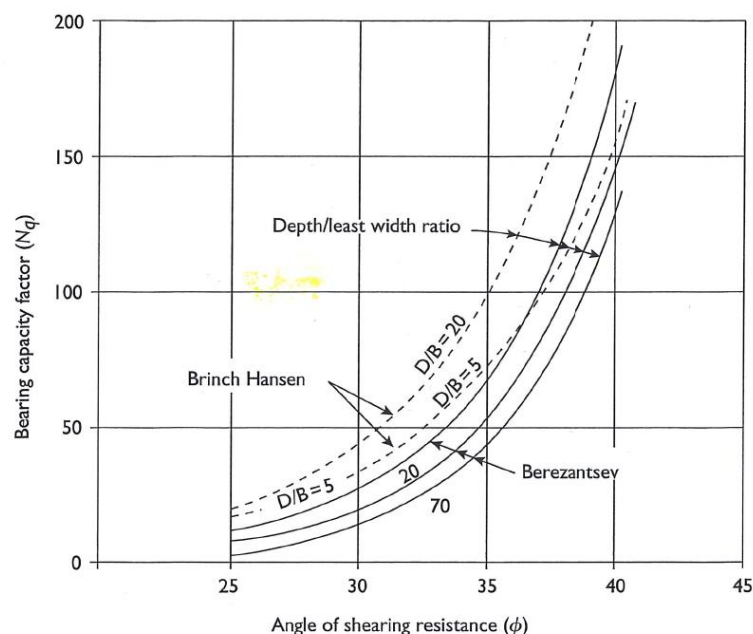


Figura 6.1 – Fattore di capacità portante di Berezantsev et al. (1961).



La portata limite per attrito laterale viene calcolata in accordo alla seguente espressione:

$$Q_{ult,lat} = P \cdot \sum_{i=1}^n \Delta H_i \cdot \tau_{ult,lat,i}$$

dove:

P = perimetro del palo;

$\Delta H_i$  = altezza del singolo concio di palo;

$\tau_{ult,lat,i}$  = tensione tangenziale limite media lungo il singolo concio di palo;

n = numero totale di conci in cui viene suddiviso il palo.

La tensione tangenziale limite laterale nei terreni fini viene calcolata come:

$$\tau_{ult,lat,i} = K \cdot \tan \phi \cdot \sigma'_{v0} \leq (\tau_{ult,lat,i})_{max}$$

dove:

K = coefficiente empirico variabile che può essere assunto pari a 0.6

$(\tau_{ult,lat,i})_{max} = 3 N_{SPT}$  kPa per  $N_{SPT} \leq 53$

$(\tau_{ult,lat,i})_{max} = 142 + 0.32 N_{SPT}$  kPa per  $N_{SPT} > 53$

Il peso del palo, in accordo con le NTC-2008, è da considerarsi tra le azioni permanenti adottando i coefficienti parziali sulle azioni. In questa condizione il peso deve essere assunto come azione permanente favorevole.

La quota della falda è stata presa, cautelativamente, alla quota di fondo scavo.

Si è tenuto conto inoltre della vicinanza dei pali adottando un coefficiente di efficienza relativamente all'effetto gruppo determinato con la formula empirica di Converse – Labarre e, nel caso delle file di pali disposte a 1.4 m, pari a 0.75.

Con riferimento alla procedura suddetta ed ai parametri geotecnici indicati nei precedenti capitoli, nelle seguenti Figure si riportano i profili di resistenza di progetto  $R_{c,d}$  del palo singolo per carichi assiali di compressione, per le diverse sezioni tipo, avendo adottato i seguenti approcci progettuali:

- condizione statica

A1-C1:A1+M1+R1

A1-C2: A2+M1+R2

A2: A1+M1+R3

- condizione sismica

A1+M1+R3

Occorre evidenziare che essendo i pali realizzati con un conglomerato cementizio di resistenza cubica,  $R_{ck}$ , pari a 30 MPa, sulla base delle indicazioni dell'Eurocodice, la tensione ammissibile nel palo è pari a  $0.25 \cdot R_{ck} = 7.5 \text{ MN/m}^2$  e, conseguentemente, la resistenza di progetto dei pali del diametro di 1200 mm è pari a  $R_{c-cls} = \pi \cdot 0.6^2 \cdot 7500 = 8482 \text{ kN}$ .

Nella seguente Tabella sono riportati i valori caratteristici del carico permanente e variabile di ciascuna sezione tipo.

**Tabella 6.2 – Valori caratteristici del carico permanente e variabile di ciascuna sezione tipo**

Sezione tipo	Da pk	A pk	PALI LATERALI		PALI CENTRALI	
			G <sub>k</sub> (kN)	Q <sub>k</sub> (kN)	G <sub>k</sub> (kN)	Q <sub>k</sub> (kN)
M1	114+565	114+745	847	265		
	114+745	114+900	934	956		
M2bis	114+900	115+100	772	531	2662	1896
M2	115+100	115+260	753	187	2909	750
M3	115+260	115+470	1411	217	2770	435
M4	115+476	115+890	1413	151		

G<sub>k</sub> = valore caratteristico del carico permanente

Q<sub>k</sub> = valore caratteristico del carico variabile

Con riferimento a tali Figure, la testa palo è stata assunta alle seguenti profondità dal piano campagna attuale:

- 3 m per la sezione tipo M1;
- 4.6 m (file esterne) e 5.6 m (fila centrale) per la sezione tipo M2bis;
- 6.3 m (file esterne) e 7.3 m (file centrale) per la sezione tipo M3bis ed M3;
- 9.0 m per la sezione tipo M4.

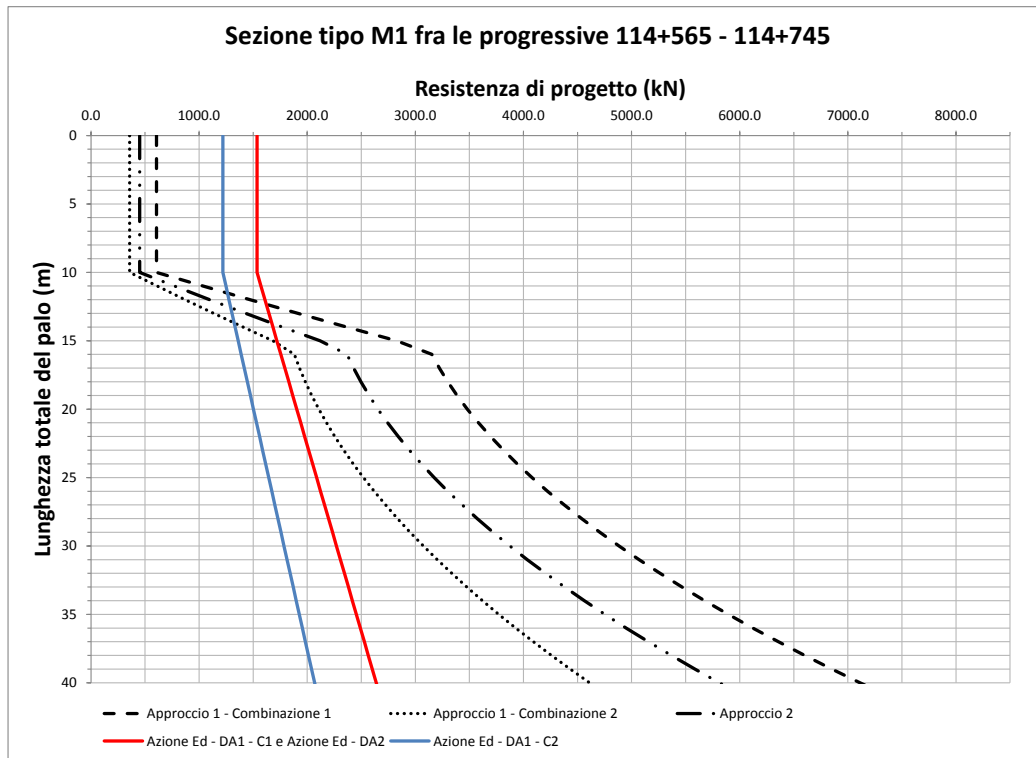
Al variare della lunghezza L del palo nelle seguenti Figure sono riportati i valori delle resistenze di progetto.

In aggiunta alle verifiche richieste dalle NTC 2008, come riportato nel Manuale di Progettazione 2016 (Par. 2.5.1.9.3), è stata verificata la seguente relazione:

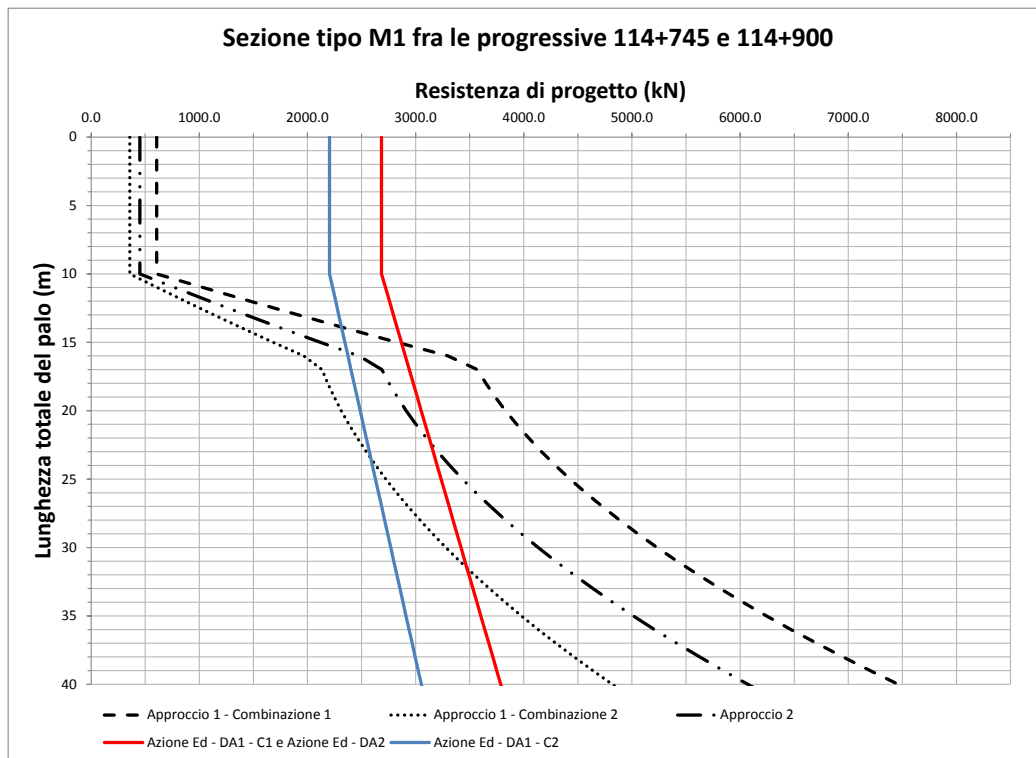
$$R_{c,cal,LAT}/1.25 > N_{ag}$$

dove R<sub>c,cal,LAT</sub> è la resistenza laterale di calcolo e N<sub>ag</sub> è il carico agente sul palo determinato per la combinazione caratteristica (rara) impiegata per le verifiche agli stati limiti di esercizio (SLE).

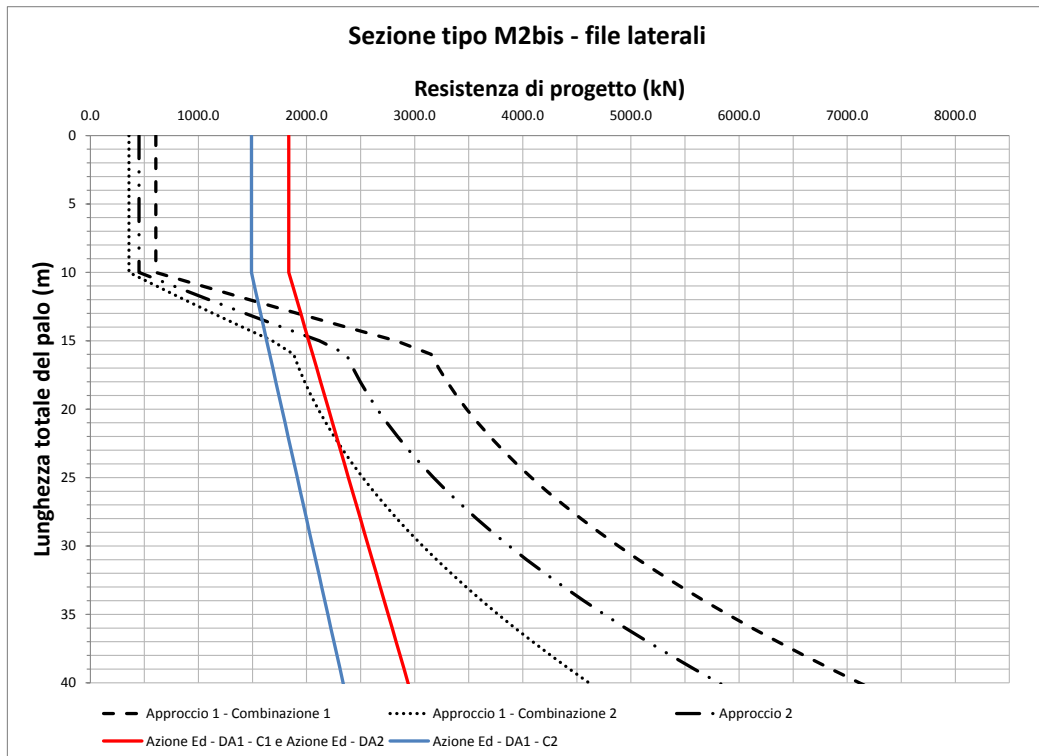




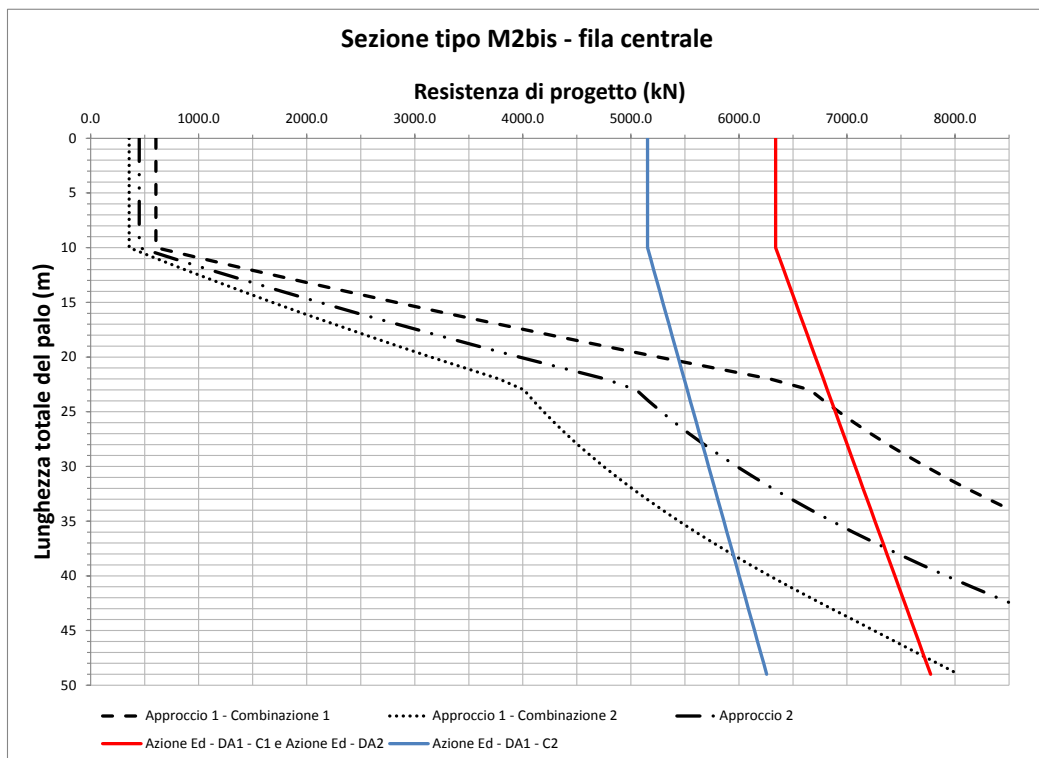
**Figura 6.2 – Sezione tipo M1 fra le progressive 114+565 e 114+745, resistenza di progetto dei pali.**



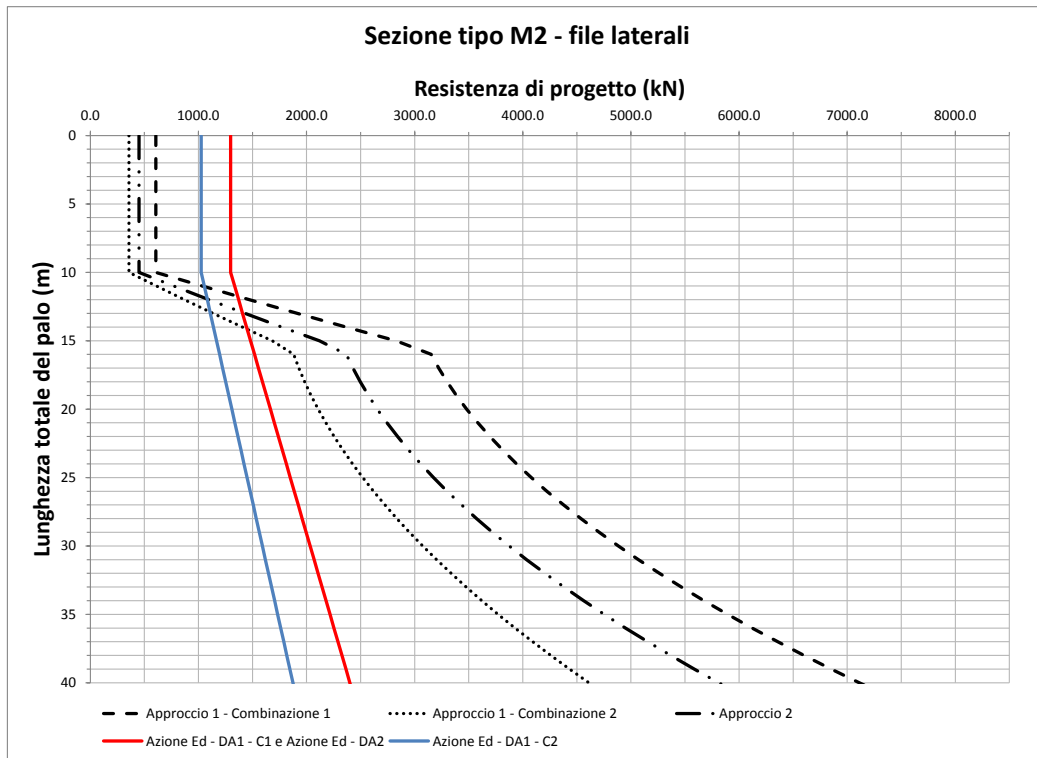
**Figura 6.3 – Sezione tipo M1 fra le progressive 114+745 e 114+900, resistenza di progetto dei pali.**



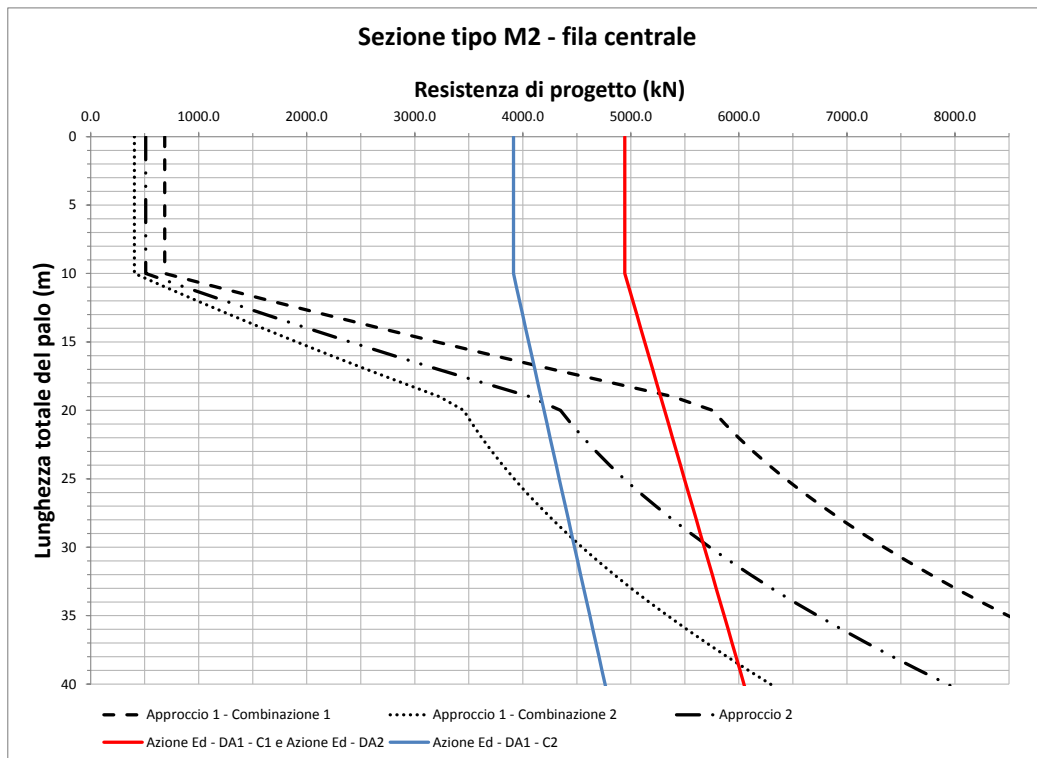
**Figura 6.4 – Sezione tipo M2bis – file laterali, resistenza di progetto dei pali.**



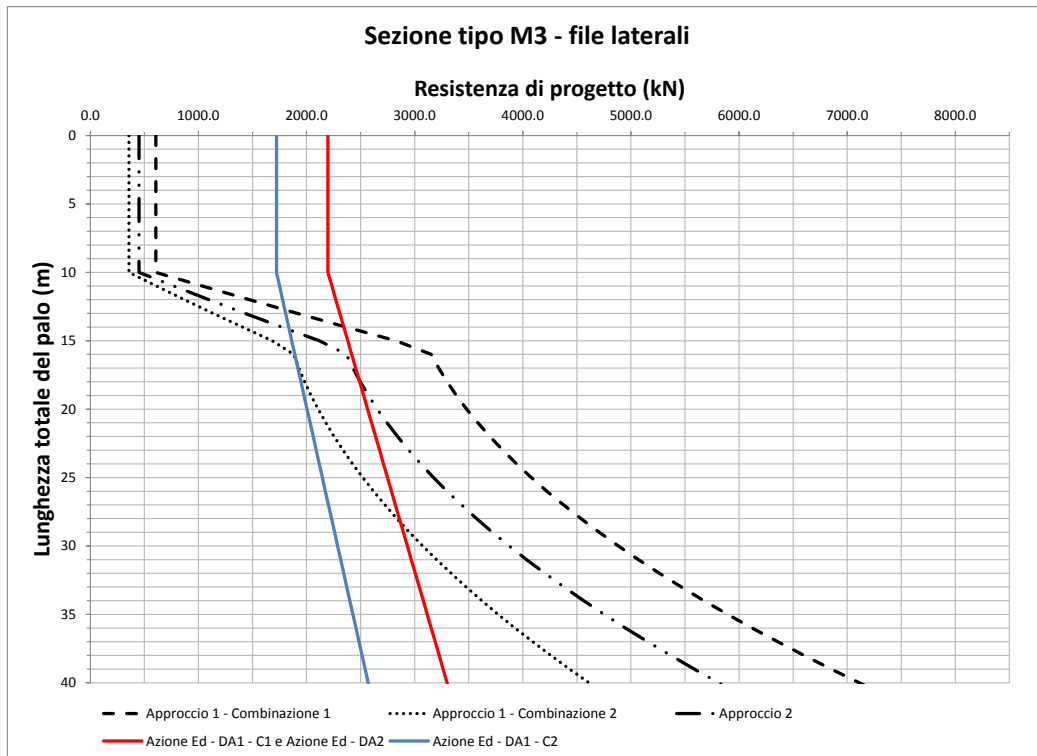
**Figura 6.5 – Sezione tipo M2bis – fila centrale, resistenza di progetto dei pali.**



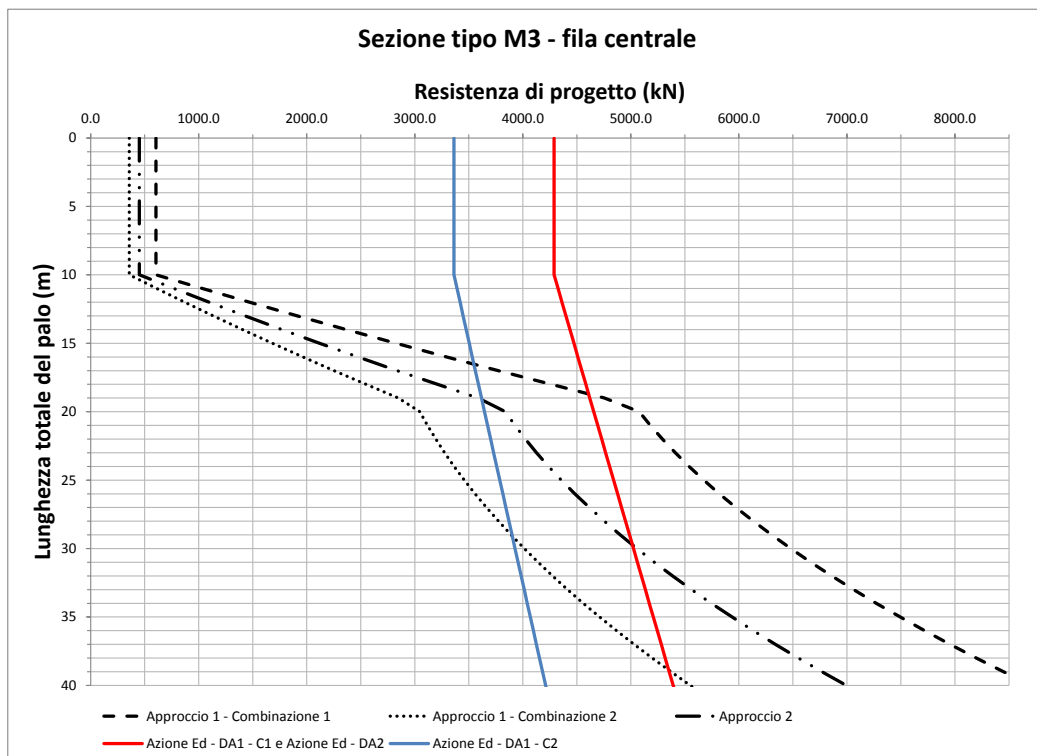
**Figura 6.6 – Sezione tipo M3bis – file laterali, resistenza di progetto dei pali.**



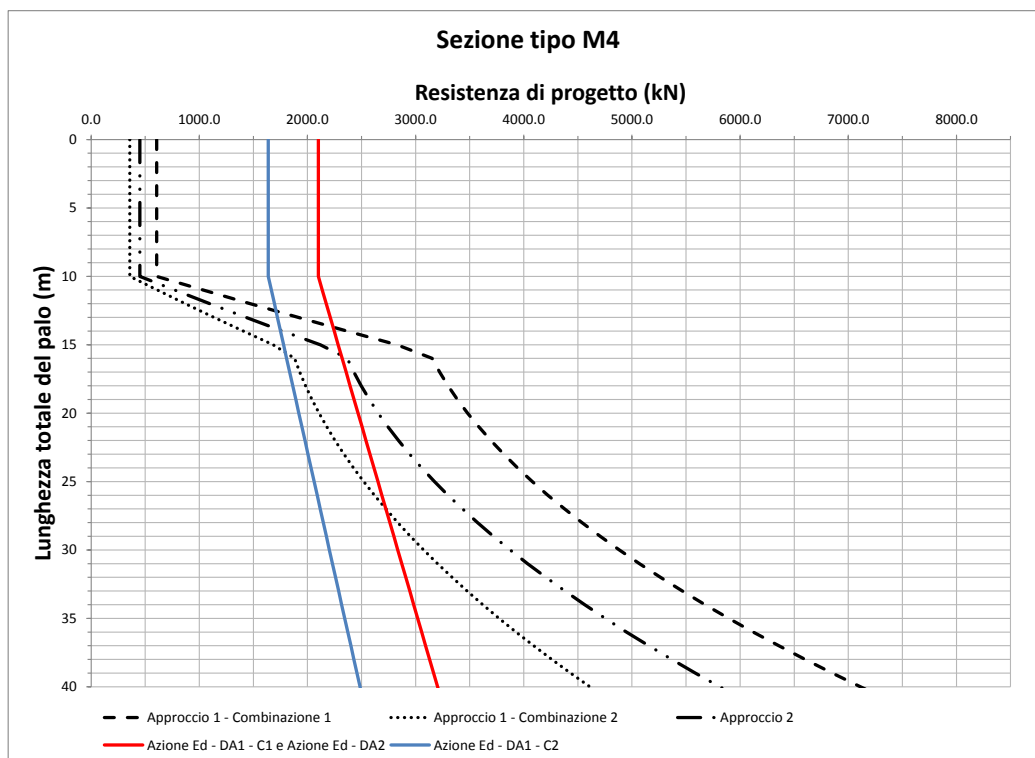
**Figura 6.7 – Sezione tipo M3bis – fila centrale, resistenza di progetto dei pali.**



**Figura 6.8 – Sezione tipo M3 – file laterali, resistenza di progetto dei pali.**



**Figura 6.9 – Sezione tipo M3 – fila centrale, resistenza di progetto dei pali.**



**Figura 6.10 – Sezione tipo M4, resistenza di progetto dei pali.**

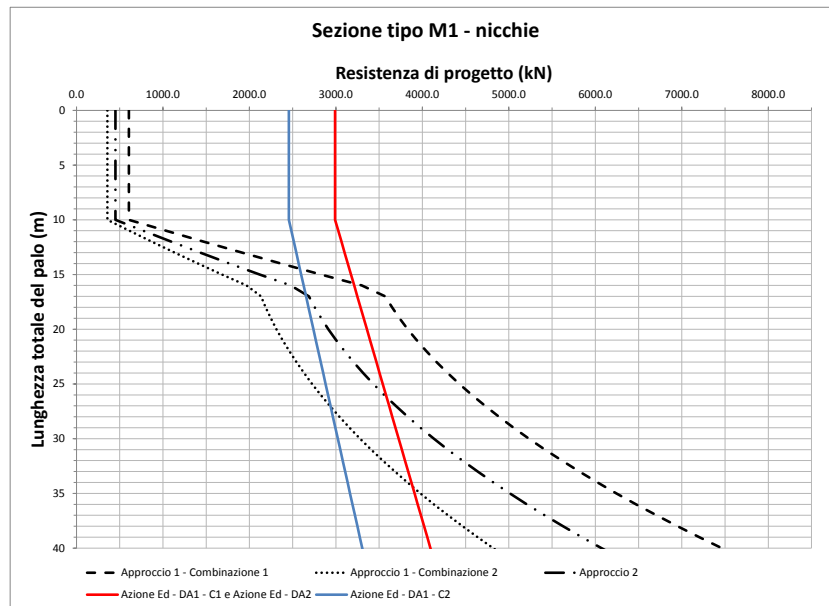
In conclusione sulla base dei valori della resistenza di progetto riportati nelle precedenti Figure, nella seguente Tabella 6.3, sono riepilogate le lunghezze dei pali.

Occorre evidenziare che per la lunghezza dei pali laterali relativi alla sezione tipo M3bis, la lunghezza ottenuta per le azioni assiali è stata portata da 13 m a 16 m per garantire adeguati fattori di sicurezza nelle fasi provvisoriale quando le paratie costituiscono il sostegno alla spinta del terreno nelle fasi di ribasso fino alla quota di fondo scavo.

**Tabella 6.3 – Riepilogo delle lunghezze dei pali del diametro di 1200 mm, relativamente alle diverse sezioni tipo top – down presenti lungo la galleria artificiale Lonato Ovest (GA06).**

Da pk	A pk	Sezione tipo	Interasse pali	Lunghezza totale pali laterali	Lunghezza totale pali centrali
114+565	114+745	M1	1.4 m	15 m	-
114+745	114+900	M1	1.4 m	23 m	-
114+900	115+100	M2bis	1.4 m (4 pali ogni 10 m ad interasse di 1.4 m per la fila centrale)	15 m	38 m (4 pali ogni 10 m ad interasse di 1.4 m per la fila centrale)
115+100	115+260	M3bis	1.4 m (2.8 m per la fila centrale)	16 m	30 m (ad interasse di 2.8 m)
115+260	115+470	M3	1.4 m	17 m	30 m
115+476	115+890	M4	1.4 m	16 m	-

Infine, sono state calcolate le lunghezze dei pali in corrispondenza della nicchia situata in corrispondenza della sezione tipo M1 (zona Feralpi). Per il dimensionamento della nicchia che interessa la sezione tipo M1, è stato assunto un valore caratteristico del carico permanente  $G_k = 1038.3$  kN/palo e un valore caratteristico del carico variabile  $Q_k = 1069.3$  kN/palo.



**Figura 6.11 – Sezione tipo M1 con nicchie, resistenza di progetto dei pali.**

Sulla base dei profili di resistenza di progetto riportati nella Figura 6.11 per la nicchia situata nella sezione tipo M1 i pali avranno una lunghezza di 27 m.



## 7. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

La valutazione del cedimento,  $\rho$ , dei pali è stato condotta mediante la seguente espressione, con la quale il cedimento del palo è pari alla somma dell'accorciamento elastico del palo e al cedimento del terreno al di sotto della base del palo:

$$\rho = \frac{(W_s + 2 W_b) L}{2 A_s E_p} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{W_b}{A_b} \cdot \frac{B (1 - \nu^2) I_p}{E_b}$$

dove:

$W_s$  = portata limite per attrito laterale

$W_b$  = portata limite di base

$L$  = lunghezza del palo

$A_s$  = area del fusto del palo

$A_b$  = area della base del palo

$E_p$  = modulo di elasticità del materiale del palo

$B$  = larghezza del palo

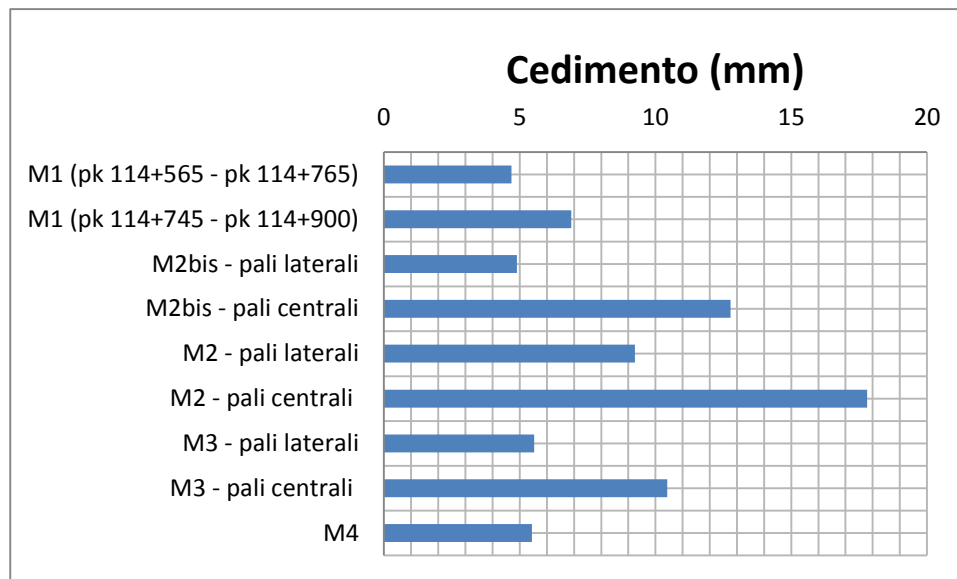
$\nu$  = rapporto di Poisson del terreno

$I_p$  = fattore di influenza dipendente dal rapporto  $L/R$

$E_b$  = modulo di deformabilità del terreno al di sotto del palo

Nella seguente Figura 7.1, sono riportati i valori dei cedimenti calcolati per i pali delle diverse sezioni tipo; come si può notare si tratta di cedimenti estremamente contenuti.

Analogamente la determinazione dei cedimenti dei pali interessati dalle nicchia, presente nella sezione tipo M1, analogamente, si ha un cedimento modesto e pari a 5 mm.



**Figura 7.1 – Valori dei cedimenti calcolati per i pali delle diverse sezioni tipo.**