

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

VIADOTTI E PONTI

Ponte sul deviatore del canale Dugale dal km 16+495,80 al km 16+517,80

FONDAZIONI

ADDENDUM alla Relazione di calcolo delle fondazioni IN1712EI2CLVI0403001

| | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------|--|------------------|--|--|--|-------|--|
| GENERAL CONTRACTOR | | | | DIRETTORE LAVORI | | | | SCALA | |
| IL PROGETTISTA INTEGRATORE | | Consorzio Iricav Due | | | | | | - | |
| Ing. Giovanni MALAVENDA | | ing. Paolo Carmona | | | | | | | |
| Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri di Venezia n. 4289 | | Data: Gennaio 2022 | | | | | | | |
| N. 4289 | | Data: Gennaio 2022 | | | | | | | |

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV. FOGLIO

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | N | 1 | 7 | 1 | 2 | E | I | 2 | C | L | V | I | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | A | - | - | - | - | - | - |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | |
|--|----------------------------|--------------|
| | VISTO CONSORZIO IRICAV DUE | |
| | Firma | Data |
| | Luca RANDOLFI | Gennaio 2022 |

| Progettazione: | | | | | | | | |
|----------------|-------------|------------------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|--------------------|
| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | IL PROGETTISTA |
| A | EMISSIONE | G. Furlani | Gennaio 2022 | V. Pastore | Gennaio 2022 | P. Ascari | Gennaio 2022 | P. Ascari |
| | | Giovanni Furlani | | V. Pastore | | P. Ascari | | |
| | | | | | | | | Data: Gennaio 2022 |

| | | |
|-----------------|----------------------|----------------------------------|
| CIG. 8377957CD1 | CUP: J41E91000000009 | File: IN1712EI2CLVI0403002A.DOCX |
| | | Cod. origine: |



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|-------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 2 di 21 | |

INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | PREMESSA..... | 3 |
| 2 | DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 2.1 | Documenti di riferimento..... | 4 |
| 2.2 | Normativa di riferimento..... | 4 |
| 2.3 | Bibliografia | 4 |
| 3 | DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO | 5 |
| 4 | VALIDAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE | 7 |
| 4.1 | Metodologia analisi palificate di fondazione sotto carichi verticali..... | 7 |
| 4.2 | Carichi | 11 |
| 4.3 | Risultati verifiche con metodo DR palificata per la Spalla A..... | 13 |
| 4.4 | Risultati verifiche con metodo DR palificata per la Spalla B..... | 15 |
| 4.5 | Commenti ai risultati delle verifiche condotte con metodo DR..... | 17 |
| 4.6 | Verifiche a Carico Limite Orizzontale..... | 20 |
| 5 | CONCLUSIONI..... | 21 |

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|-------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 3 di 21 | |

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce un addendum alla Relazione di Calcolo delle fondazioni del viadotto VI04 - Ponte sul deviatore del canale Dugale, opera a campata unica, ubicata tra la pk 16+495,80 e 16+517,80 nell'ambito del PE della linea A.V. / A.C. Torino – Venezia, tratta Verona – Padova, lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza, cod. IN1712EI2CLVI04030001.

Scopo del documento è confermare la correttezza del dimensionamento dei pali di fondazione delle spalle A e B eseguito in fase di progetto esecutivo, sia per carichi assiali sia per i carichi trasversali, attraverso ulteriori verifiche svolte assumendo un valore del coefficiente di correlazione ξ_4 pari a quello adottato in sede di progetto definitivo ($\xi_{4_PD} = 1,55 > \xi_{4_PE} = 1,48$).

Con i risultati ottenuti si intende quindi ulteriormente validare il progetto delle palificate con le caratteristiche rappresentate negli elaborati grafici e di calcolo trasmessi con Trasmittal IN17-T-0000000878 del 01/09/2021.

Le verifiche geotecniche di capacità portante ai carichi assiali sono svolte con il metodo dei Domini di Resistenza delle palificate (DR); invece, le verifiche al carico limite orizzontale sono svolte ancora una volta attraverso il metodo di Broms.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|-------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 4 di 21 | |

2 DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Documenti di riferimento

- [DR 1.] IN1711EI2RBGE0000002C – Relazione Geotecnica Generale (dal km 10+050 al km 21+990).
- [DR 2.] IN1712EI2FZVI0400001 - Profilo Geotecnico – Ponte sul deviatore del canale Dugale dal Km 16+496.10 al km 16+518.10.
- [DR 3.] IN1712EI2RBVI0400001 – Relazione geotecnica - Ponte sul deviatore del canale Dugale dal Km 16+496.10 al km 16+518.10.
- [DR 4.] IN1712EI2CLVI0403001 – Relazione di calcolo fondazioni.
- [DR 5.] IN1712EI2ROVI0400002 – Relazione di confronto PD/PE.
- [DR 6.] IN1712EI2CLVI0406001 – Relazione di calcolo spalle.

2.2 Normativa di riferimento

- [NR 1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [NR 2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [NR 3] Manuale di progettazione RFI.
- [NR 4] Capitolato RFI.

2.3 Bibliografia

- Di Laora R., de Sanctis L., Aversa S. (2019). Bearing capacity of pile groups under vertical eccentric load. ACTA Geotecnica, (14), 193–205

| | | | | | |
|---|---|-------------|--|-----------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento EI2 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 5 di 21 |

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'opera è costituita da due spalle, per le quali si prevedono fondazioni profonde costituite da pali trivellati di diametro 1.5 m, di numero e lunghezza variabili in relazione ai carichi agenti.

In particolare, in Tabella 1 sono sintetizzate le caratteristiche geometriche delle fondazioni delle spalle previste da PE con esplicitato il confronto con le palificate del PD.

Nelle successive figure è invece mostrata la disposizione in pianta dei pali del Progetto Esecutivo con la relativa numerazione e le rispettive coordinate. Il sistema di riferimento globale della palificata ha origine nel baricentro della stessa, asse X longitudinale al viadotto e asse Y trasversale al viadotto.

Tabella 1 – Palificate di fondazione

| VI04 | PE | | | PD | | |
|----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|
| | Dpali [mm] | n. pali [-] | Lpali [m] | Dpali [mm] | n. pali [-] | Lpali [m] |
| Spalla A | 1500 | 12 | 25.0 | 1500 | 12 | 32.0 |
| Spalla B | 1500 | 12 | 23.0 | 1500 | 12 | 29.0 |

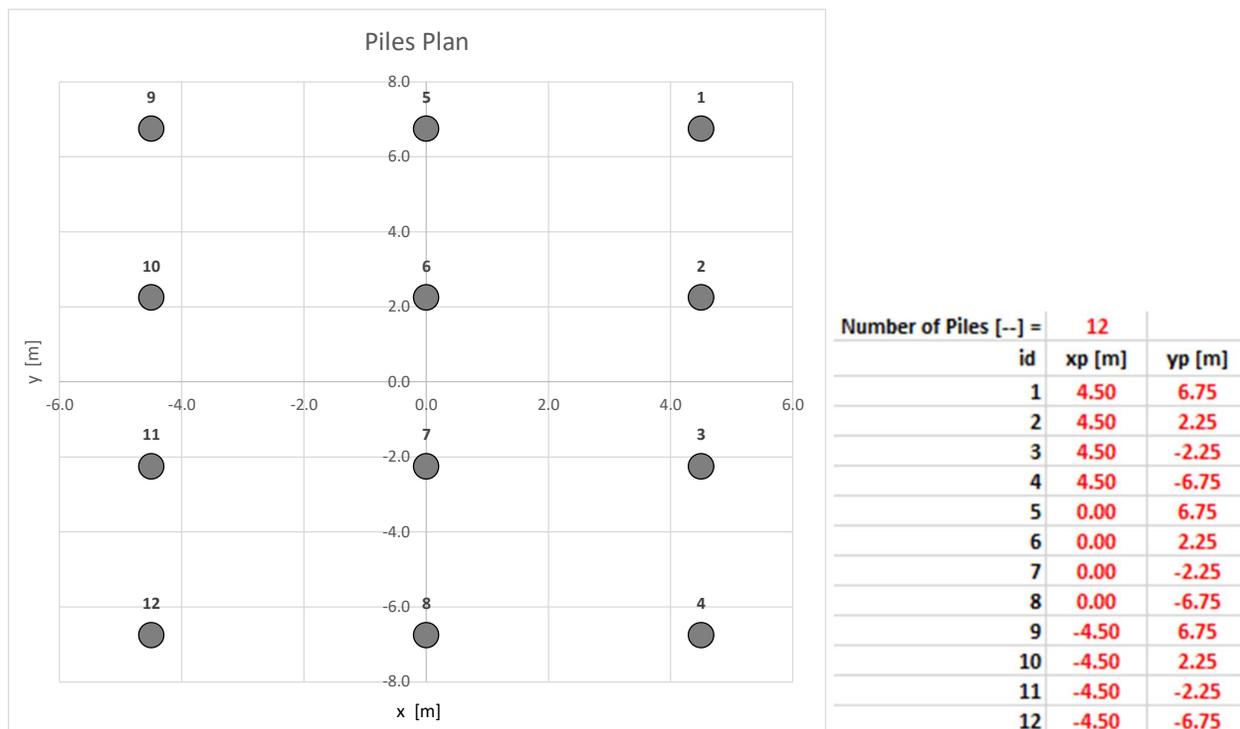
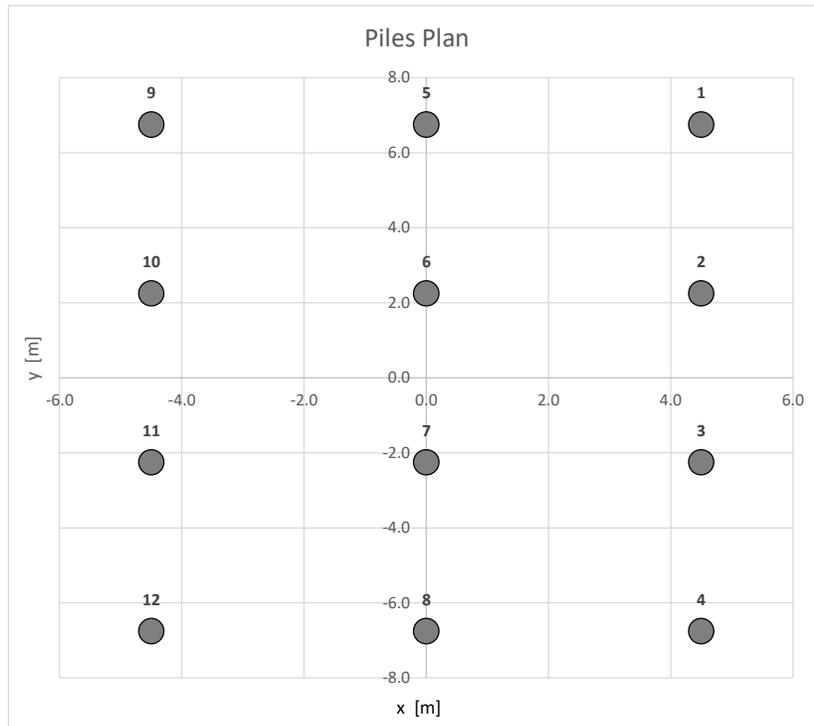


Figura 1 – Pali di fondazione Spalla A.



| Number of Piles [--] = 12 | | | |
|---------------------------|--------|--------|--|
| id | xp [m] | yp [m] | |
| 1 | 4.50 | 6.75 | |
| 2 | 4.50 | 2.25 | |
| 3 | 4.50 | -2.25 | |
| 4 | 4.50 | -6.75 | |
| 5 | 0.00 | 6.75 | |
| 6 | 0.00 | 2.25 | |
| 7 | 0.00 | -2.25 | |
| 8 | 0.00 | -6.75 | |
| 9 | -4.50 | 6.75 | |
| 10 | -4.50 | 2.25 | |
| 11 | -4.50 | -2.25 | |
| 12 | -4.50 | -6.75 | |

Figura 2 - Pali di fondazione Spalla B.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|-------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento EI2 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 7 di 21 | |

4 VALIDAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE

4.1 Metodologia analisi palificate di fondazione sotto carichi verticali

Rispetto al precedente quadro normativo di riferimento (D.M. 11/03/1988), le NTC hanno introdotto importanti novità, in linea con una visione più moderna e razionale del progetto di una fondazione su pali.

Tra queste, di sicuro rilievo è l'aver riconosciuto che, a meno di casi particolari (ad esempio, fondazioni di strutture offshore), ogni fondazione su pali è in realtà una fondazione mista 'platea su pali' in quanto l'elemento strutturale di collegamento delle teste dei pali è posto a contatto con il terreno sottostante e, di conseguenza, potenzialmente in grado di trasferire direttamente una aliquota dei carichi derivanti dalla struttura in elevazione, con un minore impegno per i sottostanti pali.

Per tale motivo, le NTC suggeriscono un approccio al progetto di una fondazione su pali che discenda una preventiva analisi di interazione tra il terreno e la fondazione costituita dai pali e dalla struttura di collegamento finalizzata alla determinazione dell'aliquota dell'azione di progetto trasferita al terreno direttamente dalla struttura di collegamento e di quella trasmessa dai pali.

A seconda dei risultati dell'analisi di interazione, possono individuarsi due scenari di riferimento:

- Scenario 1 , per il quale i risultati dell'analisi di interazione evidenziano un contributo poco significativo della platea; in questo caso, il sistema di fondazione è assimilabile al solo gruppo di pali (o palificata) e le verifiche SLU e SLE andranno condotte con riferimento ai soli pali secondo quanto riportato ai §§ 6.4.3.1 e 6.4.3.2;
- Scenario 2 , per il quale i risultati dell'analisi di interazione evidenzia un contributo significativo della platea; in questo caso le verifiche SLU e SLE andranno condotte con riferimento alla fondazione mista 'platea su pali' secondo quanto riportato ai §§ 6.4.3.3 e 6.4.3.4.

Le NTC precisano che, in assenza di analisi di interazione, ci si dovrà riferire allo scenario 1.

Per quel che riguarda le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (SLU GEO) delle fondazioni su pali, è necessario che sia rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd \text{ ossia } Md = Rd - Ed \geq 0$$

in cui:

Ed = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

Rd = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico;

Md = margine di sicurezza rispetto al valore convenzionale che deriva dall'applicazione dei coefficienti parziali di amplificazione delle azioni e di riduzione delle resistenze indicati dalle NTC.

Nei § 6.4.3.1 e § 6.4.3.3 le NTC chiariscono che le verifiche SLU-GEO devono essere effettuate con riferimento a meccanismi di collasso per carico limite della palificata o della fondazione mista, sia nei riguardi dei carichi assiali, sia nei riguardi dei carichi trasversali.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|-------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 8 di 21 | |

È utile osservare che tale indicazione è stata ulteriormente precisata con l’emanazione delle NTC 2018. È infatti stato introdotto un nuovo paragrafo il cui contenuto è di seguito riportato:

§ 6.4.3.1.1. *Resistenza a carico assiale di una palificata — Per una palificata, la verifica della condizione [2.2.1] dovrà essere fatta in base alla resistenza caratteristica che risulta dalla somma delle resistenze caratteristiche dei pali che la costituiscono. Sarà comunque necessario valutare possibili riduzioni della resistenza disponibile per effetto di gruppo, tenendo conto della tipologia dei pali, della natura dei terreni interessati e della configurazione geometrica della palificata.*

I contenuti delle NTC (2008, 2018) sono perfettamente in linea con la normativa europea (Eurocode 7: Geotechnical design -- Part 1: General rulesPart 1: General rules) la quale chiarisce che le verifiche SLU riferite al palo singolo non hanno significato (a failure mode involving only one pile need not be considered) e che *for piles supporting a stiff structure, a failure will occur only if a significant number of piles fail together.*

Tutto quanto sopra prefigura una situazione per la quale la diffusa prassi progettuale, adottata anche nel progetto definitivo, di svolgere le verifiche con riferimento al palo singolo più caricato e non all’intera palificata:

- a) non recepisce le indicazioni contenute nelle normative italiane ed europee,
- b) non corrisponde in alcun modo all’attingimento di un meccanismo di collasso della fondazione, ossia di perdita di equilibrio per raggiungimento della resistenza del sistema geotecnico.

Un approccio certamente più razionale è quello di riferirsi ai Domini di Resistenza delle fondazioni su pali (DR), ossia del luogo dei punti rappresentativi delle condizioni di collasso dell’intera palificata.

Per introdurre la tematica, si faccia riferimento al semplice caso di una una fondazione costituita da 4 pali identici disposti secondo un allineamento, collegati alla testa da una struttura infinitamente rigida sottoposta ad un’azione risultante verticale ed eccentrica passante per l’asse del palo 1 (Figura 3).

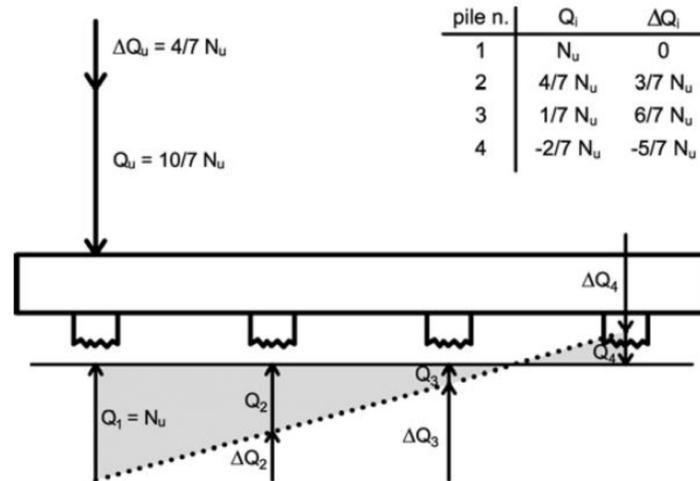


Figura 3. Fondazione su 4 pali soggetta a carichi verticale ed eccentrici (Di Laora et al., 2019).

Per semplicità i pali sono considerati alla stregua di molle a comportamento rigido–perfettamente plastico non interagenti, aventi uguale resistenza in compressione (N_u) e in trazione ($S_u = -n \cdot N_u$, con $n < 1$ in conseguenza dell'assenza di contributo della resistenza alla base).

Con tali ipotesi, il carico assorbito da ogni palo varia linearmente con la loro posizione (in maniera del tutto analoga alla distribuzione che deriva dall'adozione del metodo di Engesser).

Secondo l'approccio tipicamente adottato nella pratica corrente, il massimo carico risultante applicabile è quello in corrispondenza del quale si verifica il raggiungimento del carico limite di uno dei pali (nello specifico il palo 1).

Semplici considerazioni di equilibrio portano a dimostrare che $Q_u = (10/7) \cdot N_u$.

Tale condizione, però, non rappresenta una vera e propria condizione di collasso per l'intera palificata, in quanto i pali 2 e 3 potrebbero subire ancora incrementi di carico di compressione e il palo 4 un incremento di carico in trazione. Perché anche i pali 2, 3 e 4 raggiungano una condizione limite (di compressione per i pali 2 e 3, di trazione per il palo 4) e quindi si possa parlare di attingimento di una condizione di collasso per l'intera palificata, nella semplice ipotesi $n = 1$ (ossia $S_u = -N_u$) il carico verticale risultante può ulteriormente incrementarsi al valore $Q_u = 2 \cdot N_u$ (40% in più rispetto al valore precedente).

In questa condizione, come richiesto dalle NTC 2008 ed ulteriormente rafforzato nella versione del 2018, tutte le riserve di resistenza inizialmente disponibili sono oramai esaurite.

Di Laora et al. 2019, da cui l'esempio è tratto, hanno dimostrato che tale distribuzione di carico non viola il criterio di resistenza adottato per i pali e quindi, alla luce del teorema statico, il carico di collasso $Q_u = 2 \cdot N_u$ rappresenta un minorante del reale carico di collasso della palificata.

Da quanto sopra, discende automaticamente, che un approccio basato sul rispetto della condizione $R_d/E_d \geq 1$ relativa al singolo palo più caricato, oltre a non rappresentare una condizione di stato limite ultimo della palificata, è

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 10 di 21 | |

anche conservativo: anche nel caso in cui per il singolo palo più caricato dovesse risultare $Rd/Ed = 1$, relativamente alla palificata si avrebbe senz'altro $Md > 0$.

Per la determinazione dell'effettivo valore Md di una palificata, è possibile fare ricorso, come detto ai cosiddetti Domini di Resistenza.

Ovviamente, se costruito con riferimento ai valori di progetto delle resistenze del palo singolo (in compressione, Rcd , e in trazione, Rtd), il dominio assume il significato di Dominio delle Resistenze di Progetto (nel seguito indicato con l'acronimo DRP) e le verifiche $SLU--GEO$ possono effettuarsi semplicemente assicurandosi che i punti rappresentativi delle diverse azioni di progetto (così come derivanti dalle varie combinazioni di carico previste dalle NTC e dal $MP-RFI$) siano interni al DRP .

Per la costruzione dei domini di resistenza delle palificate, in questa sede, si è utilizzato il metodo analitico proposto da Di Laora et al. (2019) (vedasi riferimento al paragrafo 2.3), cui si rimanda per ogni dettaglio.

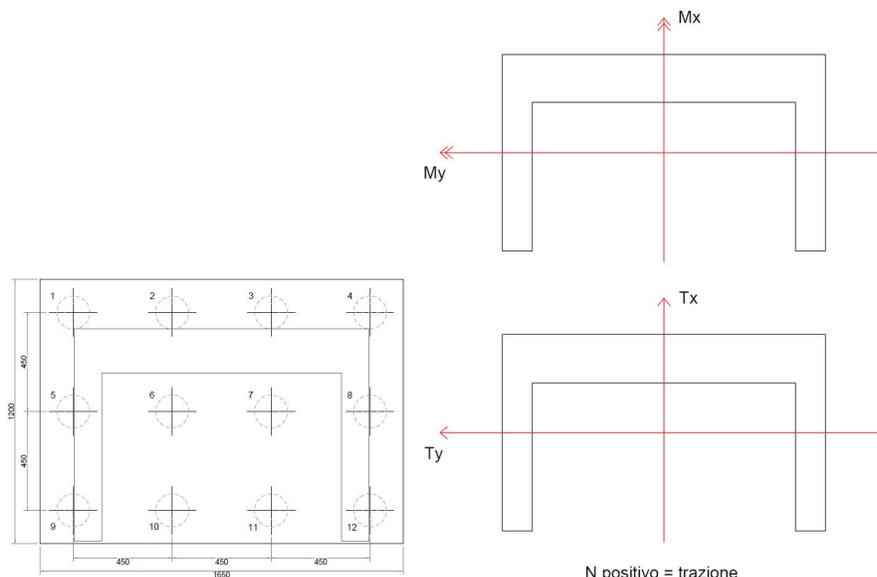
| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento EI2 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 11 di 21 |

4.2 Carichi

I carichi esterni agenti alla quota di intradosso delle platee di fondazione e applicati in corrispondenza del baricentro delle palificate sono derivati dalle relazioni di calcolo delle Spalle (DR.6). Nelle seguenti tabelle si sintetizzano i carichi e relativi sistemi di riferimento delle azioni.

Tabella 2 – Carichi Spalla A

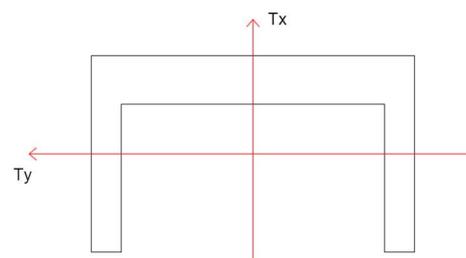
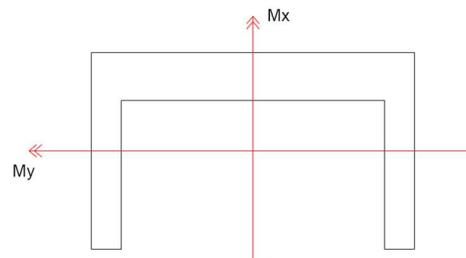
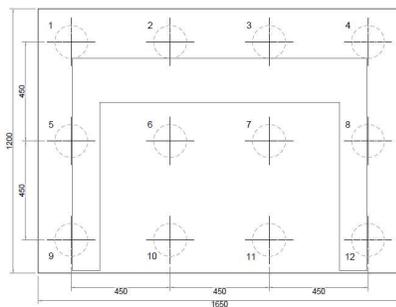
| REAZIONI INTRADOSSO BARICENTRO PLATEA DI FONDAZIONE SPALLA | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|-------------|-------------|
| Combinazioni | Ty [kN] | Tx [kN] | N [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] |
| 1_A1+M1+R3 | 359 | 9830 | -55030 | -5187 | 46514 |
| 2_A1+M1+R3 | 359 | 8250 | -51167 | -5187 | 48011 |
| 1_A2+M2+R2 | - | - | - | - | - |
| 2_A2+M2+R2 | - | - | - | - | - |
| sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso alto | 3447 | 17179 | -32074 | -15370 | 77320 |
| sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso basso | 3447 | 17179 | -35064 | -15370 | 77546 |
| sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso alto | 11491 | 6864 | -32074 | -50826 | 30471 |
| sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso basso | 11491 | 6864 | -35064 | -50826 | 30697 |
| sisma Z verso basso + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X | 3447 | 6864 | -38553 | -15370 | 30960 |
| sisma Z verso alto + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X | 3447 | 6864 | -28585 | -15370 | 30208 |
| 1_SLE rara | 244 | 7022 | -39970 | -3534 | 32297 |
| 2_SLE rara | 244 | 5932 | -37305 | -3534 | 33329 |
| 1_SLE frequente | 176 | 5958 | -37625 | -2213 | 24363 |
| 2_SLE frequente | 176 | 5304 | -36026 | -2213 | 24982 |
| SLE quasi permanente | 0 | 4363 | -34108 | 0 | 12462 |



| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 12 di 21 |

Tabella 3- Carichi Spalla B

| REAZIONI INTRADOSSO BARICENTRO PLATEA DI FONDAZIONE SPALLA | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|-------------|-------------|
| Combinazioni | Ty [kN] | Tx [kN] | N [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] |
| 1_A1+M1+R3 | 359 | 7556 | -55030 | -5187 | 30593 |
| 2_A1+M1+R3 | 359 | 5975 | -51167 | -5187 | 32089 |
| 1_A2+M2+R2 | - | - | - | - | - |
| 2_A2+M2+R2 | - | - | - | - | - |
| sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso alto | 3447 | 13119 | -32074 | -15370 | 48901 |
| sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso basso | 3447 | 13119 | -35064 | -15370 | 49127 |
| sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso alto | 11491 | 5646 | -32074 | -50826 | 21946 |
| sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso basso | 11491 | 5646 | -35064 | -50826 | 22171 |
| sisma Z verso basso + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X | 3447 | 5646 | -38553 | -15370 | 22435 |
| sisma Z verso alto + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X | 3447 | 5646 | -28585 | -15370 | 21682 |
| 1_SLE rara | 244 | 5453 | -39970 | -3534 | 21317 |
| 2_SLE rara | 244 | 4363 | -37305 | -3534 | 22349 |
| 1_SLE frequente | 176 | 5017 | -37625 | -2213 | 17775 |
| 2_SLE frequente | 176 | 4363 | -36026 | -2213 | 18394 |
| SLE quasi permanente | 0 | 4363 | -34108 | 0 | 12462 |



N positivo = trazione

| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 13 di 21 |

4.3 Risultati verifiche con metodo DR palificata per la Spalla A

Approccio di progetto 2 (A1 + M1 + R3)

$\xi = 1.55$ (come da Progetto Definitivo);

$\gamma_{sc} = 1.15$; $\gamma_{st} = 1.25$; $\gamma_b = 1.35$

Resistenze di progetto ($\xi = 1.55$)

$$R_{c,d} = \frac{1}{\xi} \cdot \left[\frac{R_{s,cal}}{\gamma_{sc}} + \frac{R_{b,cal}}{\gamma_b} \right] - W_{pc} = 7109 \text{ kN}$$

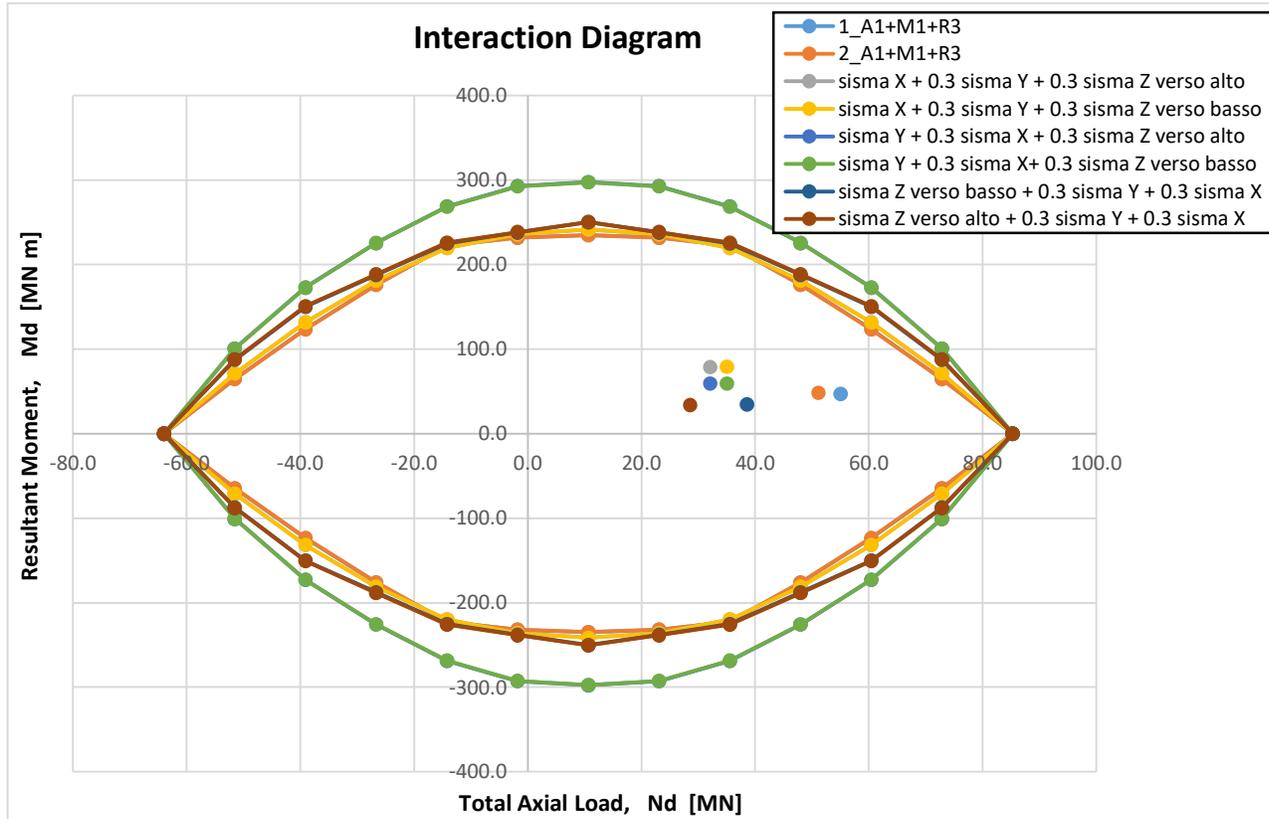
$$R_{t,d} = \frac{1}{\xi} \cdot \left[\frac{R_{s,cal}}{\gamma_{st}} + \frac{R_{b,cal}}{\gamma_b} \right] - W_{pt} = 5325 \text{ kN}$$

Tabella 4 – Dati di input per valutazione DRP - Spalla A

| PILES LOCATION AND DESIGN RESISTANCES | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|----------|---|
| Number of Piles [--] = | | 12 | | | | |
| id | xp [m] | yp [m] | R _{c,d} [kN] | R _{t,d} [kN] | | |
| 1 | 4.50 | 6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 2 | 4.50 | 2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 3 | 4.50 | -2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 4 | 4.50 | -6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 5 | 0.00 | 6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 6 | 0.00 | 2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 7 | 0.00 | -2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 8 | 0.00 | -6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 9 | -4.50 | 6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 10 | -4.50 | 2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 11 | -4.50 | -2.25 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| 12 | -4.50 | -6.75 | 7109.0 | 5325.0 | | |
| LOADING CONDITIONS | | | | | | |
| Number of Load Conditions [--] = | | 8 | | | | |
| id | xc [m] | yc [m] | Fz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Load Condition |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 55030 | 46514 | 5187 | 1_A1+M1+R3 |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 51167 | 48011 | 5187 | 2_A1+M1+R3 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 32074 | 77320 | 15370 | sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso alto |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 35064 | 77546 | 15370 | sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso basso |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 32074.0 | 30471.1 | 50826.4 | sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso alto |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 35064.4 | 30696.9 | 50826.4 | sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso basso |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 38553.2 | 30960.4 | 15369.6 | sisma Z verso basso + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 28585.2 | 30207.7 | 15369.6 | sisma Z verso alto + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X |



Domini delle resistenze di progetto ($\xi = 1.55$)



| | | | | | | |
|---|---|--|-------------|--|-----------|--------------------|
|  IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | <table border="1"> <tr> <td>Progetto IN17</td> <td>Lotto 12</td> <td>Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002</td> <td>Rev. A</td> <td>Foglio 15 di 21</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 15 di 21 |
| Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 15 di 21 | | |

4.4 Risultati verifiche con metodo DR palificata per la Spalla B

Approccio di progetto 2 (A1 + M1 + R3)

$\xi = 1.55$ (come da Progetto Definitivo);

$\gamma_{sc} = 1.15$; $\gamma_{st} = 1.25$; $\gamma_b = 1.35$

Resistenze di progetto ($\xi = 1.55$)

$$R_{c,d} = \frac{1}{\xi} \cdot \left[\frac{R_{s,cal}}{\gamma_{sc}} + \frac{R_{b,cal}}{\gamma_b} \right] - W_{pc} = 6631 kN$$

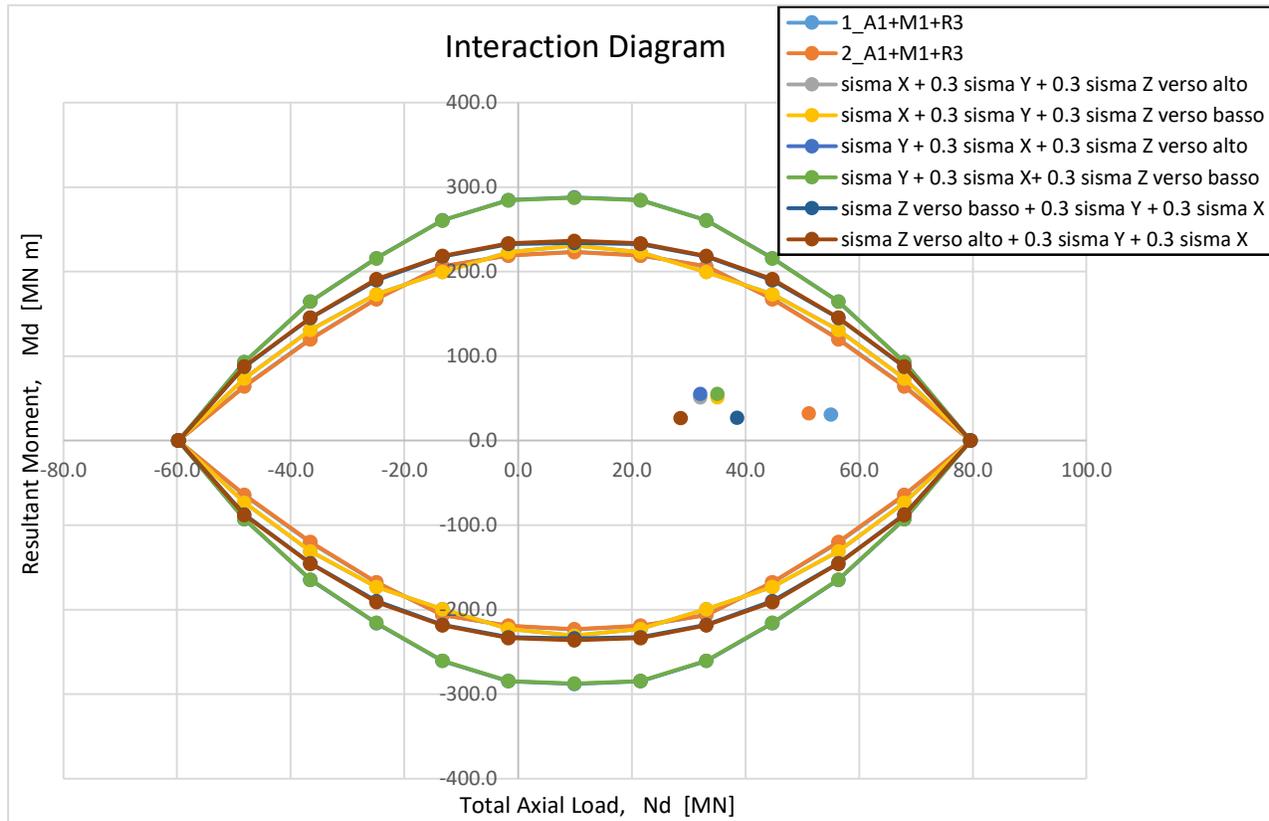
$$R_{t,d} = \frac{1}{\xi} \cdot \left[\frac{R_{s,cal}}{\gamma_{st}} + \frac{R_{b,cal}}{\gamma_b} \right] - W_{pt} = 4979 kN$$

Tabella 5 – Dati di input per valutazione DRP - Spalla B

| PILES LOCATION AND DESIGN RESISTANCES | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|----------|---|
| Number of Piles [--] = | | 12 | | | | |
| id | xp [m] | yp [m] | R _{c,d} [kN] | R _{t,d} [kN] | | |
| 1 | 4.50 | 6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 2 | 4.50 | 2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 3 | 4.50 | -2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 4 | 4.50 | -6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 5 | 0.00 | 6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 6 | 0.00 | 2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 7 | 0.00 | -2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 8 | 0.00 | -6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 9 | -4.50 | 6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 10 | -4.50 | 2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 11 | -4.50 | -2.25 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| 12 | -4.50 | -6.75 | 6631.0 | 4979.0 | | |
| LOADING CONDITIONS | | | | | | |
| Number of Load Conditions [--] = | | 8 | | | | |
| id | xc [m] | yc [m] | Fz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Load Condition |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 55030 | 30593 | 5187 | 1_A1+M1+R3 |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 51167 | 32089 | 5187 | 2_A1+M1+R3 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 32074 | 48901 | 15370 | sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso alto |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 35064 | 49127 | 15370 | sisma X + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma Z verso basso |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 32074.0 | 21945.6 | 50826.4 | sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso alto |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 35064.4 | 22171.4 | 50826.4 | sisma Y + 0.3 sisma X + 0.3 sisma Z verso basso |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 38553.2 | 22434.8 | 15369.6 | sisma Z verso basso + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 28585.2 | 21682.1 | 15369.6 | sisma Z verso alto + 0.3 sisma Y + 0.3 sisma X |



Domini delle resistenze di progetto ($\xi = 1.55$)



| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 17 di 21 | |

4.5 Commenti ai risultati delle verifiche condotte con metodo DR

Le verifiche condotte hanno permesso di dimostrare che, pur adottando lo stesso valore del coefficiente di correlazione ξ_4 adottato in sede di progetto definitivo, più elevato rispetto a quello assunto nella successiva fase di progetto esecutivo, le palificate di PE conservano un adeguato margine di sicurezza rispetto alle condizioni di collasso.

Infatti, nella verifica con i DR e $\xi = 1.55$ (come da Progetto Definitivo), nella condizione più critica (combinazione STR1) risulta essere $M_d = 1.33$ per la Spalla A e $M_d = 1.30$ per la spalla B (vedasi figure seguenti).

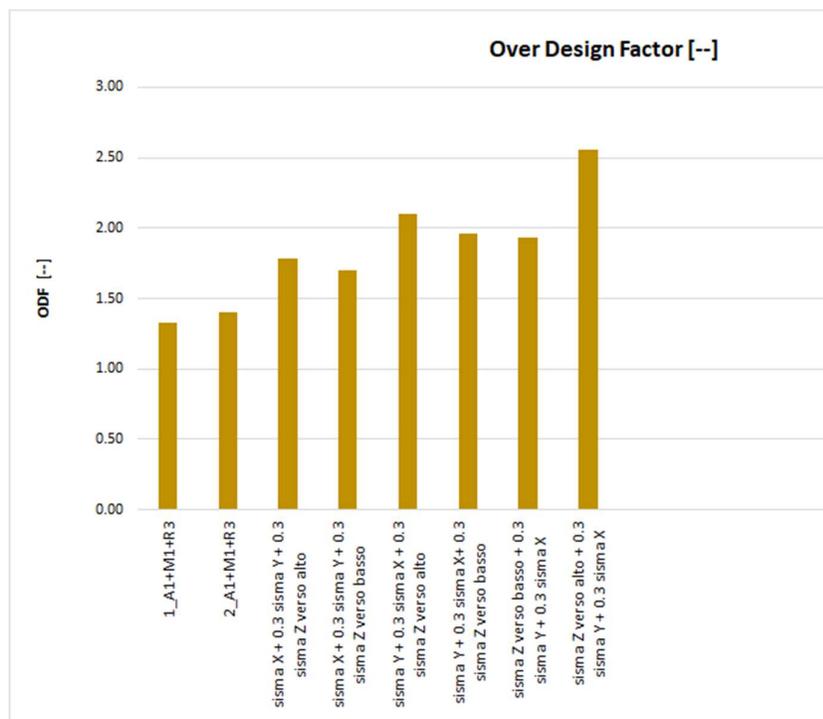


Figura 4 – Spalla A. Valori di M_d nelle diverse combinazioni di carico.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 18 di 21 | |

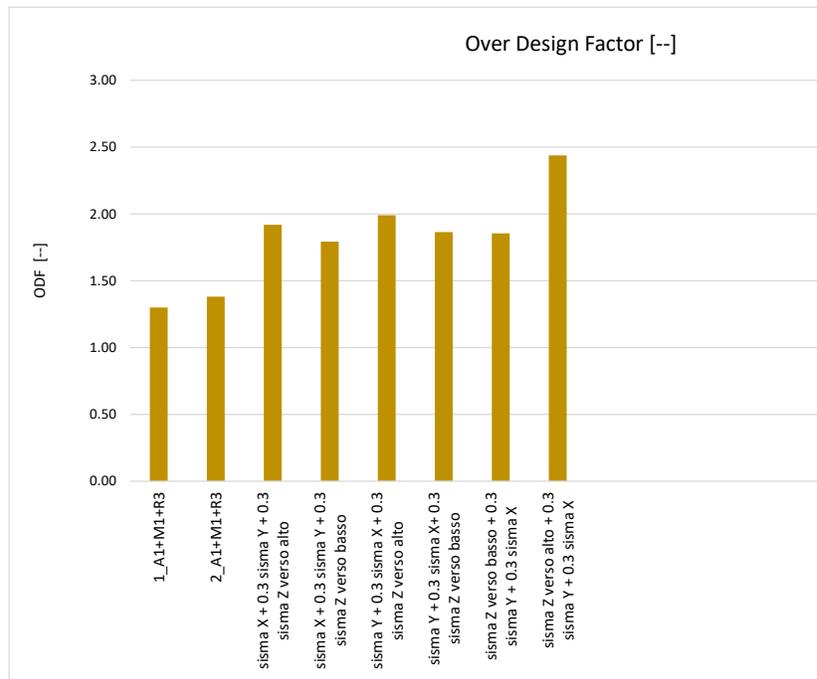


Figura 5 – Spalla B. Valori di Md nelle diverse combinazioni di carico.

Per maggiore chiarezza, in Figura 6 (Spalla A) e Figura 7 (Spalla B) si evidenzia come, applicando il metodo dei DR, sarebbe possibile ridurre ulteriormente la lunghezza dei pali di entrambe le spalle passando dagli attuali 25 m a 18 m per la spalla A e da 23 a 16 m per la spalla B, garantendo il rispetto della condizione $R_d - E_d \geq 0$ per ogni combinazione di carico esaminata.

Si conclude pertanto che la lunghezza dei pali indicata negli elaborati di PE di riferimento è adeguata a garantire la stabilità dell'opera.

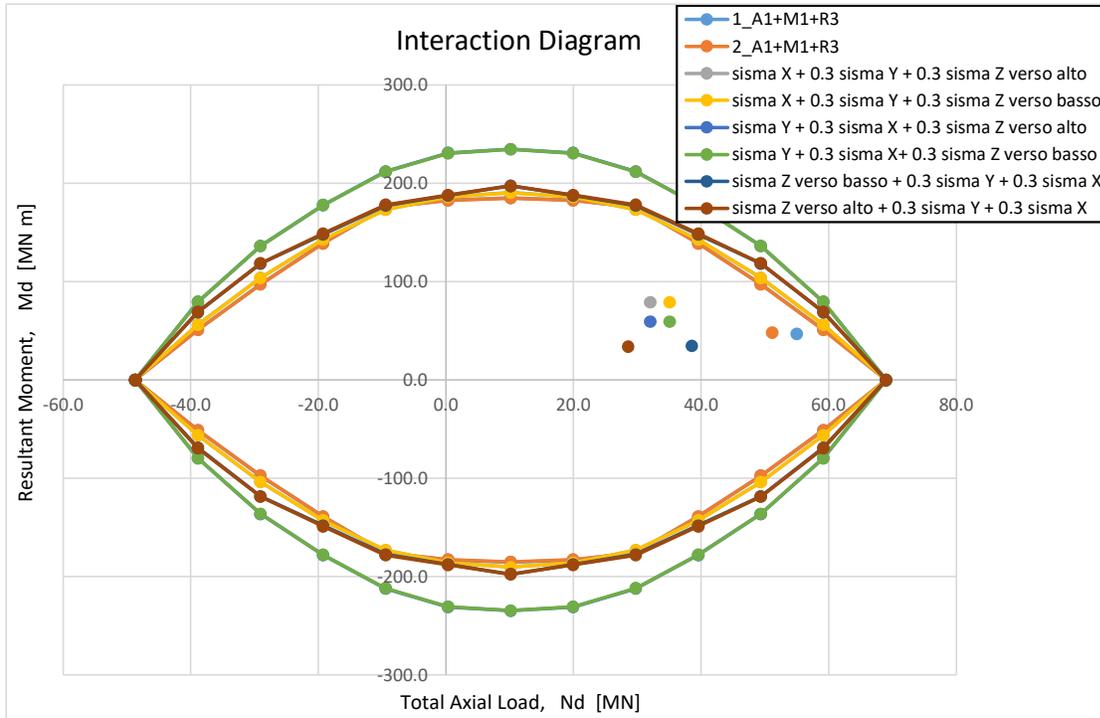


Figura 6 - Domini delle resistenze di progetto per la Spalla A ($\xi = 1.55$) con pali L=18.00 m ($M_d = 1.08$)

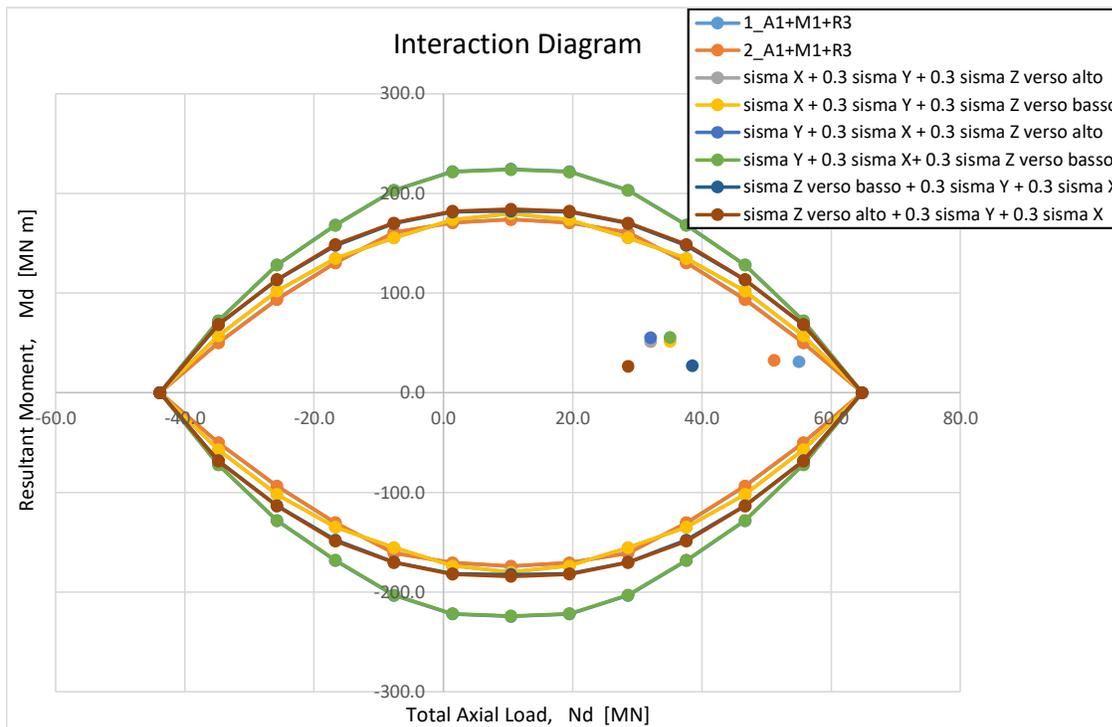


Figura 7 - Domini delle resistenze di progetto per la Spalla B ($\xi = 1.55$) con pali L=16.00 m ($M_d = 1.06$)

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 20 di 21 | |

4.6 Verifiche a Carico Limite Orizzontale

Nel presente paragrafo si sintetizzano i risultati delle verifiche a carico limite orizzontale condotte adottando il valore del coefficiente di correlazione ξ_4 adottato in sede di progetto definitivo ($\xi = 1.55$).

Le verifiche, eseguite con le stesse metodologie, gli stessi valori dei parametri geotecnicie gli stessi valori dei carichi illustrati nella relazione di calcolo di progetto esecutivo (IN1712EI2CLVI04030001), cui si rimanda per ogni dettaglio, sono tutte soddisfatte.

Il margine di sicurezza si riduce in proporzione al rapporto ξ_{4_PE}/ξ_{4_PD} , ma è in ogni caso maggiore dell'unità: la massima azione di taglio (T_{max}) è cioè sempre inferiore al carico limite di progetto, $H_d = H_{lim}/(\xi_4 \gamma_T)$.

Con riferimento alle condizioni più critiche per la Spalla A e per la Spalla B, il rapporto tra la resistenza di progetto e l'azione di progetto passa, rispettivamente, da un minimo di 1.28 a un minimo di 1.22 e da un minimo di 1.58 a un minimo di 1.51.

| | Mp,y [kNm] | Tmax [kN] | Hlim [kN] | Hd [kN] | Hd / Tmax |
|----------------------|--|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| Spalla A- verifica 1 | 6320 (24+24 ϕ 26); 3479 (24 ϕ 26) | 1679.1 (N=0 kN) | 4139.9 | 2151.7 | 1.22 |
| Spalla A- verifica 2 | 5801 (24+24 ϕ 26); 2837 (24 ϕ 26) | 1508.4 (N=-1194.0 kN) | 3946.1 | 2051.0 | 1.29 |
| Spalla B- verifica 3 | 5855 (22+22 ϕ 26); 3216 (22 ϕ 26) | 1300.7 (N=0 kN) | 3954.0 | 2055.1 | 1.51 |
| Spalla B- verifica 4 | 5791 (22+22 ϕ 26); 3137 (22 ϕ 26) | 1119.6 (N=-148.5 kN) | 3924.5 | 2039.8 | 1.73 |

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2 | | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| VI04 – ADDENDUM ALLA RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI | Progetto IN17 | Lotto 12 | Codifica Documento E12 CL VI 04 0 3 002 | Rev. A | Foglio 21 di 21 | |

5 CONCLUSIONI

Le verifiche geotecniche dei pali illustrate nei precedenti capitoli, sia per carichi assiali sia per carichi trasversali, sono soddisfatte, con margini di sicurezza superiori ai minimi imposti dalla normativa di riferimento anche adottando un valore del coefficiente di correlazione ξ_4 pari a quello adottato in sede di progetto definitivo, più elevato di quello assunto nella successiva fase di progetto esecutivo ($\xi = 1.55 > \xi = 1.48$). Pertanto, la correttezza del dimensionamento dei pali di fondazione delle spalle A e B eseguito in fase di progetto esecutivo, è confermata.