

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

"PASSANTE DI BOLOGNA"

PROGETTO DEFINITIVO

TANGENZIALE NORD E SUD

113T - VIADOTTO MASSARENTI AMPL. TANG.

AMPLIAMENTO NORD E SUD

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO SOTTOSTRUTTURE

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Umberto Mele
Ord. Ingg. Milano n.18641
RESPONSABILE STRUTTURE

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi
Ord. Ingg. Macerata N. A1068


IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi
Ord. Ingg. Parma N. 1154

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	--
111465	0000	PD	A2	O16	ST113	SDF00	R	S T R	0970	2	SCALA -

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
							0	DICEMBRE 2017
							1	SETTEMBRE 2019
							2	SETTEMBRE 2020
REDATTO:		VERIFICATO:				3	-	
						4	-	

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Fabio Visintin

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

Sommario

1. GENERALITA'	4
1.1. OGGETTO E SCOPO	4
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
1.3. PRINCIPI DI PROGETTAZIONE	7
1.3.1 <i>Metodi di Calcolo</i>	7
1.3.2 <i>Unità di Misura</i>	7
1.3.3 <i>Stati Limite e Situazioni di Progetto</i>	7
1.4. INQUADRAMENTO SISMICO	8
2. MATERIALI	9
2.1. CARATTERISTICHE DELLE STRUTTURE DELL'ALLARGAMENTO	9
2.1.1 <i>Calcestruzzo</i>	9
2.1.2 <i>Acciaio per armatura lenta</i>	10
3. METODI DI CALCOLO E DI VERIFICA	11
3.1. MODELLO DELLA SPALLA.....	11
3.2. PERCENTUALE MINIMA DI ARMATURA	12
3.3. COPRIFERRO	12
3.4. VERIFICA DI FESSURAZIONE	12
3.5. CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	13
3.4.1 <i>Codice di calcolo MIDAS</i>	13
3.5.1. <i>Codice di calcolo IS PALIFICATE</i>	15
4. CARATTERISTICHE DELL'OPERA STRUTTURALE	17
4.1. VITA NOMINALE.....	17
4.2. CLASSE D'USO	17
4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	17
5. COMBINAZIONI DI CARICO	18
6. ANALISI DEI CARICHI	22
6.1. SPALLA	22
6.1.1. <i>Pesi propri e permanenti portati</i>	22
6.1.2. <i>Spinta delle terre a monte delle spalle</i>	22
6.1.3. <i>Sovraccarico accidentale a tergo spalla</i>	22
6.1.4. <i>Spinta del sovraccarico sul terrapieno</i>	22
6.1.5. <i>Azione sismica</i>	23
6.1.6. <i>Effetti inerziali sisma</i>	23
6.1.7. <i>Incremento di spinta delle terre in fase sismica</i>	24
6.2. PILE	25
6.2.1. <i>Peso Proprio</i>	25
6.2.2. <i>Vento</i>	25
6.2.3. <i>Azione sismica</i>	25
7. ANALISI E VERIFICA DELLA SPALLA	26
7.1. PARAGHIAIA	26
7.1.1. <i>Armatura minima del paraghiaia</i>	26
7.1.2. <i>Verifica a pressoflessione SLU/SLV del paraghiaia</i>	26
7.2. PARAMENTO FRONTALE	30
7.2.1. <i>Premessa</i>	30
7.2.2. <i>Armatura minima del paramento frontale</i>	30

7.2.3.	Verifica a pressoflessione SLU/SLV del paramento frontale	30
7.2.4.	Verifica a taglio del paramento frontale.....	36
7.2.5.	Verifica a fessurazione del paramento frontale.....	37
7.3.	MURO ANDATORE.....	44
7.3.1.	Premessa.....	44
7.3.2.	Armatura minima del muro andatore.....	44
7.3.3.	Verifica a pressoflessione SLU/SLV del muro andatore.....	44
7.3.4.	Verifica a taglio del muro andatore	49
7.3.5.	Verifica a fessurazione del muro andatore	50
7.4.	PLATEA DI FONDAZIONE	57
7.4.1.	Premessa.....	57
7.4.2.	Armatura minima della platea di fondazione	57
7.4.3.	Verifica a pressoflessione SLU/SLV della platea di fondazione	57
7.4.4.	Verifica a taglio della platea di fondazione	62
7.4.5.	Verifica a fessurazione della platea di fondazione.....	63
8.	ANALISI E VERIFICA DELLE PILE.....	71
8.1.	FUSTO DELLA PILA	71
8.1.1.	Armatura minima del fusto della pila	71
8.1.2.	Verifica a pressoflessione e taglio SLU/SLV del fusto della pila	71
8.1.3.	Verifica a fessurazione del fusto della pila	73
8.2.	PLATEA DI FONDAZIONE	74
8.2.1.	Premessa.....	74
8.2.2.	Armatura minima della platea di fondazione	74
8.2.3.	Verifica a pressoflessione SLU/SLV della platea di fondazione	74
8.2.4.	Verifica a taglio della platea di fondazione	78
8.2.5.	Verifica a fessurazione della platea di fondazione.....	80
9.	VERIFICA DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA.....	85
9.1.	COMBINAZIONI DEI CARICHI.	85
9.2.	DATI DEL PROGETTO.	85
9.2.1.	Tipi di palo e armatura.....	85
9.2.2.	Stratigrafia.....	86
9.2.3.	Prove penetrometriche.	87
9.2.4.	Punti maglia.....	87
9.2.5.	Fondazione.....	88
9.2.6.	Azioni.	88
9.3.	CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E CURVA DI MOBILITAZIONE.....	89
9.3.1.	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata di base.....	89
9.3.2.	Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la portata laterale.	89
9.3.3.	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.	89
9.3.4.	Coefficienti di sicurezza.....	89
9.3.5.	Calcolo della portata di base.....	90
9.3.6.	Calcolo della portata laterale.....	90
9.3.7.	Portata laterale totale	91
9.3.8.	Portata totale (base + laterale).....	91
9.3.9.	Calcolo del modulo di reazione orizzontale.....	91
9.3.10.	Calcolo della resistenza trasversale laterale.....	92
9.3.11.	Resistenza laterale totale.....	93
9.3.12.	Curva di mobilitazione verticale.....	93
9.4.	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	94
9.4.1.	Casi a SLU.....	94
9.4.2.	Casi a SLE	102
9.5.	VERIFICHE GEOTECNICHE.	112
9.5.1.	Verifica: Capacità portante.....	112

9.5.2.	Verifica: Cedimento.....	113
9.5.3.	Verifica: Resistenza trasversale.....	114
9.6.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	115
9.6.1.	Verifica: Spostamento orizzontale.....	115
9.6.2.	Verifica: C.A.: pressoflessione.....	115
9.6.3.	Verifica: C.A.: taglio.....	116
9.6.4.	Verifica: C.A.: Tens. limite cls.....	117
9.6.5.	Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio.....	118
9.6.6.	Verifica: C.A.: apertura fessure.....	119
10.	VERIFICA DELLA PALIFICATA DELLA PILA.....	120
10.1.	COMBINAZIONI DEI CARICHI.....	120
10.2.	DATI DEL PROGETTO.....	120
10.2.1.	Tipi di palo e armatura.....	120
10.2.2.	Stratigrafia.....	121
10.2.3.	Prove penetrometriche.....	122
10.2.4.	Punti maglia.....	122
10.2.5.	Fondazione.....	123
10.2.6.	Azioni.....	123
10.3.	CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E CURVA DI MOBILITAZIONE.....	124
10.3.1.	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata di base.....	124
10.3.2.	Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la portata laterale.....	124
10.3.3.	Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.....	124
10.3.4.	Coefficienti di sicurezza.....	125
10.3.5.	Calcolo della portata di base.....	125
10.3.6.	Calcolo della portata laterale.....	125
10.3.7.	Portata laterale totale.....	126
10.3.8.	Portata totale (base + laterale).....	126
10.3.9.	Calcolo del modulo di reazione orizzontale.....	127
10.3.10.	Calcolo della resistenza trasversale laterale.....	127
10.3.11.	Resistenza laterale totale.....	128
10.3.12.	Curva di mobilitazione verticale.....	128
10.4.	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	129
10.4.1.	Casi a SLU.....	129
10.4.2.	Casi a SLE.....	137
10.5.	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	150
10.5.1.	Verifica: Capacità portante.....	150
10.5.2.	Verifica: Cedimento.....	151
10.5.3.	Verifica: Resistenza trasversale.....	152
10.6.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	153
10.6.1.	Verifica: Spostamento orizzontale.....	153
10.6.2.	Verifica: C.A.: pressoflessione.....	153
10.6.3.	Verifica: C.A.: taglio.....	154
10.6.4.	Verifica: C.A.: Tens. limite cls.....	155
10.6.5.	Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio.....	156
10.6.6.	Verifica: C.A.: apertura fessure.....	157

1. GENERALITA'

1.1. OGGETTO E SCOPO

La seguente relazione di calcolo è relativa all'analisi e al dimensionamento del viadotto su via Masserenti previsto nell'ambito del progetto esecutivo di potenziamento in sede del sistema autostradale/tangenziale nodo di Bologna.

Il sottovia esistente è costituito da un solettone alleggerito precompresso largo 23.25 m in semplice appoggio su tre campate da 32 m (interasse appoggi) e da due travi laterali, relative ad un primo ampliamento, realizzate in calcestruzzo precompresso con getto della soletta in opera di larghezza pari a 3.82 m.

La larghezza trasversale della parte in allargamento è pari a 8,68 m, ed è realizzato tramite la disposizione di 16 travi in struttura mista acciaio - calcestruzzo.

La soletta superiore viene quindi completamente solidarizzata in corrispondenza dell'attuale taglio di separazione della carreggiata autostradale dalla carreggiata della tangenziale. In tal modo si ottiene un unico impalcato di sostegno delle due carreggiate. La separazione tra le due carreggiate è definita da un cordolo largo 80 cm di compensazione delle pendenze trasversali.

Le 16 travi in acciaio dell'allargamento sono alte 950 mm a garantire un sottotrave compatibile con le attuali condizioni di franco di transito. Le travi sono poste ad interasse pari a 0,50 m. La soletta superiore di completamento risulta di spessore 20,0 cm.

Gli apparecchi d'appoggio sono in neoprene armato in numero di uno per trave.

La presente relazione riporta le analisi svolte per le sottostrutture e le fondazioni relative all'intervento di allargamento.

Di seguito si riportano le principali geometrie dell'opera. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

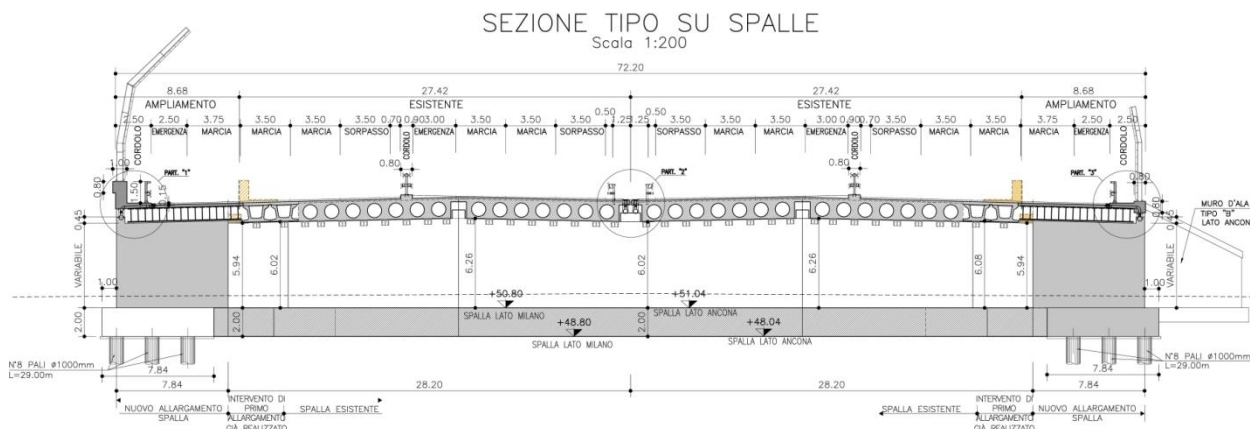


Figura 1.1: Sezione trasversale spalla

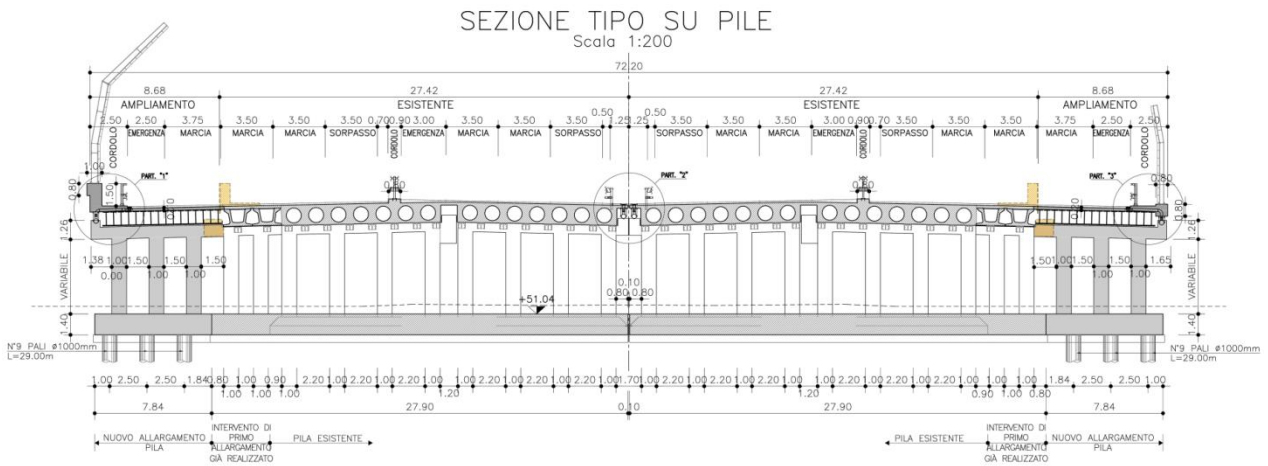


Figura 1.2: Sezione trasversale impalcato su pila

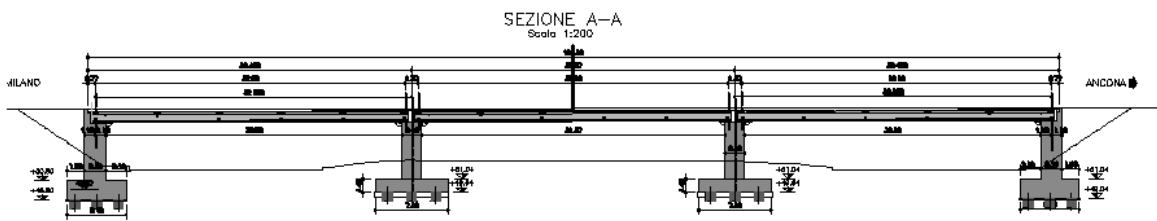


Figura 1.3: Sezione longitudinale impalcato

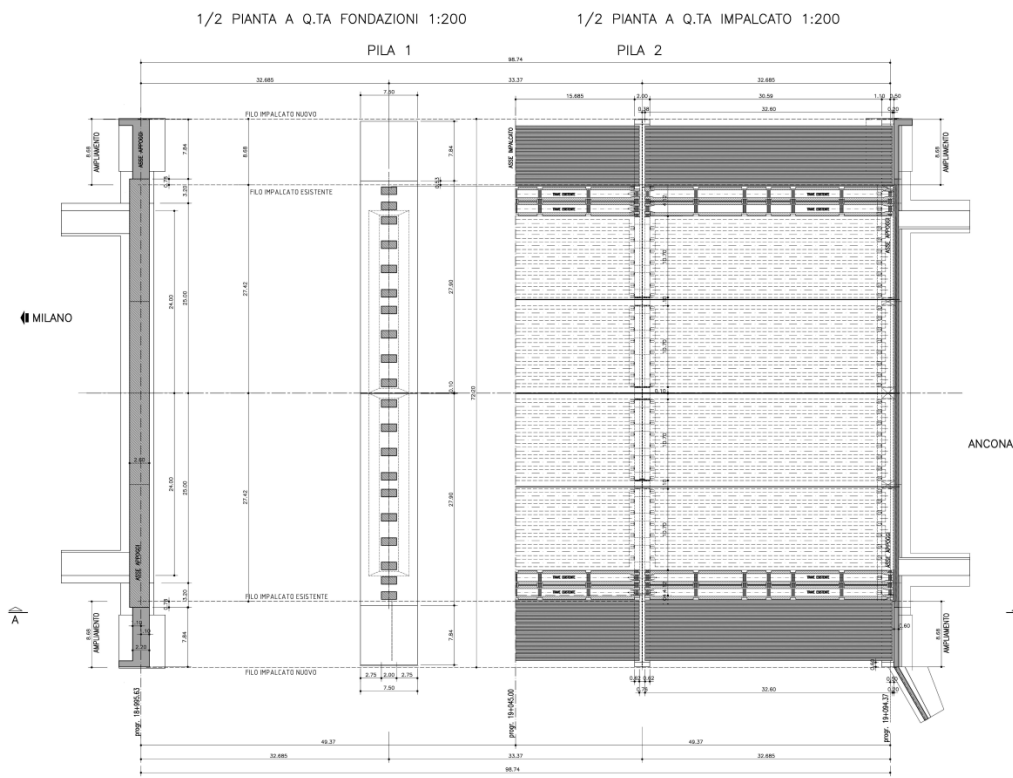


Figura 1.4: Pianta impalcato

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi e le verifiche di seguito documentate sono state svolte nel rispetto della Normativa vigente di seguito richiamata:

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – “*Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica*”;
- Legge 2 Febbraio 1974 n.64: “*Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”;
- D.M. 17/01/2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (GU n.35 del 11-2-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- CNR DT 207/2008 “*Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*”.
- CNR UNI 10011/88: “*Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione*”.
- CNR 10016/85: “*Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni*”.
- CNR 10030/87: “*Anime irrigidite di travi a parete piena*”.
- CNR 10024/86: “*Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo*”.
- CNR 10012/85: “*Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni*”.

Per quanto non definito dalle sopra citate norme, nella stesura dei calcoli è stata consultata anche la seguente normativa internazionale:

- UNI ENV 1090-1:2001: *Esecuzione di strutture in acciaio – Parte 1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI EN 1991-2:2003 Eurocodice 1- *Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti*
- UNI ENV 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – *Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI ENV 1993-1-1:1994: Eurocodice 3 – *Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – *Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI EN 1993-1-5:2007: Eurocode 3 – *Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural element.*
- UNI ENV 1993-1-6:2002: Eurocodice 3 – *Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-6: Regole generali – Regole supplementari per le strutture a guscio.*
- UNI EN 1993-1-8:2005: Eurocodice 3 – *Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.*

- UNI EN 1993-1-11:2005: Eurocode 3 – *Design of steel structures – Part 1-11: Design of structures with tension components.*
- UNI ENV 1994-1-1:2004: Eurocode 4 – *Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.*
- UNI ENV 1994-2:2005: Eurocode 4 – *Design of composite steel and concrete structures – Part 2: General rules and rules for bridges*

1.3. PRINCIPI DI PROGETTAZIONE

1.3.1 Metodi di Calcolo

Tutti i calcoli di verifica vengono svolti secondo i metodi comprovati derivanti dalla scienza e dalla tecnica delle costruzioni, ricavati dalla letteratura e dalla normativa vigente.

La presente relazione strutturale di calcolo illustra il progetto nei suoi aspetti generali. Data la notevole mole di dati elaborati e di calcoli svolti per verificare tutti i componenti e tener conto delle possibili situazioni di progetto, vengono di seguito riportati solo i principali risultati ed una parte dei calcoli strutturali.

1.3.2 Unità di Misura

Nel seguito della relazione si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le masse ⇒ kg, t
- per i carichi ⇒ kN, kN/m, kN/m²
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ N/mm², MPa, daN/cm²

1.3.3 Stati Limite e Situazioni di Progetto

Stati Limite

Per la progettazione e verifica delle strutture in oggetto viene adottato il metodo degli Stati Limite; per le verifiche che seguono sono stati presi in considerazione, direttamente od indirettamente, le seguenti categorie di Stati Limite:

- Stati Limite Ultimi (SLU).
- Stati Limite di Servizio (SLS).

Per la progettazione e verifica della struttura in oggetto sono stati presi in considerazione, direttamente od indirettamente, i seguenti Stati Limite Ultimi significativi:

- Stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU).
- Stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione (STR).

Situazioni di Progetto

Poiché la costruzione in oggetto rientra nelle tipologie strutturali ordinarie, vengono prese in considerazione le seguenti situazioni di progetto pertinenti:

- Situazioni di Progetto Persistenti: sono le condizioni progettuali corrispondenti alle normali condizioni d'uso della struttura.

- Situazioni di Progetto Sismiche: sono le condizioni progettuali applicabili quando la struttura è soggetta all'evento sismico.
- Situazioni di Progetto Eccezionali: sono le condizioni progettuali applicabili quando la struttura è soggetta ad azioni eccezionali di progetto.

1.4. INQUADRAMENTO SISMICO

Si richiama di seguito l'inquadramento sismico del sito di intervento.

Vita nominale:	50 anni
Classe d'uso:	IV → $C_u = 2.0$
Vita di riferimento:	100 anni
Categoria topografica:	T1
Tipo di suolo:	C

2. MATERIALI

2.1. CARATTERISTICHE DELLE STRUTTURE DELL'ALLARGAMENTO

2.1.1 Calcestruzzo

I materiali per le strutture in cemento armato sono in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni, UNI EN 206:2006 e UNI 11104:2004 "Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale".

Il calcestruzzo ha le seguenti caratteristiche generali:

Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,2$
Coefficiente di espansione termica	$\alpha = 1,00 \times 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$
Peso specifico (compresa l'armatura)	$\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

Di seguito sono elencate le caratteristiche specifiche del calcestruzzo per i diversi tipi di impiego.

Calcestruzzo per elevazioni

Classe di resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} \geq 32 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico secante	$E = 33.35 \text{ GPa}$
Classe di esposizione	XF2
Classe di consistenza	S4
Diametro massimo dell'aggregato	32 mm
Copriferro nominale	45 mm

Calcestruzzo per fondazioni

Classe di resistenza	C28/35
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} \geq 28 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico secante	$E = 32.31 \text{ GPa}$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4
Diametro massimo dell'aggregato	32 mm
Copriferro nominale	40 mm

Calcestruzzo per pali

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico secante	$E = 31.48 \text{ GPa}$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4

Diametro massimo dell'aggregato	32 mm
Copriferro nominale	75 mm

2.1.2 Acciaio per armatura lenta

L'acciaio ha le seguenti caratteristiche generali:

Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di espansione termica	$\alpha = 1,20 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Peso specifico	$\rho = 78,50 \text{ kN/m}^3$

Di seguito sono elencate le caratteristiche dell'acciaio per armatura lenta sono:

Barre

Tipo di acciaio	B450C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Rapporto tensioni caratteristiche	$1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$
Rapporto tensioni di snervamento	$(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$
Allungamento a carico massimo	$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$

3. METODI DI CALCOLO E DI VERIFICA

La schematizzazione di calcolo delle strutture progettate, il calcolo dei parametri di sollecitazione e la valutazione delle tensioni e delle deformazioni, allo scopo di ottenere la garanzia di una sicurezza permanente e uniforme dell'opera, sono stati effettuati secondo i metodi della scienza delle costruzioni e della teoria dell'elasticità.

Si sono analizzate le combinazioni più sfavorevoli delle condizioni elementari di carico al fine di individuare i valori massimi e minimi delle sollecitazioni cercate.

Il calcolo è stato eseguito in conformità alla vigente normativa tecnica e più precisamente alle già citate "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018, ricorrendo al metodo degli Stati Limite.

3.1. MODELLO DELLA SPALLA

L'analisi delle sollecitazioni agenti sulle spalle è strutturata come segue:

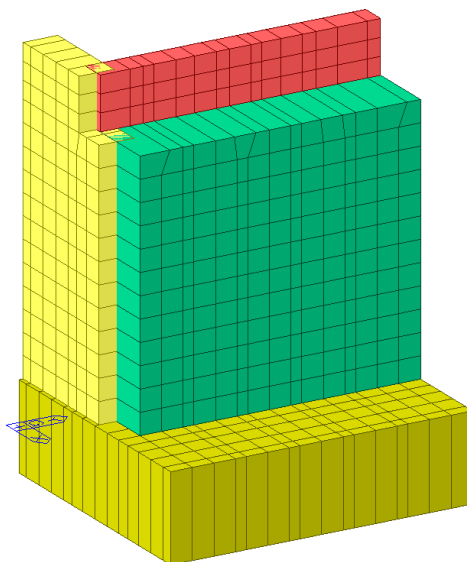
- determinazione azioni dell'impalcato afferente
- determinazione azioni sul corpo spalla
- combinazione delle azioni

La struttura delle spalle, costituita da pareti e piastre in c.a., è stata discretizzata attraverso elementi "plate".

Le azioni provenienti dall'impalcato sono state applicate al modello in corrispondenza di ciascun appoggio.

Per la Spalla sono stati utilizzati due differenti modelli: uno per le verifiche strutturali e uno per la valutazione delle azioni per le verifiche geotecniche. Il modello per le verifiche strutturali risulta vincolato in corrispondenza delle teste dei pali, mentre quello per le verifiche dei pali è vincolato in un solo punto nel baricentro della fondazione.

Di seguito è riportata l'immagine del modello.



Modello della spalla

3.2. PERCENTUALE MINIMA DI ARMATURA

Per la percentuale minima di armatura si considerano le prescrizioni delle NTC 2018 tenendo conto del tipo di sollecitazione agente sull'elemento.

3.3. COPRIFERRO

La determinazione del copriferro minimo si evince dalla tabella C4.1.IV della Circolare applicativa 21 delle NTC 2018.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_0	ambiente	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Elevazione spalle/pile: XF2 C32/40 -> aggressivo e $C_{min} < C < C_0$ -> $c_{min}=35+10=45$ mm

Fondazioni: XC2 C28/35 -> ordinario e $C_{min} < C < C_0$ -> $c_{min}=25+10=35$ mm

Pali: XC2 C25/30 -> ordinario e $C_{min} < C < C_0$ -> $c_{min}=25+10=35$ mm

Rispetto ai valori minimi calcolati si assume per le fondazioni $c=40$ mm e per i pali $c=75$ mm.

3.4. VERIFICA DI FESSURAZIONE

In accordo con le NTC 2018 si considerano le aperture di fessure riportate in tabella 3.1 per gruppo di elemento strutturale.

Gruppi di elementi	Condizioni ambientali	Combinazione delle azioni	Armatura Poco sensibile	
			Stato limite	w_d
Fondazioni	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq 0,4$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
Elevazioni	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,2$ mm
Elevazioni	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,2$ mm

Tabella 3.1: Stato limite di fessurazione (NTC 2018 – tabella 4.1.VI)

3.5. CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

Le analisi sono state svolte ricorrendo ai seguenti codici di calcolo:

- MIDAS CIVIL 2020 ver. 3.2, MIDAS Information Technology Co. Ltd, SKn Technopark Tech-center, 190-1 Sangdaewon1-dong, Joongwon-gu, Seongnam, Gyeonggi-do, 462-721, Korea
- RC-SEC ver. 2012.8.0.386, GeoStru Software, via Lungomare – 89032 BIANCO (RC)
- Fogli di calcolo appositamente predisposti per specifiche verifiche con Office Excel 2007, Microsoft.
- IS Palificate versione 19 realizzato e distribuito da CDM DOLMEN

3.4.1 Codice di calcolo MIDAS

Il calcolo delle strutture è stato effettuato utilizzando il programma ad elementi finiti Midas Civil 2020 vers 3.2 della Midas Information Technology, distribuito da Harpaceas – Milano.

Come consigliato nel Par. 10.2 di [1], si riportano alcune informazioni sul codice di calcolo usato per l'analisi degli elementi strutturali esaminati.

3.4.1.1 Caratteristiche del codice di calcolo

Il codice esegue l'analisi di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà, utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono di tipo trave, con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse, e guscio, sia rettangolare sia triangolare, avente comportamento di membrana e di piastra. I carichi possono essere applicati ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, coppie e distorsioni termiche, sia sugli elementi guscio come carichi d'area. I vincoli esterni sono definiti da sei costanti di rigidezza elastica.

3.4.1.2 Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, che riporta, per una serie di strutture significative, i confronti tra le analisi effettuate con il codice e quelle effettuate con codici di confronto (SAP2000 prodotto da Computers and Structures, Inc., California). Al termine dell'elaborazione viene valutata la correttezza della soluzione, sulla base dell'uguaglianza numerica tra lavoro esterno ed energia di deformazione. La presenza di un modulo CAD per l'introduzione dei dati permette la visualizzazione dettagliata degli elementi e dei carichi introdotti. E' possibile ottenere rappresentazioni grafiche di deformate, sollecitazioni e stati di tensione della struttura.

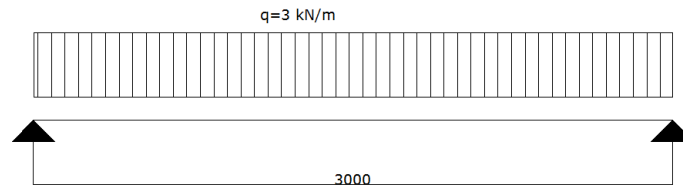
3.4.1.3 Motivazione della scelta del codice

Midas Civil permette l'analisi dettagliata del comportamento dell'intera struttura. E' possibile inoltre scegliere il grado di affinamento dell'analisi di elementi complessi utilizzando schematizzazioni via via più dettagliate.

3.4.1.4 Validazione del codice di calcolo

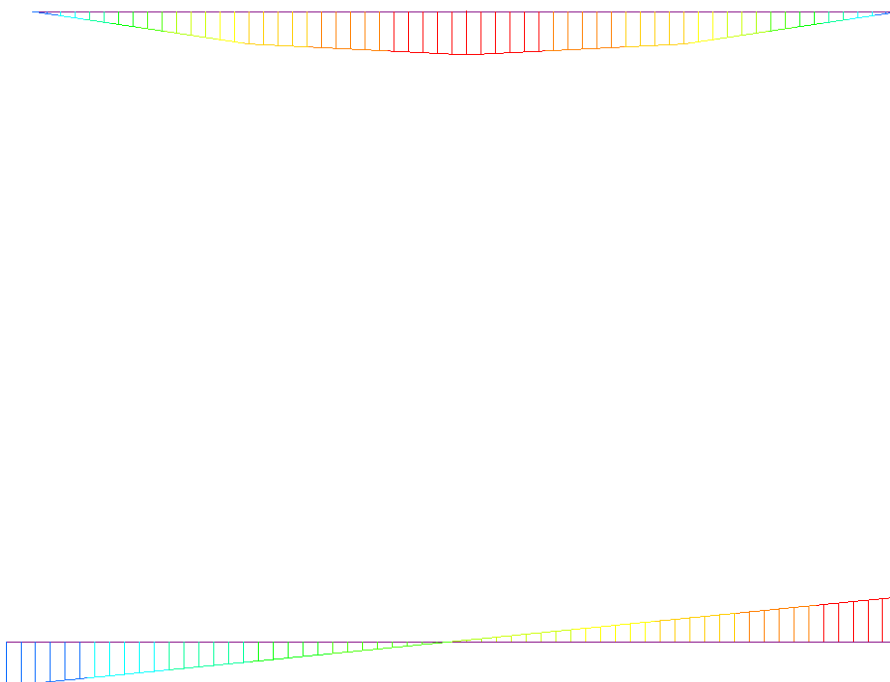
La validazione del codice di calcolo viene eseguito confrontando i risultati delle sollecitazioni ottenute tramite calcolo manuale di una trave semplicemente appoggiata e la risoluzione della stessa struttura con stesse caratteristiche geometriche e carichi da parte del programma di calcolo ad elementi finiti utilizzato per la modellazione strutturale.

SOLUZIONE MANUALE



- $L = 3 \text{ m}$
- $q = 3 \text{ kN/m}$
- $M = q \cdot L^2 / 8 = 3.375 \text{ kNm}$
- $V = q \cdot L / 2 = 4.5 \text{ kN}$

SOLUZIONE PROGRAMMA AD ELEMENTI FINITI



POST-PROCESSOR	
BEAM DIAGRAM	
MOMENT-y	
3.375	
3.068	
2.761	
2.455	
2.148	
1.841	
1.534	
1.227	
0.920	
0.614	
0.307	
0.000	

ST: CARICO
 MAX : 1
 MIN : 1
 FILE: TRAVE SEM-
 UNIT: kN*m
 DATE: 11/24/2017
 VIEW-DIRECTION
 X: 0.000

POST-PROCESSOR	
BEAM DIAGRAM	
SHEAR-z	
4.500	
3.682	
2.864	
2.045	
1.227	
0.409	
0.000	
-1.227	
-2.045	
-2.864	
-3.682	
-4.500	

ST: CARICO
 MAX : 1
 MIN : 1
 FILE: TRAVE SEM-
 UNIT: kN
 DATE: 11/24/2017
 VIEW-DIRECTION

I risultati sono coincidenti, il programma può di conseguenza considerarsi valido.

3.5.1. Codice di calcolo IS PALIFICATE

Il calcolo delle sollecitazioni sui pali e le verifiche strutturali e geotecniche sono state eseguite avvalendosi del codice di calcolo IS Palificate versione 19 realizzato e distribuito da CDM DOLMEN e omnia IS srl.

3.4.1.5 Caratteristiche del codice di calcolo

Il software IS Palificate è dedicato al progetto di pali sollecitati da carichi verticali ed orizzontali, in cui l'interazione terreno - struttura viene analizzata in campo non lineare. La stratigrafia è definita da strati eterogenei, con la possibilità di differenziare le caratteristiche meccaniche ed i metodi di calcolo delle portate. Le verifiche vengono eseguite secondo il metodo degli stati limite.

3.4.1.6 Grado di affidabilità del codice

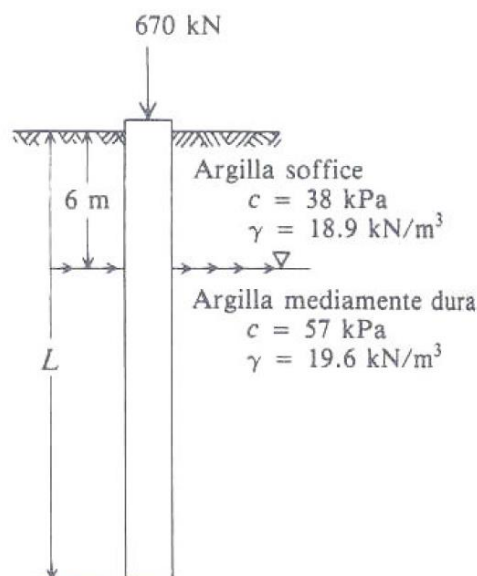
L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, che riporta una serie di confronti tra le analisi effettuate con il codice e gli esempi riportati in letteratura.

3.4.1.7 Motivazione della scelta del codice

Il software IS Palificate permette l'analisi dettagliata del comportamento dell'intera palificata. E' possibile analizzare pali di diversa sezione e materiale, infissi o trivellati, oppure micropali. Esiste la possibilità di scelta fra numerosi metodi di calcolo della portata (teorici, empirici, legati a prove penetrometriche, ecc.), con la possibilità di confrontare velocemente i risultati dei diversi metodi. Il software può considerare l'interazione fra i pali per valutare l'efficienza della palificata. Viene calcolata la curva di mobilitazione, cioè la relazione portata - cedimento del palo.

3.4.1.8 Validazione del codice di calcolo

L'esempio, riportato sul testo "Fondazioni" di Joseph E. Bowles, alle pagg. 828 – 829, riguarda il calcolo della capacità portante di un palo in argilla soffice e mediamente dura, utilizzando il metodo α .



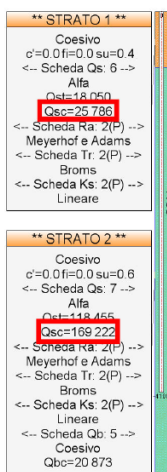
Si assumono i seguenti valori per le caratteristiche del terreno:

Peso di volume strato 1 γ	18,9 [kN/m ³]
Res. al taglio non drenata strato 1 s_{uk}	38,0 [kPa]
Peso di volume strato 2 γ	19,6 [kN/m ³]
Res. al taglio non drenata strato 2 s_{uk}	57,0 [kPa]

La struttura è definita dai seguenti parametri:

Lunghezza totale del palo L	41.0 [m]
Diametro sezione circolare d	0.45 [m]

Il modello corrispondente, impostato in IS Palificate, da i seguenti risultati:



Si noti che il calcolo delle portate è stato effettuato in un caso di carico “fittizio”, che non prevede coefficienti di sicurezza sulle caratteristiche meccaniche del terreno o sulle resistenze, per poter confrontare i risultati col caso “teorico - ideale” analizzato dall’Autore.

Le portate evidenziate sono espresse in daN, convertite in kN danno i seguenti valori:

Strato 1: 257.86 [kN]
Strato 2: 1692.22 [kN]

4. CARATTERISTICHE DELL'OPERA STRUTTURALE

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'opera strutturale secondo quanto esposto nelle "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (NTC 2018).

4.1. VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE	V_N (anni)
1 - Opere provvisorie	≤ 10
2 - Opere ordinarie	≥ 50
3 - Grandi opere	≥ 100

Tabella 4.1: Tipo e vita nominale V_N dell'opera (NTC 2018 – tabella 2.4.I)

Nel caso in studio è possibile fare riferimento al tipo 2 – Opere ordinarie - con vita nominale pari a:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

4.2. CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso la classe d'uso dell'opera in oggetto è pari a IV (si veda § 2.4.2 NTC 2018).

4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in tabella 4.2.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 4.2: Valori del coefficiente d'uso C_U dell'opera (NTC 2018 – tabella 2.4.II)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni}$$

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

La combinazione per le verifiche statiche allo stato limite ultimo è:

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{gi} \cdot G_{ki} + \gamma_{q1} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- γ_g coefficiente parziale per la i-esima azione permanente
- γ_q coefficiente parziale per la i-esima azione variabile
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione

Si riportano di seguito, in tabella 5.1, i valori dei coefficienti di combinazione per le azioni agenti sull'opera in esame.

AZIONI	GRUPPO DI AZIONI	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Azioni da traffico	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1 e 5 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
Vento q_5	Ponte scarico	0,60	0,20	0,00
	Ponte carico	0,60	-	-
Temperatura	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 5.1: Valore dei coefficienti di combinazione (NTC 2018 – tabella 5.1.VI)

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR), si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali, definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 di tabella 5.2.

		Coefficiente γ_F	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{g1}	0,90	1,0	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{g2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili	favorevoli	γ_{qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00
<p>⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.</p> <p>⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti non portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.</p> <p>⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna.</p> <p>⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali.</p>					

Tabella 5.2: Valore dei coefficienti parziali di sicurezza (NTC 2018 – tabella 5.1.V)

La combinazione per le verifiche statiche allo stato limite di esercizio sono:

Combinazione rara
$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione frequente
$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \psi_{1i} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione quasi permanente
$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione per azioni rare
- ψ_{1i} coefficiente di combinazione per azioni frequenti
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione per azioni quasi permanenti

Si riportano di seguito, in tabella 5.3, i valori dei coefficienti di combinazione per le azioni agenti sull'opera in esame.

AZIONI	GRUPPO DI AZIONI	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Azioni da traffico	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1 e 5 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
Vento q_5	Ponte scarico	0,60	0,20	0,00
	Ponte carico	0,60	-	-
Temperatura	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 5.3: Valore dei coefficienti di combinazione (NTC 2018 – tabella 5.1.VI)

Carichi gravitazionali per valutazione delle masse in fase sismica

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Ai fini del calcolo della massa attivabile in condizione sismica si è adottato $\psi_{2j} = 0$.

In tabella 5.4 sono riassunte le combinazioni di carico utilizzate nell'analisi del ponte, in particolare sono riportati i coefficienti moltiplicativi finali ottenuti dal prodotto tra i coefficienti parziali di sicurezza e quelli di combinazione.

		COMBINAZIONI E COEFFICIENTI MOLTIPLICATIVI ($\psi_i \cdot \gamma_i$) - 1° carico fondamentale: carico viaggiante															
		G1	G2		E1	E2	E3	Q _{1k}	Q _{2k}	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	E
		peso proprio	permanenti strutturali	permanenti NON strutturali	precompress.	ritiro & viscosità	cedimenti vincolari	stese di carico		frenatura o accelerazione	centrifuga	vento	idrodinamiche	ΔT	svio	attrito vincoli	sisma
SLU	1	1.35 / 1.00	1.35 / 1.00	1.5 / 1.00	1.00	1.20 / 0.00	1.20 / 0.00	1.35 / 0.00	1.35 / 0.00	-	-	0.6*1.5 / 0.00	v. \$5.1.2.3	0.6*1.2 / 0.00	1.50 / 0.00	1.50 / 0.00	-
	2A	1.35 / 1.00	1.35 / 1.00	1.5 / 1.00	1.00	1.20 / 0.00	1.20 / 0.00	0.75*1.35 / 0.00	0.4*1.35 / 0.00	1.35	0.00	0.2*1.5 / 0.00	v. \$5.1.2.3	0.6*1.2 / 0.00	1.50 / 0.00	1.50 / 0.00	-
	2B	1.35 / 1.00	1.35 / 1.00	1.5 / 1.00	1.00	1.20 / 0.00	1.20 / 0.00	0.75*1.35 / 0.00	0.4*1.35 / 0.00	-	1.35	0.2*1.5 / 0.00	v. \$5.1.2.3	0.6*1.2 / 0.00	1.50 / 0.00	1.50 / 0.00	-
SLE	Frequente	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.40	-	-	0.20	v. \$5.1.2.3	0.50	-	-	-
	Q. Perm.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	0.00	v. \$5.1.2.3	0.50	-	-	-
	Rara	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	0.60	v. \$5.1.2.3	0.60	1.0	-	-
SISMA		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	0.50	-	-	1.0

Tabella 5.4: Combinazioni di carico utilizzate per le pile

Nella seguente tabella sono riportate le combinazioni per la spalla. In accordo al punto 7.9.5.4 delle NTC la verifica in fase sismica è eseguita separatamente per la direzione trasversale e quella longitudinale.

	G1 - PESO PROPRIO	G2 - PERMANENTI PORTATI	Q1 ISLUJ - CARICHI DA TRAFFICO_Max	Q2 - ISLUJ CARICHI DA TRAFFICO_Min	Q3 - SOVRACCARICO SU TERRAPIENO	Q4 - VENTO	Q5 - VARIAZIONE UNIFORME DI TEMPERATURA	Q6 - EFFETTI SEC. GRADIENTE TERMICO	Q7 - EFFETTI SEC. RITIRO	Q9 - FRENATURA	Q10 - SPINTA IN CONDIZIONI STATICHE K0	Q11 - SPINTA STATICA SOVRACCARICO	Q13 (SLE) - CARICHI DA TRAFFICO_Max	Q14 (SLE) - CARICHI DA TRAFFICO_Min	Q15 - CEDIMENTI	E1 - EFFETTI INERZIALI LONGITUDINALI	E2 - EFFETTI INERZIALI TRASVERSALI	E3 - EFFETTI INERZIALI VERTICALI (-)	E4 - EFFETTI INERZIALI VERTICALI (+)	E5 - SPINTA WOOD + STATICA
SLU 1 (1)	1	1			1.5	0.9	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35			1.2					
SLU 1 (1)max	1.35	1.35	1.35		1.5	0.9	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35			1.2					
SLU 1 (1)min	1.35	1.35		1.35	1.5	0.9	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35			1.2					
SLU 2 (2a)	1	1			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2	1.35	1.35	1.35			1.2					

SLU 2 (2a)max	1.35	1.35			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2	1.35	1.35	1.35	1.35		1.2				
SLU 2 (2a)min	1.35	1.35			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2	1.35	1.35	1.35		1.35	1.2				
SLU 3 (2b)	1	1			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35			1.2				
SLU 3 (2b)max	1.35	1.35			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35	1.35		1.2				
SLU 3 (2b)min	1.35	1.35			1.5	0.3	0.72	0.72	1.2		1.35	1.35		1.35	1.2				
SISMA 1	1	1					0.5	0.5	1						1	1		1	1
SISMA 2	1	1					0.5	0.5	1						1	1			1
SISMA 3	1	1					0.5	0.5	1						1		1	1	1
SISMA 4	1	1					0.5	0.5	1						1		1		1
SLE (rara)	1	1	1		1	0.6	0.6	0.6	1		1	1			1				
SLE (rara)min	1	1		1	1	0.6	0.6	0.6	1		1	1			1				
SLE (freq.)	1	1			1	0.2	0.5	0.5	1		1	1	1		1				
SLE (freq.)min	1	1			1	0.2	0.5	0.5	1		1	1		1	1				
SLE (qperm)	1	1					0.5	0.5	1		1				1				

Tabella 5.5: Combinazioni di carico utilizzate per la spalla

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1. SPALLA

Di seguito si riporta la descrizione dei vari contributi di carico presi in esame ai fini dell'analisi globale della spalla. Si sottolinea come tutti i contributi siano stati valutati in modo da massimizzare le azioni verticali e le azioni orizzontali longitudinali da monte verso valle.

6.1.1. Pesi propri e permanenti portati

Il peso dei vari elementi strutturali è stato conteggiato direttamente dal software di calcolo con riferimento ad un peso specifico di 25 kN/m³.

È stata considerata la presenza della barriera antirumore sul cordolo del muro andatore di peso 13.5 kN/m oltre al vento agente su di essa.

6.1.2. Spinta delle terre a monte delle spalle

La spinta delle terre, con riferimento alle indicazioni delle NTC, è stata valutata con metodi tradizionali dell'equilibrio limite. Il terreno spingente viene assunto con le seguenti caratteristiche:

peso del volume di terreno γ 19 kN/m³

angolo di attrito del terreno φ 35°

La spinta delle terre è stata valutata in condizione di spinta a riposo, assumendo:

$$K_0 = 1 - \tan \varphi = 0.426$$

6.1.3. Sovraccarico accidentale a tergo spalla

Per le analisi di stabilità globali e per la verifica degli elementi principali si considera un carico verticale agente sul terrapieno retrostante la spalla pari a:

$$q = 20 \text{ kN/m}^2$$

Per la verifica del paraghiaia si considera come sovraccarico il valore corrispondente allo schema di carico 1 distribuito su una superficie pari a 2.2 x 3 m, come definito nella Circolare NTC al capitolo 5.1.3.3.7.1:

$$q = 600/(2.2 \times 3) + 9 = 100 \text{ kN/m}^2$$

Tuttavia, la condizione più sfavorevole per la verifica del paraghiaia risulta quella in cui un asse del carico tandem è posizionato sul paraghiaia e solamente un asse del carico tandem è sul terrapieno. Per tale ragione il sovraccarico a tergo spalla viene considerato con un valore dimezzato, pari a 50 kN/m².

6.1.4. Spinta del sovraccarico sul terrapieno

La spinta del sovraccarico sul terrapieno viene valutata come un carico uniformemente distribuito agente sulle elevazioni. Coerentemente con la spinta delle terre, viene considerata la condizione di spinta a riposo per la Spalla.

$$q_1 = 20 \times 0.426 = 8.52 \text{ kN/m}^2$$

6.1.5. Azione sismica

Ai fini sismici l'opera è caratterizzata dai parametri sotto elencati.

- Vita nominale: $V_N = 50$ anni;
- Classe d'uso: classe IV, $C_U=2$;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100$ anni;
- La probabilità di superamento dell'azione sismica viene definita in funzione del periodo di ritorno T_r di seguito definito.
- Categoria di sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_S = 1.39$ (SLV) – 1.31(SLC);
- Coefficiente di amplificazione topografica: $S_T = 1$

Ne derivano i seguenti parametri sismici:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.073	2.473	0.275
SLD	101	0.090	2.466	0.285
SLV	949	0.213	2.428	0.315
SLC	1950	0.265	2.449	0.323

6.1.6. Effetti inerziali sisma

Per la determinazione delle azioni sismiche si è fatto riferimento alle sole masse corrispondenti ai pesi propri ed ai sovraccarichi permanenti utilizzando i metodi pseudo statici di cui al paragrafo 7.11.6.2.1 di [1].

Verranno considerate le seguenti azioni in campo dinamico:

forze di inerzia orizzontali corpo spalla: $F_{sp,ih} = k_h \times W_{sp}$

forze di inerzia verticali corpo spalla: $F_{sp,iv} = k_v \times W_{sp}$

forze di inerzia verticali del terreno imbarcato: $F_{t,iv} = k_v \times W_{sp}$

forze di inerzia orizzontali del terreno imbarcato: $F_{t,ih} = k_h \times W_t$

dove:

W_{sp} = peso del corpo spalla.

W_{sp} = peso del terreno imbarcato

k_h = coeff. sismico orizzontale

k_v = coeff. sismico verticale

I valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale allo SLV sono valutati mediante le seguenti espressioni:

$$K_h = \beta_m \times a_{max} / g \quad [7.11.6 \text{ di } [1]]$$

$$K_v = \pm 0.5 \times K_h \quad [7.11.7 \text{ di } [1]]$$

$$a_{max} = S \times a_g = 1.39 \times 0.213g = 0.296g$$

Il valore del coefficiente β_m è stato assunto unitario poiché la fondazione è su pali. Pertanto si avrà:

$$K_h = \beta_m \times a_{max} / g = 1 \times 0.296 = 0.296$$

$$K_v = \pm 0.5 \times K_h = \pm 0.5 \times 0.296 = \pm 0.148$$

Gli effetti inerziali della struttura sono presi in considerazione in modo automatico dal software di calcolo.

Sono stati considerati anche gli effetti inerziali del terreno imbarcato.

Il volume complessivo del terreno imbarcato risulta pari a 78 m³. Moltiplicando tale volume per la massa volumica del terreno considerato e per l'accelerazione sismica considerata si ottiene la spinta inerziale del terreno imbarcato che vale:

$$S = 78 \times 19 \times 0.296 = 438.6 \text{ kN.}$$

$$S = 78 \times 19 \times 0.148 = 219.3 \text{ kN.}$$

Distribuendo uniformemente tale spinta sul paramento anteriore la pressione agente in direzione longitudinale vale:

$$q_x = 438.6 / (6 \times 7.22) = 10.1 \text{ kN/m}^2$$

Distribuendo uniformemente la spinta inerziale sul muro andatore la pressione agente in direzione trasversale vale:

$$q_y = 438.6 / (1.8 \times 7.22) = 33.8 \text{ kN/m}^2$$

Distribuendo uniformemente la spinta inerziale sulla platea di fondazione la pressione agente in direzione verticale vale:

$$q_z = 219.3 / (6 \times 1.8) = 20.3 \text{ kN/m}^2$$

6.1.7. Incremento di spinta delle terre in fase sismica

Per la Spalla, fondata su pali, l'incremento di spinta del terreno in fase sismica è stato valutato applicando la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinata con la seguente espressione:

$$\Delta S_e = (a_{max}/g) \times \gamma \times H^2$$

dove:

a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito

γ è il peso specifico del terreno.

L'incremento di spinta ΔS_e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo e la sua risultante viene applicata ad un'altezza pari ad H/2.

Nel caso in esame, l'incremento di spinta agente sul muro frontale e sui muri andatori della spalla vale:

$$SLV \quad \Delta S_e = 0.296 \times 19 \times 7.22 = 40.6 \text{ kN/m}^2$$

6.2. PILE

6.2.1. Peso Proprio

Il peso proprio delle pile è stato conteggiato direttamente dal software di calcolo con riferimento ad un peso specifico di 25 kN/m³

6.2.2. Vento

L'azione del vento trasversale sulla pila è stata considerata come definito nella relazione di calcolo dell'impalcato.

6.2.3. Azione sismica

Ai fini sismici l'opera è caratterizzata dai parametri sotto elencati.

- Vita nominale: $V_N = 50$ anni;
- Classe d'uso: classe IV, $C_U=2$;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N * C_U = 50 * 2 = 100$ anni;
- La probabilità di superamento dell'azione sismica viene definita in funzione del periodo di ritorno T_R di seguito definito.
- Categoria di sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_S = 1.39$ (SLV) – 1.31 (SLC);
- Coefficiente di amplificazione topografica: $S_T = 1$

Ne derivano i seguenti parametri sismici:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.073	2.473	0.275
SLD	101	0.090	2.466	0.285
SLV	949	0.213	2.428	0.315
SLC	1950	0.265	2.449	0.323

7. ANALISI E VERIFICA DELLA SPALLA

Si riportano di seguito i risultati delle analisi degli elementi della spalla e le relative verifiche.

7.1. PARAGHIAIA

7.1.1. Armatura minima del paraghiaia

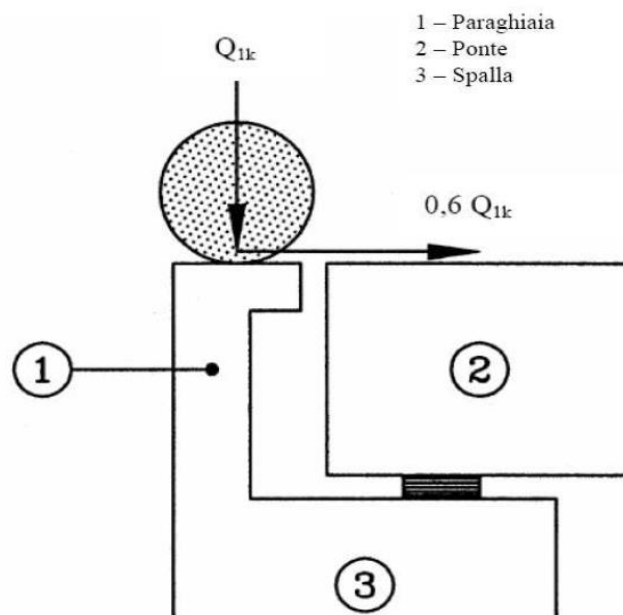
Le NTC non definiscono l'armatura minima per le piastre nel caso sismico, si fa pertanto riferimento al caso statico, dove l'armatura minima richiesta è uguale a quella delle travi:

$$A_s = \max \left(0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}; 0.0013 \cdot b \cdot d \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima è pari a 9.57 cm²/m.

7.1.2. Verifica a pressoflessione SLU/SLV del paraghiaia

Di seguito viene mostrata la valutazione delle azioni sul paraghiaia riferite ad una porzione di paraghiaia di larghezza pari a 3 m. La condizione critica risulta quella in cui un asse del tandem è posizionato sul paraghiaia ed un asse è posizionato a monte del paraghiaia, come mostrato nella seguente figura presente nelle NTC. Per tale motivo è stato utilizzato un valore di sovraccarico accidentale a tergo spalla pari a 50 kN/m².



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE DEL MURO PARAGHIAIA

H	1.22 m	altezza del paraghiaia dallo spiccato della spalla			
l	3 m	larghezza della carreggiata (sezione di calcolo)			
h	0.6 m	spessore del paraghiaia			
c	0.045 m	copriferro			
c'	0.057 m	copriferro + $\phi/2$			
q	50 kN/mq	carico variabile a tergo paraghiaia			
ϕ	35 °	angolo di attrito materiale spingente a tergo paraghiaia_A1			
γ	19 kN/mc	peso del materiale spingente a tergo paraghiaia			
k0	0.43 -	coefficiente di spinta a riposo_A1			
Q1k	300 kN	carico asse			
q1k	9 kN/mq	carico distribuito			
C	32/40 -	classe cls			
fck	32 MPa	resistenza caratteristica cilindrica cls			
fgd	18.1 MPa	resistenza di progetto cls			
fyk	450 MPa	resistenza caratteristica acciaio			
fyd	391.3 MPa	resistenza di progetto acciaio			
d	543 mm	altezza utile			
Ac	1800000 mm2	area della sezione			
As	13572 mm2	area armatura verticale di forza	DISP:	10 ϕ	24 /ml
As,min	5600 mm2	area minima armatura verticale di forza		0 ϕ	0 /ml
area armatura in direzione perpendicolare: 20%*As					
Asw	848 mm2	area delle staffe	DISP:	ϕ 12	/
s	400 mm	passo delle staffe		400 x	400 mm
θ	22 °	angolo del puntone compresso di cls rispetto all'asse della trave			

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

	SLU_1		SLU_2a		SLE	
	Q	q	Q	q	Rara/Freq	Qperm
Pesi propri	1.35		1.35		1	1
Permanenti	1.35		1.35		1	1
Variabili da traffico	1.35	1.35	1.01	0.54	0.75	0
Frenatura	0		1.35		0	0
Spinta terre	1.35		1.35		1	1
Spinta sovraccarico	1.35		1.35		1	1

AZIONI CARATTERISTICHE

Peso proprio paraghiaia

Fv -54.9 kN

Asse anteriore Tandem su paraghiaia

Fh 180.0 kN carico orizzontale agente - ponti I cat.

Fv -300.0 kN carico verticale agente - ponti I cat.

C 219.6 kNm

Spinta contemporanea frenatura (asse posteriore tandem)

Fh 127.9 kN

C 40.9 kNm

Spinta contemporanea frenatura (carico distribuito)

Fh 14.0 kN

C 8.6 kNm

Spinta terreno a tergo paraghiaia

Fh 18.1 kN

C 7.4 kNm

Sovrappinta carico variabile in avvicendamento

Fh 78.0 kN

C 47.6 kNm

SOLLECITAZIONI ALLA BASE DEL PARAGHIAIA

	Ned [kN]	Ved [kN]	Med [kNm]
SLU_1	-54.9	129.8	74.2
SLU_2a	-358.7	404.5	352.5
Rara/Freq	-279.9	96.1	55.0
Qperm	-54.9	96.1	55.0

VERIFICHE SLU

b	3000 mm	base della sezione di calcolo
h	600 mm	altezza della sezione di calcolo
d	543 mm	altezza utile della sezione di calcolo

*******PRESSOFLESSIONE*******

		Ned [kN]	Med [kNm]	Med,tot [kNm]	μ [-]	ω [-]	As,nec [mmq]	As,nec<As
SLU_1	A1	-55	74	87.5	0.0055	0.0055	274	ok!
SLU_2a	A1	-359	352	439.6	0.0274	0.0282	1209	ok!

*******TAGLIO*******

RESISTENZA AL TAGLIO DELLA SEZIONE DI CLS - Vrdc

Crdc	0.12
k	1.61
ro	0.008
z	488.7 mm
θ	0.384 rad
cotg(θ)	2.475
nu1	0.6
fcd	18.13 MPa
tg(θ)	0.404
vmin	0.403 MPa

		Ved [kN]	sigmacp [MPa]	Vrdc [kN]	Vrdc>Ved
SLU_1	A1	130	0.000	938.4	ok!
SLU_2a	A1	405	0.000	938.4	ok!

Vrd [kN]	Vrd>Ved
1003.7	ok!
1003.7	ok!

VERIFICHE SLE

Apertura max fessure Qperm:	$w_{k, inf} =$	0.2 mm
	$w_{k, sup} =$	0.2 mm
Apertura max fessure Rara/Freq:	$w_{k, inf} =$	0.3 mm
	$w_{k, sup} =$	0.3 mm

	w_k (mm)	Verifica fess.
VERIFICA Q.perm	0.000	si
VERIFICA Rara/Frequente	0.000	si

7.2. PARAMENTO FRONTALE

7.2.1. Premessa

Il software di calcolo Midas Civil fornisce i momenti di Wood Armer che tendono due distinti layer. In questo caso, il layer Top si riferisce al lembo esterno del paramento ed il layer Bottom si riferisce a quello interno.

7.2.2. Armatura minima del paramento frontale

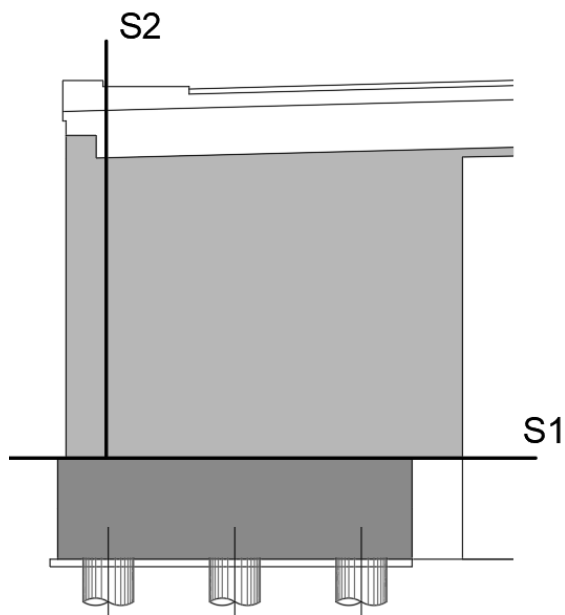
Le NTC non definiscono l'armatura minima per le piastre nel caso sismico, si fa pertanto riferimento al caso statico, dove l'armatura minima richiesta è uguale a quella delle travi:

$$A_s = \max \left(0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}; 0.0013 \cdot b \cdot d \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima del muro, di spessore pari a 2.2 m, è pari a 37.53 cm²/m.

7.2.3. Verifica a pressoflessione SLU/SLV del paramento frontale

Di seguito è riportata la posizione delle sezioni di verifica.

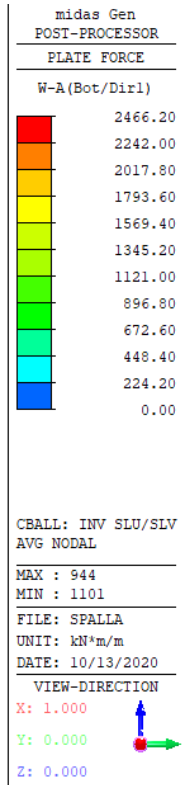
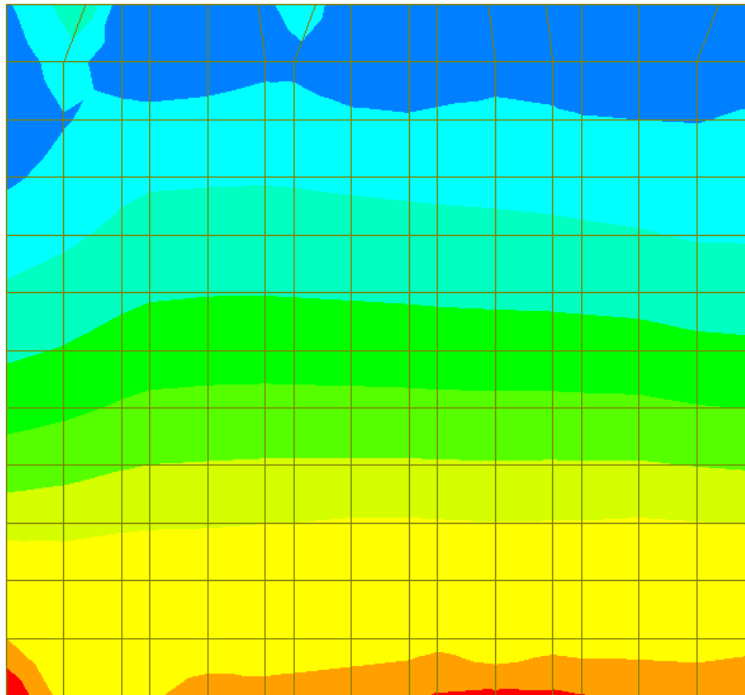


Sezioni di verifica

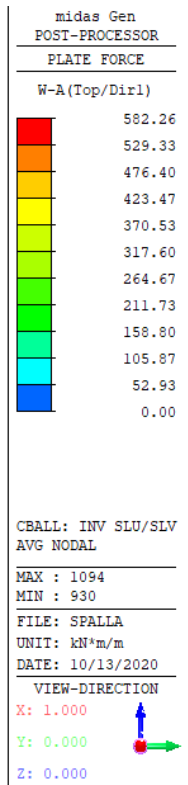
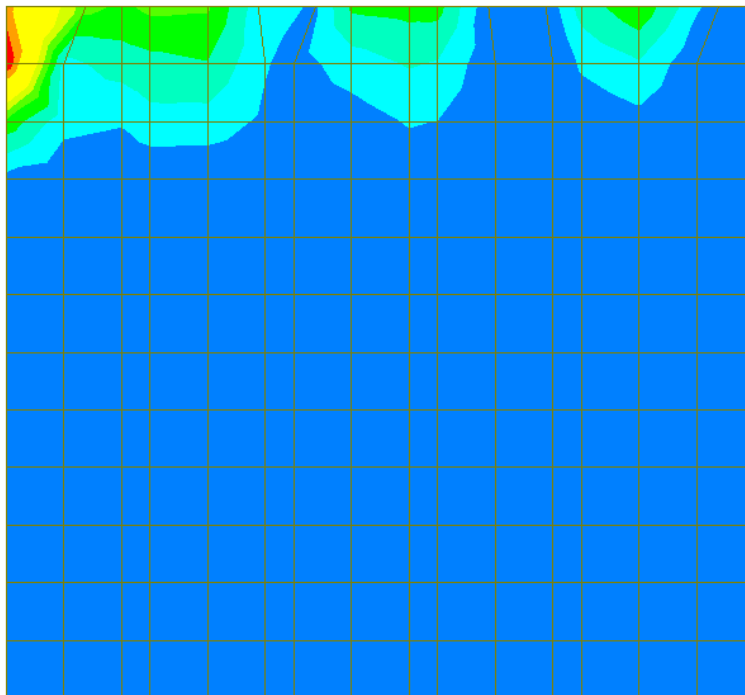
Nella seguente tabella sono mostrate le armature delle sezioni di verifica:

Elemento	Direzione	Sezione	Strato	Armatura	Altezza utile
Muro frontale	Verticale	S1	Esterno	1Ø20/20	d = 75 mm
			Interno	1Ø24/10	d = 2119 mm
Muro frontale	Orizzontale	S2	Esterno	1Ø20/20	d = 55 mm
			Interno	1Ø24/10	d = 2143 mm

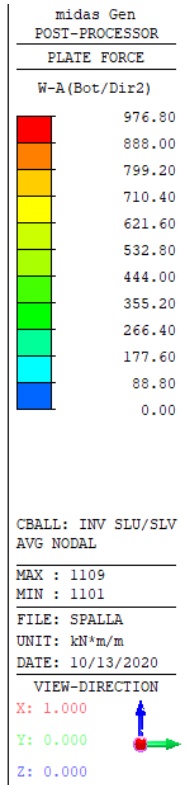
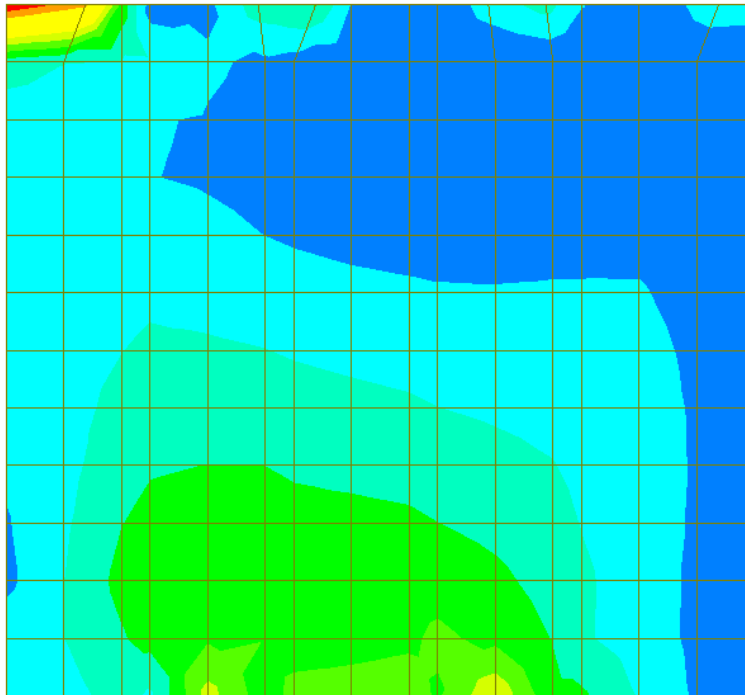
Di seguito sono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di Wood Armer nella condizione più sfavorevole, di stato limite ultimo.



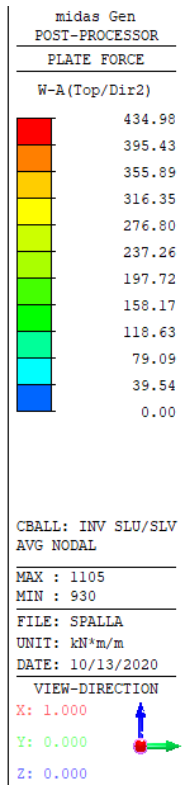
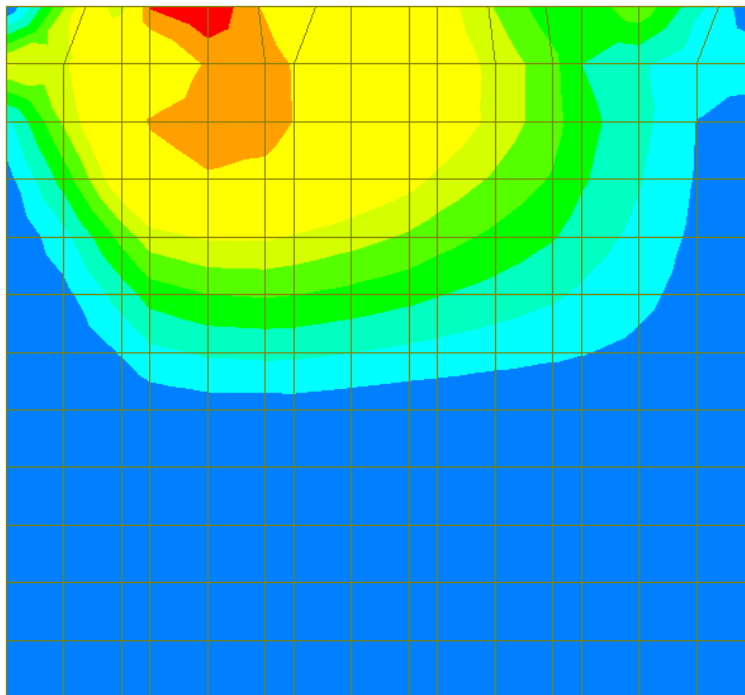
Momento flettente verticale interno – Involuppo stato limite ultimo



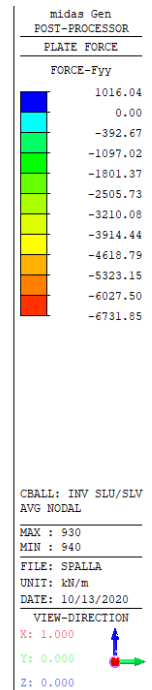
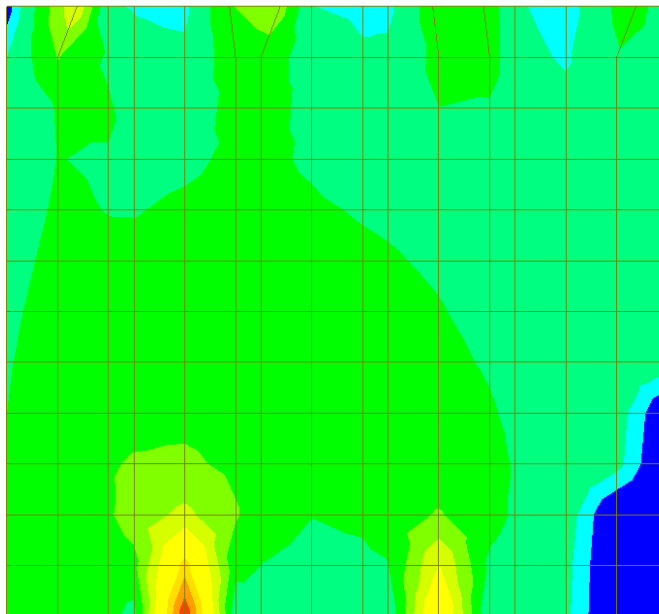
Momento flettente verticale esterno – Involuppo stato limite ultimo



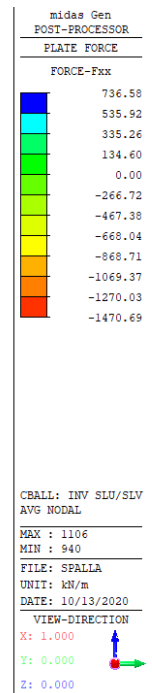
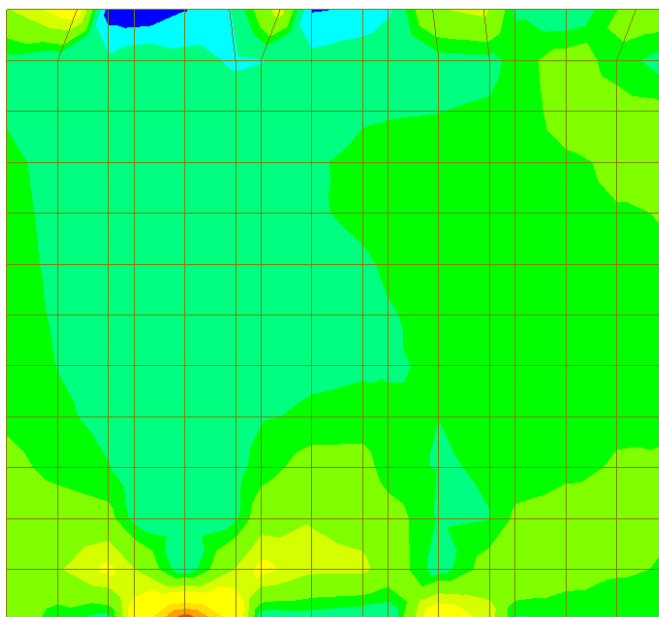
Momento flettente orizzontale interno – Involuppo stato limite ultimo



Momento flettente orizzontale esterno – Involuppo stato limite ultimo



Sforzo normale verticale – Combinazione stato limite ultimo



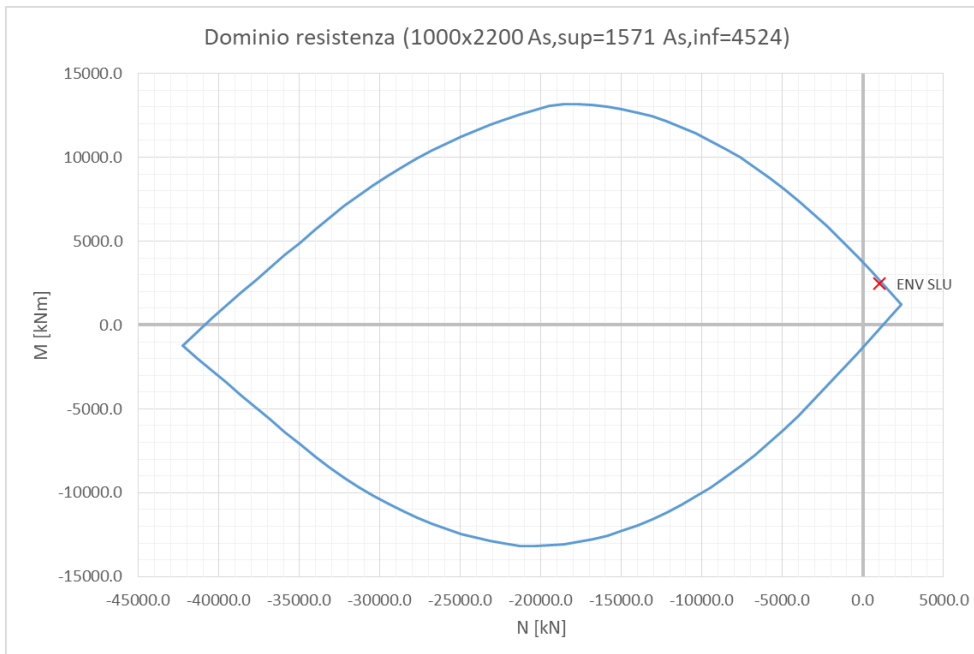
Sforzo normale orizzontale – Combinazione stato limite ultimo

Si riportano di seguito i massimi valori di momento flettente in corrispondenza delle sezioni indicate nella figura riportata in precedenza. (N>0 di trazione)

Sezione	Combinazione	N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kN m)
S1	ENV SLU	1016.0	2466.2

S2	ENV SLU	0.0	976.8
----	---------	-----	-------

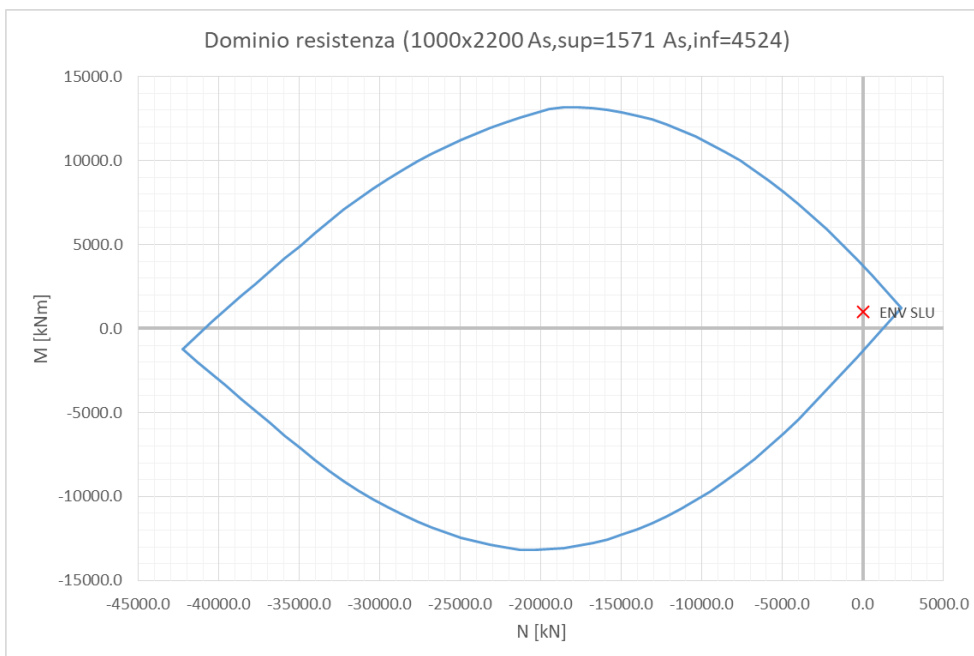
Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S1 del paramento frontale.



Il momento resistente risulta pari a 2669.4 kNm ed il momento agente risulta 2466.2 kNm (C.s.=1.08).

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S2 del paramento frontale.



Il momento resistente risulta pari a 3731.5 kNm ed il momento agente risulta 976.8 kNm (C.s.=3.82).

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

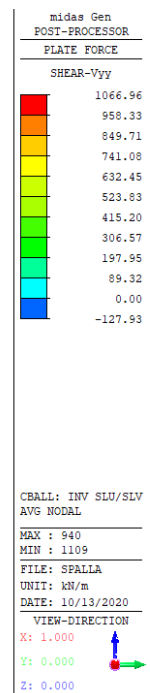
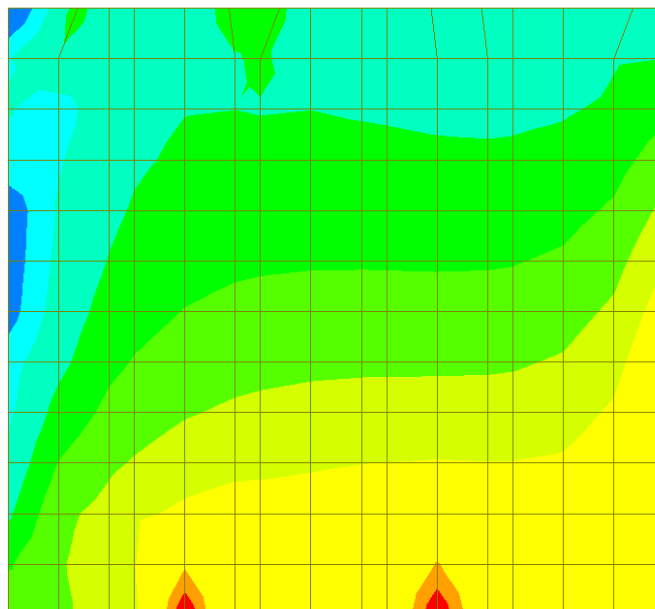
7.2.4. Verifica a taglio del paramento frontale

Il paramento frontale viene armato a taglio con un'armatura trasversale pari a $\phi 12/400 \times 400$ mm.

La valutazione della resistenza a taglio del muro frontale viene mostrata di seguito.

g_c	[-]	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
g_s	[-]	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
f_{ck}	[N/mm ²]	32	Resistenza caratteristica cilindrica CLS
f_{cd}	[N/mm ²]	18.1	Resistenza a compressione di progetto
f'_{cd}	[N/mm ²]	9.1	Resistenza a compressione ridotta di progetto
f_{yk}	[N/mm ²]	450.0	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
f_{yd}	[N/mm ²]	391.3	Tensione di snervamento di progetto
α_c	[-]	1.00	(vedi NTC2008)
d	[mm]	2119	Altezza utile
b_w	[mm]	1000	Larghezza sezione
s	[mm]	400	Passo armatura a taglio
Φl	[mm]	12	Diametro legature
n	[-]	2.5	Numero di legature/metro lineare
A_{sw}	[mm ²]	283	Area armatura a taglio
α	[°]	90	Inclinazione armatura a taglio
q	[°]	22	Inclinazione puntone compresso
V_{Rsd}	[kN]	1305	Taglio resistente lato acciaio
V_{Rcd}	[kN]	6006	Taglio resistente lato CLS
V_{Rd}	[kN]	1305	Taglio resistente di progetto
V_{Sd}	[kN]	1067	Taglio sollecitante di progetto
c.s.	[-]	1.22	Coefficiente di sicurezza

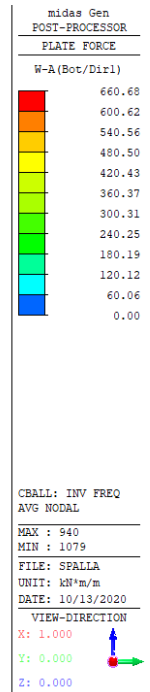
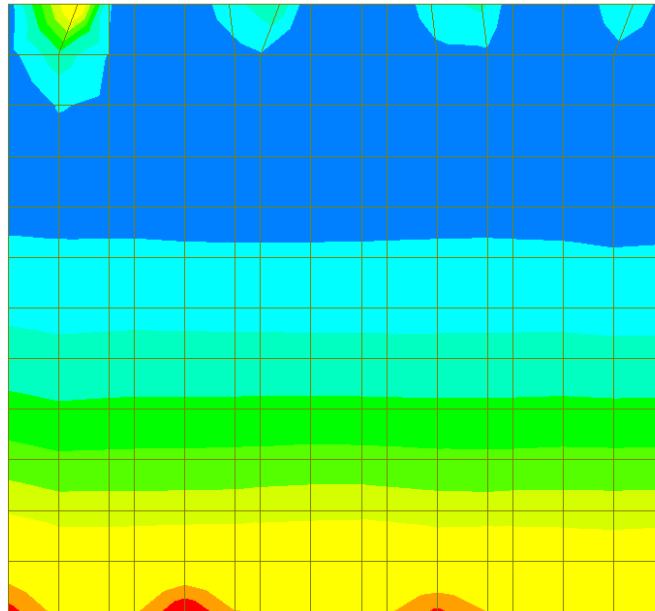
Nella seguente figura viene mostrato il taglio agente sul muro.



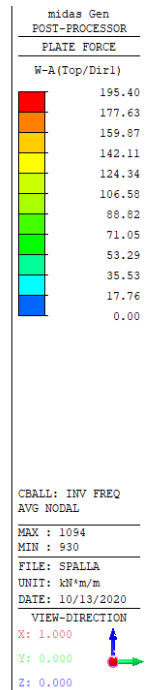
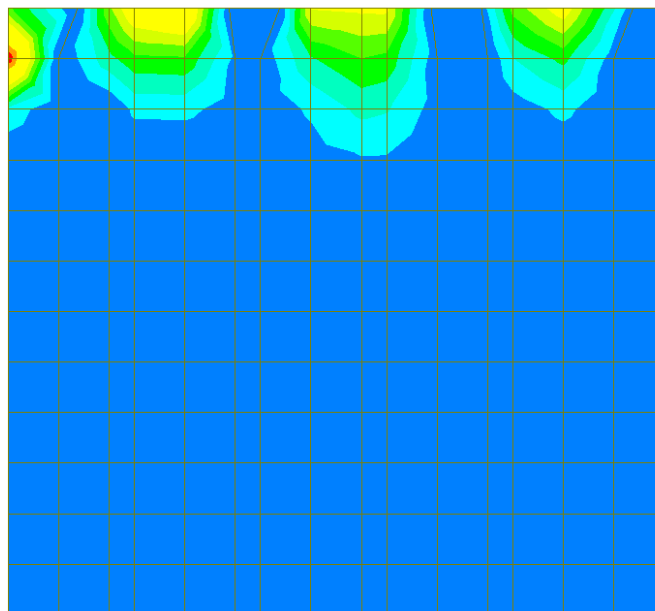
Taglio massimo – Combinazione stato limite ultimo

7.2.5. Verifica a fessurazione del paramento frontale

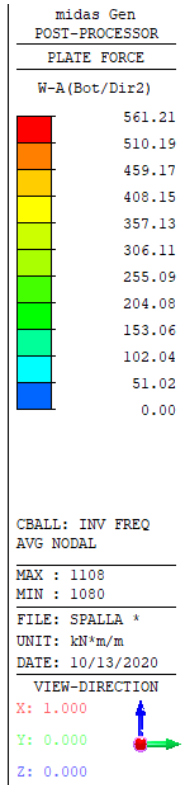
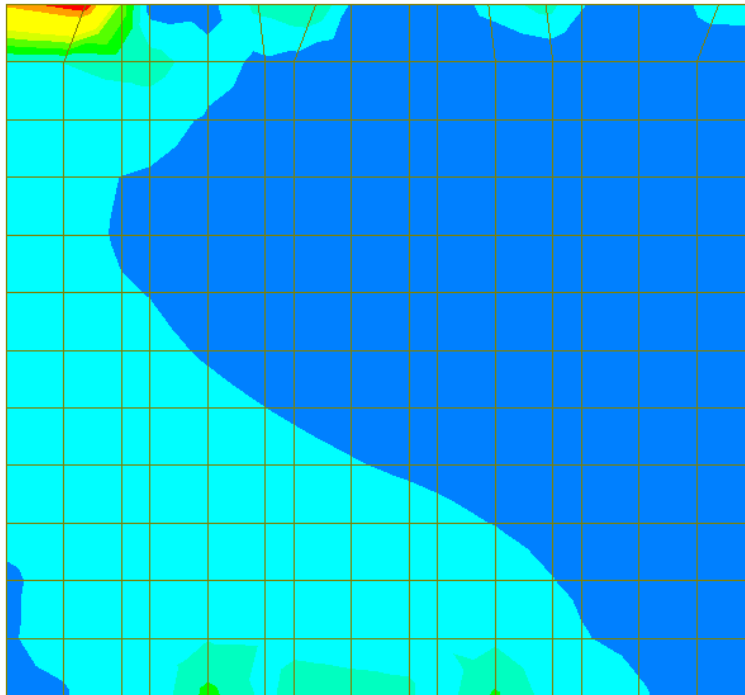
Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni, momento di Wood Armer, riferiti alla combinazione frequente e quasi permanente.



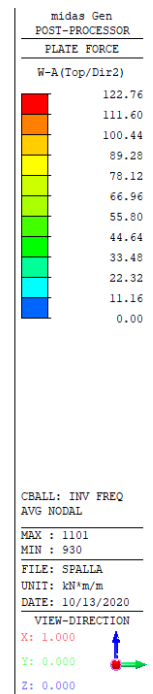
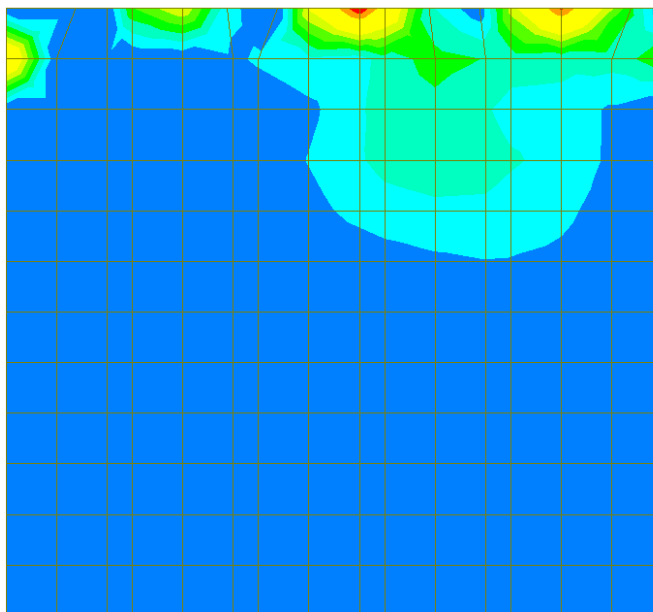
Momento flettente verticale interno – Involuppo stato limite esercizio frequente



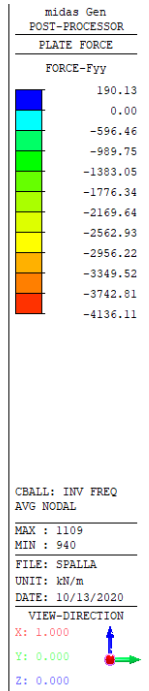
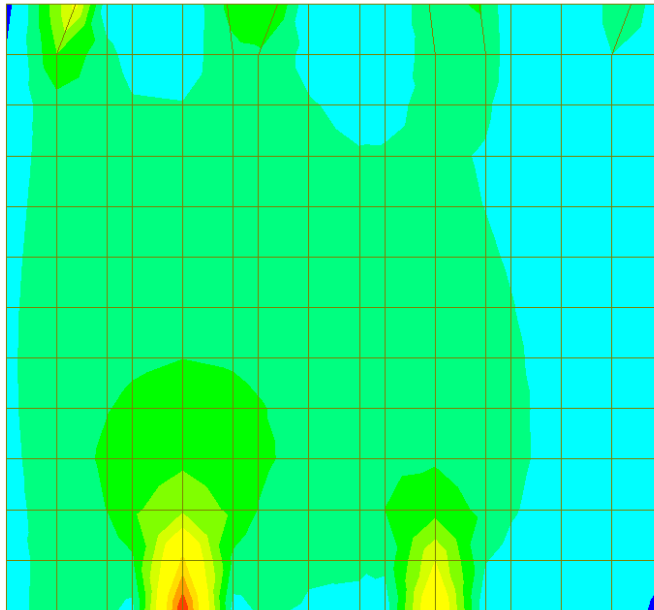
Momento flettente verticale esterno – Involuppo stato limite esercizio frequente



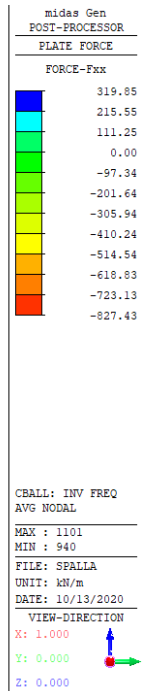
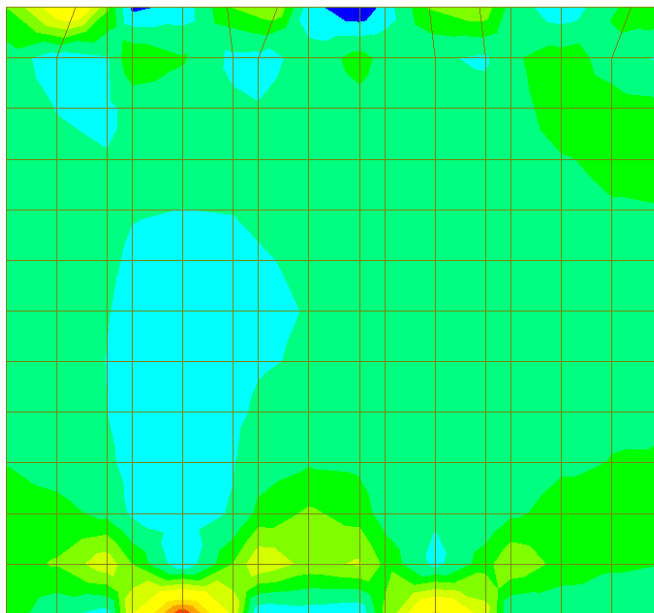
Momento flettente orizzontale interno – Inviluppo stato limite esercizio frequente



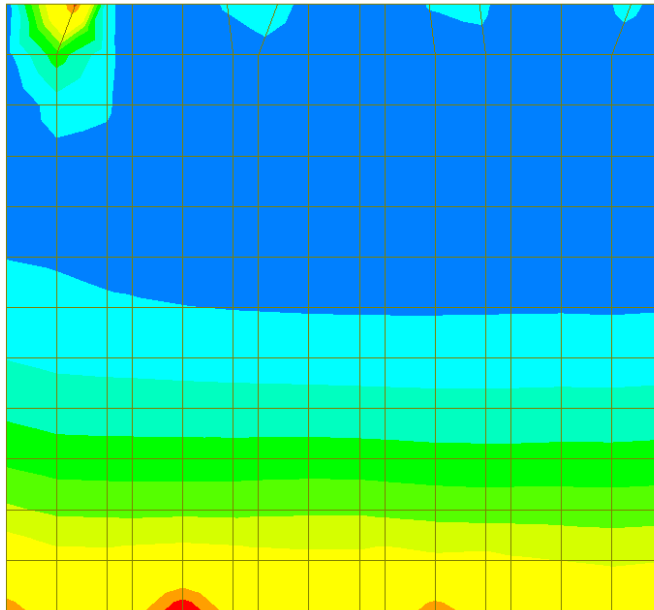
Momento flettente orizzontale esterno – Inviluppo stato limite esercizio frequente



Sforzo normale verticale – Combinazione stato limite esercizio frequente



Sforzo normale orizzontale – Combinazione stato limite esercizio frequente



midas Gen
 POST-PROCESSOR
 PLATE FORCE

W-A (Bot/Dir1)

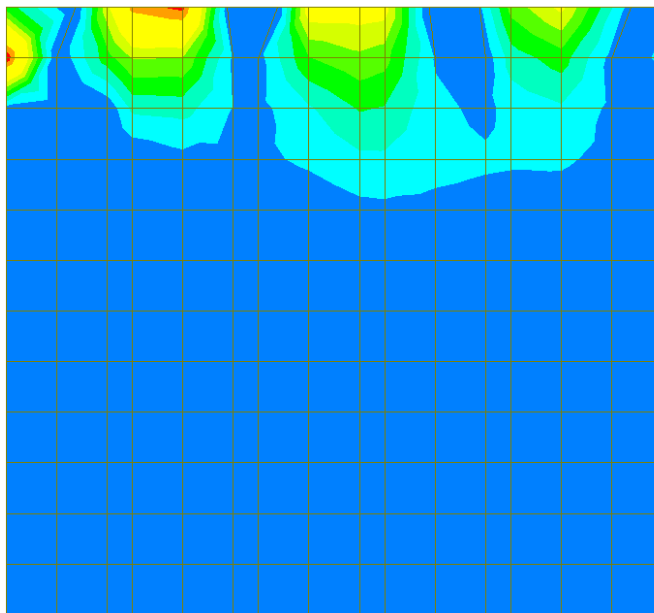
509.49
463.17
416.85
370.54
324.22
277.90
231.58
185.27
138.95
92.63
46.32
0.00

CB: SLE (QPERM)
 AVG NODAL
 MAX : 940
 MIN : 1051

FILE: SPALLA
 UNIT: kN*m/m
 DATE: 10/13/2020

VIEW-DIRECTION
 X: 1.000
 Y: 0.000
 Z: 0.000

Momento flettente verticale interno – Inviluppo stato limite esercizio quasi permanente



midas Gen
 POST-PROCESSOR
 PLATE FORCE

W-A (Top/Dir1)

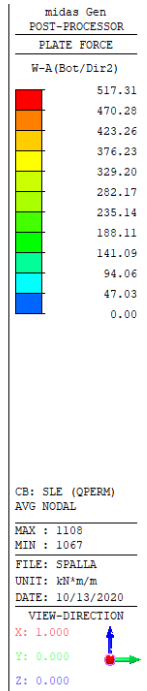
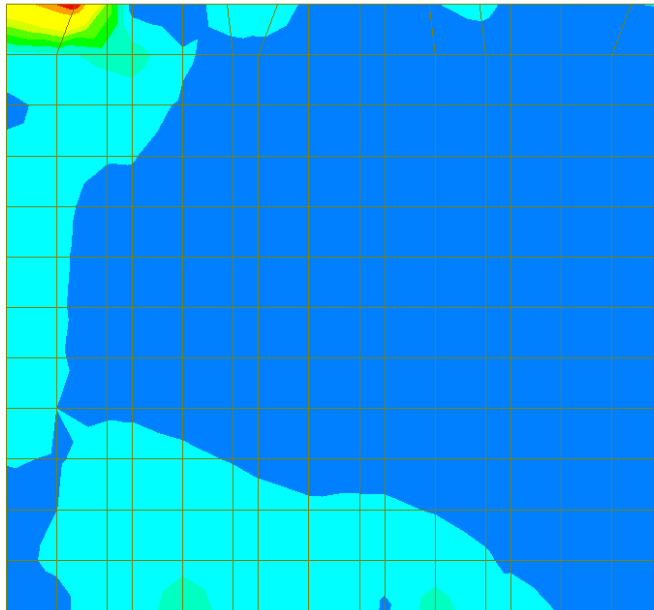
139.06
126.41
113.77
101.13
88.49
75.85
63.21
50.57
37.92
25.28
12.64
0.00

CB: SLE (QPERM)
 AVG NODAL
 MAX : 1094
 MIN : 930

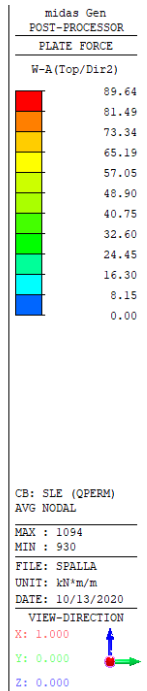
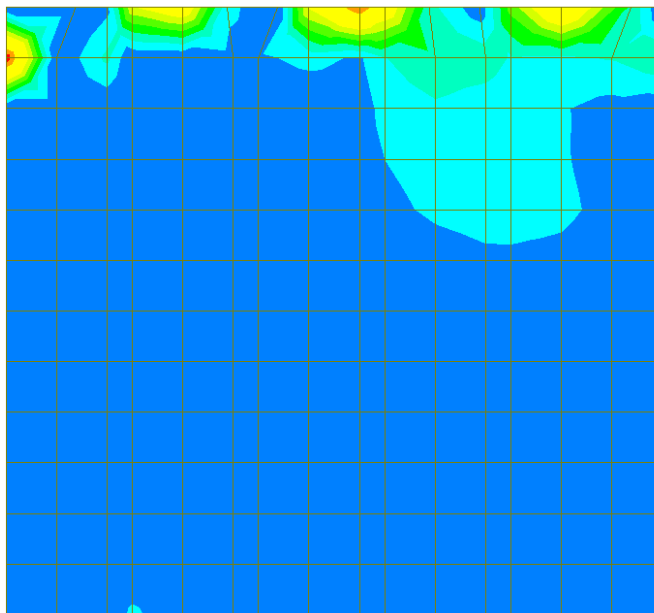
FILE: SPALLA
 UNIT: kN*m/m
 DATE: 10/13/2020

VIEW-DIRECTION
 X: 1.000
 Y: 0.000
 Z: 0.000

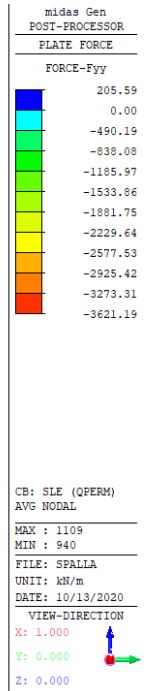
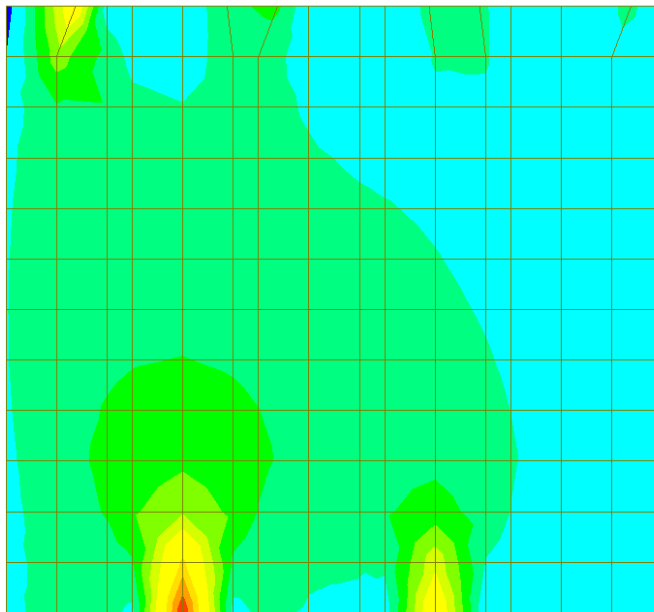
Momento flettente verticale esterno – Inviluppo stato limite esercizio quasi permanente



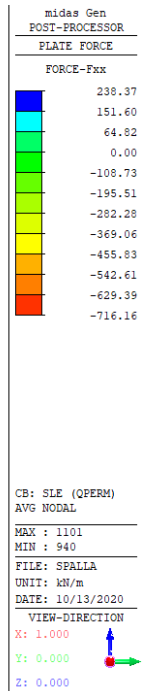
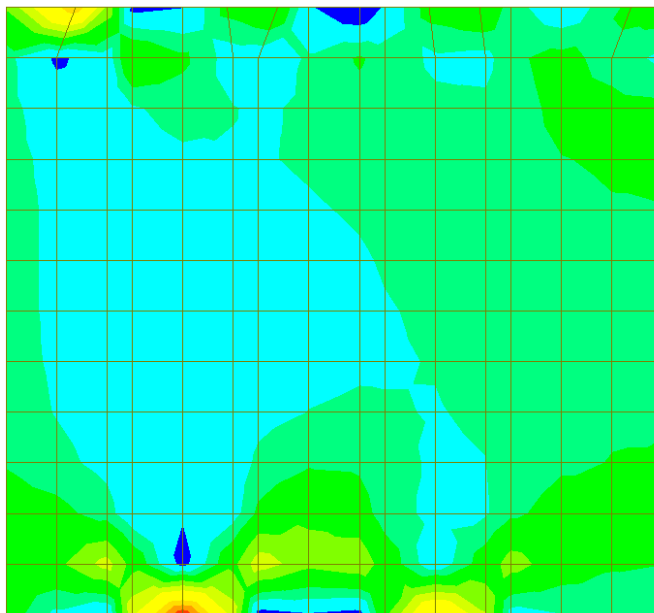
Momento flettente orizzontale interno – Inviluppo stato limite esercizio quasi permanente



Momento flettente orizzontale esterno – Inviluppo stato limite esercizio quasi permanente



Sforzo normale verticale – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Sforzo normale orizzontale – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente

La verifica a fessurazione viene effettuata per le medesime sezioni di verifica utilizzate nella verifica a pressoflessione. Lo sforzo normale di compressione è stato trascurato a favore di sicurezza.

Sezione	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)
S1	SLE Frequente	0	660.7
S2	SLE Frequente	0	561.2
S1	SLE Q-Perm	0	509.5
S2	SLE Q-Perm	0	517.3

Nella seguente tabella si riportano i risultati della verifica a fessurazione. Le sezioni risultano in questo caso sempre non fessurate e interamente reagenti.

Sezione	Combinazione	$\sigma_{ct,max}$	x	σ_s	$A_{c,eff}$	ρ	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	$S_{r,max}$	w_k	verifica
		MPa	mm	MPa	mm ²			mm	mm	
S1	SLE Frequente	0.73		10.1					0.00	si
S2	SLE Frequente	0.61		8.8					0.00	si
S1	SLE Q-Perm	0.56		7.8					0.00	si
S2	SLE Q-Perm	0.57		8.1					0.00	si

7.3. MURO ANDATORE

7.3.1. Premessa

Il software di calcolo Midas Civil fornisce i momenti di Wood Armer che tendono due distinti layer. In questo caso, il layer Top si riferisce al lembo esterno del paramento ed il layer Bottom si riferisce a quello interno.

7.3.2. Armatura minima del muro andatore

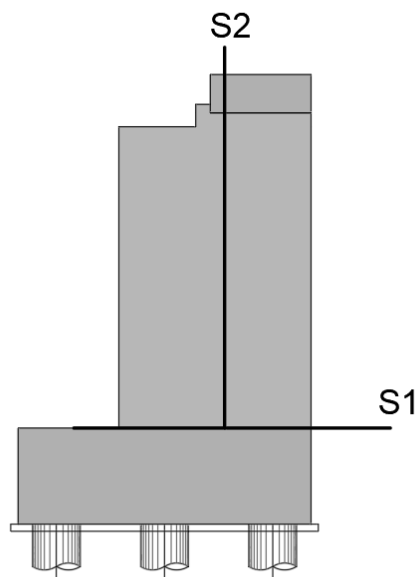
Le NTC non definiscono l'armatura minima per le piastre nel caso sismico, si fa pertanto riferimento al caso statico, dove l'armatura minima richiesta è uguale a quella delle travi:

$$A_s = \max \left(0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}; 0.0013 \cdot b \cdot d \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima del muro, di spessore pari a 0.8 m, è pari a 13.10 cm²/m.

7.3.3. Verifica a pressoflessione SLU/SLV del muro andatore

Di seguito è riportata la posizione delle sezioni di verifica.

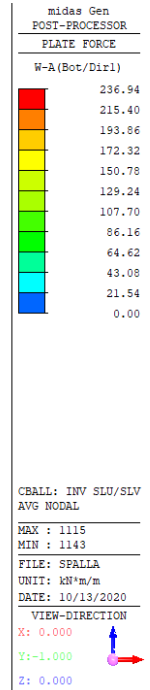
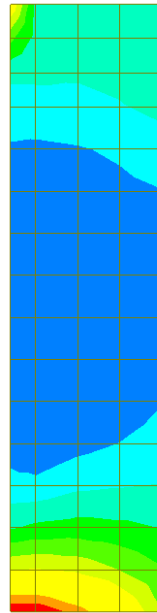


Sezioni di verifica

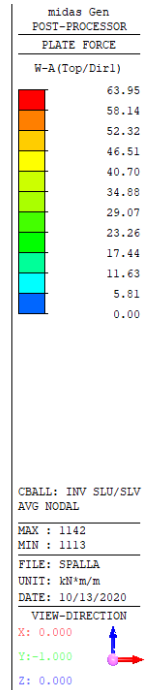
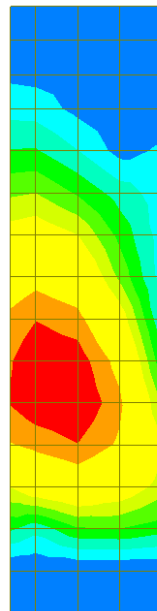
Nella seguente tabella sono mostrate le armature delle sezioni di verifica:

Elemento	Direzione	Sezione	Strato	Armatura	Altezza utile
Muro andatore	Verticale	S1	Esterno	1Ø20/20	d = 75 mm
			Interno	1Ø20/10	d = 725 mm
Muro andatore	Orizzontale	S2	Esterno	1Ø20/20	d = 55 mm
			Interno	1Ø20/20	d = 745 mm

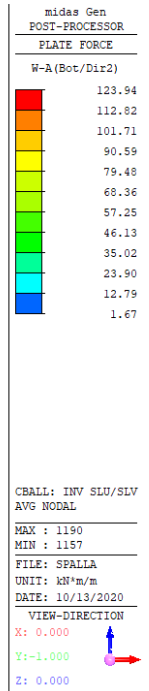
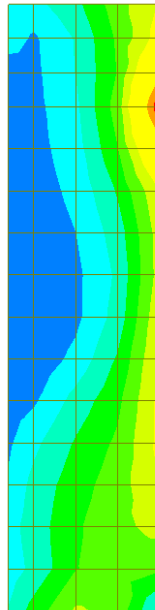
La valutazione delle sollecitazioni viene effettuata con il software Midas Civil, che permette di valutare le sollecitazioni flettenti come momento di Wood Armer. Tale momento è stato utilizzato nelle verifiche strutturali di seguito riportate.



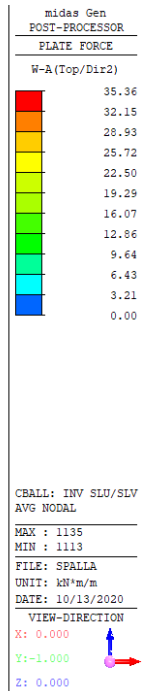
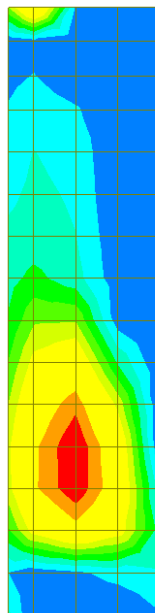
Momento flettente verticale interno – Involuppo stato limite ultimo



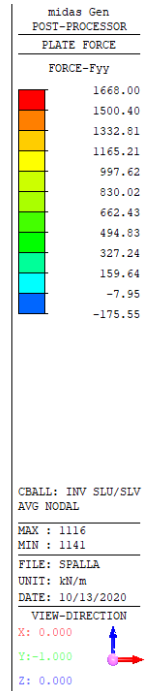
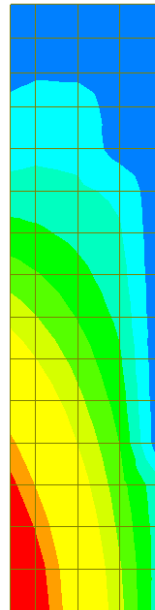
Momento flettente verticale esterno – Involuppo stato limite ultimo



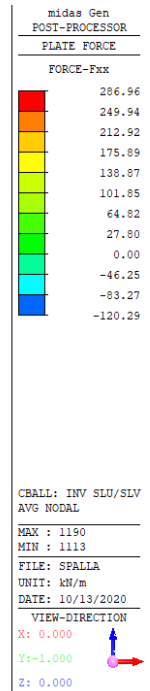
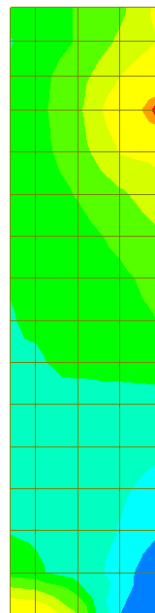
Momento flettente orizzontale interno – Involuppo stato limite ultimo



Momento flettente orizzontale esterno – Involuppo stato limite ultimo



Sforzo normale verticale – Inviluppo stato limite ultimo



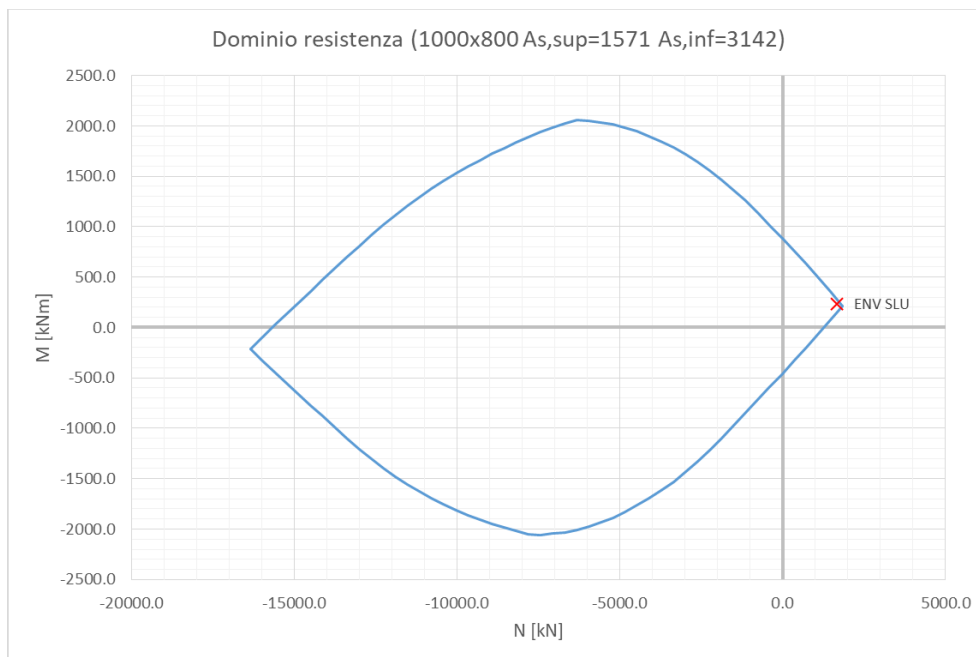
Sforzo normale orizzontale – Inviluppo stato limite ultimo

La parte in trazione del muro andatore viene verificata considerando lo sforzo normale di trazione.

Si riportano di seguito i massimi valori di momento flettente in corrispondenza delle sezioni indicate nella figura riportata in precedenza. (N>0 di trazione)

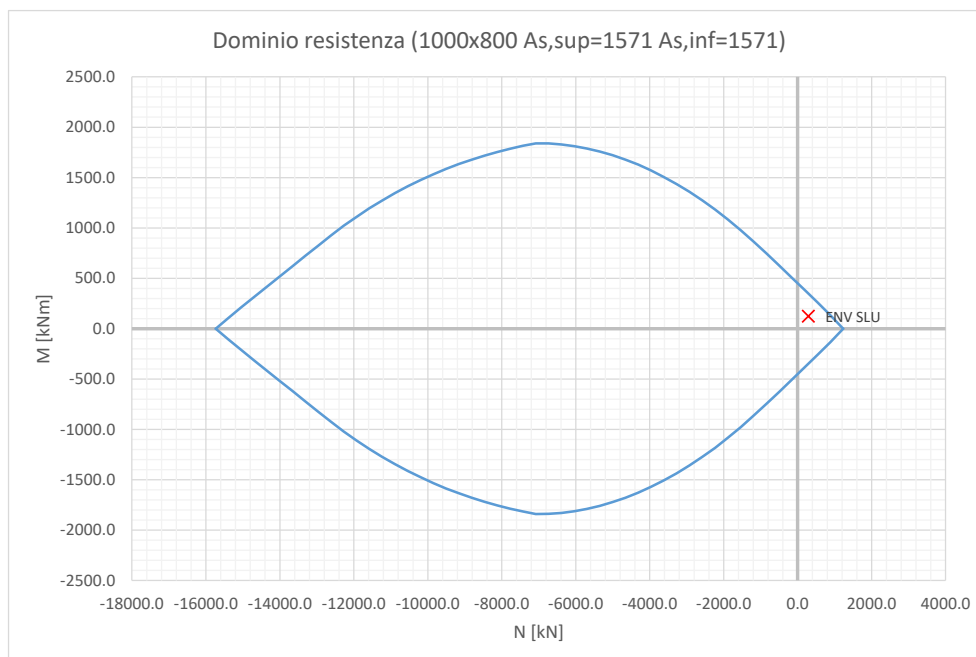
Sezione	Combinazione	N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kN m)
S1	ENV SLU	1668.0	236.9
S2	ENV SLU	287.0	123.9

Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S1 del muro andatore.



Il momento resistente risulta pari a 284.4 kNm ed il momento agente risulta 236.9 kNm (C.s.=1.20).
La verifica risulta pertanto soddisfatta.

Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S2 del muro andatore.



Il momento resistente risulta pari a 349.5 kNm ed il momento agente risulta 123.9 kNm (C.s.=2.82).

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

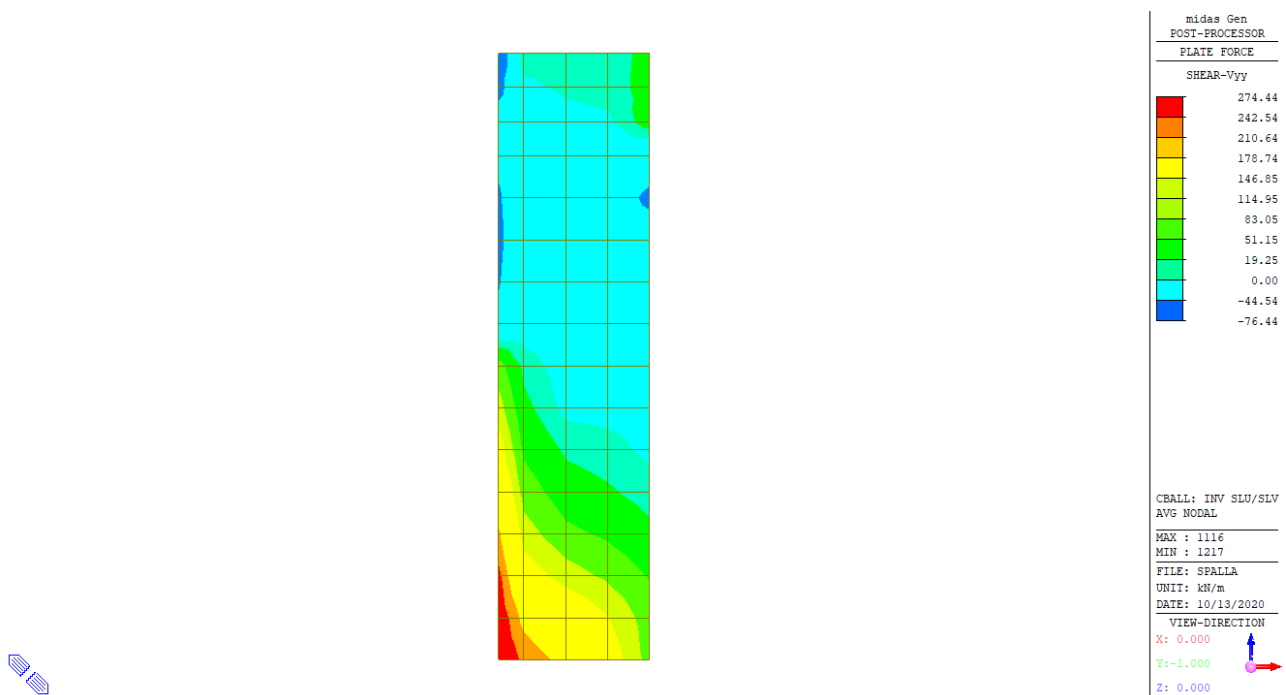
7.3.4. Verifica a taglio del muro andatore

Il muro andatore viene armato a taglio con un'armatura trasversale pari a $\phi 12/400 \times 400$ mm.

La valutazione della resistenza a taglio del muro frontale viene mostrata di seguito.

g_c	[-]	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
g_s	[-]	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
f_{ck}	[N/mm ²]	32	Resistenza caratteristica cilindrica CLS
f_{cd}	[N/mm ²]	18.1	Resistenza a compressione di progetto
f'_{cd}	[N/mm ²]	9.1	Resistenza a compressione ridotta di progetto
f_{yk}	[N/mm ²]	450.0	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
f_{yd}	[N/mm ²]	391.3	Tensione di snervamento di progetto
a_c	[-]	1.00	(vedi NTC2008)
d	[mm]	725	Altezza utile
b_w	[mm]	1000	Larghezza sezione
s	[mm]	400	Passo armatura a taglio
Φl	[mm]	12	Diametro legature
n	[-]	2.5	Numero di legature/metro lineare
A_{sw}	[mm ²]	283	Area armatura a taglio
a	[°]	90	Inclinazione armatura a taglio
q	[°]	22	Inclinazione puntone compresso
V_{Rsd}	[kN]	446	Taglio resistente lato acciaio
V_{Rcd}	[kN]	2055	Taglio resistente lato CLS
V_{Rd}	[kN]	446	Taglio resistente di progetto
V_{Sd}	[kN]	274	Taglio sollecitante di progetto
c.s.	[-]	1.63	Coefficiente di sicurezza

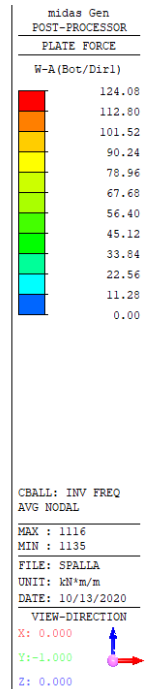
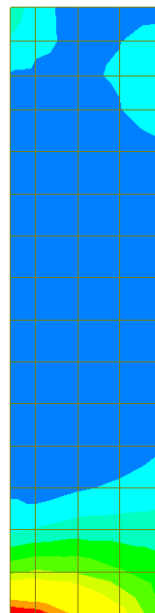
Nella seguente figura viene mostrato il taglio agente sul muro.



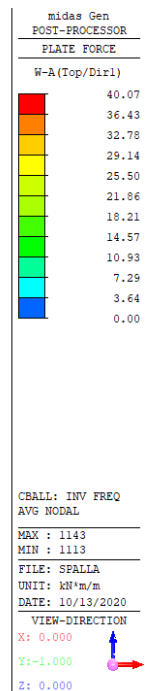
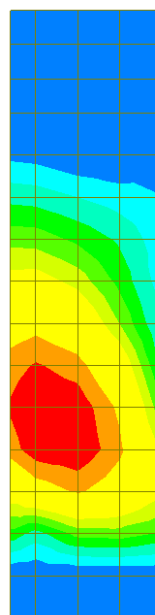
Taglio massimo – Combinazione stato limite ultimo

7.3.5. Verifica a fessurazione del muro andatore

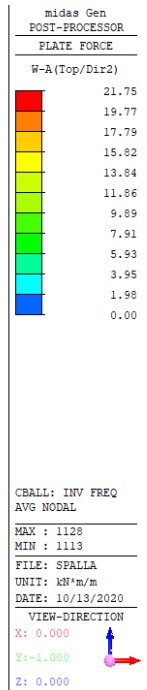
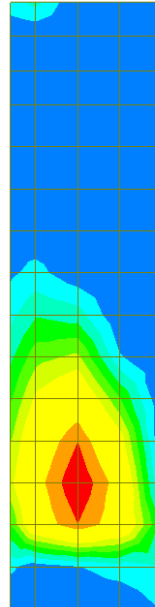
Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni, momento di Wood Armer, riferiti alla combinazione frequente e quasi permanente.



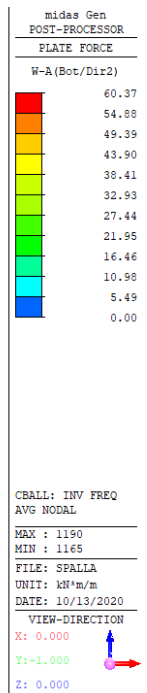
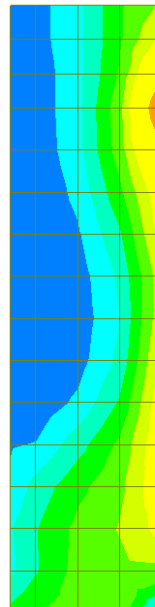
Momento flettente verticale interno – Combinazione stato limite di esercizio frequente



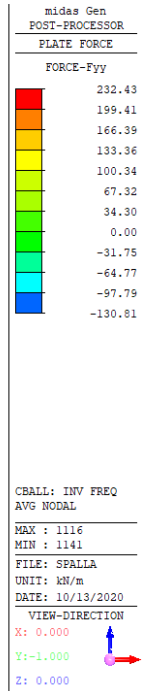
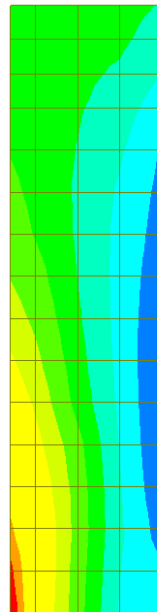
Momento flettente verticale esterno – Combinazione stato limite di esercizio frequente



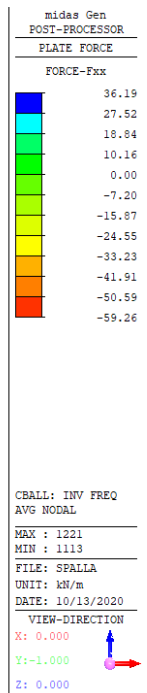
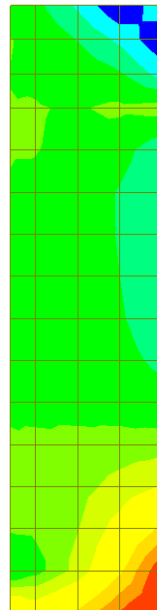
Momento flettente orizzontale esterno – Combinazione stato limite di esercizio frequente



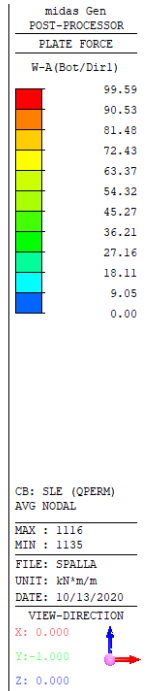
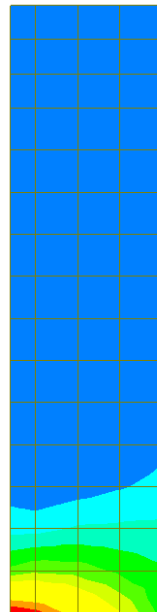
Momento flettente orizzontale interno – Combinazione stato limite di esercizio frequente



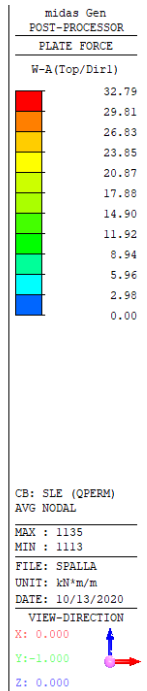
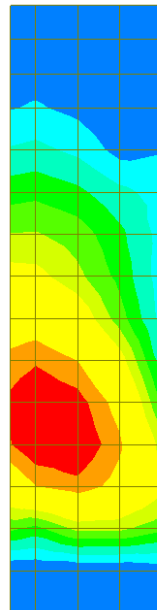
Sforzo normale verticale – Combinazione stato limite di esercizio frequente



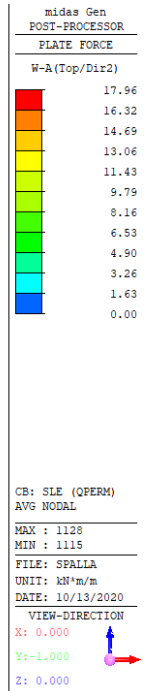
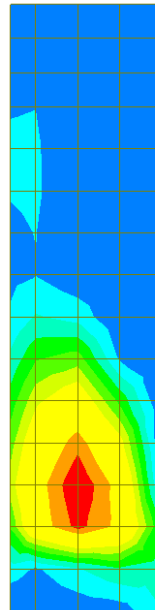
Sforzo normale orizzontale – Combinazione stato limite di esercizio frequente



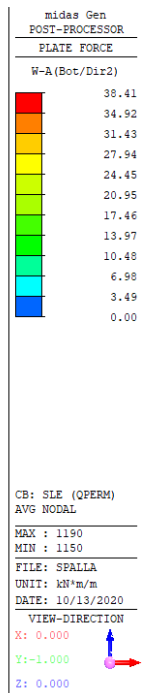
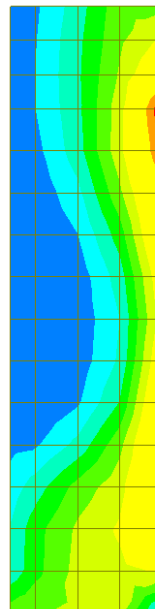
Momento flettente verticale interno – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente



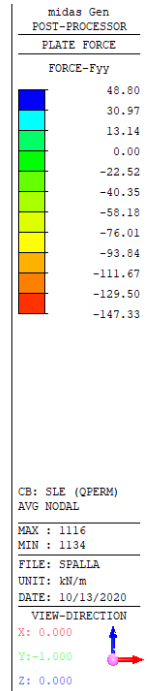
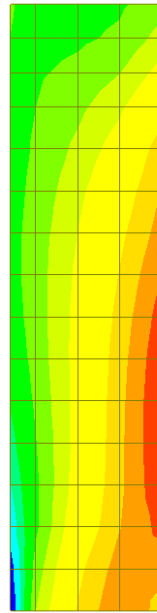
Momento flettente verticale esterno – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente



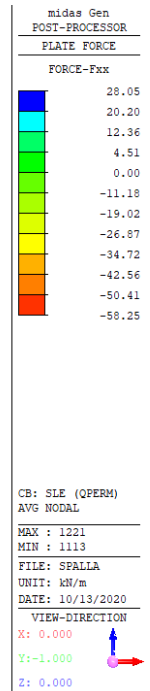
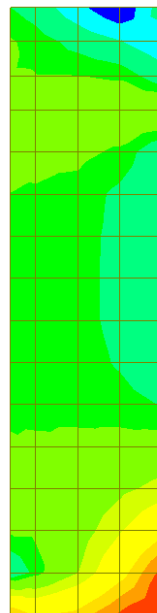
Momento flettente orizzontale esterno – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente



Momento flettente orizzontale interno – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente



Sforzo normale verticale – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente



Sforzo normale orizzontale – Combinazione stato limite di esercizio quasi permanente

La verifica a fessurazione viene effettuata per le medesime sezioni di verifica utilizzate nella verifica a pressoflessione

Sezione	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)
S1	SLE Frequente	232.4	124.1
S2	SLE Frequente	36.2	60.4
S1	SLE Q-Perm	48.8	99.6
S2	SLE Q-Perm	28.1	38.4

Nella seguente tabella si riportano i risultati della verifica a fessurazione. Le sezioni risultano in questo caso sempre non fessurate e interamente reagenti.

Sezione	Combinazione	$\sigma_{ct,max}$	x	σ_s	$A_{c,eff}$	ρ	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	$S_{r,max}$	w_k	verifica
		MPa	mm	MPa	mm ²			mm	mm	
S1	SLE Frequente	1.23		15.9					0.00	si
S2	SLE Frequente	0.54		7.2					0.00	si
S1	SLE Q-Perm	0.83		10.4					0.00	si
S2	SLE Q-Perm	0.35		4.7					0.00	si

7.4. PLATEA DI FONDAZIONE

7.4.1. Premessa

Il software di calcolo Midas Civil fornisce i momenti di Wood Armer che tendono due distinti layer. In questo caso, il layer Top si riferisce al lembo superiore della platea ed il layer Bottom si riferisce a quello inferiore.

7.4.2. Armatura minima della platea di fondazione

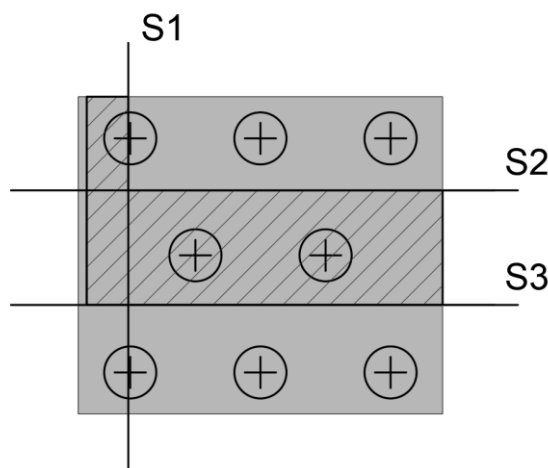
Le NTC non definiscono l'armatura minima per le piastre nel caso sismico, si fa pertanto riferimento al caso statico, dove l'armatura minima richiesta è uguale a quella delle travi:

$$A_s = \max \left(0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}; 0.0013 \cdot b \cdot d \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima della platea, di spessore pari a 2.0 m, è pari a 31.17 cm²/m.

7.4.3. Verifica a pressoflessione SLU/SLV della platea di fondazione

Di seguito è riportata la posizione delle sezioni di verifica.



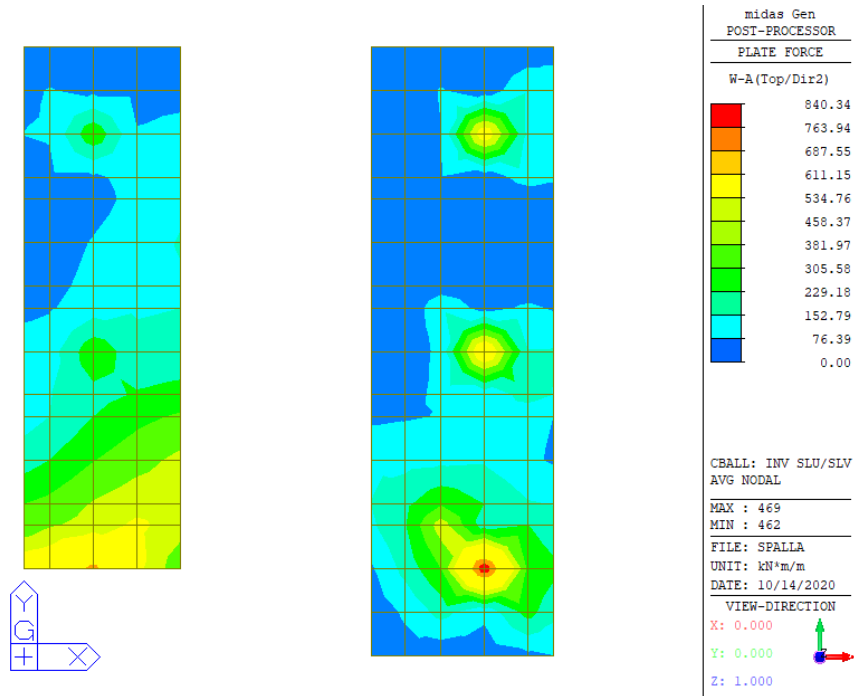
Sezioni di verifica

Per la definizione dell'armatura si intende direzione longitudinale quella direzione coincidente all'asse longitudinale dell'impalcato e si intende direzione trasversale quella coincidente all'asse trasversale dell'impalcato.

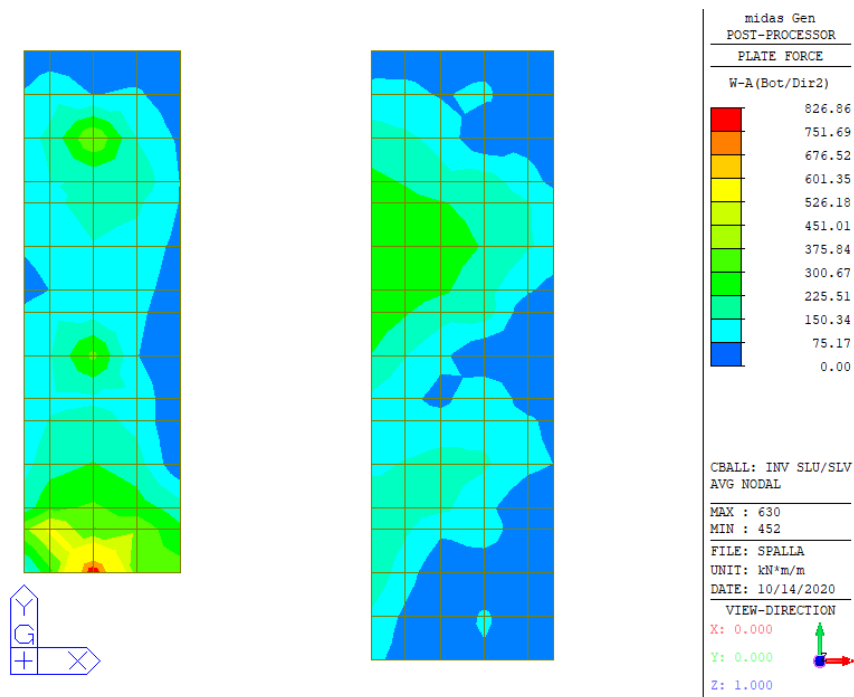
Nella seguente tabella sono mostrate le armature delle sezioni di verifica:

Elemento	Direzione	Sezione	Strato	Armatura	Altezza utile
Platea	Trasversale	S1	Superiore	1Ø20/10	d = 70 mm
			Inferiore	1Ø20/10	d = 1930 mm
Platea	Longitudinale	S2, S3	Superiore	1Ø20/10	d = 50 mm
			Inferiore	1Ø20/10	d = 1950 mm

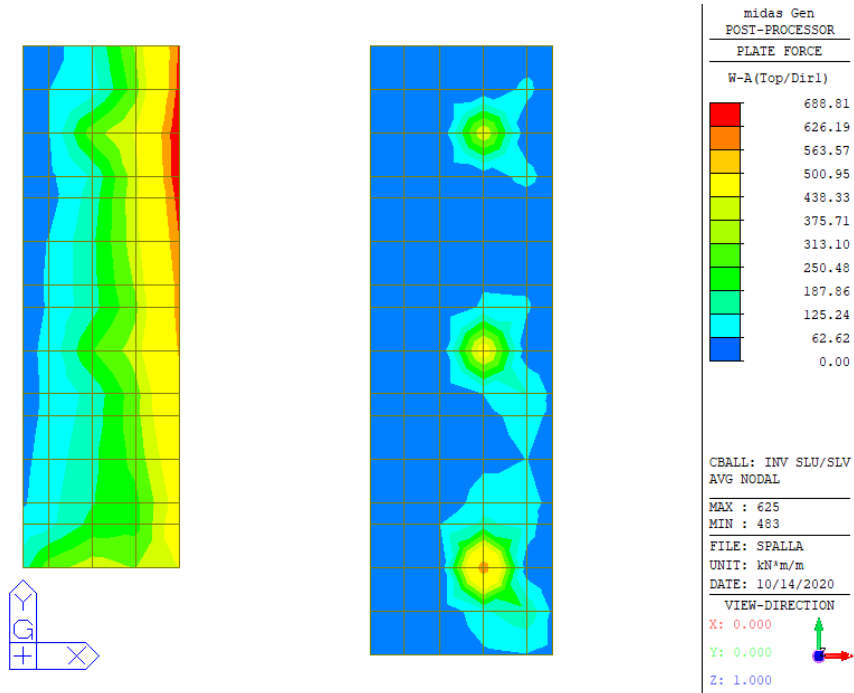
La valutazione delle sollecitazioni viene effettuata con il software Midas Civil, che permette di valutare le sollecitazioni flettenti come momento di Wood Armer. Tale momento è stato utilizzato nelle verifiche strutturali di seguito riportate.



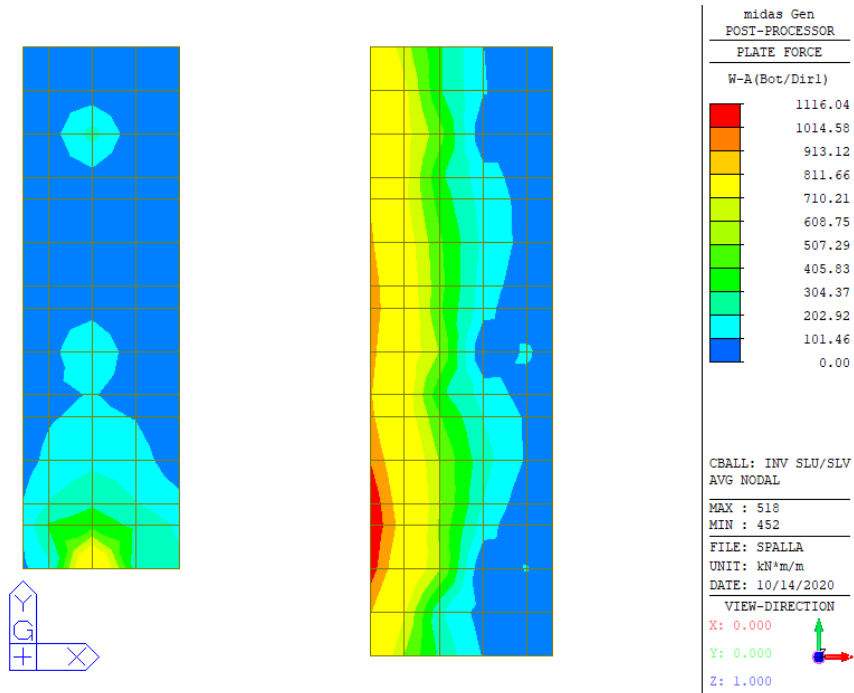
Momento flettente trasversale superiore – Inviluppo stato limite ultimo



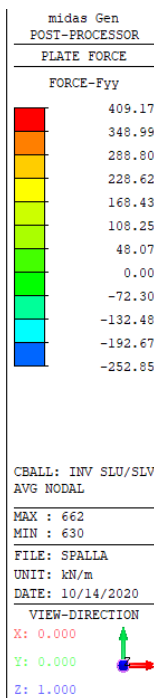
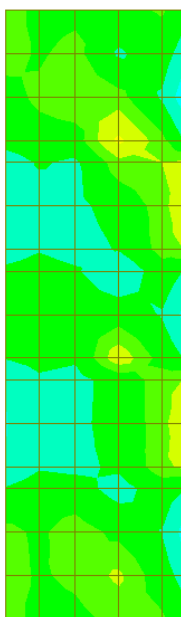
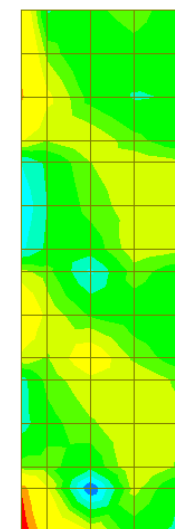
Momento flettente trasversale inferiore – Inviluppo stato limite ultimo



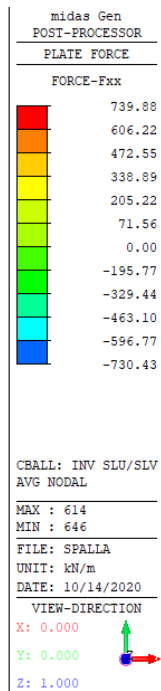
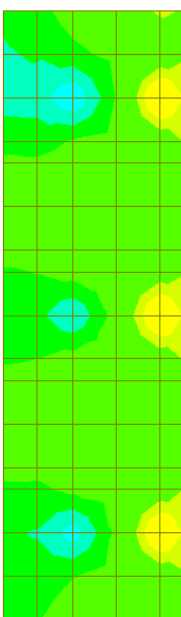
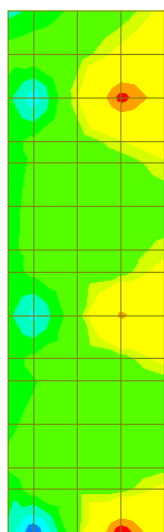
Momento flettente longitudinale superiore – Involuppo stato limite ultimo



Momento flettente longitudinale inferiore – Involuppo stato limite ultimo



Sforzo normale trasversale – Inviluppo stato limite ultimo



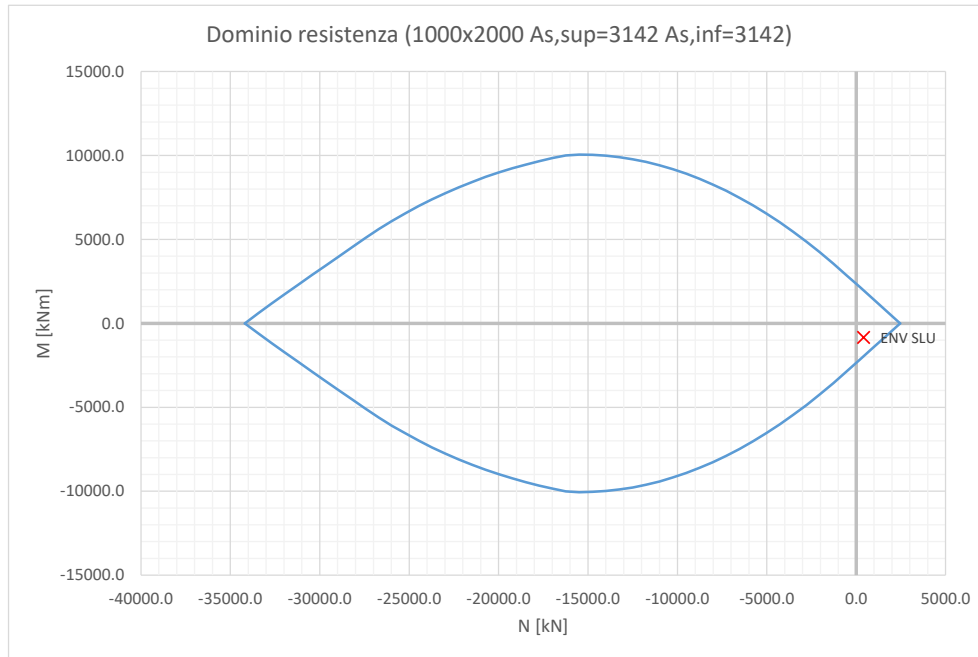
Sforzo normale longitudinale – Inviluppo stato limite ultimo

In alcune sezioni la platea di fondazione risulta in parte in trazione. Quest'ultimo viene considerato all'interno della verifica a pressoflessione.

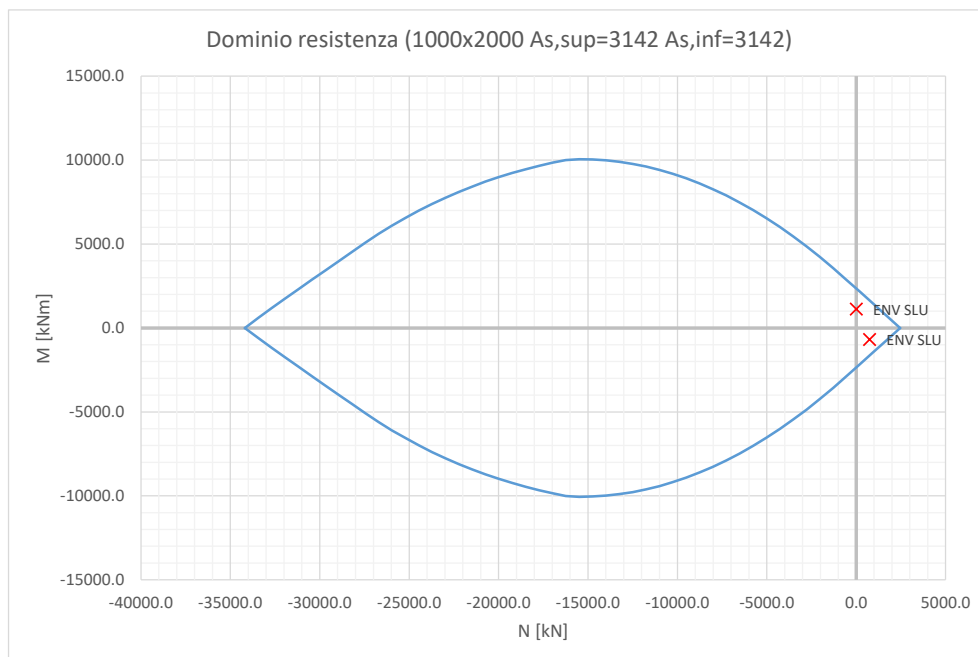
Si riportano di seguito i massimi valori di momento flettente in corrispondenza delle sezioni indicate nella figura riportata in precedenza. (N>0 di trazione)

Sezione	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)
S1	ENV SLU	409.2	840.3
S2	ENV SLU	740	688.8
S3	ENV SLU	0	1116.0

Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S1 della platea di fondazione.



Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza della sezione di verifica S2 e S3 della platea di fondazione.



Di seguito è riportata una tabella riassuntiva di ciascuna verifica a flessione della platea:

Sezione	Combinazione	N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kN m)	M _{Rd} (kN m)	C.s.
S1	ENV SLU	409.2	840.3	1964.0	2.34
S2	ENV SLU	740	688.8	1648.0	2.39
S3	ENV SLU	0	1116.0	2353.6	2.11

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

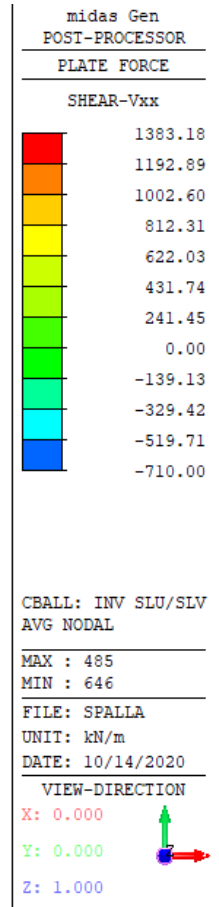
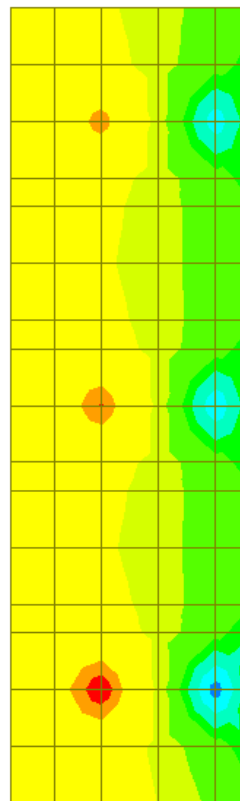
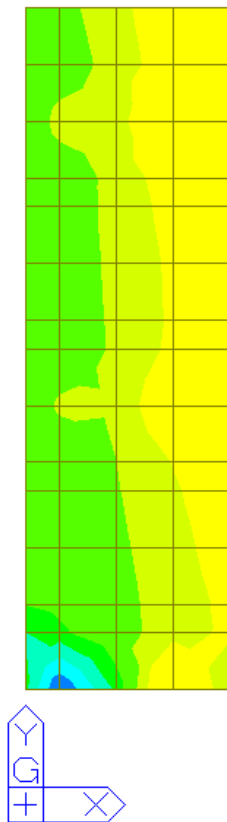
7.4.4. Verifica a taglio della platea di fondazione

La platea di fondazione viene armata a taglio con un'armatura trasversale pari a $\phi 14/400 \times 400$ mm.

La valutazione della resistenza a taglio viene mostrata di seguito.

g_c	[-]	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
g_s	[-]	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
f_{ck}	[N/mm ²]	28	Resistenza caratteristica cilindrica CLS
f_{cd}	[N/mm ²]	15.9	Resistenza a compressione di progetto
f'_{cd}	[N/mm ²]	7.9	Resistenza a compressione ridotta di progetto
f_{yk}	[N/mm ²]	450.0	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
f_{yd}	[N/mm ²]	391.3	Tensione di snervamento di progetto
a_c	[-]	1.00	(vedi NTC2008)
d	[mm]	1930	Altezza utile
b_w	[mm]	1000	Larghezza sezione
s	[mm]	400	Passo armatura a taglio
Φl	[mm]	14	Diametro legature
n	[-]	2.5	Numero di legature/metro lineare
A_{sw}	[mm ²]	385	Area armatura a taglio
α	[°]	90	Inclinazione armatura a taglio
q	[°]	22	Inclinazione puntone compresso
V_{Rsd}	[kN]	1618	Taglio resistente lato acciaio
V_{Rcd}	[kN]	4786	Taglio resistente lato CLS
V_{Rd}	[kN]	1618	Taglio resistente di progetto
V_{Sd}	[kN]	1383	Taglio sollecitante di progetto
c.s.	[-]	1.17	Coefficiente di sicurezza

Nella seguente figura viene mostrato l'andamento del taglio nella platea di fondazione.

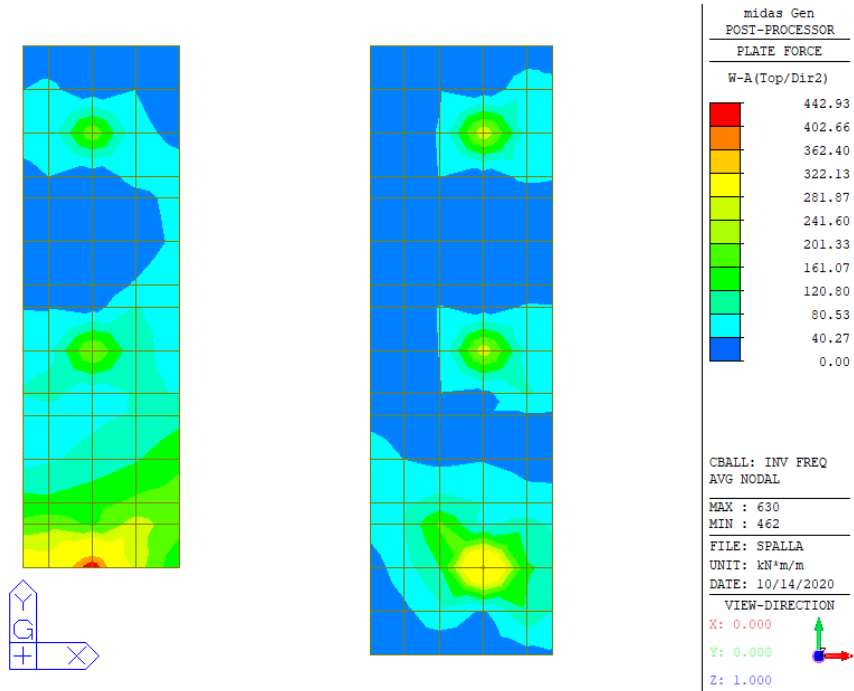


Taglio massimo – Involuppo SLU

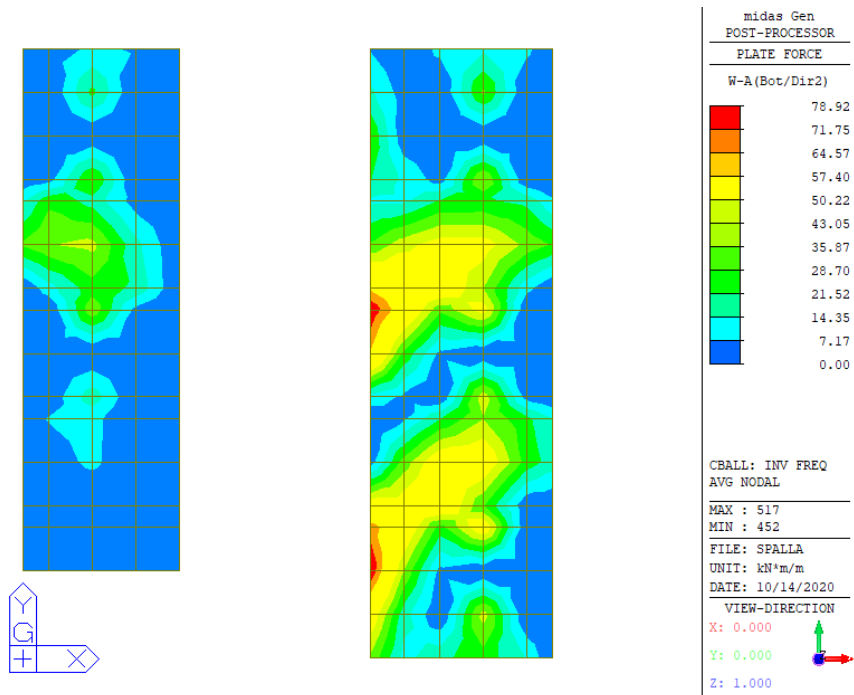
La verifica a taglio risulta pertanto soddisfatta.

7.4.5. Verifica a fessurazione della platea di fondazione

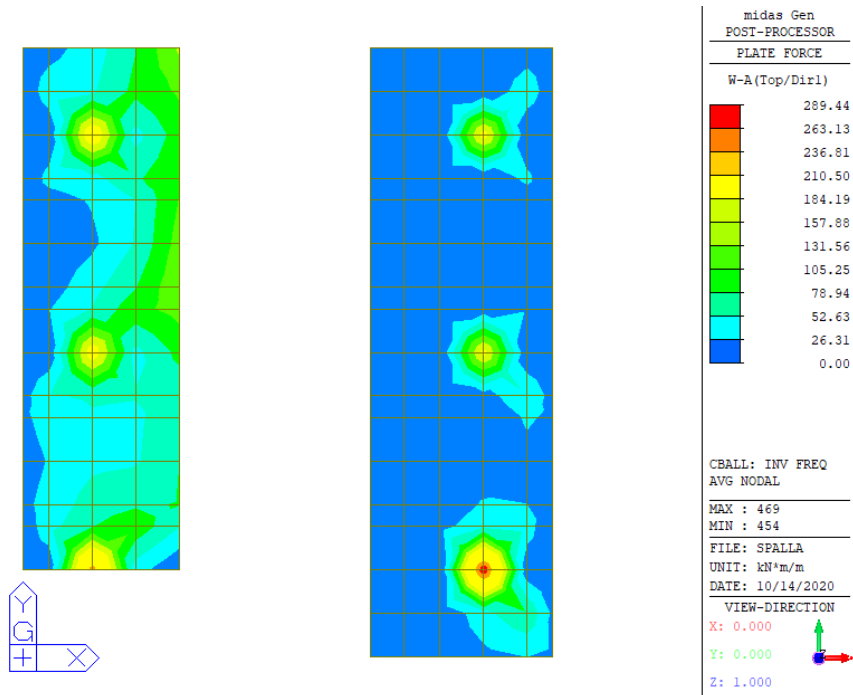
Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni, momento di Wood Armer, riferiti alla combinazione frequente e quasi permanente.



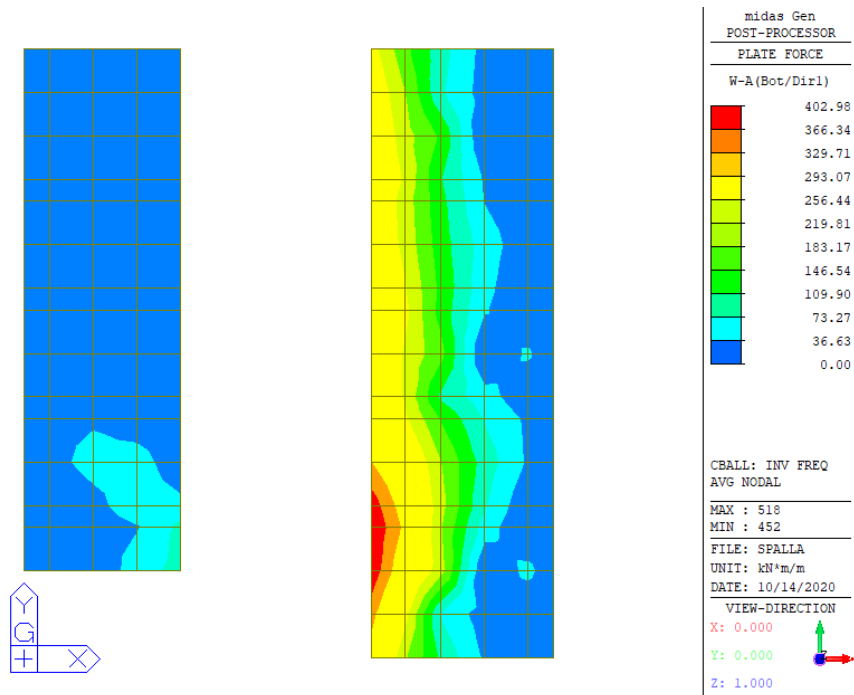
Momento flettente trasversale superiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



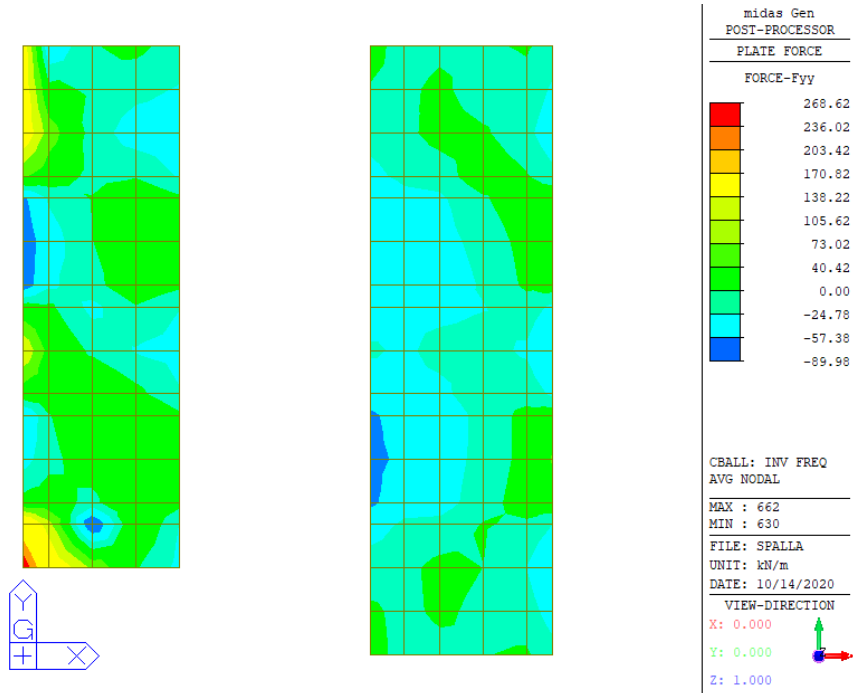
Momento flettente trasversale inferiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



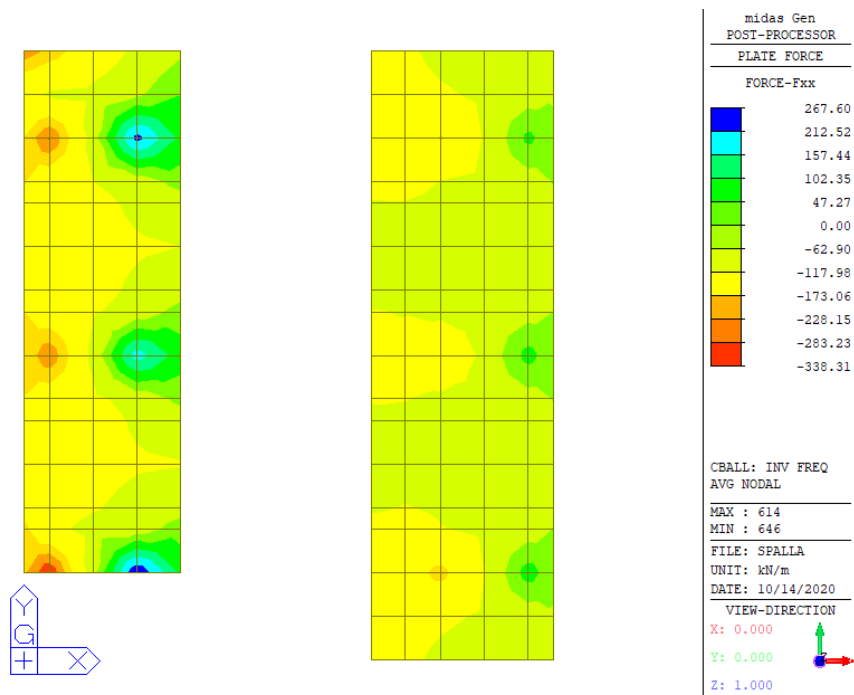
Momento flettente longitudinale superiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



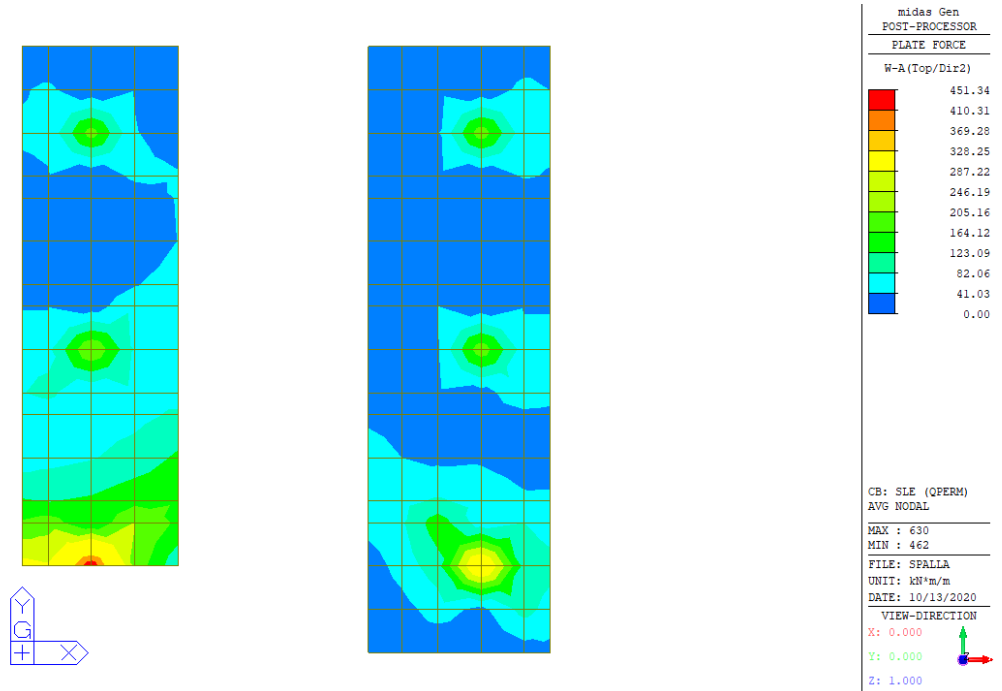
Momento flettente longitudinale inferiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



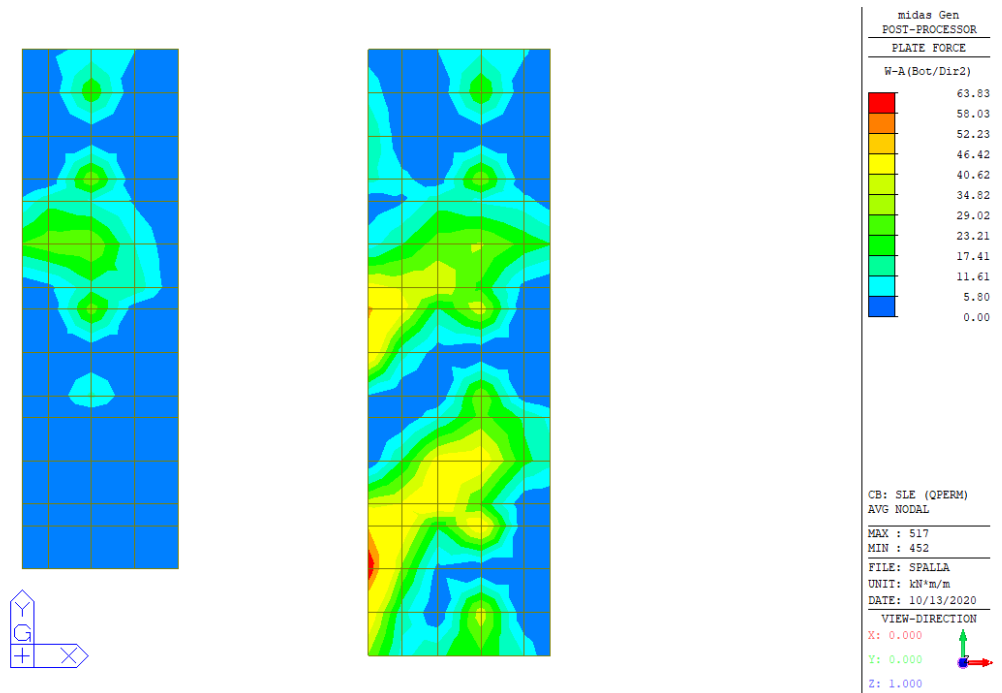
Sforzo normale trasversale – Combinazione stato limite esercizio frequente



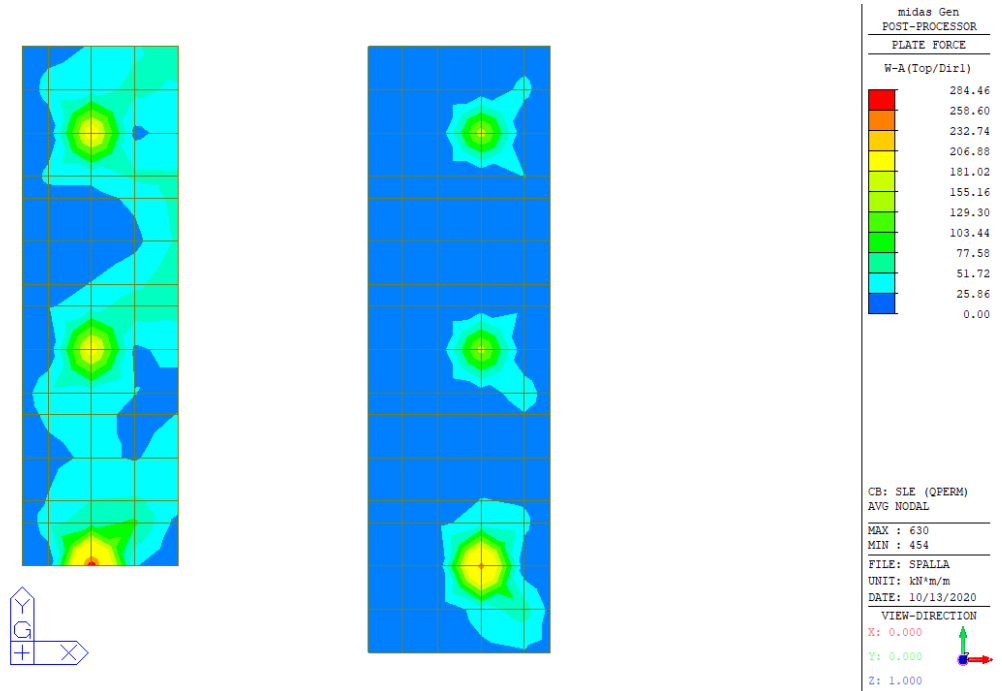
Sforzo normale longitudinale – Combinazione stato limite esercizio frequente



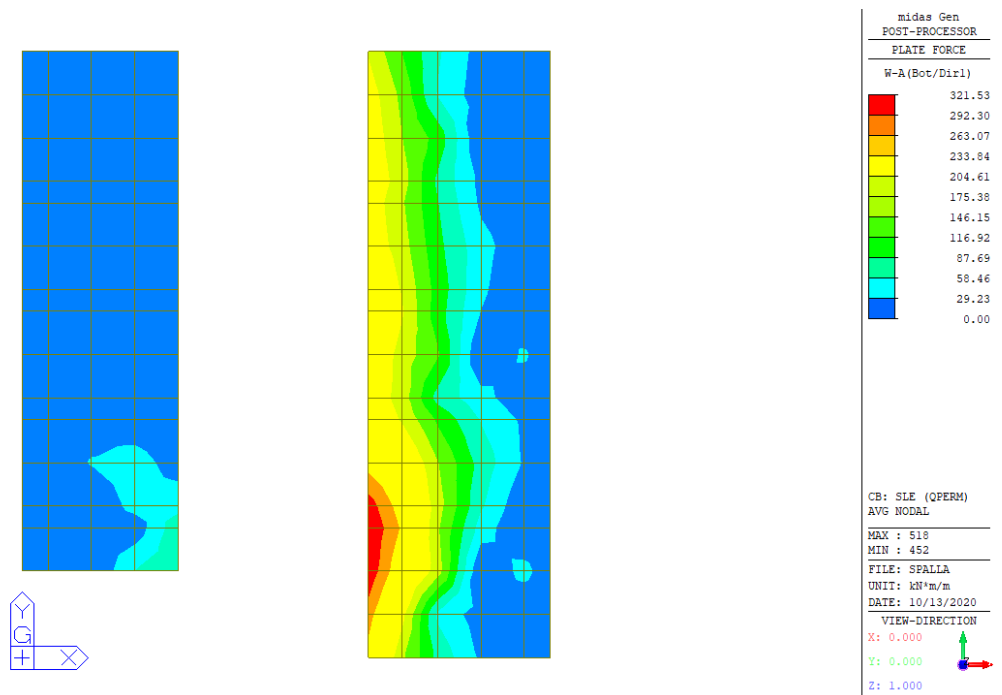
Momento flettente trasversale superiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



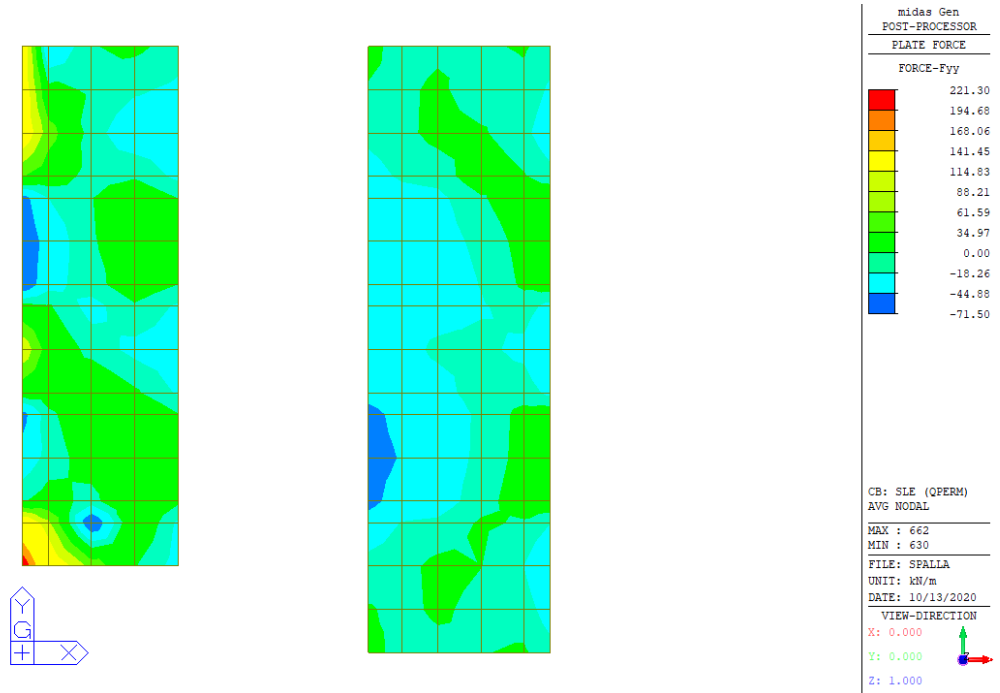
Momento flettente trasversale inferiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



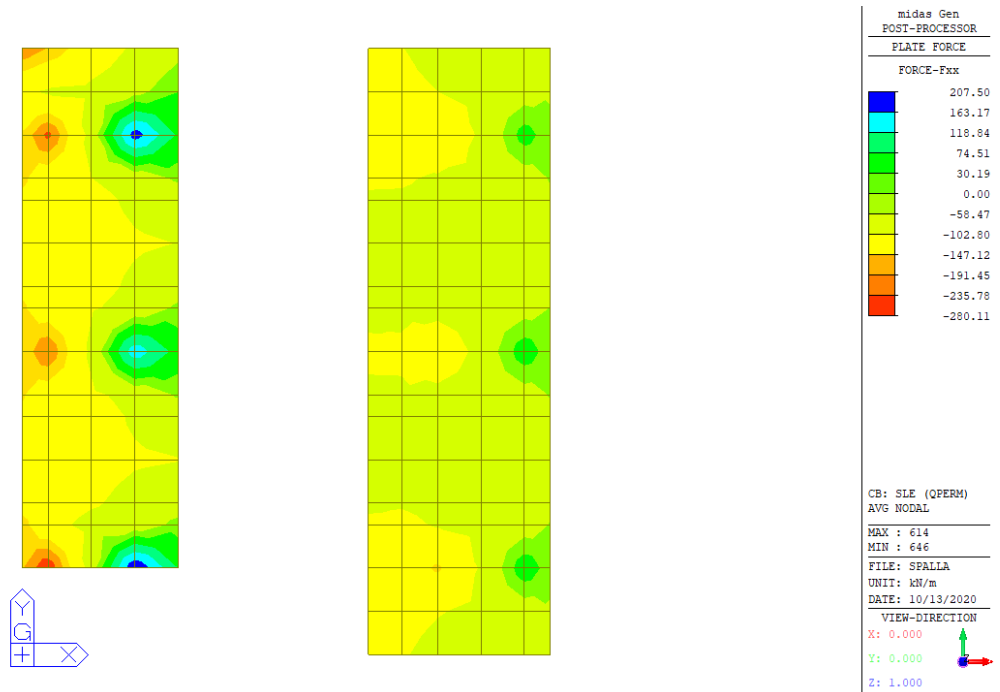
Momento flettente longitudinale superiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Momento flettente longitudinale inferiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Sforzo normale trasversale – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Sforzo normale longitudinale – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente

La verifica a fessurazione viene effettuata per le medesime sezioni di verifica utilizzate nella verifica a flessione.

Sezione	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)
S1	SLE Frequente	268.6	-442.9
S2	SLE Frequente	267.6	-289.4
S3	SLE Frequente	0.0	403.0
S1	SLE Q-Perm	221.3	-451.3
S2	SLE Q-Perm	207.5	-284.5
S3	SLE Q-Perm	0.0	321.5

Nella seguente tabella si riportano i risultati della verifica a fessurazione. Le sezioni risultano in questo caso sempre non fessurate e interamente reagenti.

Sezione	Combinazione	$\sigma_{ct,max}$	x	σ_s	$A_{c,eff}$	ρ	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	$S_{r,max}$	w_k	verifica
		MPa	mm	MPa	mm ²			mm	mm	
S1	SLE Frequente	0.72		10.2					0.00	si
S2	SLE Frequente	0.51		7.4					0.00	si
S3	SLE Frequente	0.54		7.6					0.00	si
S1	SLE Q-Perm	0.71		10.0					0.00	si
S2	SLE Q-Perm	0.48		6.9					0.00	si
S3	SLE Q-Perm	0.43		6.1					0.00	si

8. ANALISI E VERIFICA DELLE PILE

Le pile sono state analizzate attraverso un modello FEM con l'ausilio del programma di calcolo MIDAS CIVIL 2020.

A livello geometrico, si considera come piano di riferimento quello di estradosso soletta associando pertanto opportuni "offset" sezionali per modellare le corrette posizioni dei baricentri dei vari elementi. Convenzionalmente si adotta il seguente sistema di riferimento

- asse X = asse orizzontale longitudinale
- asse Y = asse orizzontale trasversale
- asse Z = asse verticale

L'analisi delle sollecitazioni agenti sulla pila è strutturata come segue:

- determinazione azioni dell'impalcato afferente
- determinazione azioni sul corpo pila
- combinazione delle azioni

L'analisi delle pile è stata eseguita all'interno del modello spaziale della sovrastruttura.

La struttura delle pile, costituita da un fusto in c.a., è stata discretizzata attraverso elementi "beam".

Le azioni provenienti dall'impalcato sono state applicate al modello in corrispondenza di ciascun appoggio.

Per le fondazioni esistenti sono state considerate appoggiate su molle alla winkler, agenti in direzione longitudinale e verticale. La componente trasversale è stata trascurata.

La fondazione dell'ampliamento in oggetto è stata considerata incastrata nel baricentro in modo da poter trasferire la totalità delle sollecitazioni di progetto ai pali.

Si riportano di seguito i risultati delle analisi degli elementi della pila e le relative verifiche.

8.1. FUSTO DELLA PILA

8.1.1. Armatura minima del fusto della pila

L'armatura minima a flessione è data dalla seguente relazione:

$$A_s = \max \left(0.1 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yk}}; 0.003 \cdot A_c \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima è pari a 60 cm².

8.1.2. Verifica a pressoflessione e taglio SLU/SLV del fusto della pila

Ciascuna pila viene armata a flessione con 52φ24 e a taglio con staffe/spilli φ12/20 cm.

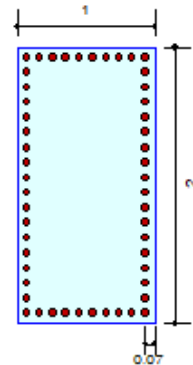
Di seguito viene riportata la verifica a pressoflessione e taglio della pila più sollecitata.

1. Design Condition

Design Code Eurocode2-2:05
Unit System kN, m
Member Number 3600 (PM), 3600 (Shear)
Material Data $f_{ck} = 32000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa
Column Height 5.15 m
Section Property Pila new (No : 14)

Rebar Pattern	Pos 1	Pos 2	Pos 3
Layer 1	10-P24	16-P24	--

Total Rebar Area $A_{st} = 0.023504 \text{ m}^2$ ($R_{hst} = 0.0118$)



2. Applied Loads

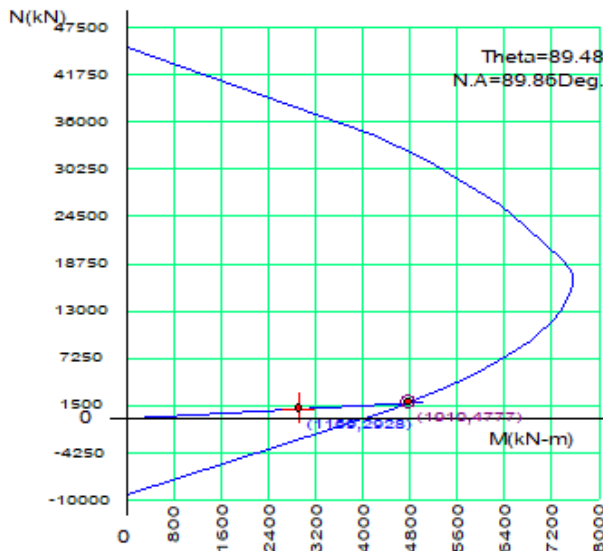
Load Combination 10 AT (I) Point

$N_{Ed} = 1169.05 \text{ kN}$, $M_{Edy} = -37.768$, $M_{Edz} = 2927.32$, $M_{Ed} = 2927.57 \text{ kN-m}$

3. Axial Forces and Moments Resistance Check

Concentric Max. Axial Load $N_{Rdmax} = 45037.7 \text{ kN}$
Axial Load Ratio $N_{Ed}/N_{Rd} = 1169.05 / 1910.21 = 0.612 < 1.000$ O.K
Moment Ratio $M_{Edy}/M_{Rdy} = -37.768 / 43.4543 = 0.869 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 2927.32 / 4777.13 = 0.613 < 1.000$ O.K
 $M_{Ed}/M_{Rd} = 2927.57 / 4777.32 = 0.613 < 1.000$ O.K

4. P-M Interaction Diagram



N_{Rd} (kN)	M_{Rd} (kN-m)
45037.68	0.00
31434.57	5069.33
25852.10	6323.63
21222.73	7101.46
17594.43	7562.68
15472.61	7526.88
13755.72	7418.47
12199.46	7259.01
10462.21	7017.15
8279.25	6609.65
5322.71	5875.04
1193.12	4497.26
-9197.22	0.00

5. Shear Force Resistance Check

Applied Shear Resistance $V_{Edy} = 1047.59$, $V_{Edz} = 633.625 \text{ kN}$ (Load Combination 5)
Shear Resistance (Y-Direction) $V_{Rdy} = 768.785$, $V_{Rdsy} = 1818.64 \text{ kN}$ (5.0-P12 @200)
Shear Resistance (Z-Direction) $V_{Rdcz} = 637.222$, $V_{Rdsz} = 3324.62 \text{ kN}$ (5.0-P12 @200)
Shear Ratio $V_{Ed}/V_{Rd} = 633.625 / 637.222 = 0.994 < 1.000$ O.K

8.1.3. Verifica a fessurazione del fusto della pila

La verifica a fessurazione risulta soddisfatta in quanto ciascuna sezione risulta interamente compressa, per cui l'apertura delle fessure è sempre pari a 0, come mostrato di seguito.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pila nuove fessurazione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	200
3	100	200
4	100	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
48	4.52	57.06	192.5
49	4.52	71.22	192.5
50	4.52	85.38	192.5
51	4.52	14.58	192.5
52	4.52	28.74	192.5

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="1343"/>	<input type="text" value="1892"/> kN
M _{xEd}	<input type="text" value="3084"/>	<input type="text" value="557"/> kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="3243"/>	<input type="text" value="60"/>

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

ϵ_{su}	<input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f_{yd}	<input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ϵ_{cu}	<input type="text" value="3.5"/> ‰
E_s	<input type="text" value="200000"/> N/mm²	f_{cd}	<input type="text" value="18.13"/>
E_s/E_c	<input type="text" value="15"/>	f_{cc}/f_{cd}	<input type="text" value="0.8"/> ?
ϵ_{syd}	<input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm²	τ_{co}	<input type="text" value="0.7333"/>
		τ_{c1}	<input type="text" value="2.114"/>

σ_c N/mm²

ϵ_s ‰

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

8.2. PLATEA DI FONDAZIONE

8.2.1. Premessa

Il software di calcolo Midas Civil fornisce i momenti di Wood Armer che tendono due distinti layer. In questo caso, il layer Top si riferisce al lembo superiore della platea ed il layer Bottom si riferisce a quello inferiore.

8.2.2. Armatura minima della platea di fondazione

Le NTC non definiscono l'armatura minima per le piastre nel caso sismico, si fa pertanto riferimento al caso statico, dove l'armatura minima richiesta è uguale a quella delle travi:

$$A_s = \max \left(0.26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}; 0.0013 \cdot b \cdot d \right)$$

Si ottiene che l'armatura minima della platea, di spessore pari a 1.4 m, è pari a 21.45 cm²/m.

8.2.3. Verifica a pressoflessione SLU/SLV della platea di fondazione

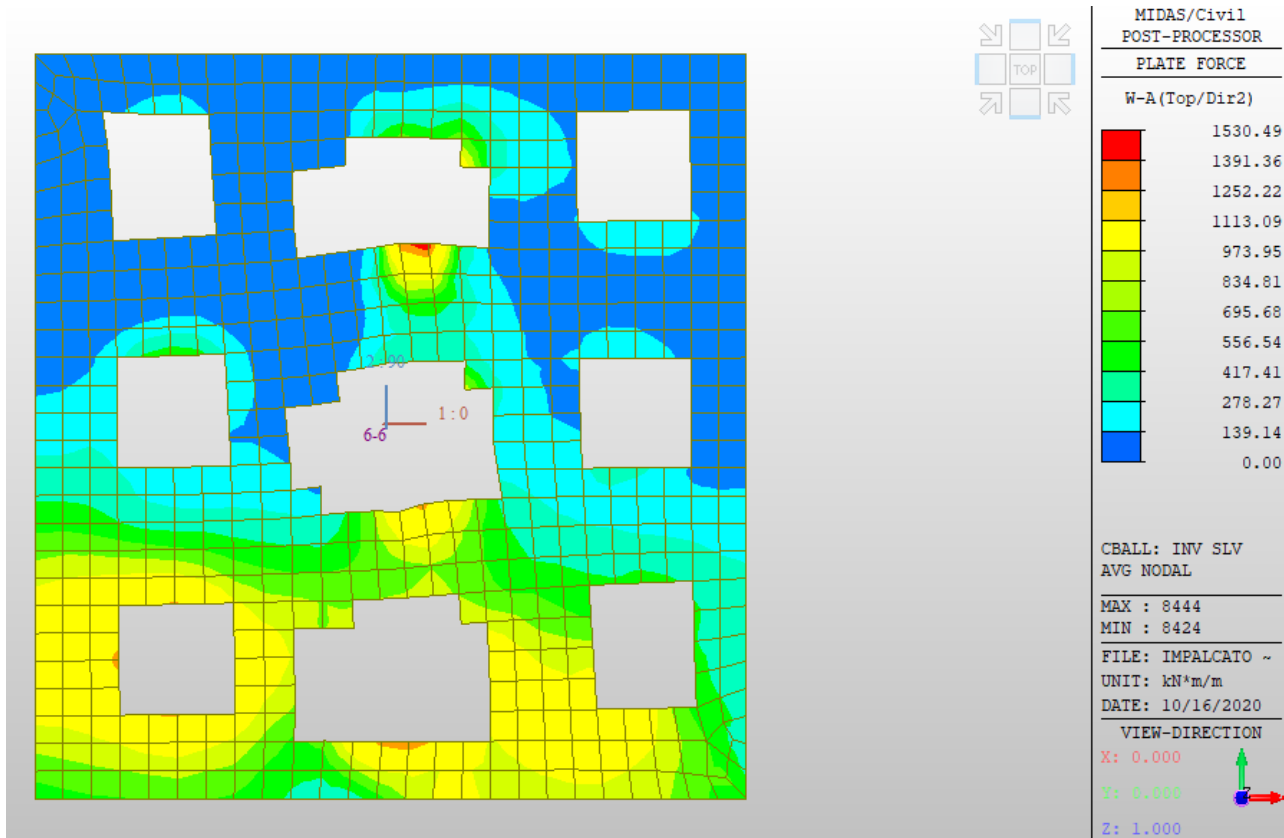
Per la definizione dell'armatura si intende direzione longitudinale quella direzione coincidente all'asse longitudinale dell'impalcato e si intende direzione trasversale quella coincidente all'asse trasversale dell'impalcato.

Nella seguente tabella sono mostrate le armature delle sezioni di verifica:

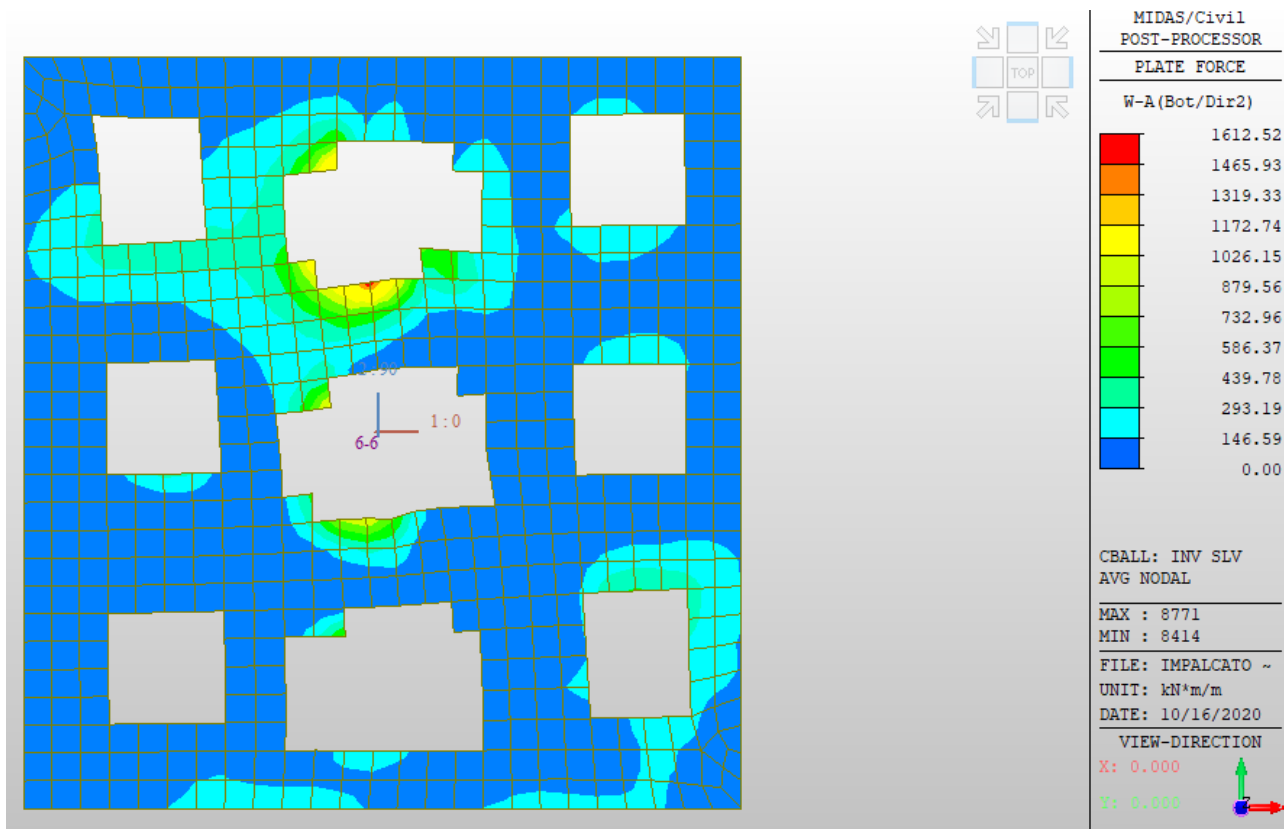
Elemento	Direzione	Strato	Armatura	Altezza utile
Platea	Trasversale	Superiore	1Ø22/10	d = 72 mm
		Inferiore	1Ø22/10	d = 1327 mm
Platea	Longitudinale	Superiore	1Ø22/10	d = 51 mm
		Inferiore	1Ø22/10	d = 1349 mm

La valutazione delle sollecitazioni viene effettuata con il software Midas Civil, che permette di valutare le sollecitazioni flettenti come momento di Wood Armer. Tale momento è stato utilizzato nelle verifiche strutturali di seguito riportate.

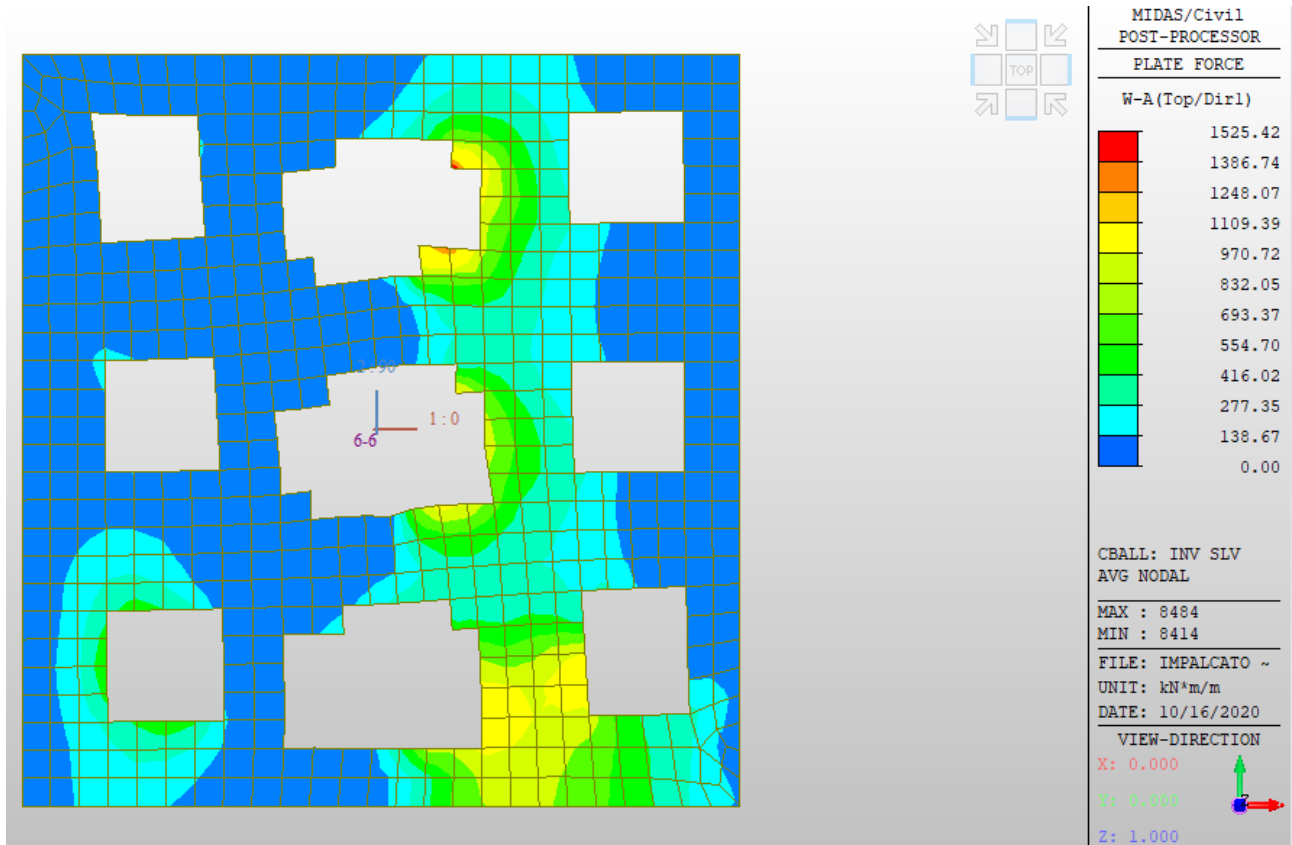
Nelle seguenti figure sono stati eliminati dalla verifica gli elementi corrispondenti all'impronta delle pile e dei pali in quanto assimilabili a nodi rigidi.



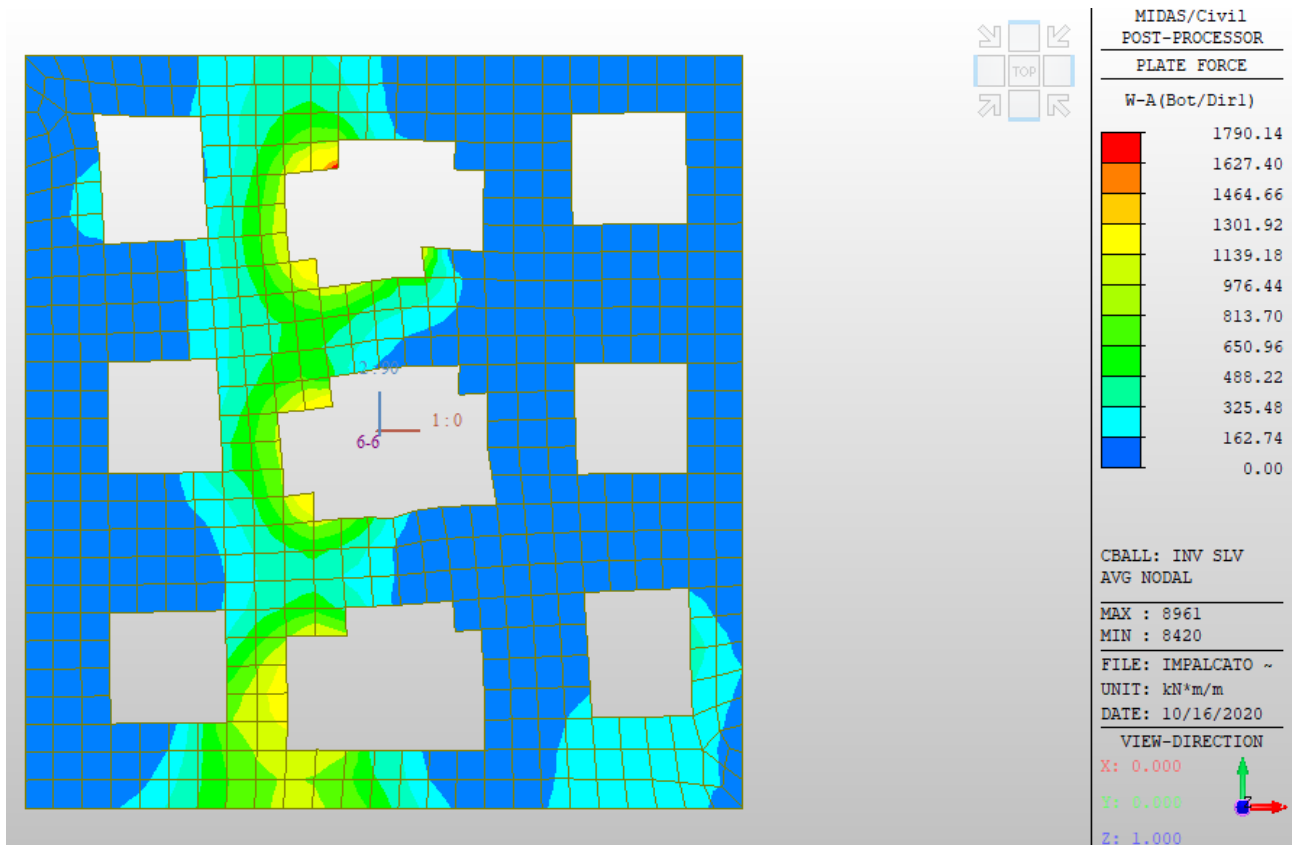
Momeno flettente trasversale superiore – Involuppo stato limite ultimo



Momeno flettente trasversale inferiore – Involuppo stato limite ultimo



Momento flettente longitudinale superiore – Involuppo stato limite ultimo

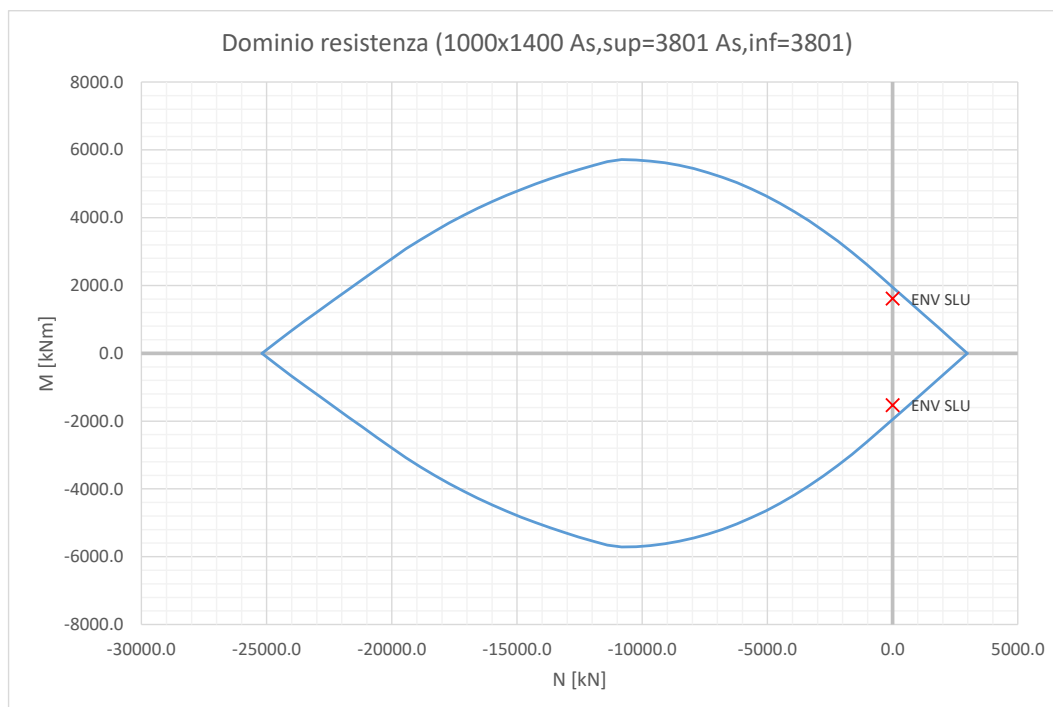


Momento flettente longitudinale inferiore – Involuppo stato limite ultimo

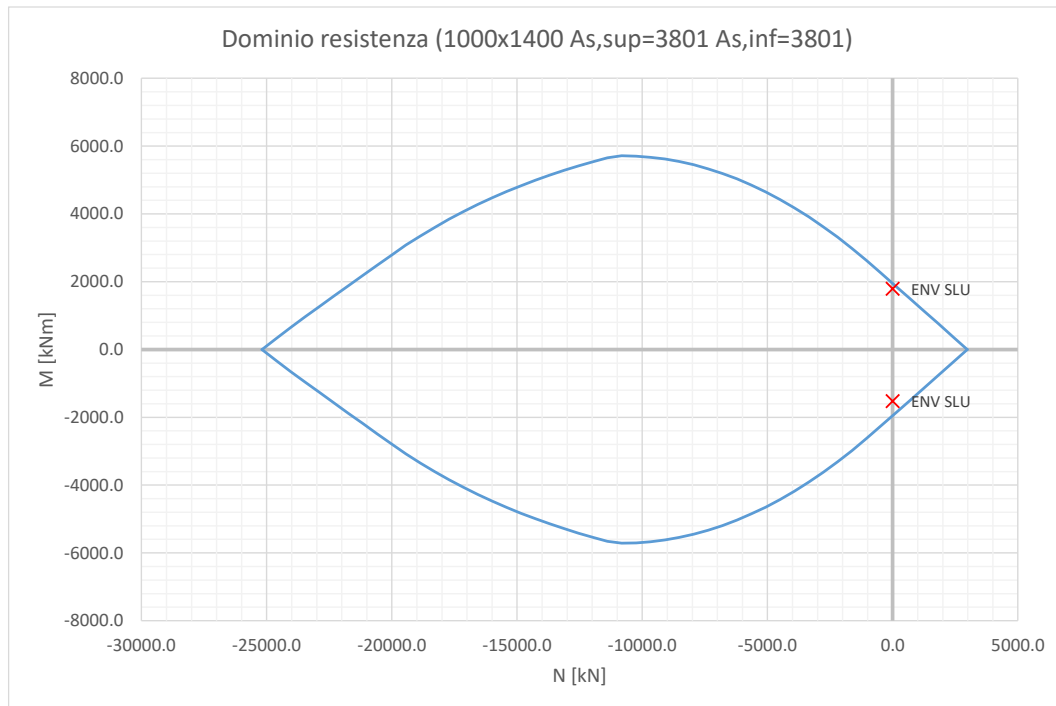
Si riportano di seguito i massimi valori di momento flettente per ogni direzione. ($N > 0$ di trazione)

Direzione	Strato	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)
Trasversale	Superiore	ENV SLU	0	1530.5
Trasversale	Inferiore	ENV SLU	0	1612.5
Longitudinale	Superiore	ENV SLU	0	1525.4
Longitudinale	Inferiore	ENV SLU	0	1790.1

Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza in direzione trasversale della platea di fondazione.



Di seguito viene mostrato il dominio di resistenza in direzione longitudinale della platea di fondazione.



Di seguito è riportata una tabella riassuntiva di ciascuna verifica a flessione della platea:

Direzione	Strato	Combinazione	N_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kN m)	M_{Rd} (kN m)	C.s.
Trasversale	Superiore	ENV SLU	0	1530.5	1906.4	1.25
Trasversale	Inferiore	ENV SLU	0	1612.5	1906.4	1.18
Longitudinale	Superiore	ENV SLU	0	1525.4	1950.4	1.28
Longitudinale	Inferiore	ENV SLU	0	1790.1	1950.4	1.09

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

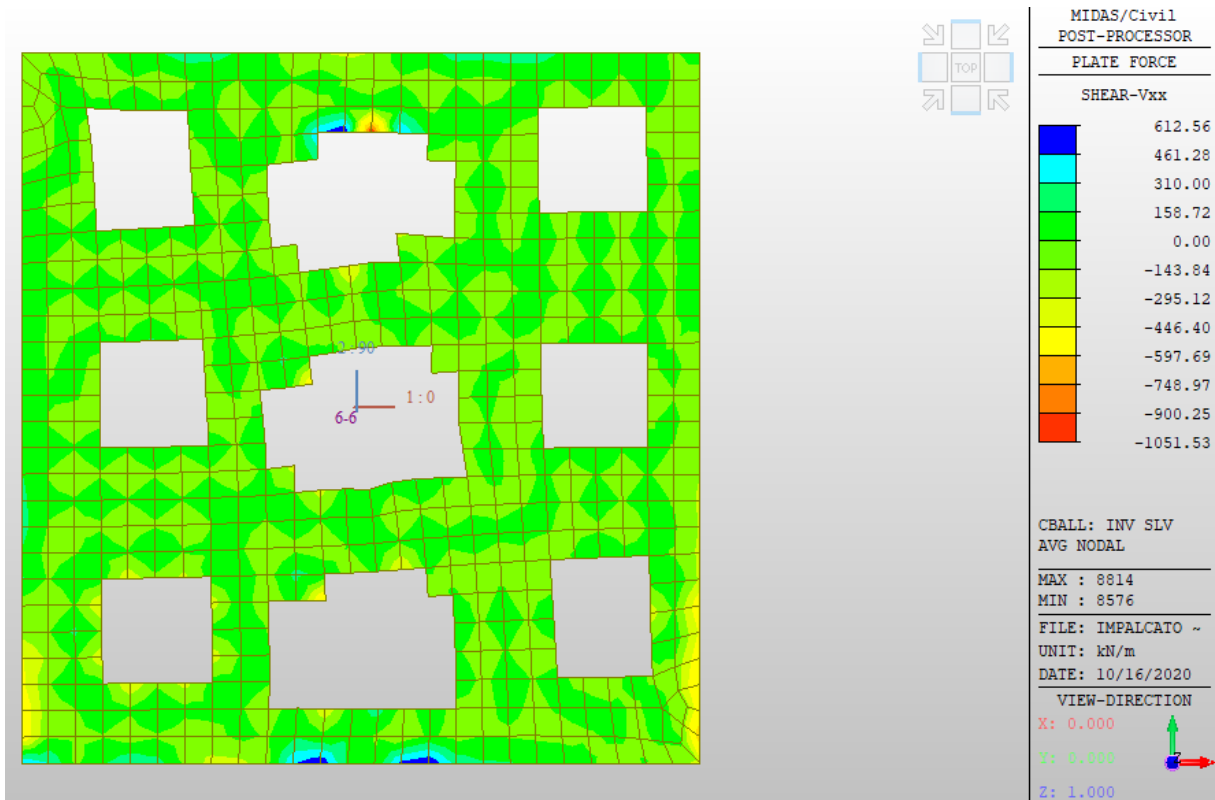
8.2.4. Verifica a taglio della platea di fondazione

La platea di fondazione viene armata a taglio con un'armatura trasversale pari a $\phi 14/400 \times 400$ mm.

La valutazione della resistenza a taglio viene mostrata di seguito.

g_c	[-]	1.50	Coefficiente parziale per il calcestruzzo
g_s	[-]	1.15	Coefficiente parziale per l'acciaio
f_{ck}	[N/mm ²]	28	Resistenza caratteristica cilindrica CLS
f_{cd}	[N/mm ²]	15.9	Resistenza a compressione di progetto
f'_{cd}	[N/mm ²]	7.9	Resistenza a compressione ridotta di progetto
f_{yk}	[N/mm ²]	450.0	Tensione caratt.di snervamento dell'acciaio
f_{yd}	[N/mm ²]	391.3	Tensione di snervamento di progetto
a_c	[-]	1.00	(vedi NTC2008)
d	[mm]	1327	Altezza utile
b_w	[mm]	1000	Larghezza sezione
s	[mm]	400	Passo armatura a taglio
Φl	[mm]	14	Diametro legature
n	[-]	2.5	Numero di legature/metro lineare
A_{sw}	[mm ²]	385	Area armatura a taglio
a	[°]	90	Inclinazione armatura a taglio
q	[°]	22	Inclinazione puntone compresso
V_{Rsd}	[kN]	1112	Taglio resistente lato acciaio
V_{Rcd}	[kN]	3291	Taglio resistente lato CLS
V_{Rd}	[kN]	1112	Taglio resistente di progetto
V_{Sd}	[kN]	1051	Taglio sollecitante di progetto
c.s.	[-]	1.06	Coefficiente di sicurezza

Nella seguente figura viene mostrato l'andamento del taglio nella platea di fondazione.

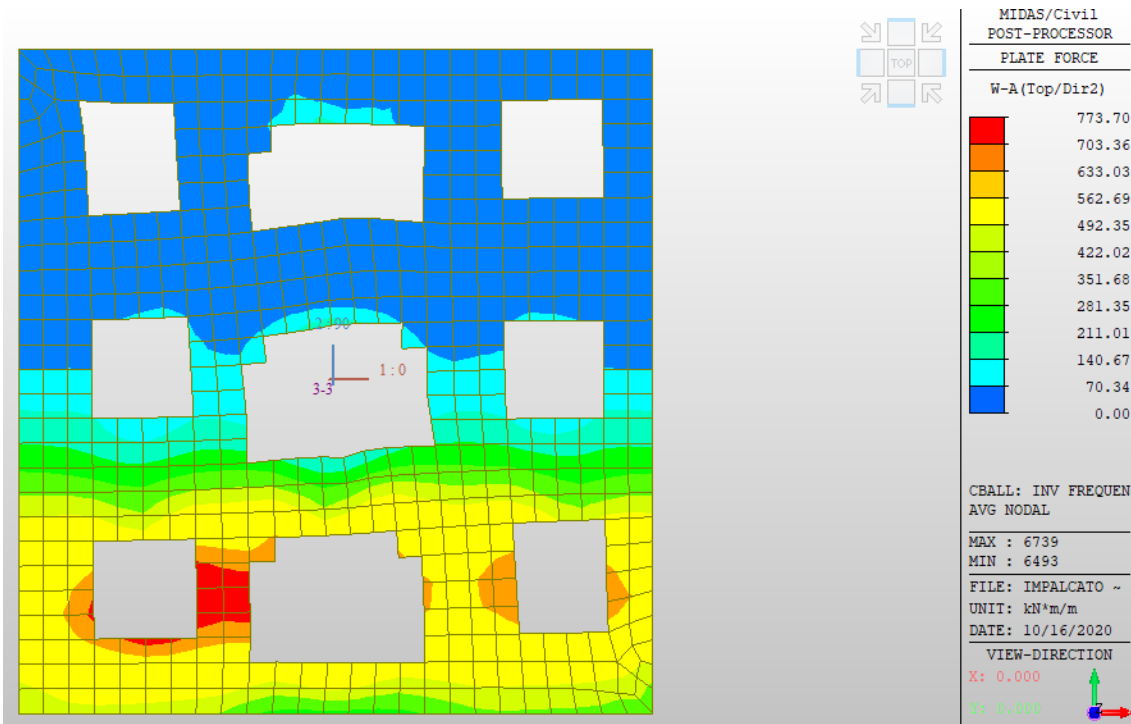


Taglio massimo – Involuppo SLV

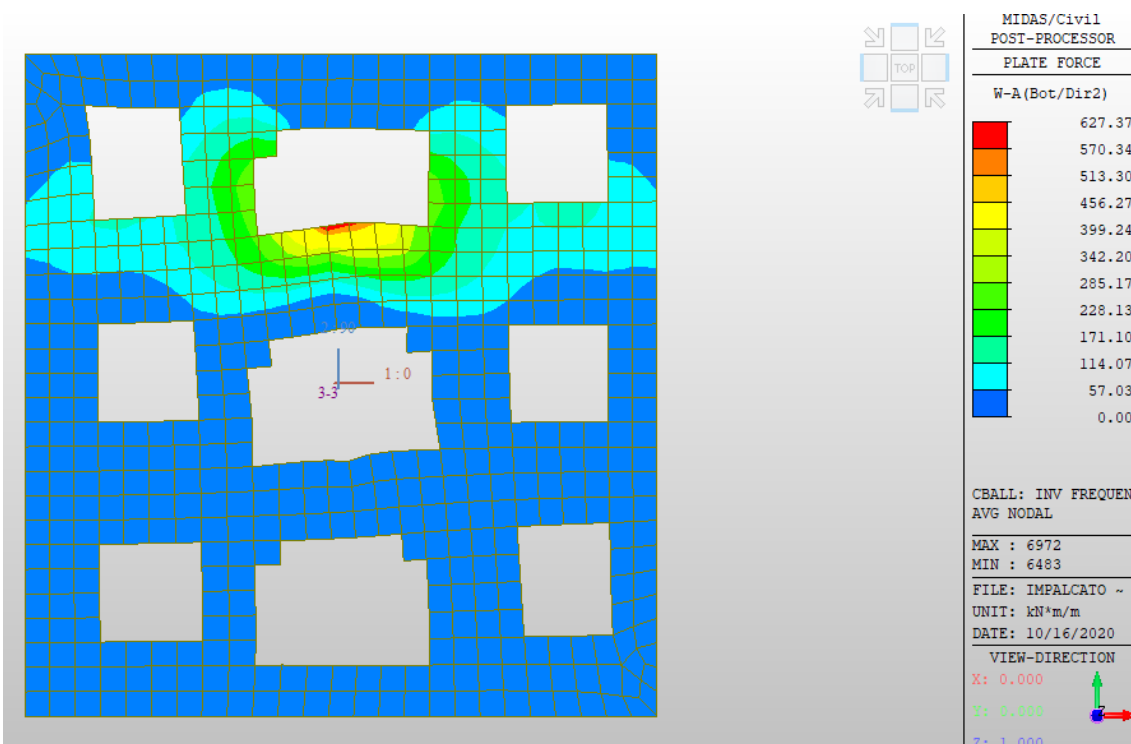
La verifica a taglio risulta pertanto soddisfatta.

8.2.5. Verifica a fessurazione della platea di fondazione

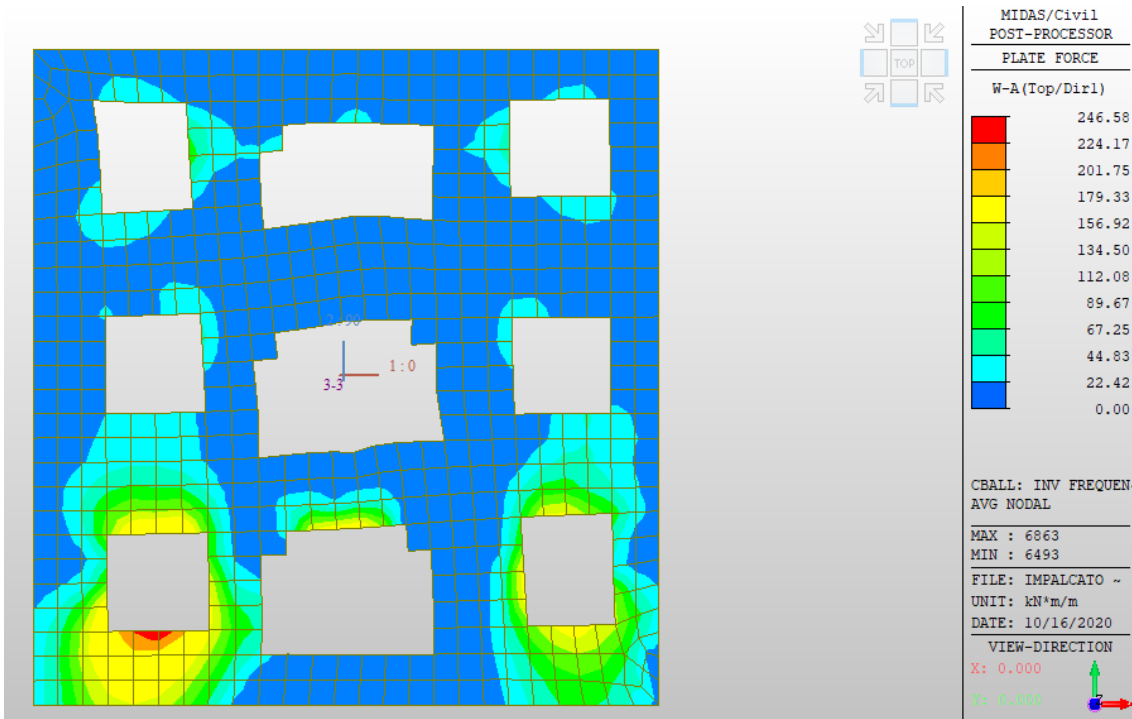
Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni, momento di Wood Armer, riferiti alla combinazione frequente e quasi permanente.



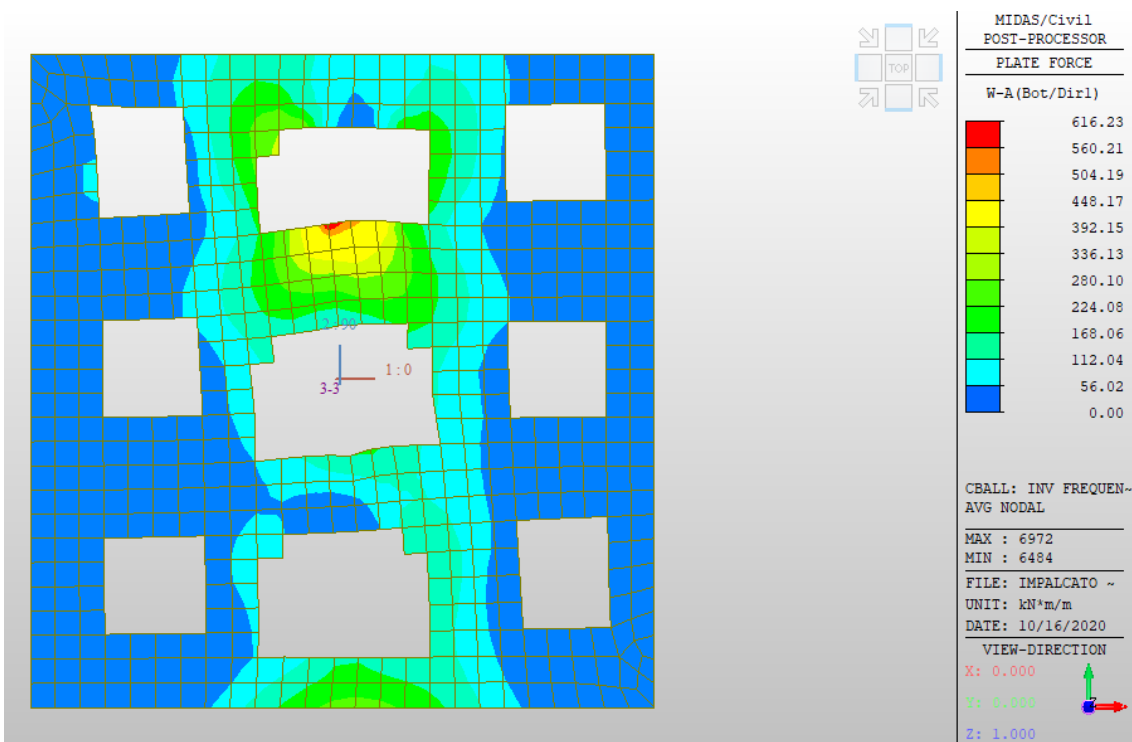
Momento flettente trasversale superiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



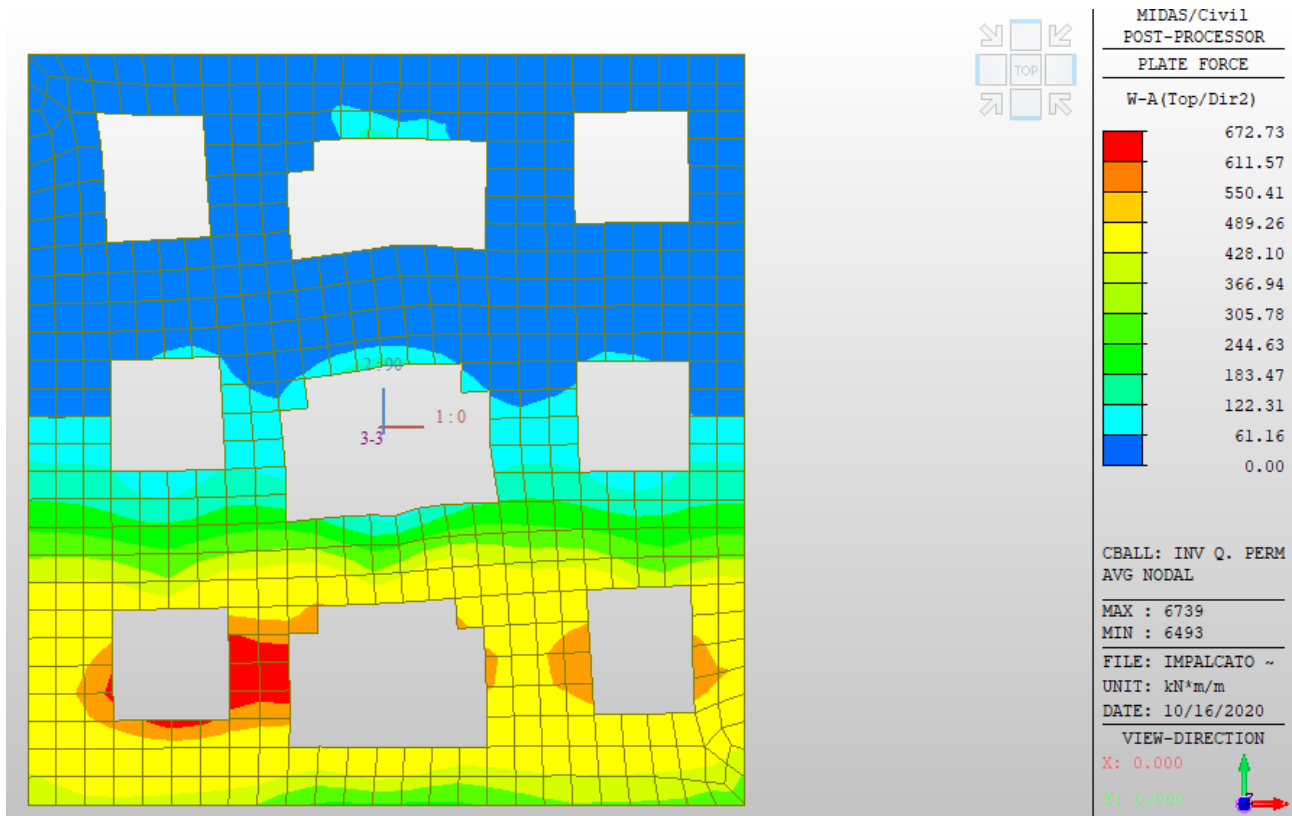
Momento flettente trasversale inferiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



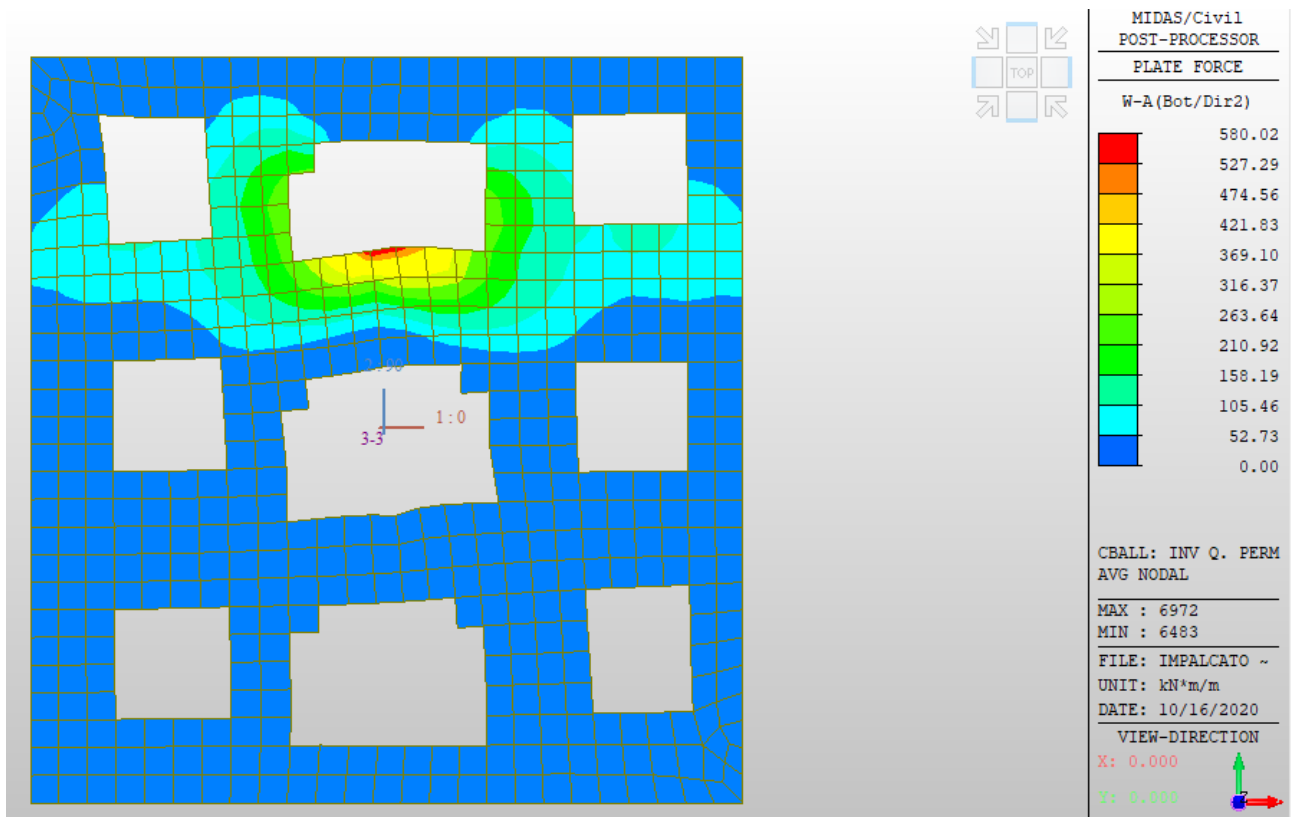
Momento flettente longitudinale superiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



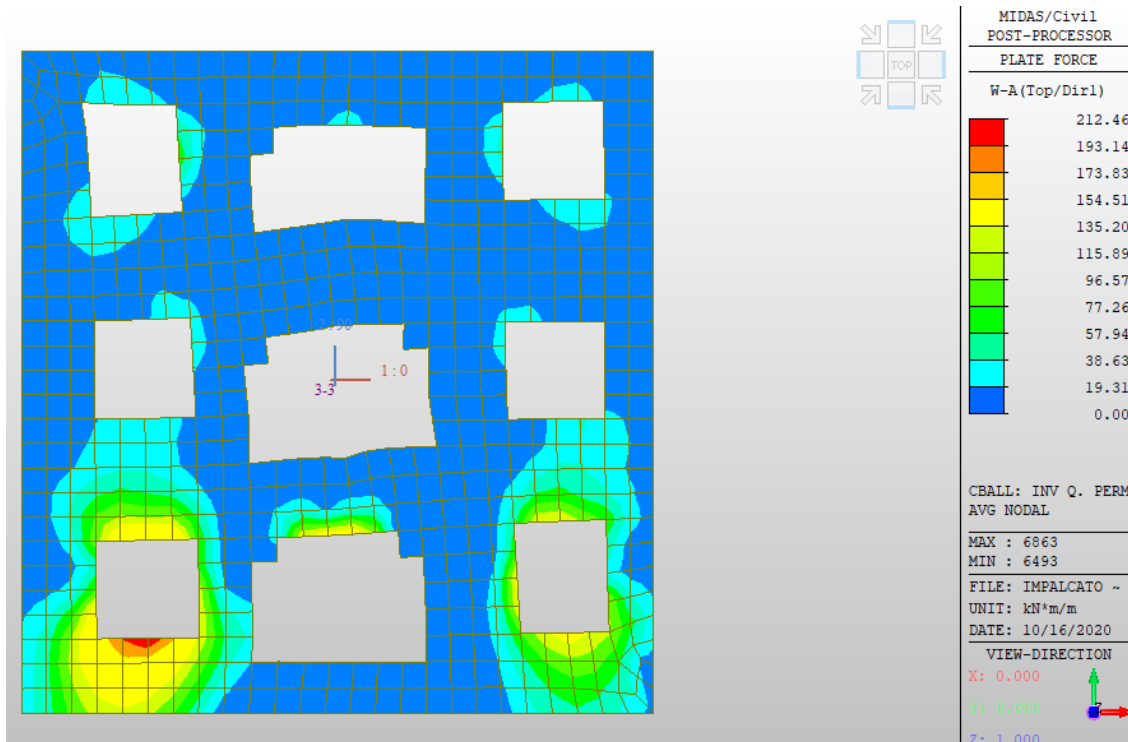
Momento flettente longitudinale inferiore – Combinazione stato limite esercizio frequente



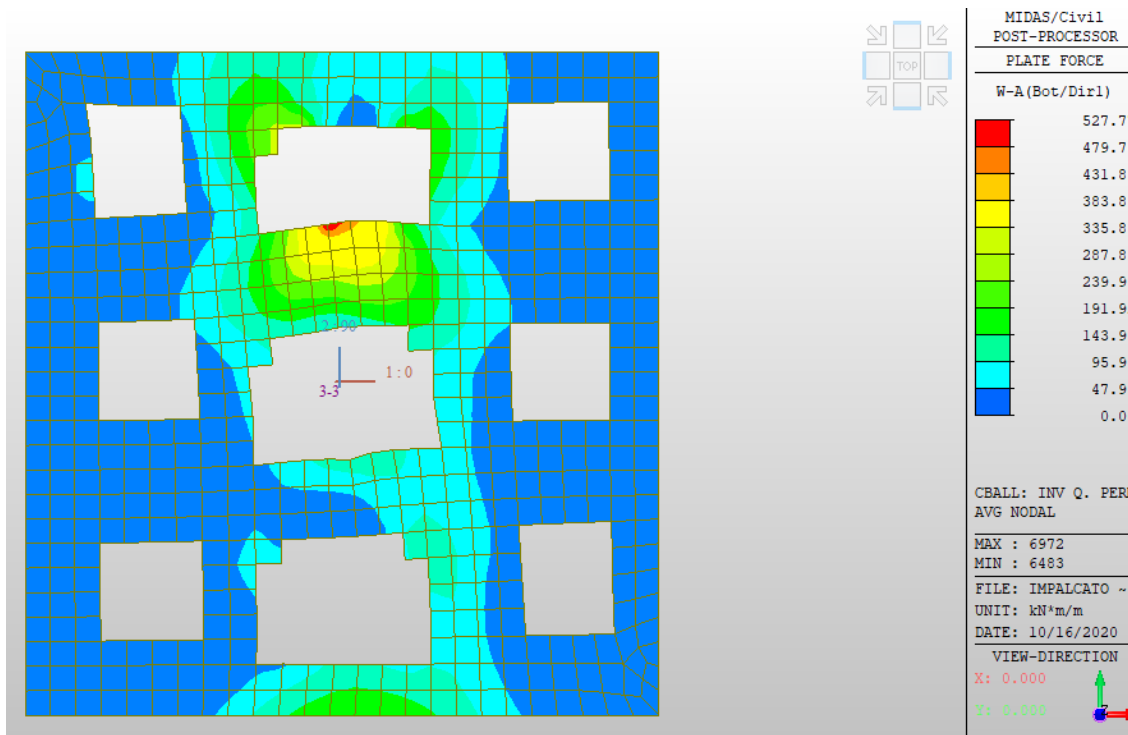
Momento flettente trasversale superiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Momento flettente trasversale inferiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Momento flettente longitudinale superiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente



Momento flettente longitudinale inferiore – Combinazione stato limite esercizio quasi permanente

La verifica a fessurazione viene effettuata per le medesime sezioni di verifica utilizzate nella verifica a flessione.

Direzione	Strato	Combinazione	N _{Ed} (kN)	M _{Ed} (kN m)
Trasversale	Superiore	SLE Frequente	0	773.7
Trasversale	Inferiore	SLE Frequente	0	627.4
Longitudinale	Superiore	SLE Frequente	0	246.6
Longitudinale	Inferiore	SLE Frequente	0	616.2
Trasversale	Superiore	SLE Q-Perm	0	672.7
Trasversale	Inferiore	SLE Q-Perm	0	580.0
Longitudinale	Superiore	SLE Q-Perm	0	212.5
Longitudinale	Inferiore	SLE Q-Perm	0	527.8

Nella seguente tabella si riportano i risultati della verifica a fessurazione. Le sezioni risultano in questo caso sempre non fessurate e interamente reagenti.

Direzione	Strato	Combinazione	$\sigma_{ct,max}$	x	σ_s	$A_{c,eff}$	ρ	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	$s_{r,max}$	w_k	verifica
			MPa	mm	MPa	mm ²			mm	mm	
Trasversale	Superiore	SLE Frequente	1.98		26.6					0.00	si
Trasversale	Inferiore	SLE Frequente	1.61		21.6					0.00	si
Longitudinale	Superiore	SLE Frequente	0.62		8.7					0.00	si
Longitudinale	Inferiore	SLE Frequente	1.56		21.7					0.00	si
Trasversale	Superiore	SLE Q-Perm	1.72		23.1					0.00	si
Trasversale	Inferiore	SLE Q-Perm	1.48		19.9					0.00	si
Longitudinale	Superiore	SLE Q-Perm	0.54		7.5					0.00	si
Longitudinale	Inferiore	SLE Q-Perm	1.34		18.6					0.00	si

9. VERIFICA DELLA PALIFICATA DELLA SPALLA

La seguente tabella riassume schematicamente tutte le verifiche eseguite nei vari casi di calcolo definiti. Per ciascuna verifica è indicato il confronto tra resistenza di calcolo R_d ed azione di calcolo S_d , ed il relativo coefficiente di sicurezza f_s .

Tutti i Punti maglia (8), Tutti i casi (5), Tutti i sestetti (18)												
Caso	C.Port. [kN][f.s.]	Cedim. [mm]	R.Tras. [kN][f.s.]	Sp.Ori. [mm]	C.A.:M [kN*m][f.s.]	C.A.:V [kN][f.s.]	C.A.:t.cls. [kPa][f.s.]	C.A.:t.acc. [kPa][f.s.]	C.A.:fes. [mm]	C.A.:% a.lon. [f.s.]	C.A.:D a.tra. [mm]	C.A.:P a.tra. [cm]
1: SLU	PM3-S5 ↓5042.85/ 3574.75 = 1.41	---	PM4-S4 37847.47/ 528.66 = 71.59	---	PM4-S1 1353.267 6/546.696 4 = 2.48	PM4-S4 1275.81/5 28.66 = 2.41	---	---	---	---	---	---
2: Rara	---	PM6-S1 -6 (max -50)	---	PM4-S2 3 (max 50)	---	---	PM4-S1 14940/65 50 = 2.28	PM1-S2 360000/1 17700 = 3.06	---	---	---	---
3: Freq	---	---	---	---	---	---	---	PM1-S1 0 (max 0.4)	---	---	---	---
4: QPerm	---	PM8-S1 -5 (max -40)	---	PM4-S1 2 (max 40)	---	---	PM3-S1 11200/55 20 = 2.03	PM1-S1 0 (max 0.3)	---	---	---	---
5: SLV Sism.	PM3-S3 ↓5042.85/ 4634.03 = 1.09	---	PM4-S1 37847.47/ 949.41 = 39.86	---	PM1-S2 706.7664/ 669.3435 = 1.06	PM4-S1 1275.81/9 49.41 = 1.34	---	---	---	PM1-S1 1/0 = ∞	PM1-S1 14 (min 0)	PM1-S1 15 (max ∞)

C.Port. = Capacità portante | Cedim. = Cedimento | R.Tras. = Resistenza trasversale | Sp.Ori. = Spostamento orizzontale | C.A.:M = C.A.: pressoflexione | C.A.:V = C.A.: taglio | C.A.:t.cls. = C.A.: Tens. limite cls | C.A.:t.acc. = C.A.: Tens. limite acciaio | C.A.:fes. = C.A.: apertura fessure | C.A.:% a.lon. = C.A.: % arm. longitudinale | C.A.:D a.tra. = C.A.: diametro arm. trasversale | C.A.:P a.tra. = C.A.: passo arm. trasversale | --- = Verifica non prevista

9.1. COMBINAZIONI DEI CARICHI.

Tutte le verifiche sono eseguite secondo l'Approccio 2.

Si svolge l'analisi per i seguenti 5 casi di carico.

Caso	Nome	Tipo	Sisma	n° sestetti	Descr.
C1	Caso 1	SLU	No	9	
C2	Caso 2	Rara	No	2	
C3	Caso 3	Freq	No	2	
C4	Caso 4	QPerm	No	1	
C5	Caso 5	SLV	Si	4	

9.2. DATI DEL PROGETTO.

9.2.1. Tipi di palo e armatura.

Nel progetto è utilizzata una sola tipologia di palo circolare in C.A.

Palo	Nome	Ø sup.[mm]	Ø inf.[mm]	L[m]	W[kN]	Tipo	Cls	Acc.
C1	Circ. 1	1000	1000	29	569.4137	Trivellato	C25/30 (Cls 1)	B450C (Bar 1)

Il palo è armato con 18Φ24 e con staffe Φ14/15 nei primi due metri e Φ12/15 nella parte restante.

9.2.2. Stratigrafia.

Per il calcolo si è fatto riferimento alla Tabella III “**Caratterizzazione stratigrafico-geotecnica**” presente nell’elaborato “**Schede geotecniche delle opere**” presente nel Progetto definitivo e riportata di seguito.

Tabella III:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica

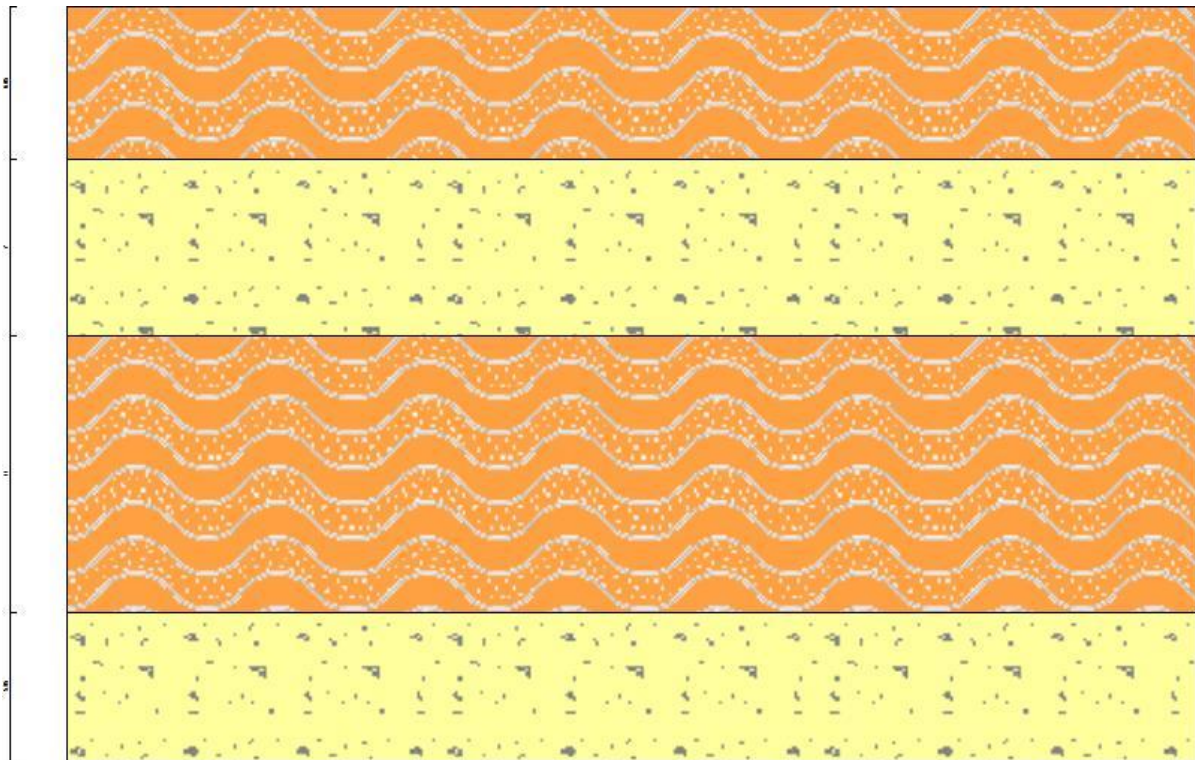
<u>Quota p.c.</u> <u>(m s.l.m.m.)</u>	<u>Profondità</u> <u>(m da p.c.)</u>	<u>descrizione</u>	<u>sigla</u>	<u>Z_w</u> <u>(m da p.c.)</u>	<u>Parametri medi</u> <u>caratteristici</u>
52.00	0.00 ÷ 9.00	Limo argilloso	A	?	Tabella IV
	9.00 ÷ 16.00	Ghiaia e Sabbia	B	?	Tabella VI
	16.00 ÷ 27.00	Limo argilloso	A'	?	Tabella V
	27.00 ÷ 40.00	Ghiaia e Sabbia	B	?	Tabella VI

I tre tipi di terreni riportati nella tabella precedente, secondo gli studi geotecnici del progetto definitivo hanno le seguenti caratteristiche:

T1	Limo Argilloso A				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
19	19	0	26	-	-
E _s [kPa]					
5000					
T2	Ghiaia e sabbia B				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
20	20	0	38	-	-
E _s [kPa]					
50000					
T3	Limo Argilloso A'				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
19	19	0	26	-	-
E _s [kPa]					
5000					

Seguono le caratteristiche della stratigrafia utilizzata nei calcoli.

S1			
4 strati - Nessuna falda			
Strato	Quota[m]	Altezza[m]	Terreno
1	0	6.05	T1
2	-6.05	7	T2
3	-13.05	11	T3
4	-24.05	5.95	T2



Str. 1

9.2.3. Prove penetrometriche.

Per la valutazione della portata di base si assume $N_{SPT} = 68$ sulla base delle prove disponibili.

9.2.4. Punti maglia.

La palificata comprende 8 punti maglia, a ciascuno dei quali corrispondono delle coordinate, un tipo di palo ed i dati del terreno.

Punto	X[m]	Y[m]	Palo	$\beta[^\circ]$	$\theta[^\circ]$	Rotaz.	Stratig.	SPT	CPT	Descr.
PM1	-2.25	2.5	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P1
PM2	2.25	2.5	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P2
PM3	2.25	-2.5	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P3
PM4	-2.25	-2.5	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P4
PM5	-2.25	0	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P5

PM6	2.25	0	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P6
PM7	0	1.25	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P7
PM8	0	-1.25	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P8

9.2.5. Fondazione.

I pali sono collegati da una fondazione, il cui contorno è definito da 4 vertici.

Vertice	X[m]	Y[m]
V1	-3.05	3.5
V2	3.05	3.5
V3	3.05	-3.5
V4	-3.05	-3.5

Le sollecitazioni sono applicate nel seguente punto sulla fondazione.

Punto	X[m]	Y[m]
P1	0	0

9.2.6. Azioni.

Le azioni sono applicate sulla fondazione, espresse rispetto al sistema di riferimento globale.

Punto	Caso	Ses.	N _z [kN]	V _x [kN]	V _y [kN]	M _x [kN*m]	M _y [kN*m]	T _z [kN*m]
1	C1	1	-9509.9	3767.4	-770.5	4433.4	7264	850.6
1	C1	2	-14695.1	3660.7	-774.1	3374.4	4613.4	867.5
1	C1	3	-12718.3	3720.8	-769.7	4876.6	5390.5	844.3
1	C1	4	-9594.2	3900.2	-652	4043.6	8313.6	740.6
1	C1	5	-14080.5	3818.2	-654.7	3511.8	5965.4	747.3
1	C1	6	-12821.5	3853.3	-652.3	4525.6	6435.1	734
1	C1	7	-9602.3	3761.9	-704.4	4436.8	7206.5	798.3
1	C1	8	-14088.6	3680	-707.1	3905	4858.3	805
1	C1	9	-12829.6	3715.1	-704.7	4918.8	5327.9	791.7
1	C2	1	-10873.3	2718.6	-566.5	2511.9	3523	633.6
1	C2	2	-9409	2763.1	-563.2	3624.7	4098.6	616.5
1	C3	1	-10414.5	2721.9	-521.2	2904.7	3618	596
1	C3	2	-9481.9	2747.9	-519.4	3655.6	3965.9	586.1
1	C4	1	-9318.5	2227.3	-388	3177.6	2048.7	430.6
1	C5	1	-10251.1	7426.6	-388	3171.1	26721.8	466.3
1	C5	2	-8605.1	7426.6	-388	3074.5	27518.3	466.3
1	C5	3	-10251.1	4701	-3078.8	17025.8	12672.2	1347.6
1	C5	4	-8605.1	4701	-3078.8	16929.2	13468.7	1347.6

9.3. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E CURVA DI MOBILITAZIONE.

Il seguente calcolo di capacità portante vale per tutti i pali.

Si riporta integralmente il calcolo di capacità portante per la situazione peggiore (coef. di sicurezza minore): Punto maglia PM3, Caso C5 (Stato limite di salvaguardia della Vita).

9.3.1. Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata di base.

Il calcolo della portata di base viene effettuato col metodo **Reese e O'Neill**.

Reese e O'Neill (1988) propongono un metodo di calcolo empirico per pali trivellati in sabbie, basato sui risultati di prove penetrometriche dinamiche. La correlazione proposta fornisce la capacità portante corrispondente ad un rapporto s/D pari a 0.05 (5%).

$$q_{lim} = 0.06 N_{SPT} < 4.3 \text{ MPa}$$

9.3.2. Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la portata laterale.

Il calcolo della portata per attrito laterale viene effettuato con i seguenti metodi: Metodo: **Kulhavy**, Metodo: **Beta**.

Metodo: **Kulhavy**

L'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale K, dell'angolo di attrito palo-terreno δ e della tensione verticale efficace σ'_v . Viene inoltre valutata la profondità critica z_c oltre cui l'attrito rimane costante, secondo il diametro del palo. I valori di queste grandezze sono stimati secondo le indicazioni di Kulhavy (1983). Questo metodo è applicabile a terreni non coesivi, sia per pali infissi che per pali trivellati.

$$f_{s,lim} = K \sigma'_{v0} \tan \delta$$

Metodo: **Beta**

L'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale K e dell'angolo di attrito palo-terreno δ . Il valore di K dipende dalla natura del terreno e dal metodo di installazione del palo, come indicato da molti Autori (Burland 1973, Flaate e Selnes 1977, Fleming 1985). Questo metodo è applicabile a terreni coesivi, per pali infissi o trivellati.

$$f_{s,lim} = K \sigma'_{v0} \tan \delta$$

9.3.3. Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.

Il calcolo della resistenza trasversale laterale viene effettuato col metodo **Broms**.

La teoria pubblicata da Broms nel 1964 propone due approcci differenti per terreni coesivi e non coesivi. Per terreni sciolti, propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine, $p_l = 3K_p \sigma'_v$. Per terreni coesivi, propone una distribuzione di p_l che vede un tratto nullo per i primi 1.5 diametri dalla superficie, seguito da un tratto con valore di resistenza pari a $9s_u$ (resistenza al taglio non drenata) per profondità maggiori.

$$p_{lim} = 3 K_p \sigma'_{v0} \text{ (terreno non coesivo)}$$

$$p_{lim} = 9 s_u \text{ (terreno coesivo)}$$

9.3.4. Coefficienti di sicurezza

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza, secondo il numero di verticali indagate:

n. vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ_{med}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_{min}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali alle portate calcolate, secondo il tipo di palo:

Tipo di palo	Infisso	Trivellato	A elica continua	Micropalo	Avvitato
γ_b	1.15	1.35	1.30	1.35	1.15
γ_s	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
γ_{st}	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

Alle sollecitazioni applicate viene aggiunto il peso proprio del palo, amplificato col coefficiente parziale di sicurezza.

9.3.5. Calcolo della portata di base.

Metodo **Reese e O'Neill** per il calcolo della portata di base.

Lo strato in cui si immorsa la base del palo si estende da quota -24.05 [m] a quota -30 [m]. Segue il calcolo alla quota di base del palo, -29 [m].

La base del palo si trova alla quota $z_b = -29$ [m], dove si ha un N_{spt} di 68 [colpi/piede]. Il numero di colpi viene moltiplicato per il coefficiente 0.6, con limite superiore di 4300 [kPa]. Il valore della capacità portante calcolato è pari a 4080 [kPa].

L'area di base vale 0.785398 [m²].

La portata di base calcolata vale 3204.4245 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_b=1.35$. Portata di calcolo: $Q_{b,d} = 1438.5744$ [kN] (s/D=5.00%).

9.3.6. Calcolo della portata laterale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Metodo **Beta** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [m] a quota -6.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -3 [m].

L'attrito laterale è valutato proporzionalmente alla tensione orizzontale efficace del terreno a contatto del palo, ottenuta moltiplicando la tensione verticale efficace $\sigma'_v = 57$ [kPa], per un coefficiente di spinta β , ricavato dall'angolo di resistenza al taglio ϕ'_k . $\beta = 0.381$. L'attrito laterale calcolato vale 22 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 416.0196 [kN] (416.0196 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = 219.2462$ [kN] (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = 201.7065$ [kN] (s/D=0.50%).

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Kulhavy** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -6.05 [m] a quota -13.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -9.55 [m].

La quota critica z_c vale -10 [m]. La quota di interesse (-9.55 [m]) è al di sopra della profondità critica. La tensione verticale efficace è $\sigma'_v = 185$ [kPa], e l'angolo di resistenza al taglio del terreno è $\phi'_k = 38$ [°], da cui si ricava il coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 0.38$. L'angolo di attrito palo-terreno δ dipende da ϕ'_k . Nel caso analizzato (palo in calcestruzzo), si stima $\delta = 38.00$ [°]. Il coefficiente di spinta orizzontale K dipende da K_0 . Nel caso analizzato (palo trivellato), si stima $K = 0.32$. Il valore complessivo del coefficiente β è 0.25. L'attrito

laterale calcolato vale 46 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 940.8506 [kN] (940.8506 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = 495.837$ [kN] (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = 456.17$ [kN] (s/D=0.50%).

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Metodo **Beta** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -13.05 [m] a quota -24.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -18.55 [m].

L'attrito laterale è valutato proporzionalmente alla tensione orizzontale efficace del terreno a contatto del palo, ottenuta moltiplicando la tensione verticale efficace $\sigma'_v = 359$ [kPa], per un coefficiente di spinta β , ricavato dall'angolo di resistenza al taglio φ'_k . $\beta = 0.381$. L'attrito laterale calcolato vale 137 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 4730.5392 [kN] (4730.5392 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = 2493.0378$ [kN] (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = 2293.5948$ [kN] (s/D=0.50%).

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Kulhavy** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -24.05 [m] a quota -29 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -26.55 [m].

La quota critica z_c vale -10 [m]. La quota di interesse (-26.55 [m]) è al di sotto della profondità critica, perciò nei calcoli si usa z_c . La tensione verticale efficace è $\sigma'_v = 194$ [kPa], e l'angolo di resistenza al taglio del terreno è $\varphi'_k = 38$ [°], da cui si ricava il coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 0.38$. L'angolo di attrito palo-terreno δ dipende da φ'_k . Nel caso analizzato (palo in calcestruzzo), si stima $\delta = 38.00$ [°]. Il coefficiente di spinta orizzontale K dipende da K_0 . Nel caso analizzato (palo trivellato), si stima $K = 0.32$. Il valore complessivo del coefficiente β è 0.25. L'attrito laterale calcolato vale 48 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 751.7037 [kN] (751.7037 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = 396.1548$ [kN] (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = 364.4624$ [kN] (s/D=0.50%).

9.3.7. Portata laterale totale

La portata di calcolo in compressione $Q_{sc,d}$ è **3604.2757 [kN]**, in trazione $Q_{st,d}$ è **3315.9337 [kN]**.

9.3.8. Portata totale (base + laterale)

La portata di calcolo in compressione $Q_{tc,d}$ è **5042.8502 [kN]**, in trazione $Q_{tt,d}$ è **3315.9337 [kN]**.

9.3.9. Calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 50000 [kN/m³].

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 150000 [kN/m³].

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 50000 [kN/m³].

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 150000 [kN/m³].

9.3.10. Calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [m] a quota -6.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -3 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 26. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 57$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 438 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 2671.6352 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{1245.5176 [kN]}$.

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -6.05 [m] a quota -13.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -9.55 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 38. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 185$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 2332 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 16327.1387 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{7611.7197 [kN]}$.

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -13.05 [m] a quota -24.05 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -18.55 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 26. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 359$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 2762 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 30379.0354 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{14162.7204 [kN]}$.

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -24.05 [m] a quota -29 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -26.55 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 38. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 514$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 6482 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 31805.0051 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{14827.5082 [kN]}$.

9.3.11. Resistenza laterale totale

Per palo in grado di traslare rigidamente (meccanismo di palo "corto", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo $R_{tr,d}$ è **37847.4659 [kN]**. Per palo che ruota in testa (meccanismo di palo "intermedio" o "lungo", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo $R_{tr,d}$ è **30958.0238 [kN]**.

9.3.12. Curva di mobilitazione verticale

La curva di mobilitazione del palo è definita dalle seguenti coppie di valori, dove s è il cedimento, misurato in [m], ed E_d è la sollecitazione di sforzo normale (comprensiva del peso proprio del palo), espressa in [kN].

	1	2	3	4
s	-0.037	-0.0043	0	0.004
E_d	-5042.8502	-3773.1519	0	3315.9337

Si riassume in seguito il valore di capacità portante per tutti i casi.

Caso	Qst[kN]	Qsc[kN]	Qbc[kN]	Qtt[kN]	Qtc[kN]
C1	3315.9337	3604.2757	1438.5744	3315.9337	5042.8502
C2	6839.1132	6839.1132	3204.4245	6839.1132	10043.5377
C3	6839.1132	6839.1132	3204.4245	6839.1132	10043.5377
C4	6839.1132	6839.1132	3204.4245	6839.1132	10043.5377
C5	3315.9337	3604.2757	1438.5744	3315.9337	5042.8502

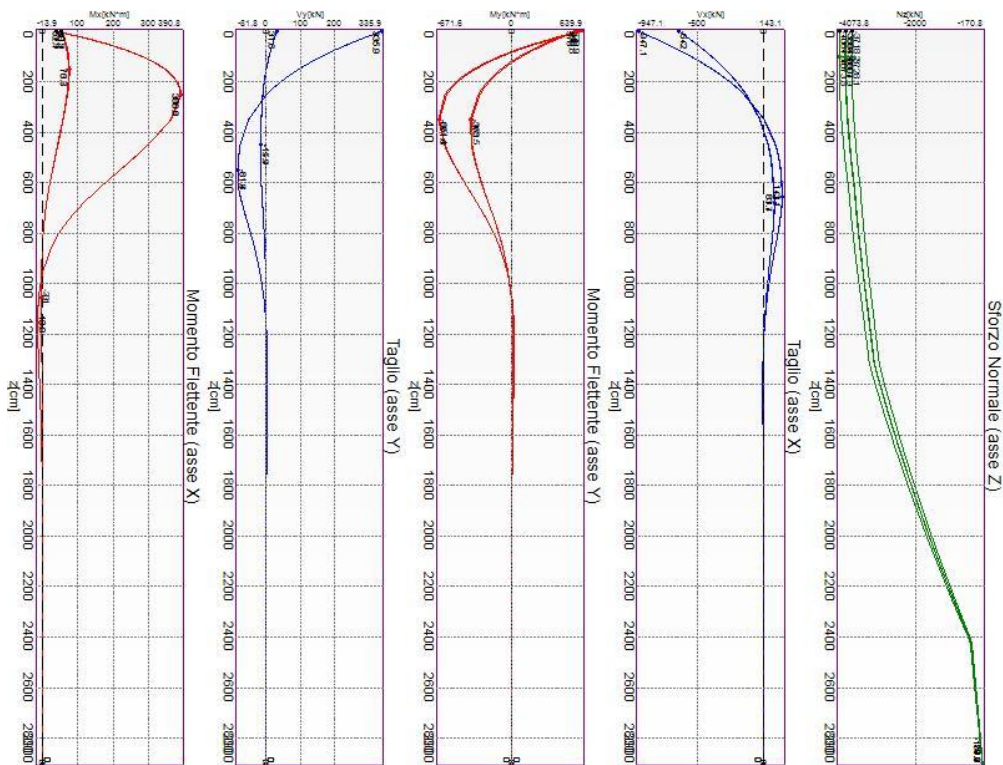
Qst = Portata Laterale in Trazione | Qsc = Portata Laterale in Compressione | Qbc = Portata di Base in Compressione | Qtt = Portata TOTALE in Trazione | Qtc = Portata TOTALE in Compressione

9.4. CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.

Si riporta di seguito il dettaglio delle sollecitazioni calcolate, solo per i punti maglia con i pali più sollecitati. Le caratteristiche di sollecitazione sono espresse nel sistema di riferimento locale del palo.

9.4.1. Casi a SLU

I massimi valori di **Sforzo Normale di compressione**, si ottengono nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



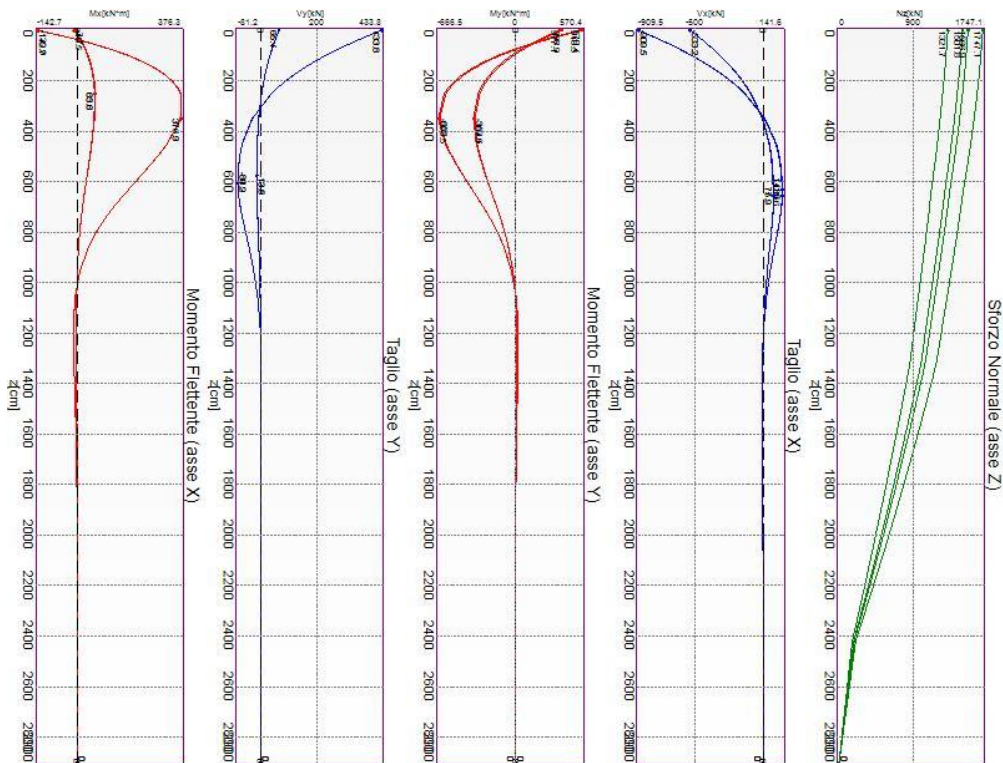
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C5)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM3, caso C5)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-4064.6139÷-3718.1683	642.024÷947.1483	-335.8909÷-31.559	38.0552÷54.8829	-639.856÷-577.9626	3.2294÷9.3328
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C5)					
Z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-4064.6139÷-3718.1683	947.6739	642.2055		
0	-4064.6139÷-3718.1683	947.6739	642.2055		
0.25	-4068.8611÷-3722.4666	838.1762	463.2044		
0.5	-4071.7958÷-3725.5539	735.2136	362.4879		
0.75	-4073.4323÷-3727.443	638.9458	306.63		
1	-4073.7848÷-3728.1471	549.4398	296.6781		
1.25	-4072.8674÷-3727.6791	466.6822	319.4435		
1.5	-4070.6944÷-3726.0519	390.5912	359.7307		

1.75	-4067.2799÷-3723.2787	321.0272	446.0855
2	-4062.638÷-3719.3723	257.8048	516.3453
2.25	-4056.783÷-3714.3456	200.7032	571.788
2.5	-4049.7287÷-3708.2116	149.4832	613.7953
3.5	-4009.7643÷-3672.8252	58.4153	674.0502
4.5	-3951.7212÷-3620.736	94.977	617.2285
4.75	-3934.4959÷-3605.205	108.0489	591.8738
5	-3916.2079÷-3588.6916	118.5386	563.562
5.25	-3896.8702÷-3571.2078	126.7212	532.9109
5.5	-3876.4958÷-3552.7656	132.8652	500.468
5.75	-3855.0975÷-3533.3766	137.2267	466.7132
6	-3832.6879÷-3513.0525	140.0474	432.0638
6.05	-3828.0858÷-3508.8765	140.4467	425.0591
6.05	-3828.0858÷-3508.8765	140.4467	425.0591
6.3	-3809.4859÷-3492.0701	142.9836	389.6188
6.55	-3795.0297÷-3479.0905	143.5908	353.768
6.8	-3779.8991÷-3465.487	141.5599	318.1009
7.05	-3764.1024÷-3451.2675	137.3965	283.3349
7.3	-3747.6484÷-3436.4398	131.5543	250.0162
7.55	-3730.5455÷-3421.0117	124.4357	218.2606
7.8	-3712.8021÷-3404.991	116.3938	188.3495
8.05	-3694.4265÷-3388.3852	107.735	160.4818
8.3	-3675.427÷-3371.2018	98.7218	134.7852
8.55	-3655.8115÷-3353.4485	89.576	111.3265
9.55	-3571.3287÷-3276.8609	55.0519	39.6178
10.55	-3480.8154÷-3194.6829	27.8016	12.6606
11.55	-3390.2799÷-3112.4673	9.5091	19.8251
11.8	-3368.0434÷-3092.2783	6.332	21.6752
12.05	-3345.9638÷-3072.2332	4.5611	22.7821
12.3	-3324.04÷-3052.3313	3.3737	23.2564
12.55	-3302.2711÷-3032.5716	2.8866	23.2022
12.8	-3280.656÷-3012.9531	3.0111	22.7154
13.05	-3259.1937÷-2993.4749	3.9238	21.8834
13.05	-3259.1937÷-2993.4749	3.9238	21.8834
13.3	-3224.1702÷-2961.4544	4.5279	20.8258
13.55	-3175.253÷-2916.583	4.7417	19.667
13.8	-3125.671÷-2871.095	4.8766	18.4646
14.05	-3075.4306÷-2824.996	4.9421	17.2371
14.3	-3024.5374÷-2778.2913	4.9472	16.0007
14.55	-2972.9969÷-2730.9858	4.9001	14.7696
14.8	-2920.8143÷-2683.0845	4.8086	13.556
15.05	-2867.9943÷-2634.5916	4.6798	12.3699
15.3	-2814.5415÷-2585.5112	4.5201	11.2199

15.55	-2760.4599÷-2535.8473	4.3357	10.1131
16.55	-2537.8917÷-2331.3968	3.4491	6.2279
17.55	-2305.4992÷-2117.8245	2.5036	3.2762
18.55	-2063.3708÷-1895.2116	1.6518	1.2225
19.55	-1811.496÷-1663.5478	0.97	0.5835
20.55	-1549.7609÷-1422.7279	0.4672	0.8273
21.55	-1277.944÷-1172.5473	0.1612	1.0987
22.55	-995.7107÷-912.6972	0.123	1.1031
22.8	-923.4766÷-846.1794	0.1337	1.0768
23.05	-850.5555÷-779.024	0.1515	1.0426
23.3	-776.9387÷-711.2231	0.1747	1.002
23.55	-702.617÷-642.768	0.1934	0.956
23.8	-627.5805÷-573.6499	0.2081	0.9059
24.05	-551.8191÷-503.8592	0.2192	0.8525
24.05	-551.8191÷-503.8592	0.2192	0.8525
24.3	-505.1537÷-461.0102	0.2352	0.7957
24.55	-487.9285÷-445.4226	0.2509	0.7349
24.8	-470.726÷-429.8557	0.2594	0.671
25.05	-453.5455÷-414.3088	0.2621	0.6057
25.3	-436.3861÷-398.7813	0.2596	0.5405
25.55	-419.247÷-383.2723	0.2529	0.4764
25.8	-402.1274÷-367.7811	0.2427	0.4144
26.05	-385.0265÷-352.3071	0.2298	0.3554
26.3	-367.9436÷-336.8495	0.2146	0.3
26.55	-350.8779÷-321.4076	0.1979	0.2486
26.8	-333.8284÷-305.9807	0.1797	0.2015
27.05	-316.7946÷-290.568	0.1607	0.1589
27.3	-299.7754÷-275.1688	0.1412	0.1212
27.55	-282.7703÷-259.7825	0.121	0.0884
27.8	-265.7783÷-244.4083	0.1006	0.0607
28.05	-248.7987÷-229.0454	0.0799	0.0381
28.3	-231.8307÷-213.6932	0.0591	0.0207
28.55	-214.8734÷-198.351	0.0381	0.0086
28.8	-197.9262÷-183.018	0.017	0.0017
29	-184.3751÷-170.7578	0	0

I massimi valori di **Sforzo Normale di trazione**, si ottengono nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C5)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C5)

N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
1321.6743÷1747.0579	533.226÷909.5017	-433.8091÷65.441	-142.7246÷-7.671	-570.3517÷-377.0962	3.2294÷9.3328

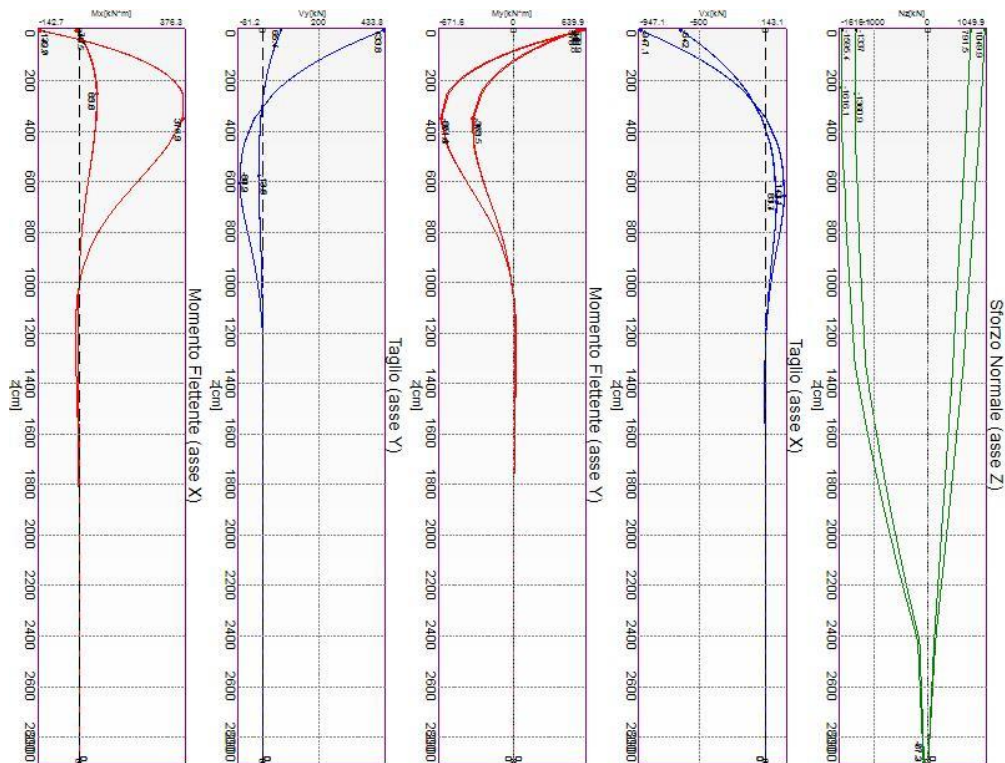
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C5)

z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]
0	1321.6743÷1747.0579	911.853	570.4033
0	1321.6743÷1747.0579	911.853	570.4033
0.25	1316.6295÷1741.9489	804.6794	356.5399
0.5	1311.3163÷1736.4437	704.0548	169.7102
0.75	1305.739÷1730.5485	610.1111	140.0063
1	1299.9023÷1724.2693	522.8908	189.4422
1.25	1293.8107÷1717.6121	442.3598	280.0415
1.5	1287.4686÷1710.5827	368.4175	380.0069
1.75	1280.8805÷1703.1872	300.9078	462.4007
2	1274.0508÷1695.4314	239.6286	528.7183
2.25	1266.9839÷1687.3211	184.3407	580.4664
2.5	1259.684÷1678.862	134.7786	619.1057
3.5	1228.2292÷1641.6379	30.8187	669.3435
4.5	1193.3823÷1599.2829	98.0588	607.2431
4.75	1184.1733÷1587.9365	110.4425	581.1367
5	1174.7721÷1576.296	120.3024	552.2534
5.25	1165.1825÷1564.3666	127.9228	521.1892

5.5	1155.4082÷1552.1534	133.5744	488.4706
5.75	1145.4529÷1539.6613	137.5116	454.5581
6	1135.3202÷1526.8952	139.9728	419.8503
6.05	1133.2727÷1524.3096	140.3076	412.8443
6.05	1133.2727÷1524.3096	140.3076	412.8443
6.3	1123.8857÷1512.6573	142.268	377.4819
6.55	1115.2997÷1502.2061	142.1696	341.8747
6.8	1106.5978÷1491.5745	139.5778	306.6138
7.05	1097.7822÷1480.7659	134.9842	272.38
7.3	1088.8554÷1469.7834	128.8279	239.687
7.55	1079.8196÷1458.6302	121.4967	208.6241
7.8	1070.6772÷1447.3095	113.3302	179.4488
8.05	1061.4305÷1435.8244	104.6213	152.339
8.3	1052.0817÷1424.1779	95.6206	127.4047
8.55	1042.6328÷1412.3729	86.5388	104.698
9.55	1003.8742÷1363.6189	52.596	35.6695
10.55	964.2611÷1313.444	26.1233	6.7641
11.55	924.8922÷1263.5225	8.5371	20.1868
11.8	915.1588÷1251.1907	5.4333	21.8477
12.05	905.4681÷1238.9172	2.7951	22.7958
12.3	895.8195÷1226.7014	1.4644	23.1421
12.55	886.2126÷1214.5427	1.8052	22.9892
12.8	876.6471÷1202.4406	2.9314	22.4312
13.05	867.1223÷1190.3945	4.048	21.5533
13.05	867.1223÷1190.3945	4.048	21.5533
13.3	855.2449÷1174.6999	4.5997	20.4689
13.55	840.9709÷1155.2818	4.7891	19.2939
13.8	826.6095÷1135.7139	4.9024	18.0811
14.05	812.1622÷1115.9982	4.9488	16.8486
14.3	797.6305÷1096.1366	4.9372	15.6119
14.55	783.0156÷1076.1311	4.8758	14.3844
14.8	768.3188÷1055.9833	4.772	13.1778
15.05	753.5413÷1035.6948	4.633	12.0016
15.3	738.6841÷1015.2672	4.465	10.8639
15.55	723.7482÷994.7018	4.2739	9.7712
16.55	663.2286÷911.0764	3.3744	5.9539
17.55	601.5071÷825.323	2.4316	3.0739
18.55	538.6046÷737.4685	1.5906	1.0819
19.55	474.5192÷647.5066	0.9224	0.3211
20.55	409.2249÷555.397	0.4329	0.859
21.55	342.6716÷461.0638	0.1058	1.1067
22.55	274.784÷364.395	0.0997	1.0957
22.8	257.593÷339.8469	0.1321	1.0667

23.05	240.3105÷315.141	0.1591	1.0302
23.3	222.9347÷290.2743	0.1812	0.9876
23.55	205.4635÷265.2438	0.1987	0.9401
23.8	187.8947÷240.0464	0.2125	0.8886
24.05	170.2261÷214.6786	0.2227	0.8341
24.05	170.2261÷214.6786	0.2227	0.8341
24.3	157.1687÷196.6981	0.2371	0.7766
24.55	148.7665÷186.1826	0.2508	0.7154
24.8	140.3711÷175.6758	0.2577	0.6518
25.05	131.9823÷165.1771	0.2588	0.5871
25.3	123.5997÷154.6861	0.2552	0.5227
25.55	115.2228÷144.2024	0.2477	0.4598
25.8	106.8512÷133.7253	0.2369	0.3992
26.05	98.4847÷123.2545	0.2235	0.3417
26.3	90.1227÷112.7894	0.2081	0.288
26.55	81.7649÷102.3296	0.1912	0.2382
26.8	73.411÷91.8745	0.1733	0.1927
27.05	65.0604÷81.4237	0.1545	0.1517
27.3	56.7129÷70.9768	0.1353	0.1155
27.55	48.3681÷60.5331	0.1158	0.0841
27.8	40.0255÷50.0922	0.096	0.0576
28.05	31.6847÷39.6537	0.0761	0.0361
28.3	23.3454÷29.217	0.056	0.0196
28.55	15.0072÷18.7817	0.036	0.0081
28.8	6.6697÷8.3473	0.016	0.0016
29	0	0	0

I massimi valori di **Taglio (in valore assoluto)**, **Momento flettente (in valore assoluto)**, si ottengono nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM4, caso C5)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM4, caso C5)

N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1595.4028÷1049.8897	642.024÷947.1483	-433.8091÷-65.441	-142.7246÷-7.671	-639.856÷-577.9626	3.2294÷9.3328

Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM4, caso C5)

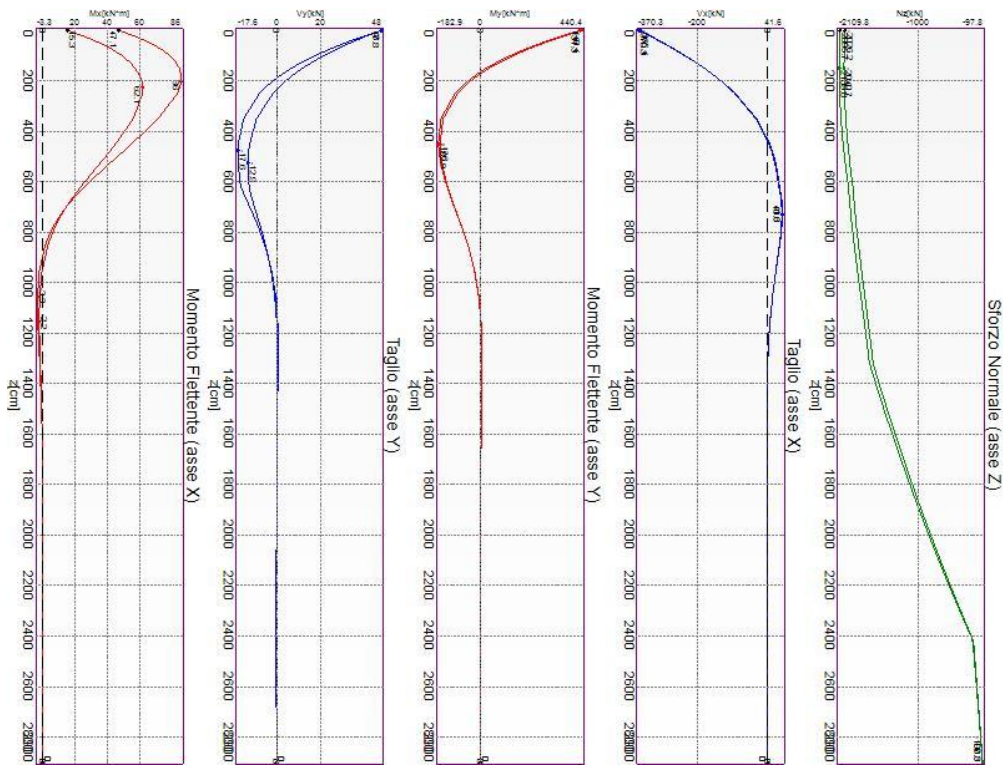
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]
0	-1595.4028÷1049.8897	949.4064	639.902
0	-1595.4028÷1049.8897	949.4064	639.902
0.25	-1600.0144÷1044.886	839.7049	449.4399
0.5	-1604.0361÷1039.6953	736.5419	316.0056
0.75	-1607.4733÷1034.3212	640.0775	228.7541
1	-1610.3318÷1028.7673	550.379	206.7108
1.25	-1612.6171÷1023.037	467.4322	250.1462
1.5	-1614.3349÷1017.1341	391.1539	355.8818
1.75	-1615.4908÷1011.0619	321.4016	443.5899
2	-1616.0905÷1004.8239	257.9844	514.7123
2.25	-1616.1396÷998.4235	200.6713	570.7613
2.5	-1615.6437÷991.8642	149.2022	613.2185
3.5	-1608.3086÷964.0956	41.3181	674.4585
4.5	-1592.7005÷934.0458	94.5274	617.9743
4.75	-1587.5505÷926.2024	107.7399	592.649
5	-1581.9107÷918.2319	118.3307	564.3509
5.25	-1575.7866÷910.1371	126.5892	533.7004

5.5	-1569.1832÷901.9211	132.7915	501.2466
5.75	-1562.106÷893.5866	137.1985	467.4711
6	-1554.5601÷885.1365	140.0545	432.7924
6.05	-1552.9951÷883.4328	140.4599	425.7808
6.05	-1552.9951÷883.4328	140.4599	425.7808
6.3	-1547.1779÷875.4931	143.0475	390.3008
6.55	-1543.2456÷868.0989	143.7086	354.4014
6.8	-1538.9996÷860.6298	141.7135	318.679
7.05	-1534.4434÷853.0876	137.5724	283.8527
7.3	-1529.5805÷845.4742	131.7423	250.4702
7.55	-1524.4145÷837.7913	124.6277	218.6503
7.8	-1518.9489÷830.0407	116.5838	188.6758
8.05	-1513.1871÷822.2241	107.9183	160.7463
8.3	-1507.1325÷814.3433	98.895	134.9899
8.55	-1500.7886÷806.3998	89.7367	111.4735
9.55	-1472.5771÷774.0273	55.1498	39.5374
10.55	-1441.4716÷741.1625	27.8372	8.9309
11.55	-1410.235÷708.5358	9.4868	19.7806
11.8	-1402.591÷700.4626	6.3184	21.6567
12.05	-1395.0123÷692.422	4.1929	22.7807
12.3	-1387.4986÷684.4136	2.644	23.2667
12.55	-1380.0496÷676.4372	2.0091	23.2201
12.8	-1372.6648÷668.4922	2.6867	22.738
13.05	-1365.3439÷660.5784	3.9059	21.9086
13.05	-1365.3439÷660.5784	3.9059	21.9086
13.3	-1351.7237÷651.1397	4.5193	20.852
13.55	-1331.6427÷640.1524	4.7364	19.6936
13.8	-1311.2392÷629.1176	4.8739	18.491
14.05	-1290.5157÷618.0365	4.9415	17.263
14.3	-1269.4748÷606.91	4.9481	16.0258
14.55	-1248.1188÷595.7393	4.9023	14.7936
14.8	-1226.4498÷584.5252	4.8118	13.5787
15.05	-1204.4699÷573.2687	4.6837	12.3912
15.3	-1182.181÷561.9706	4.5246	11.2397
15.55	-1159.5848÷550.6315	4.3405	10.1312
16.55	-1066.1467÷504.8746	3.4542	6.2391
17.55	-967.8914÷458.5074	2.5078	3.2802
18.55	-864.8548÷411.5473	1.6548	1.2176
19.55	-757.0295÷363.9947	0.9716	0.4094
20.55	-644.3625÷315.8332	0.4674	0.8223
21.55	-526.7534÷267.0289	0.1505	1.0978
22.55	-404.0516÷217.5301	0.0903	1.1038
22.8	-372.5586÷205.0396	0.1216	1.0776

23.05	-340.7313÷192.5001	0.1502	1.0436
23.3	-308.5655÷179.9103	0.1737	1.0031
23.55	-276.0573÷167.2688	0.1927	0.9572
23.8	-243.2022÷154.5741	0.2076	0.9071
24.05	-209.9956÷141.8247	0.2188	0.8538
24.05	-209.9956÷141.8247	0.2188	0.8538
24.3	-190.531÷131.9128	0.235	0.797
24.55	-184.9772÷124.8607	0.2509	0.7361
24.8	-179.432÷117.8144	0.2596	0.6722
25.05	-173.8952÷110.7736	0.2623	0.6068
25.3	-168.3665÷103.738	0.2599	0.5414
25.55	-162.8456÷96.7072	0.2532	0.4772
25.8	-157.3323÷89.6809	0.2431	0.4151
26.05	-151.8264÷82.6588	0.2302	0.356
26.3	-146.3275÷75.6406	0.215	0.3006
26.55	-140.8354÷68.6259	0.1982	0.2491
26.8	-135.3499÷61.6143	0.18	0.2018
27.05	-129.8707÷54.6057	0.161	0.1592
27.3	-124.3975÷47.5995	0.1414	0.1214
27.55	-118.9302÷40.5956	0.1213	0.0885
27.8	-113.4684÷33.5936	0.1008	0.0608
28.05	-108.0118÷26.5932	0.08	0.0382
28.3	-102.5603÷19.594	0.0592	0.0208
28.55	-97.1136÷12.5957	0.0382	0.0086
28.8	-91.6714÷5.598	0.017	0.0017
29	-87.3207÷0	0	0

9.4.2. Casi a SLE

I massimi valori di **Sforzo Normale di compressione**, si ottengono nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C2** (Rara).



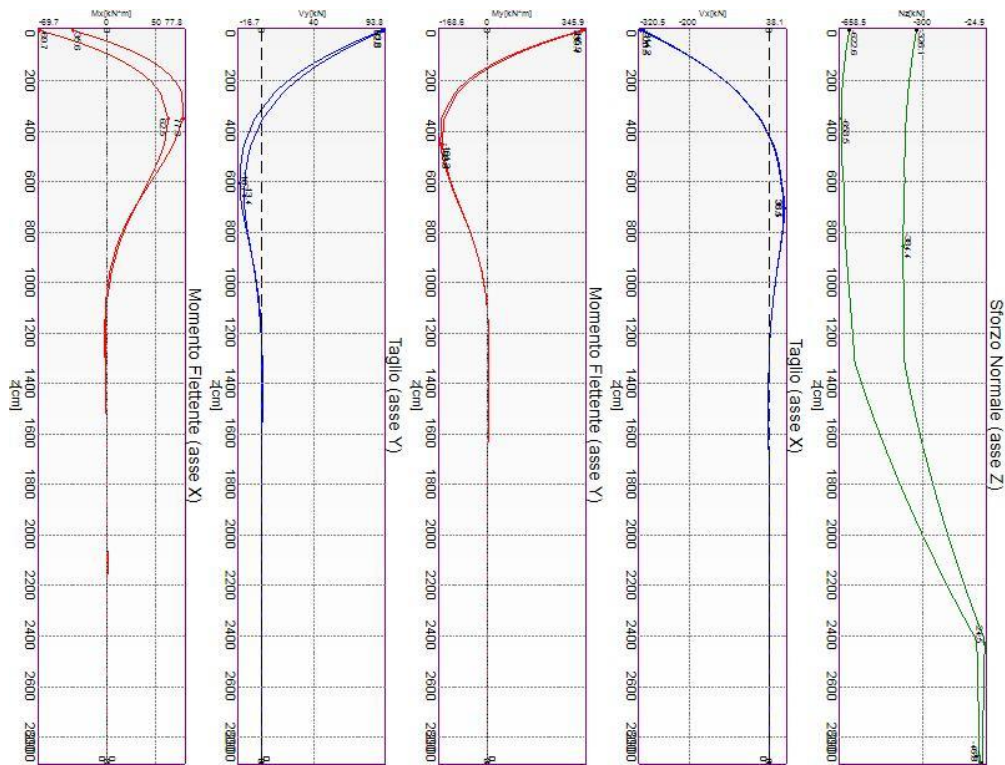
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM3, caso C2)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-2095.709÷-2026.173	365.4018÷370.274	-48.0022÷-47.7934	15.3157÷47.1422	-440.3635÷-431.321	4.2696÷4.388
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C2)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-2095.709÷-2026.173	373.3725	440.6297		
0	-2095.709÷-2026.173	373.3725	440.6297		
0.25	-2100.1806÷-2030.657	337.2458	354.2983		
0.5	-2103.7871÷-2034.3002	302.6972	276.9628		
0.75	-2106.5405÷-2037.1143	269.8693	208.5779		
1	-2108.4529÷-2039.1111	238.8678	151.3536		
1.25	-2109.5366÷-2040.3023	209.7658	110.3506		
1.5	-2109.8035÷-2040.6997	182.8901	88.2386		
1.75	-2109.266÷-2040.315	158.1142	87.8264		
2	-2107.9361÷-2039.1599	135.1969	101.8416		
2.25	-2105.8259÷-2037.2461	114.1264	120.6		
2.5	-2102.9475÷-2034.5854	94.8771	139.0248		
3.5	-2083.9609÷-2016.6751	35.4714	185.9215		
4.5	-2053.6333÷-1987.7332	18.4478	190.9977		
4.75	-2044.3739÷-1978.8656	21.5287	187.5522		
5	-2034.4634÷-1969.3642	25.0756	182.7274		
5.25	-2023.9128÷-1959.24	28.4244	176.7496		

5.5	-2012.7332÷-1948.5036	31.3254	169.8264
5.75	-2000.9356÷-1937.1656	33.7045	162.1468
6	-1988.5307÷-1925.2365	35.5615	153.8811
6.05	-1985.9779÷-1922.7807	35.8727	152.1713
6.05	-1985.9779÷-1922.7807	35.8727	152.1713
6.3	-1976.0237÷-1913.2344	38.4528	143.199
6.55	-1968.7145÷-1906.26	41.1002	133.4868
6.8	-1961.0058÷-1898.8966	42.6511	123.1853
7.05	-1952.905÷-1891.1514	43.2331	112.5776
7.3	-1944.4195÷-1883.0316	42.9875	101.9025
7.55	-1935.5565÷-1874.5441	42.0539	91.3586
7.8	-1926.3232÷-1865.6959	40.5641	81.1071
8.05	-1916.7267÷-1856.494	38.6387	71.276
8.3	-1906.774÷-1846.945	36.3862	61.9895
8.55	-1896.4722÷-1837.0559	33.9022	53.4003
9.55	-1851.8901÷-1794.2106	23.1412	25.3429
10.55	-1804.2092÷-1748.3414	13.4302	7.6079
11.55	-1757.148÷-1703.066	6.1766	4.0655
11.8	-1745.7225÷-1692.0765	4.7683	4.95
12.05	-1734.4312÷-1681.2171	3.5183	5.7014
12.3	-1723.2732÷-1670.4869	2.4235	6.2472
12.55	-1712.2477÷-1659.8851	1.5026	6.5813
12.8	-1701.3537÷-1649.4109	0.8774	6.7188
13.05	-1690.5906÷-1639.0634	0.7614	6.6821
13.05	-1690.5906÷-1639.0634	0.7614	6.6821
13.3	-1671.8285÷-1620.9285	0.9489	6.5197
13.55	-1644.9121÷-1594.8541	1.0569	6.2945
13.8	-1617.6846÷-1568.4759	1.1502	6.0366
14.05	-1590.151÷-1541.7986	1.2249	5.753
14.3	-1562.3161÷-1514.8268	1.2803	5.4501
14.55	-1534.1841÷-1487.5648	1.3172	5.1334
14.8	-1505.7593÷-1460.0166	1.3369	4.8082
15.05	-1477.0455÷-1432.1858	1.3412	4.479
15.3	-1448.0461÷-1404.076	1.3318	4.1496
15.55	-1418.7645÷-1375.6901	1.3105	3.8235
16.55	-1298.8484÷-1259.4195	1.1392	2.6033
17.55	-1174.5938÷-1138.906	0.8966	1.6012
18.55	-1046.0571÷-1014.2044	0.646	0.8534
19.55	-913.2111÷-885.2879	0.4242	0.3418
20.55	-775.9412÷-752.0449	0.2503	0.1645
21.55	-634.042÷-614.2758	0.1243	0.253
22.55	-487.2132÷-471.6884	0.0468	0.3034
22.8	-449.6928÷-435.247	0.0378	0.3064

23.05	-411.8327÷-398.4737	0.0338	0.3062
23.3	-373.6251÷-361.3609	0.0344	0.3032
23.55	-335.0618÷-323.9007	0.0377	0.2978
23.8	-296.1345÷-286.085	0.0418	0.2905
24.05	-256.8341÷-247.905	0.0459	0.2814
24.05	-256.8341÷-247.905	0.0459	0.2814
24.3	-233.4924÷-225.2787	0.0536	0.2704
24.55	-226.2821÷-218.3752	0.0635	0.2565
24.8	-219.0892÷-211.4884	0.0714	0.2401
25.05	-211.9131÷-204.6179	0.0772	0.2218
25.3	-204.7533÷-197.7631	0.0808	0.2022
25.55	-197.6093÷-190.9235	0.0825	0.1819
25.8	-190.4804÷-184.0986	0.0825	0.1613
26.05	-183.3662÷-177.2878	0.081	0.1409
26.3	-176.266÷-170.4907	0.0782	0.121
26.55	-169.1794÷-163.7066	0.0743	0.102
26.8	-162.1059÷-156.9352	0.0696	0.084
27.05	-155.0447÷-150.1758	0.0639	0.0673
27.3	-147.9955÷-143.4279	0.0575	0.0521
27.55	-140.9577÷-136.6911	0.0505	0.0386
27.8	-133.9307÷-129.9648	0.043	0.0269
28.05	-126.914÷-123.2484	0.035	0.0171
28.3	-119.907÷-116.5416	0.0264	0.0095
28.55	-112.9093÷-109.8437	0.0174	0.004
28.8	-105.9202÷-103.1542	0.0079	0.0008
29	-100.3348÷-97.8084	0	0

I massimi valori di **Sforzo Normale di trazione**, si ottengono nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C2** (Rara).



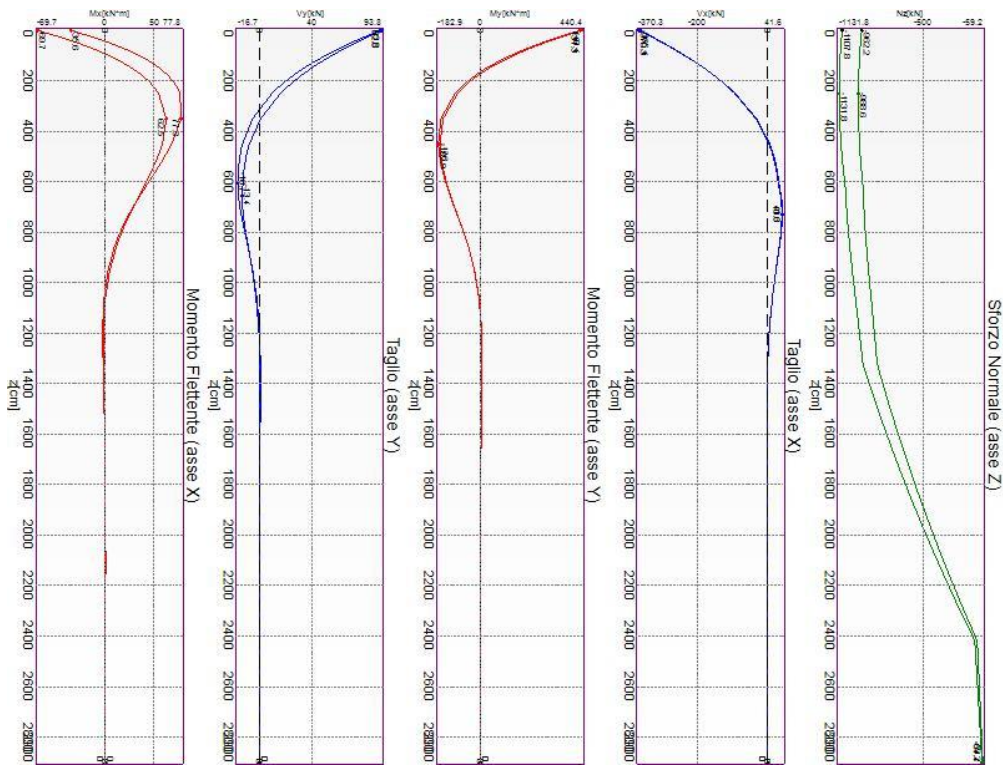
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C2)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-622.616÷-326.077	314.2482÷320.501	-93.8316÷-92.7978	-69.6814÷-35.5609	-345.9223÷-339.4286	4.2696÷4.388
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C2)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-622.616÷-326.077	333.665	352.8707		
0	-622.616÷-326.077	333.665	352.8707		
0.25	-627.3493÷-330.863	299.6894	275.374		
0.5	-631.7344÷-335.4048	267.3502	205.9964		
0.75	-635.7749÷-339.7045	236.7573	144.5235		
1	-639.4746÷-343.764	207.9879	91.0394		
1.25	-642.8372÷-347.5853	181.0894	57.0205		
1.5	-645.8663÷-351.1704	156.6834	56.386		
1.75	-648.5657÷-354.5214	134.1384	76.6997		
2	-650.9392÷-357.6404	113.3528	100.7404		
2.25	-652.9906÷-360.5296	94.2998	122.765		
2.5	-654.7236÷-363.191	76.939	141.4231		
3.5	-658.5394÷-371.5969	23.4092	182.1988		
4.5	-657.5664÷-376.533	16.9711	181.8028		
4.75	-656.6056÷-377.2428	21.4973	177.4189		
5	-655.3644÷-377.7468	25.5335	171.8164		
5.25	-653.8464÷-378.0471	28.9389	165.2073		

5.5	-652.0554÷-378.146	31.7079	157.7838
5.75	-649.9949÷-378.0457	33.8801	149.7181
6	-647.6687÷-377.7483	35.5112	141.1632
6.05	-647.1718÷-377.6654	35.7778	139.4057
6.05	-647.1718÷-377.6654	35.7778	139.4057
6.3	-645.8568÷-378.0894	37.9109	130.2882
6.55	-645.6405÷-379.301	39.9113	120.6248
6.8	-645.2476÷-380.3807	40.8799	110.5726
7.05	-644.6805÷-381.3302	40.9726	100.3775
7.3	-643.9418÷-382.151	40.3381	90.2439
7.55	-643.0341÷-382.8446	39.1137	80.3392
7.8	-641.9597÷-383.4127	37.4242	70.797
8.05	-640.7213÷-383.8568	35.3806	61.7208
8.3	-639.3212÷-384.1783	33.0814	53.2949
8.55	-637.7619÷-384.379	30.6116	45.5339
9.55	-629.9747÷-383.9987	20.3273	20.525
10.55	-620.6711÷-382.4206	11.4362	4.999
11.55	-611.4433÷-380.8088	4.9899	4.1161
11.8	-609.2543÷-380.4791	3.7585	5.0312
12.05	-607.112÷-380.1786	2.6719	5.7103
12.3	-605.0165÷-379.9074	1.7245	6.1608
12.55	-602.9674÷-379.6653	0.9151	6.4054
12.8	-600.9647÷-379.4525	0.4733	6.4704
13.05	-599.0082÷-379.2687	0.7068	6.3825
13.05	-599.0082÷-379.2687	0.7068	6.3825
13.3	-593.5312÷-376.466	0.9652	6.1871
13.55	-584.454÷-370.98	1.0765	5.9389
13.8	-575.2178÷-365.3655	1.1641	5.6638
14.05	-565.8244÷-359.6238	1.2291	5.3685
14.3	-556.2755÷-353.7559	1.2733	5.0586
14.55	-546.5728÷-347.763	1.2988	4.7394
14.8	-536.7177÷-341.6461	1.3077	4.4156
15.05	-526.7117÷-335.406	1.302	4.0911
15.3	-516.556÷-329.0437	1.2839	3.7693
15.55	-506.2519÷-322.5598	1.255	3.4533
16.55	-463.5633÷-295.4174	1.066	2.2901
17.55	-418.5634÷-266.3718	0.8213	1.3604
18.55	-371.2702÷-235.4332	0.5784	0.6816
19.55	-321.6686÷-202.5889	0.3688	0.2222
20.55	-269.7086÷-167.8021	0.209	0.1401
21.55	-215.3036÷-131.01	0.095	0.2569
22.55	-158.3281÷-92.1224	0.0245	0.2975
22.8	-143.6647÷-82.0601	0.0207	0.298

23.05	-128.8273÷-71.8573	0.0239	0.2954
23.3	-113.8129÷-61.5118	0.03	0.2903
23.55	-98.6182÷-51.0212	0.0364	0.283
23.8	-83.2394÷-40.3829	0.042	0.2739
24.05	-67.673÷-29.5941	0.0467	0.2634
24.05	-67.673÷-29.5941	0.0467	0.2634
24.3	-59.4885÷-24.4609	0.0545	0.2511
24.55	-58.7767÷-25.0573	0.0635	0.2366
24.8	-58.0694÷-25.6555	0.07	0.22
25.05	-57.3666÷-26.2558	0.0745	0.202
25.3	-56.6682÷-26.8581	0.0768	0.1831
25.55	-55.9741÷-27.4624	0.0774	0.1639
25.8	-55.2844÷-28.0689	0.0766	0.1446
26.05	-54.5988÷-28.6775	0.0745	0.1257
26.3	-53.9175÷-29.2883	0.0713	0.1075
26.55	-53.2404÷-29.9014	0.0673	0.0902
26.8	-52.5673÷-30.5168	0.0624	0.0739
27.05	-51.8982÷-31.1345	0.057	0.059
27.3	-51.2332÷-31.7546	0.0509	0.0455
27.55	-50.5721÷-32.3771	0.0445	0.0336
27.8	-49.9149÷-33.0022	0.0377	0.0233
28.05	-49.2615÷-33.6298	0.0304	0.0148
28.3	-48.6119÷-34.2599	0.0228	0.0081
28.55	-47.966÷-34.8927	0.015	0.0034
28.8	-47.3238÷-35.5282	0.0068	0.0007
29	-46.8127÷-36.0385	0	0

I massimi valori di **Taglio (in valore assoluto)**, **Momento flettente (in valore assoluto)**, si ottengono nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C2** (Rara).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM4, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM4, caso C2)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1107.836÷-962.2325	365.4018÷370.274	-93.8316÷-92.7978	-69.6814÷-35.5609	-440.3635÷-431.321	4.2696÷4.388
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM4, caso C2)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-1107.836÷-962.2325	381.7254	445.8424		
0	-1107.836÷-962.2325	381.7254	445.8424		
0.25	-1112.4831÷-966.9055	344.6082	356.5058		
0.5	-1116.6117÷-971.111	309.1031	276.0982		
0.75	-1120.2283÷-974.8549	275.3568	204.3642		
1	-1123.3393÷-978.1425	243.478	141.1917		
1.25	-1125.9512÷-980.9796	214.1312	87.0758		
1.5	-1128.0705÷-983.3719	186.778	60.891		
1.75	-1129.7037÷-985.3251	161.3137	65.9184		
2	-1130.8573÷-986.8448	137.7425	88.1333		
2.25	-1131.5379÷-987.9367	116.0488	112.6967		
2.5	-1131.752÷-988.6066	96.201	134.9087		
3.5	-1128.0569÷-987.1654	34.3012	188.3624		
4.5	-1117.4149÷-979.4248	14.5012	195.0834		
4.75	-1113.7206÷-976.5508	18.9743	191.7291		
5	-1109.6238÷-973.3109	23.4807	186.9139		
5.25	-1105.1306÷-969.7105	27.4732	180.8785		

5.5	-1100.2471÷-965.7549	30.8202	173.8423
5.75	-1094.9793÷-961.4496	33.5178	166.0034
6	-1089.3333÷-956.7998	35.6071	157.5392
6.05	-1088.1593÷-955.829	35.9569	155.7855
6.05	-1088.1593÷-955.829	35.9569	155.7855
6.3	-1083.9986÷-952.5222	38.8434	146.5714
6.55	-1081.446÷-950.6707	41.7838	136.5845
6.8	-1078.6433÷-948.5911	43.5088	125.9868
7.05	-1075.5947÷-946.2871	44.1858	115.0726
7.3	-1072.3043÷-943.7625	43.9798	104.0899
7.55	-1068.7762÷-941.0206	43.0467	93.2439
7.8	-1065.0144÷-938.0653	41.5292	82.7011
8.05	-1061.0229÷-934.8999	39.5561	72.7093
8.3	-1056.8057÷-931.528	37.242	63.3281
8.55	-1052.3667÷-927.9532	34.6873	54.5102
9.55	-1032.4597÷-911.6831	23.6155	25.6912
10.55	-1010.515÷-893.5317	13.7074	7.348
11.55	-988.8253÷-875.5815	6.2589	3.7114
11.8	-983.5939÷-871.2631	4.8109	4.8186
12.05	-978.4381÷-867.0116	3.5234	5.6927
12.3	-973.3575÷-862.8267	2.3907	6.3097
12.55	-968.3517÷-858.7082	1.4093	6.6857
12.8	-963.4203÷-854.6556	0.6436	6.8466
13.05	-958.563÷-850.6688	0.6042	6.821
13.05	-958.563÷-850.6688	0.6042	6.821
13.3	-948.71÷-842.1289	0.8825	6.6622
13.55	-933.7568÷-828.939	1.0188	6.4366
13.8	-918.5945÷-815.555	1.1317	6.1761
14.05	-903.2259÷-801.9794	1.2205	5.888
14.3	-887.6538÷-788.2147	1.2862	5.5791
14.55	-871.8807÷-774.2632	1.3305	5.2555
14.8	-855.9089÷-760.1269	1.3556	4.9226
15.05	-839.7408÷-745.8078	1.3637	4.585
15.3	-823.3782÷-731.3078	1.3568	4.247
15.55	-806.8231÷-716.6285	1.337	3.9121
16.55	-738.6967÷-656.1354	1.1657	2.6571
17.55	-667.5912÷-592.8636	0.9179	1.6339
18.55	-593.5373÷-526.84	0.6606	0.8631
19.55	-516.5159÷-458.0467	0.4324	0.3292
20.55	-436.4558÷-386.4188	0.2549	0.1213
21.55	-353.2312÷-311.8423	0.1246	0.247
22.55	-266.6591÷-234.1515	0.0391	0.3073
22.8	-244.4668÷-214.2184	0.0273	0.3113

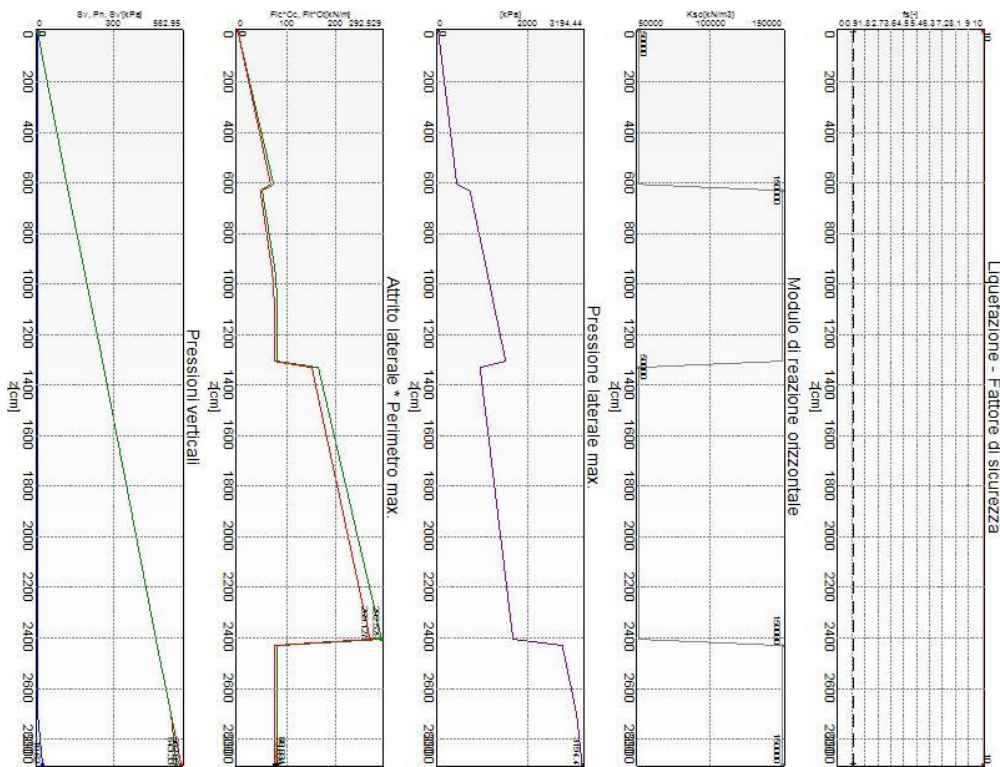
23.05	-222.0461÷-194.0732	0.0233	0.3119
23.3	-199.3921÷-173.7117	0.0257	0.3094
23.55	-176.5÷-153.1294	0.0313	0.3043
23.8	-153.3646÷-132.3216	0.0373	0.297
24.05	-129.9805÷-111.2834	0.0427	0.288
24.05	-129.9805÷-111.2834	0.0427	0.288
24.3	-116.8034÷-99.6045	0.0521	0.2768
24.55	-113.9511÷-97.3945	0.0636	0.2627
24.8	-111.1075÷-95.192	0.0724	0.2458
25.05	-108.2724÷-92.9968	0.0786	0.227
25.3	-105.4457÷-90.8087	0.0826	0.2069
25.55	-102.6271÷-88.6276	0.0844	0.1861
25.8	-99.8164÷-86.4533	0.0845	0.165
26.05	-97.0133÷-84.2857	0.0829	0.1441
26.3	-94.2177÷-82.1246	0.0801	0.1237
26.55	-91.4294÷-79.9697	0.076	0.1042
26.8	-88.648÷-77.821	0.0712	0.0857
27.05	-85.8735÷-75.6783	0.0653	0.0687
27.3	-83.1056÷-73.5414	0.0588	0.0532
27.55	-80.3441÷-71.4102	0.0516	0.0394
27.8	-77.5887÷-69.2844	0.0439	0.0274
28.05	-74.8393÷-67.164	0.0357	0.0175
28.3	-72.0957÷-65.0487	0.027	0.0097
28.55	-69.3576÷-62.9385	0.0178	0.0041
28.8	-66.6248÷-60.833	0.0081	0.0008
29	-64.4423÷-59.1521	0	0

9.5. VERIFICHE GEOTECNICHE.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo.

9.5.1. Verifica: Capacità portante

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C5**, sestetto **3** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



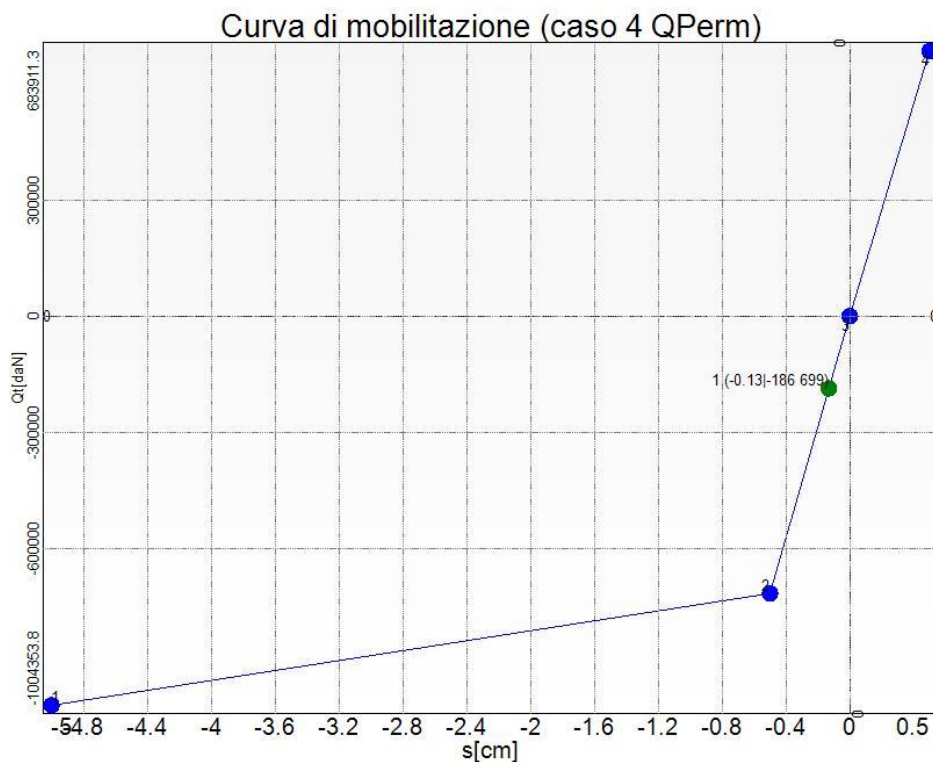
Capacità portante
Situazione peggiore: Punto maglia PM3, Caso C5, Sestetto 3

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Capacità portante					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Qt[kN]	S _d : Qt[kN]	fs[-]
PM1	C5	4	3315.93	1177.64	2.82
PM2	C5	1	5042.85	3923.68	1.29
PM3	C5	3	5042.85	4634.03	1.09
PM4	C1	2	5042.85	2247.13	2.24
PM5	C1	2	5042.85	1919.56	2.63
PM6	C5	1	5042.85	4188.77	1.20
PM7	C1	2	5042.85	2413.34	2.09
PM8	C1	2	5042.85	2740.91	1.84

9.5.2. Verifica: Cedimento

I cedimenti del singolo palo sono calcolati utilizzando la relativa curva di mobilitazione. L'interazione tra i pali è valutata con il metodo dei fattori di interazione (Poulos e Davis, 1980). La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM8**, nel caso di carico **C4**, sestetto **1** (Quasi Permanente). Si ottengono i seguenti valori: cedimento del palo singolo = -1.30 [mm], cedimento indotto dal gruppo = -3.89 [mm], cedimento totale: -5.19 [mm].



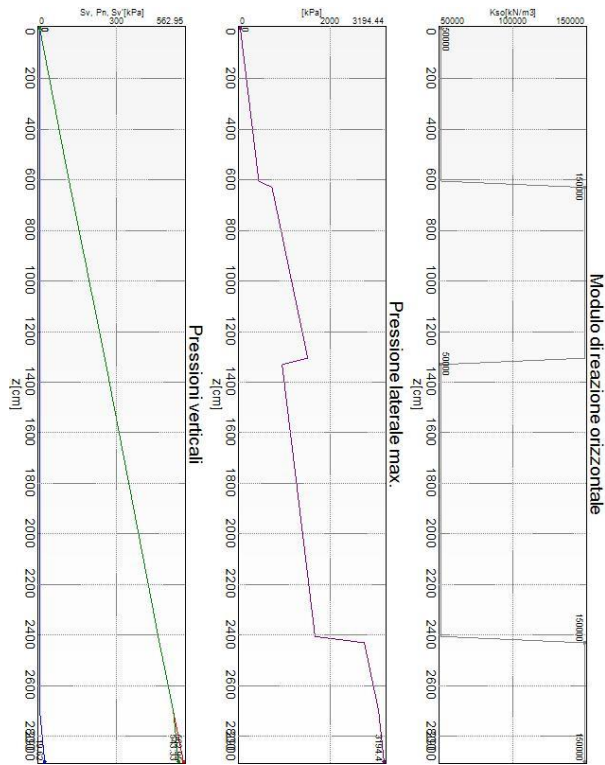
Cedimento
Situazione peggiore: Punto maglia PM8, Caso C4, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Cedimento					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Ced.[mm]	S _d : Ced.[mm]	f _s [-]
PM1	C4	1	-40	0 + -4 = -4	9.30
PM2	C4	1	-40	-1 + -3 = -5	8.53
PM3	C4	1	-40	-2 + -3 = -5	8.06
PM4	C4	1	-40	-1 + -3 = -5	8.74
PM5	C4	1	-40	0 + -4 = -5	8.45
PM6	C4	1	-40	-1 + -4 = -5	7.76
PM7	C4	1	-40	-1 + -4 = -5	7.95
PM8	C4	1	-40	-1 + -4 = -5	7.70

9.5.3. Verifica: Resistenza trasversale

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C5**, sestetto **1** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Resistenza trasversale
Situazione peggiore: Punto maglia PM4, Caso C5, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Resistenza trasversale					
Punto	Caso	Ses.	R _d : R _{tr} [kN]	S _d : R _{tr} [kN]	fs[-]
PM1	C5	1	37847.47	911.85	10.00
PM2	C5	1	37847.47	910.05	10.00
PM3	C5	1	37847.47	947.67	10.00
PM4	C5	1	37847.47	949.41	10.00
PM5	C5	1	37847.47	930.63	10.00
PM6	C5	1	37847.47	928.86	10.00
PM7	C5	1	37847.47	920.19	10.00
PM8	C5	1	37847.47	938.99	10.00

9.6. VERIFICHE STRUTTURALI.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo, solo in corrispondenza della progressiva dove si ottiene la situazione più severa.

9.6.1. Verifica: Spostamento orizzontale

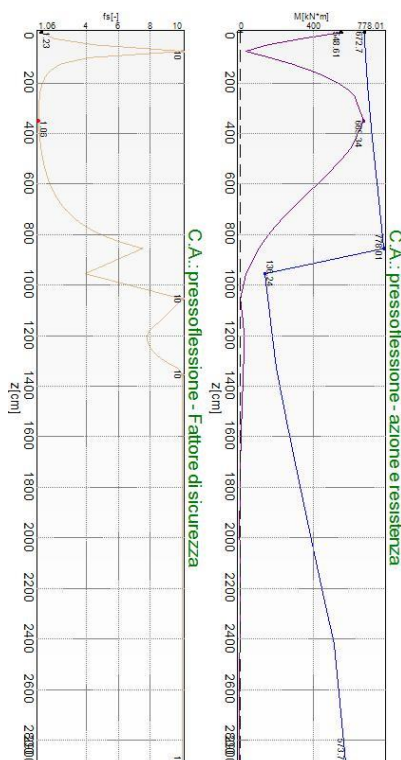
La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C2**, sestetto **2** (Rara).

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Spostamento orizzontale					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Sor[mm]	S _d : Sor[mm]	fs[-]
PM1	C2	2	50	3	10.00
PM2	C2	2	50	3	10.00
PM3	C2	2	50	3	10.00
PM4	C2	2	50	3	10.00
PM5	C2	2	50	3	10.00
PM6	C2	2	50	3	10.00
PM7	C2	2	50	3	10.00
PM8	C2	2	50	3	10.00

9.6.2. Verifica: C.A.: pressoflessione

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C5**, sestetto **2** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



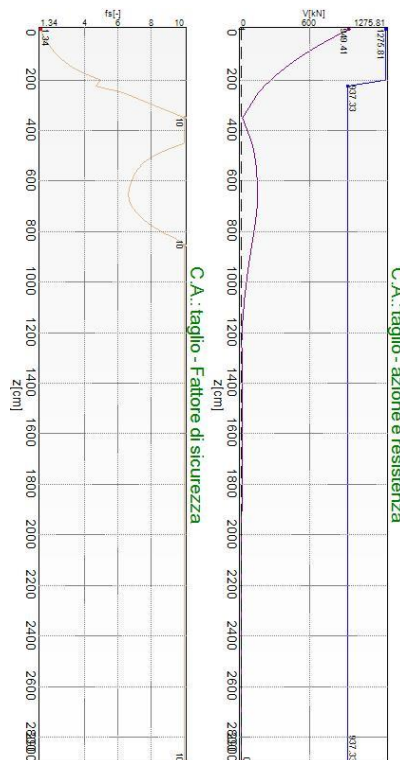
C.A.: pressoflessione
Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C5, Sestetto 2

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: pressoflessione					
Punto	Caso	Ses.	R _d : M[kN*m]	S _d : M[kN*m]	fs[-]
PM1	C5	2	706.7664	669.3435	1.06
PM2	C5	2	1746.6809	668.9321	2.61
PM3	C5	2	1782.1828	674.0502	2.64
PM4	C5	2	875.4568	674.4585	1.30
PM5	C5	2	791.6144	671.9009	1.18
PM6	C5	2	1767.9172	671.4911	2.63
PM7	C5	2	1397.9763	670.413	2.09
PM8	C5	2	1449.978	672.9712	2.15

9.6.3. Verifica: C.A.: taglio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C5**, sestetto **1** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



C.A.: taglio
Situazione peggiore: Punto maglia PM4, Caso C5, Sestetto 1

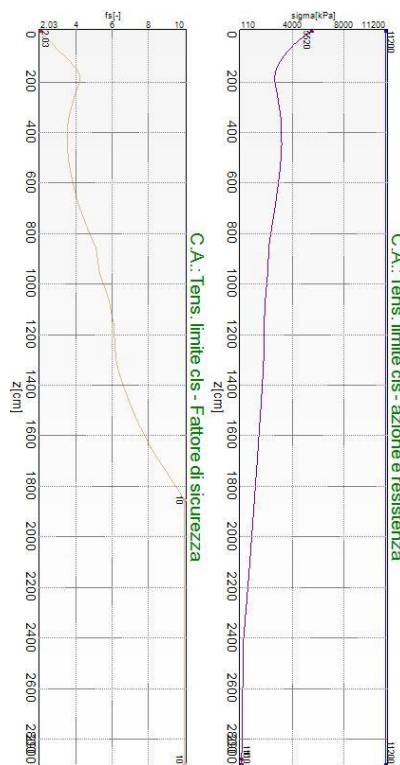
Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: taglio

Punto	Caso	Ses.	R _d : V[kN]	S _d : V[kN]	fs[-]
PM1	C5	1	1275.81	911.85	1.40
PM2	C5	1	1275.81	910.05	1.40
PM3	C5	1	1275.81	947.67	1.35
PM4	C5	1	1275.81	949.41	1.34
PM5	C5	1	1275.81	930.63	1.37
PM6	C5	1	1275.81	928.86	1.37
PM7	C5	1	1275.81	920.19	1.39
PM8	C5	1	1275.81	938.99	1.36

9.6.4. Verifica: C.A.: Tens. limite cls

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C4**, sestetto **1** (Quasi Permanente).



C.A.: Tens. limite cls
Situazione peggiore: Punto maglia PM3, Caso C4, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

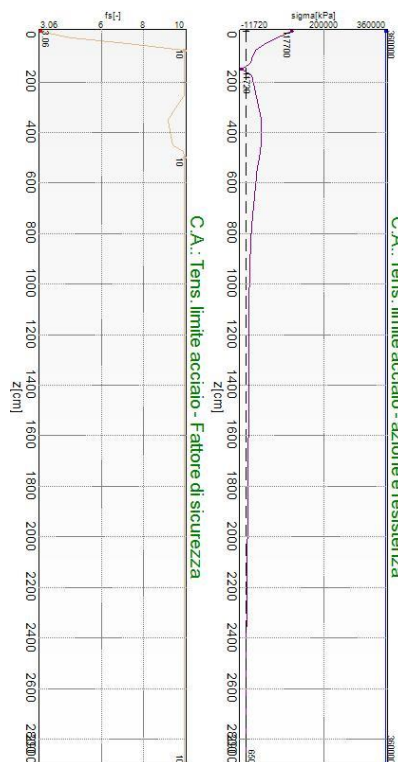
Verifica: C.A.: Tens. limite cls

Punto	Caso	Ses.	R _d : sigma[kPa]	S _d : sigma[kPa]	fs[-]
PM1	C4	1	11200	4770	2.35
PM2	C4	1	11200	4520	2.48

PM3	C4	1	11200	5520	2.03
PM4	C4	1	11200	5470	2.05
PM5	C4	1	11200	5110	2.19
PM6	C4	1	11200	5010	2.24
PM7	C4	1	11200	4730	2.37
PM8	C4	1	11200	5150	2.18

9.6.5. Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C2**, sestetto **2** (Rara).



C.A.: Tens. limite acciaio
Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C2, Sestetto 2

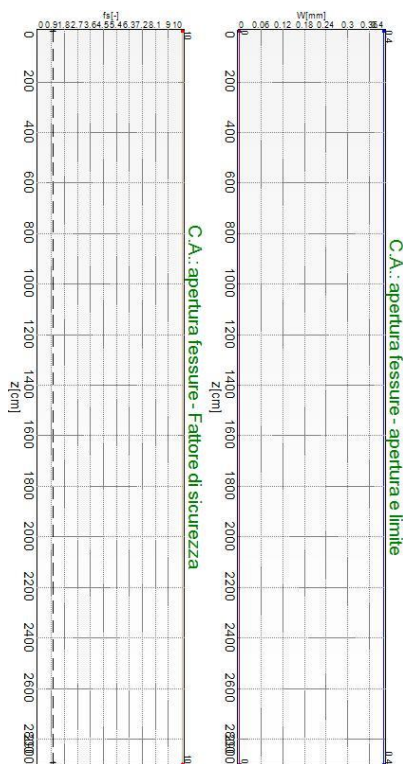
Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio					
Punto	Caso	Ses.	R _d : sigma[kPa]	S _d : sigma[kPa]	fs[-]
PM1	C2	2	360000	117700	3.06
PM2	C2	1	360000	64930	5.54
PM3	C2	1	360000	83040	4.34
PM4	C2	2	360000	84670	4.25
PM5	C2	2	360000	99350	3.62
PM6	C2	1	360000	73980	4.87
PM7	C2	1	360000	66210	5.44

PM8	C2	1	360000	74940	4.80
-----	----	---	--------	-------	------

9.6.6. Verifica: C.A.: apertura fessure

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C3**, sestetto **1** (Frequente).



C.A.: apertura fessure
Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C3, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: apertura fessure					
Punto	Caso	Ses.	R _d : W[mm]	S _d : W[mm]	fs[-]
PM1	C3	1	0.4	0	10.00
PM2	C3	1	0.4	0	10.00
PM3	C3	1	0.4	0	10.00
PM4	C3	1	0.4	0	10.00
PM5	C3	1	0.4	0	10.00
PM6	C3	1	0.4	0	10.00
PM7	C3	1	0.4	0	10.00
PM8	C3	1	0.4	0	10.00

10. VERIFICA DELLA PALIFICATA DELLA PILA

La seguente tabella riassume schematicamente tutte le verifiche eseguite nei vari casi di calcolo definiti. Per ciascuna verifica è indicato il confronto tra resistenza di calcolo R_d ed azione di calcolo S_d , ed il relativo coefficiente di sicurezza f_s .

Tutti i Punti maglia (9), Tutti i casi (5), Tutti i sestetti (33)												
Caso	C.Port. [kN][f.s.]	Cedim. [mm]	R.Tras. [kN][f.s.]	Sp.Ori. [mm]	C.A.:M [kN*m][f.s.]	C.A.:V [kN][f.s.]	C.A.:t.cls. [kPa][f.s.]	C.A.:t.acc. [kPa][f.s.]	C.A.:fes. [mm]	C.A.:% a.lon. [f.s.]	C.A.:D a.tra. [mm]	C.A.:P a.tra. [cm]
1: SLU	PM3-S1 ↓5840.82/ 3261.89 = 1.79	---	PM3-S4 43154.3/1 38.35 = 311.92	---	PM1-S4 2955.244/ 167.7884 = 17.61	PM3-S4 1893.68/1 38.35 = 13.69	---	---	---	---	---	---
2: Rara	---	PM5-S1 -5 (max -50)	---	PM1-S1 0 (max 50)	---	---	PM3-S1 14940/24 30 = 6.16	PM3-S1 360000/3 4250 = 10.51	---	---	---	---
3: Freq	---	---	---	---	---	---	---	PM1-S1 0 (max 0.4)	---	---	---	---
4: QPerm	---	PM 5-S1 -5 (max -40)	---	PM1-S1 0 (max 40)	---	---	PM3-S1 11200/21 60 = 5.18	PM1-S1 0 (max 0.3)	---	---	---	---
5: SLV Sism.	PM9-S6 ↓5840.82/ 5208.65 = 1.12	---	PM3-S5 43154.3/1 695.9 = 25.45	---	PM7-S17 2028.467 7/2004.28 19 = 1.01	PM4-S17 1737.27/1 657.5 = 1.05	---	---	---	PM1-S1 2.8/0 = ∞	PM1-S1 16 (min 0)	PM1-S1 10 (max ∞)

C.Port. = Capacità portante | Cedim. = Cedimento | R.Tras. = Resistenza trasversale | Sp.Ori. = Spostamento orizzontale | C.A.:M = C.A.: presso flessione | C.A.:V = C.A.: taglio | C.A.:t.cls. = C.A.: Tens. limite cls | C.A.:t.acc. = C.A.: Tens. limite acciaio | C.A.:fes. = C.A.: apertura fessure | C.A.:% a.lon. = C.A.: % arm. longitudinale | C.A.:D a.tra. = C.A.: diametro arm. trasversale | C.A.:P a.tra. = C.A.: passo arm. trasversale | --- = Verifica non prevista

10.1. COMBINAZIONI DEI CARICHI.

Tutte le verifiche sono eseguite secondo l'Approccio 2.

Si svolge l'analisi per i seguenti 5 casi di carico.

Caso	Nome	Tipo	Sisma	n° sestetti	Descr.
C1	Caso 1	SLU	No	4	
C2	Caso 2	Rara	No	2	
C3	Caso 3	Freq	No	2	
C4	Caso 4	QPerm	No	1	
C5	Caso 5	SLV	Si	24	

10.2. DATI DEL PROGETTO.

10.2.1. Tipi di palo e armatura.

Nel progetto è utilizzata una sola tipologia di palo circolare in C.A.

Palo	Nome	Ø sup.[mm]	Ø inf.[mm]	L[m]	W[kN]	Tipo	Cls	Acc.
C1	Circ. 1	1000	1000	29	569.4137	Trivellato	C25/30 (Cls 1)	B450C (Bar 1)

Il palo è armato con 27Φ32 e con staffe Φ16/10 nei primi due metri e Φ12/15 nella parte restante.

10.2.2. Stratigrafia.

Per il calcolo si è fatto riferimento alla Tabella III “**Caratterizzazione stratigrafico-geotecnica**” presente nell’elaborato “**Schede geotecniche delle opere**” presente nel Progetto definitivo e riportata di seguito.

Tabella III:Caratterizzazione stratigrafico – geotecnica

<u>Quota p.c.</u> <u>(m s.l.m.m.)</u>	<u>Profondità</u> <u>(m da p.c.)</u>	<u>descrizione</u>	<u>sigla</u>	<u>Z_w</u> <u>(m da p.c.)</u>	<u>Parametri medi</u> <u>caratteristici</u>
52.00	0.00 ÷ 9.00	Limo argilloso	A	?	Tabella IV
	9.00 ÷ 16.00	Ghiaia e Sabbia	B	?	Tabella VI
	16.00 ÷ 27.00	Limo argilloso	A'	?	Tabella V
	27.00 ÷ 40.00	Ghiaia e Sabbia	B	?	Tabella VI

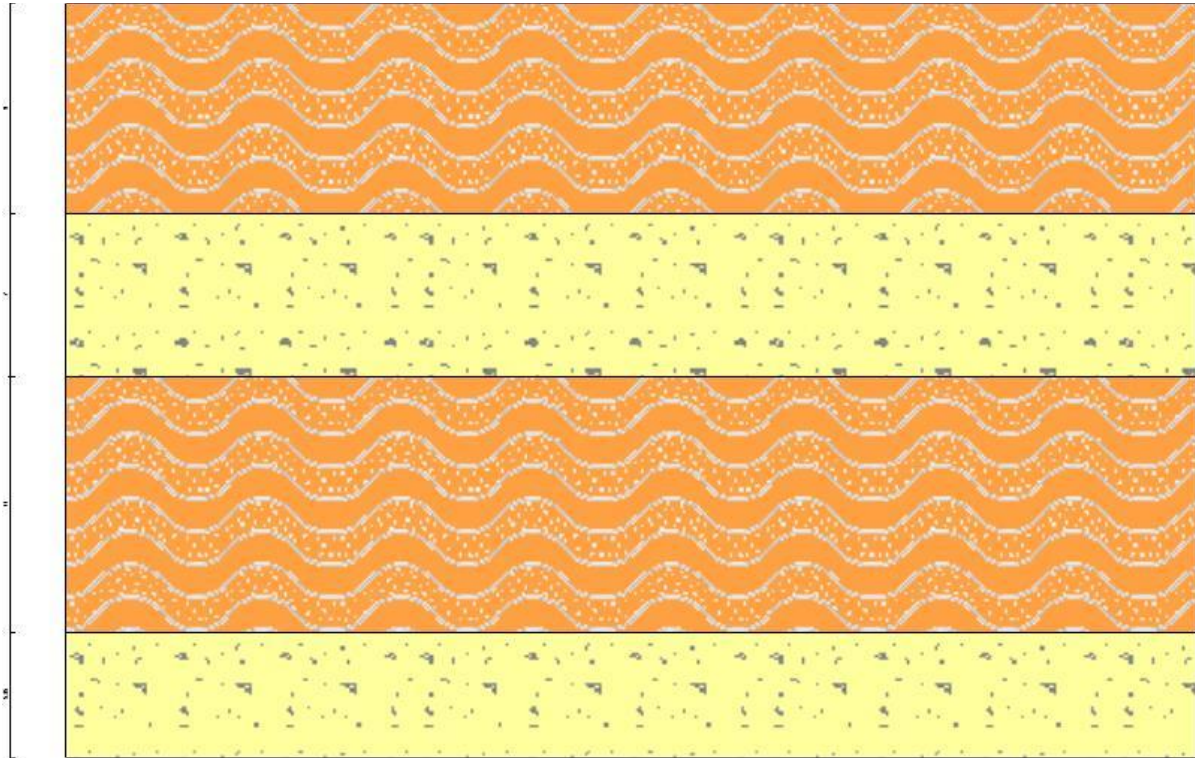
I tre tipi di terreni riportati nella tabella precedente, secondo gli studi geotecnici del progetto definitivo hanno le seguenti caratteristiche:

T1	Limo Argilloso A				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
19	19	0	26	-	-
E _s [kPa]					
5000					
T2	Ghiaia e sabbia B				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
20	20	0	38	-	-
E _s [kPa]					
50000					
T3	Limo Argilloso A'				
γ _d [kN/m ³]	γ _t [kN/m ³]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	s _{u,k} [kPa]	q _{u,k} [kPa]
19	19	0	26	-	-
E _s [kPa]					
5000					

Seguono le caratteristiche della stratigrafia utilizzata nei calcoli.

S1	4 strati - Nessuna falda		
Strato	Quota[m]	Altezza[m]	Terreno
1	2.35	9	T1
2	-6.65	7	T2

3	-13.65	11	T3
4	-24.65	5.35	T2



Str. 1

10.2.3. Prove penetrometriche.

Per la valutazione della portata di base si assume $N_{SPT} = 68$ sulla base delle prove disponibili.

10.2.4. Punti maglia.

La palificata comprende 9 punti maglia, a ciascuno dei quali corrispondono delle coordinate, un tipo di palo ed i dati del terreno.

Punto	X[m]	Y[m]	Palo	$\beta[^\circ]$	$\theta[^\circ]$	Rotaz.	Stratig.	SPT	CPT	Descr.
PM1	2.5	-2.08	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P1
PM2	0	-2.08	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P2
PM3	-2.5	-2.08	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P3
PM4	2.5	0.42	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P4
PM5	0	0.42	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P5
PM6	-2.5	0.42	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P6
PM7	2.5	2.92	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P7
PM8	0	2.92	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P8
PM9	-2.5	2.92	C1	0	0	Impedita	S1	SPT1	-	P9

10.2.5. Fondazione.

I pali sono collegati da una fondazione, il cui contorno è definito da 4 vertici.

Vertice	X[m]	Y[m]
V1	-3.75	3.92
V2	3.75	3.92
V3	3.75	-3.92
V4	-3.75	-3.92

Le sollecitazioni sono applicate nel seguente punto sulla fondazione.

Punto	X[m]	Y[m]
P1	0	0

10.2.6. Azioni.

Le azioni sono applicate sulla fondazione, espresse rispetto al sistema di riferimento globale.

Punto	Caso	Ses.	N _z [kN]	V _x [kN]	V _y [kN]	M _x [kN*m]	M _y [kN*m]	T _z [kN*m]
1	C1	1	-17437.7	-338.4	-476.2	-530	-1610.7	-340.2
1	C1	2	-16021.3	719.5	-402.1	-361.8	2535.8	-297
1	C1	3	-10528.5	251.3	-88.8	921.5	1016.4	254.3
1	C1	4	-14235.4	1058.7	-199.1	399.9	4061.8	45.2
1	C2	1	-12814.7	-250.1	-506.8	-294.2	-1199.6	-251.2
1	C2	2	-10384.2	186.7	-219.9	780.9	746.4	189.2
1	C3	1	-12170.5	-159.1	142.7	-535.1	-748.7	-159.5
1	C3	2	-10847.6	92.1	293	29	381.6	94.1
1	C4	1	-10922.5	-33.3	201.5	-388.2	-167.8	-31.1
1	C5	1	-12323.9	-6434	6118.1	1757.2	-6739.5	72.3
1	C5	2	-13383	-6596.3	5962.7	1924.7	-7209.8	60.8
1	C5	3	-11213.9	-7131.6	-2208.5	-1026.4	-8159.6	157.1
1	C5	4	-10154.8	-6969.3	-2053.1	-1193.9	-7689.3	168.6
1	C5	5	-13986.4	-3400.1	14330.8	4666.5	-8942.3	-120.6
1	C5	6	-15045.5	-3562.4	14175.3	4834	-9412.6	-132.2
1	C5	7	-10220.2	-3835.2	4979	1028.3	-9501.8	5.1
1	C5	8	-13750.5	-4376.2	4461	1586.6	-11069.4	-33.2
1	C5	9	-7815.3	-5346.7	-13061.9	-5002.7	-12578.7	188.9
1	C5	10	-6756.2	-5184.4	-12906.5	-5170.2	-12108.4	200.4
1	C5	11	-11581.5	-4911.5	-3710.2	-1364.4	-12019.3	63.1
1	C5	12	-8051.2	-4370.6	-3192.1	-1922.8	-10451.6	101.5
1	C5	13	-13242.3	-1334.8	13199	4209.3	-11780.3	-189.7
1	C5	14	-14301.4	-1497.1	13043.6	4376.8	-12250.6	-201.2
1	C5	15	-9476.2	-1770	3847.3	571	-12339.8	-63.9
1	C5	16	-13006.5	-2311	3329.2	1129.3	-13907.4	-102.3

1	C5	17	-7071.3	-3281.5	-14193.7	-5460	-15416.7	119.8
1	C5	18	-6012.2	-3119.2	-14038.3	-5627.5	-14946.4	131.3
1	C5	19	-10837.4	-2846.3	-4842	-1821.7	-14857.2	-6
1	C5	20	-7307.1	-2305.3	-4323.9	-2380	-13289.6	32.4
1	C5	21	-9843.7	450.1	2345.6	232.9	-16199.4	-157.9
1	C5	22	-10902.8	287.8	2190.1	400.4	-16669.7	-169.4
1	C5	23	-8733.8	-247.5	-5981	-2550.6	-17619.5	-73.1
1	C5	24	-7674.7	-85.2	-5825.6	-2718.1	-17149.2	-61.6

10.3. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E CURVA DI MOBILITAZIONE.

Il seguente calcolo di capacità portante vale per tutti i pali.

Si riporta integralmente il calcolo di capacità portante per la situazione peggiore (coef. di sicurezza minore): Punto maglia PM9, Caso C5 (Stato limite di salvaguardia della Vita).

10.3.1. Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la portata di base.

Il calcolo della portata di base viene effettuato col metodo **Reese e O'Neill**.

Reese e O'Neill (1988) propongono un metodo di calcolo empirico per pali trivellati in sabbie, basato sui risultati di prove penetrometriche dinamiche. La correlazione proposta fornisce la capacità portante corrispondente ad un rapporto s/D pari a 0.05 (5%).

$$q_{lim} = 0.06 N_{SPT} < 4.3 \text{ MPa}$$

10.3.2. Descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la portata laterale.

Il calcolo della portata per attrito laterale viene effettuato con i seguenti metodi: Metodo: **Kulhavy**, Metodo: **Beta**.

Metodo: **Kulhavy**

L'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale K, dell'angolo di attrito palo-terreno δ e della tensione verticale efficace σ'_v . Viene inoltre valutata la profondità critica z_c oltre cui l'attrito rimane costante, secondo il diametro del palo. I valori di queste grandezze sono stimati secondo le indicazioni di Kulhavy (1983). Questo metodo è applicabile a terreni non coesivi, sia per pali infissi che per pali trivellati.

$$f_{s,lim} = K \sigma'_v \tan \delta$$

Metodo: **Beta**

L'attrito laterale è valutato in termini di tensioni efficaci, in funzione di un coefficiente di spinta orizzontale K e dell'angolo di attrito palo-terreno δ . Il valore di K dipende dalla natura del terreno e dal metodo di installazione del palo, come indicato da molti Autori (Burland 1973, Flaate e Selnes 1977, Fleming 1985). Questo metodo è applicabile a terreni coesivi, per pali infissi o trivellati.

$$f_{s,lim} = K \sigma'_v \tan \delta$$

10.3.3. Descrizione del metodo di calcolo utilizzato per la resistenza trasversale laterale.

Il calcolo della resistenza trasversale laterale viene effettuato col metodo **Broms**.

La teoria pubblicata da Broms nel 1964 propone due approcci differenti per terreni coesivi e non coesivi. Per terreni sciolti, propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine, $p_l = 3K_p \sigma'_v$. Per terreni coesivi, propone una distribuzione di p_l che vede un tratto nullo per i primi 1.5 diametri dalla superficie, seguito da un tratto con valore di resistenza

pari a $9s_u$ (resistenza al taglio non drenata) per profondità maggiori.

$\rho_{lim} = 3 K_p \sigma'_{v0}$ (terreno non coesivo)

$\rho_{lim} = 9 s_u$ (terreno coesivo)

10.3.4. Coefficienti di sicurezza

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza, secondo il numero di verticali indagate:

n. vert.	1	2	3	4	5	7	10
ξ_{med}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_{min}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Si applicano i seguenti coefficienti di sicurezza parziali alle portate calcolate, secondo il tipo di palo:

Tipo di palo	Infisso	Trivellato	A elica continua	Micropalo	Avvitato
γ_b	1.15	1.35	1.30	1.35	1.15
γ_s	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
γ_{st}	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

Alle sollecitazioni applicate viene aggiunto il peso proprio del palo, amplificato col coefficiente parziale.

10.3.5. Calcolo della portata di base.

Metodo **Reese e O'Neill** per il calcolo della portata di base.

Lo strato in cui si immorsa la base del palo si estende da quota -24.65 [m] a quota -30 [m]. Segue il calcolo alla quota di base del palo, -29 [m].

La base del palo si trova alla quota $z_b = -29$ [m], dove si ha un N_{spt} di 68 [colpi/piede]. Il numero di colpi viene moltiplicato per il coefficiente 0.6, con limite superiore di 4300 [kPa]. Il valore della capacità portante calcolato è pari a 4080 [kPa].

L'area di base vale 0.785398 [m²].

La portata di base calcolata vale 3204.4245 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_b=1.35$. Portata di calcolo: $Q_{b,d} = 1438.5744$ [kN] (s/D=5.00%).

10.3.6. Calcolo della portata laterale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Metodo **Beta** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [m] a quota -6.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -3.35 [m].

L'attrito laterale è valutato proporzionalmente alla tensione orizzontale efficace del terreno a contatto del palo, ottenuta moltiplicando la tensione verticale efficace $\sigma'_v = 108$ [kPa], per un coefficiente di spinta β , ricavato dall'angolo di resistenza al taglio ϕ'_k . $\beta = 0.381$. L'attrito laterale calcolato vale 41 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 857.8682 [kN] (857.8682 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = 452.1045$ [kN] (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = 415.9361$ [kN] (s/D=0.50%).

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Kulhavy** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -6.65 [m] a quota -13.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -10.15 [m].

La quota critica z_c vale -10 [m]. La quota di interesse (-10.15 [m]) è al di sotto della profondità critica, perciò nei calcoli si usa z_c . La tensione verticale efficace è $\sigma'_v = 238$ [kPa], e l'angolo di resistenza al taglio del terreno è $\phi'_k = 38$ [°], da cui si ricava il coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 0.38$. L'angolo di attrito palo-terreno δ dipende da ϕ'_k . Nel caso analizzato (palo in calcestruzzo), si stima $\delta = 38.00$ [°]. Il coefficiente di spinta orizzontale K dipende da K_0 . Nel caso analizzato (palo trivellato), si stima $K = 0.32$. Il valore complessivo del coefficiente β è 0.25. L'attrito laterale calcolato vale 59 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 1216.5777 [kN] (1216.5777 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = \mathbf{641.1477 [kN]}$ (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = \mathbf{589.8558 [kN]}$ (s/D=0.50%).

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Metodo **Beta** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -13.65 [m] a quota -24.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -19.15 [m].

L'attrito laterale è valutato proporzionalmente alla tensione orizzontale efficace del terreno a contatto del palo, ottenuta moltiplicando la tensione verticale efficace $\sigma'_v = 416$ [kPa], per un coefficiente di spinta β , ricavato dall'angolo di resistenza al taglio ϕ'_k . $\beta = 0.381$. L'attrito laterale calcolato vale 158 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 5468.1849 [kN] (5468.1849 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = \mathbf{2881.7839 [kN]}$ (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = \mathbf{2651.2412 [kN]}$ (s/D=0.50%).

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Kulhavy** per il calcolo della portata laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -24.65 [m] a quota -29 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -26.85 [m].

La quota critica z_c vale -10 [m]. La quota di interesse (-26.85 [m]) è al di sotto della profondità critica, perciò nei calcoli si usa z_c . La tensione verticale efficace è $\sigma'_v = 238$ [kPa], e l'angolo di resistenza al taglio del terreno è $\phi'_k = 38$ [°], da cui si ricava il coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 0.38$. L'angolo di attrito palo-terreno δ dipende da ϕ'_k . Nel caso analizzato (palo in calcestruzzo), si stima $\delta = 38.00$ [°]. Il coefficiente di spinta orizzontale K dipende da K_0 . Nel caso analizzato (palo trivellato), si stima $K = 0.32$. Il valore complessivo del coefficiente β è 0.25. L'attrito laterale calcolato vale 59 [kPa].

La portata laterale calcolata vale 810.6212 [kN] (810.6212 [kN]). Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applicano $\gamma_s=1.15$ e $\gamma_{st}=1.25$. Portate di calcolo: in compressione $Q_{sc,d} = \mathbf{427.2048 [kN]}$ (s/D=0.50%). In trazione $Q_{st,d} = \mathbf{393.0284 [kN]}$ (s/D=0.50%).

10.3.7. Portata laterale totale

La portata di calcolo in compressione $Q_{sc,d}$ è **4402.2408 [kN]**, in trazione $Q_{st,d}$ è **4050.0616 [kN]**.

10.3.8. Portata totale (base + laterale)

La portata di calcolo in compressione $Q_{tc,d}$ è **5840.8152 [kN]**, in trazione $Q_{tt,d}$ è **4050.0616 [kN]**.

10.3.9. Calcolo del modulo di reazione orizzontale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 50000 [kN/m³].

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Il modulo di reazione orizzontale calcolato vale 150000 [kN/m³].

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 50000 [kN/m³].

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Il modulo di reazione orizzontale assegnato vale 150000 [kN/m³].

10.3.10. Calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il fusto del palo attraversa 4 strati.

1. Strato 1: Limo Argilloso A

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota 0 [m] a quota -6.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -3.35 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 26. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 108$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 832 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 5509.1414 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{2568.3643 [kN]}$.

2. Strato 2: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -6.65 [m] a quota -13.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -10.15 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 38. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 241$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 3039 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 21275.1577 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{9918.4884 [kN]}$.

3. Strato 3: Limo Argilloso A'

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -13.65 [m] a quota -24.65 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -19.15 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 26. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 416$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 3192 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 35116.1196 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = \mathbf{16371.1513 [kN]}$.

4. Strato 4: Ghiaia e sabbia B

Metodo **Broms** per il calcolo della resistenza trasversale laterale.

Il palo attraversa questo strato da quota -24.65 [m] a quota -29 [m]. Segue il calcolo alla quota intermedia di -26.85 [m].

L'angolo di resistenza al taglio φ'_k vale 38. La tensione verticale efficace vale $\sigma'_v = 564$ [kPa]. La pressione limite laterale calcolata vale 7113 [kPa].

La resistenza trasversale laterale calcolata vale 30665.5482 [kN]. Si applica $\xi_{med}=1.65$. Si applica $\gamma_{tr}=1.30$. Resistenza trasversale di calcolo: $R_{tr,d} = 14296.2929$ [kN].

10.3.11. Resistenza laterale totale

Per palo in grado di traslare rigidamente (meccanismo di palo "corto", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo $R_{tr,d}$ è **43154.2969 [kN]**. Per palo che ruota in testa (meccanismo di palo "intermedio" o "lungo", assumendo che non via sia rottura strutturale), la resistenza laterale di calcolo $R_{tr,d}$ è **38470.3572 [kN]**.

10.3.12. Curva di mobilitazione verticale

La curva di mobilitazione del palo è definita dalle seguenti coppie di valori, dove s è il cedimento, misurato in [m], ed E_d è la sollecitazione di sforzo normale (comprensiva del peso proprio del palo), espressa in [kN].

	1	2	3	4
s	-0.037	-0.0043	0	0.004
E_d	-5840.8152	-4571.1169	0	4050.0616

Si riassume in seguito il valore di capacità portante per tutti i casi.

Caso	Q_{st} [kN]	Q_{sc} [kN]	Q_{bc} [kN]	Q_{tt} [kN]	Q_{tc} [kN]
C1	4050.0616	4402.2408	1438.5744	4050.0616	5840.8152
C2	8353.252	8353.252	3204.4245	8353.252	11557.6765
C3	8353.252	8353.252	3204.4245	8353.252	11557.6765
C4	8353.252	8353.252	3204.4245	8353.252	11557.6765
C5	4050.0616	4402.2408	1438.5744	4050.0616	5840.8152

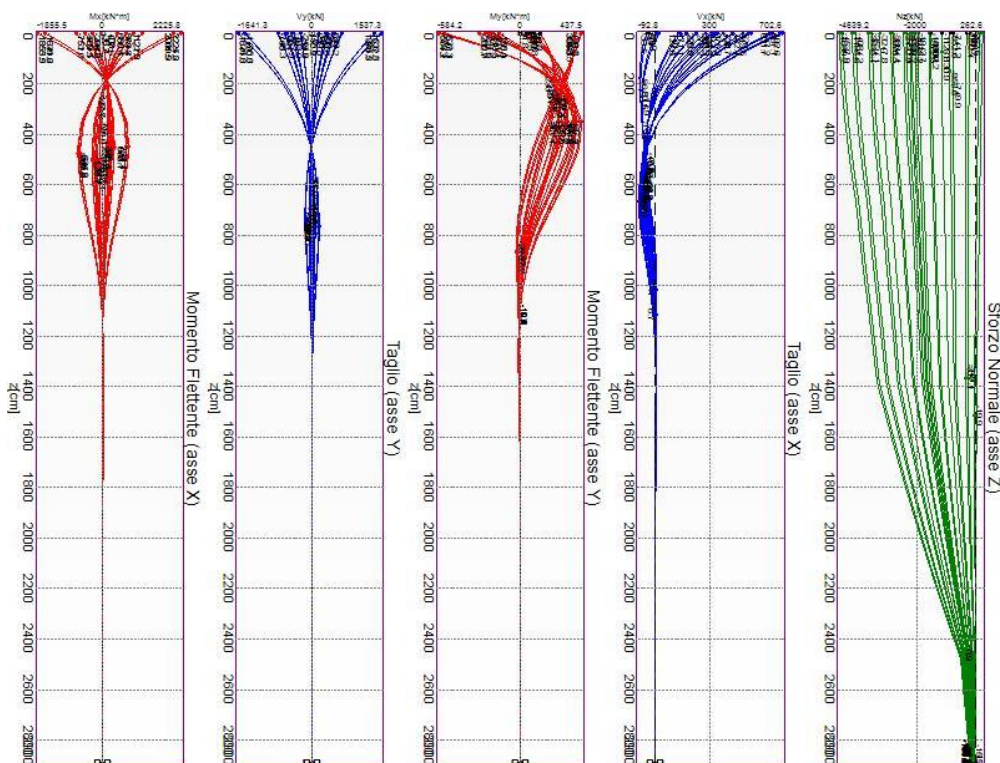
Q_{st} = Portata Laterale in Trazione | Q_{sc} = Portata Laterale in Compressione | Q_{bc} = Portata di Base in Compressione | Q_{tt} = Portata TOTALE in Trazione | Q_{tc} = Portata TOTALE in Compressione

10.4. CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.

Si riporta di seguito il dettaglio delle sollecitazioni calcolate, solo per i punti maglia con i pali più sollecitati. Le caratteristiche di sollecitazione sono espresse nel sistema di riferimento locale del palo.

10.4.1. Casi a SLU

I massimi valori di **Sforzo Normale di compressione**, si ottengono nel punto maglia **PM9**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



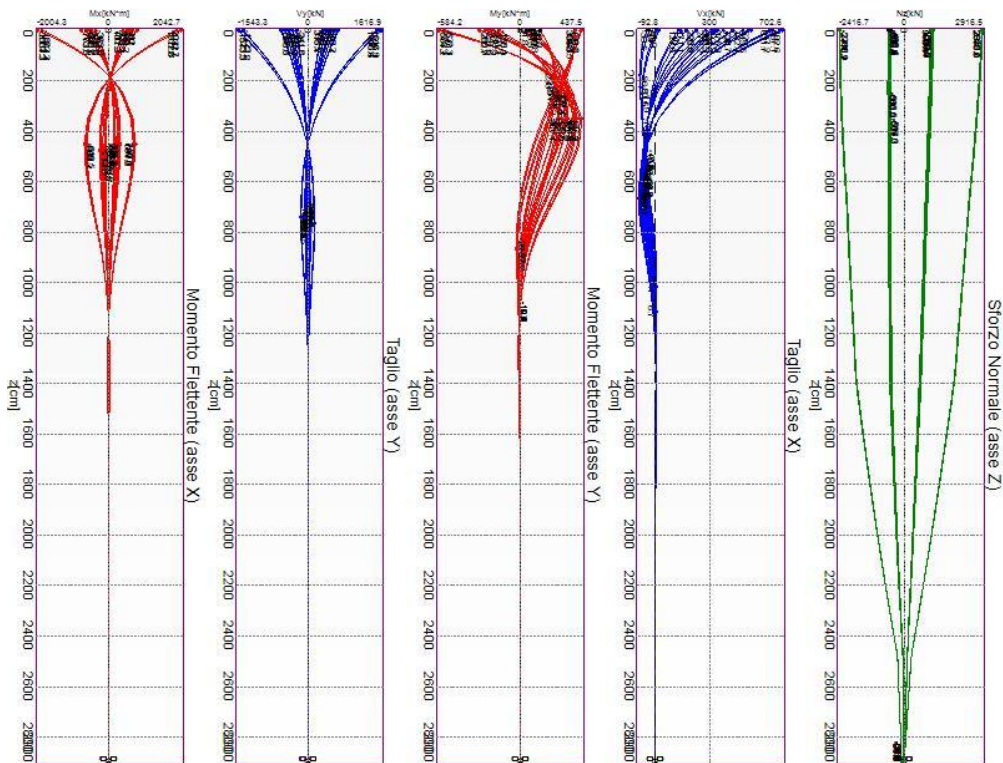
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM9, caso C5)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM9, caso C5)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-4639.2347÷262.6075	-702.5799÷49.0256	-1537.252÷1641.3213	1855.5209÷2225.7945	-432.3487÷584.1814	-15.9519÷0.175
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM9, caso C5)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-4639.2347÷262.6075	1673.9268	2230.8478		
0	-4639.2347÷262.6075	1673.9268	2230.8478		
0.25	-4631.4675÷258.0449	1525.1569	1836.8344		
0.5	-4622.5079÷253.5222	1381.3282	1481.2992		
0.75	-4612.3719÷249.0401	1243.2527	1162.3184		
1	-4601.0753÷244.5995	1111.5707	879.5865		
1.25	-4588.634÷240.2011	986.768	634.0521		
1.5	-4575.0637÷235.8457	869.1926	430.4949		

1.75	-4560.3799÷231.5339	759.0706	337.3179
2	-4544.5982÷227.2665	656.5223	379.8613
2.25	-4527.7341÷223.0442	561.577	464.762
2.5	-4509.8027÷218.8675	474.1884	547.2958
3.5	-4427.6671÷202.6283	199.3147	755.7454
4.5	-4329.6435÷187.1675	67.8166	784.609
4.75	-4302.7718÷183.4282	82.3674	771.2365
5	-4274.9777÷179.7401	99.6139	751.7775
5.25	-4246.2749÷176.1036	115.1899	727.1883
5.5	-4216.6767÷172.5191	128.3905	698.3463
5.75	-4186.1961÷168.9871	139.6685	670.6002
6	-4154.8463÷165.5079	148.6348	641.7045
6.25	-4122.6399÷162.082	155.4474	610.0323
6.5	-4089.5894÷158.7097	160.3161	576.2199
6.65	-4069.3594÷156.7121	162.3989	555.1423
6.65	-4069.3594÷156.7121	162.3989	555.1423
6.9	-4041.8459÷153.1428	166.9092	518.4542
7.15	-4020.4587÷149.3341	169.7365	479.6632
7.4	-3998.5121÷145.5628	169.2344	439.3986
7.65	-3976.0148÷141.8291	165.9513	398.6288
7.9	-3952.9754÷138.1332	161.0867	358.1595
8.15	-3929.4021÷134.4751	156.0276	318.6489
8.4	-3905.3035÷130.8552	149.1474	280.6215
8.65	-3880.6878÷127.2734	140.8858	244.4833
8.9	-3855.563÷123.73	131.6301	210.5354
9.15	-3829.9371÷120.2251	121.7168	178.9881
10.15	-3723.3809÷106.5525	80.6162	78.7721
11.15	-3615.5558÷93.1982	44.918	19.2047
12.15	-3511.0374÷79.9292	19.134	22.1861
12.4	-3485.4132÷76.6238	14.3078	24.6133
12.65	-3459.9883÷73.3228	10.0964	26.2491
12.9	-3434.7611÷70.026	6.5047	27.1413
13.15	-3409.7303÷66.7332	3.6404	27.3741
13.4	-3384.8944÷63.4443	3.3034	27.0424
13.65	-3360.2519÷60.1589	4.384	26.2414
13.65	-3360.2519÷60.1589	4.384	26.2414
13.9	-3320.7226÷57.7125	5.0817	25.1215
14.15	-3266.0542÷56.1332	5.3663	23.853
14.4	-3210.8833÷54.6103	5.5654	22.6158
14.65	-3155.2145÷53.1438	5.6856	21.4216
14.9	-3099.0523÷51.7336	5.7345	20.1719
15.15	-3042.4007÷50.3799	5.7202	18.8873
15.4	-2985.2634÷49.0825	5.6508	17.5859

15.65	-2927.6438÷47.8416	5.534	16.2834
15.9	-2869.5447÷46.6571	5.3773	14.9936
16.15	-2810.969÷45.5291	5.1876	13.7281
17.15	-2571.9131÷41.5813	4.2558	9.0798
18.15	-2325.3411÷38.5384	3.2702	5.3326
19.15	-2071.2388÷36.4022	2.2966	2.6013
20.15	-1809.4905÷35.1761	1.4584	0.8567
21.15	-1539.8755÷34.8651	0.8068	0.9242
22.15	-1262.0644÷35.4761	0.3514	1.241
23.15	-975.6138÷37.0189	0.1323	1.2767
23.4	-902.5903÷37.5516	0.1534	1.252
23.65	-828.9824÷38.1435	0.1798	1.2173
23.9	-754.7796÷38.7949	0.205	1.1741
24.15	-679.971÷39.506	0.2263	1.1239
24.4	-604.5452÷40.277	0.2438	1.0679
24.65	-528.4902÷41.1083	0.2583	1.0113
24.65	-528.4902÷41.1083	0.2583	1.0113
24.9	-480.6161÷39.9515	0.2803	0.9573
25.15	-461.2204÷36.7745	0.3043	0.8942
25.4	-441.851÷33.5997	0.3197	0.823
25.65	-422.5069÷30.4268	0.3274	0.7461
25.9	-403.187÷27.2557	0.3282	0.666
26.15	-383.8901÷24.0861	0.3262	0.5846
26.4	-364.6152÷20.9179	0.3206	0.5037
26.65	-345.3611÷17.7508	0.3091	0.4249
26.9	-326.1267÷14.5848	0.2925	0.3496
27.15	-306.911÷11.4196	0.2712	0.2791
27.4	-287.7128÷8.2551	0.2457	0.2144
27.65	-268.5311÷5.0911	0.2164	0.1566
27.9	-249.3647÷1.9273	0.1835	0.1066
28.15	-230.2126÷-1.2363	0.1473	0.0652
28.4	-211.0736÷-4.4001	0.1078	0.0332
28.65	-191.9467÷-7.564	0.0651	0.0116
28.9	-172.8308÷-10.7284	0.0192	0.001
29	-165.1872÷-11.9944	0	0

I massimi valori di **Sforzo Normale di trazione**, si ottengono nel punto maglia **PM7**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM7, caso C5)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM7, caso C5)

N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-2416.6849÷2916.4645	-702.5799÷49.0256	-1616.9035÷1543.301	-2004.2811÷2042.728	-432.3487÷584.1814	-15.9519÷0.175

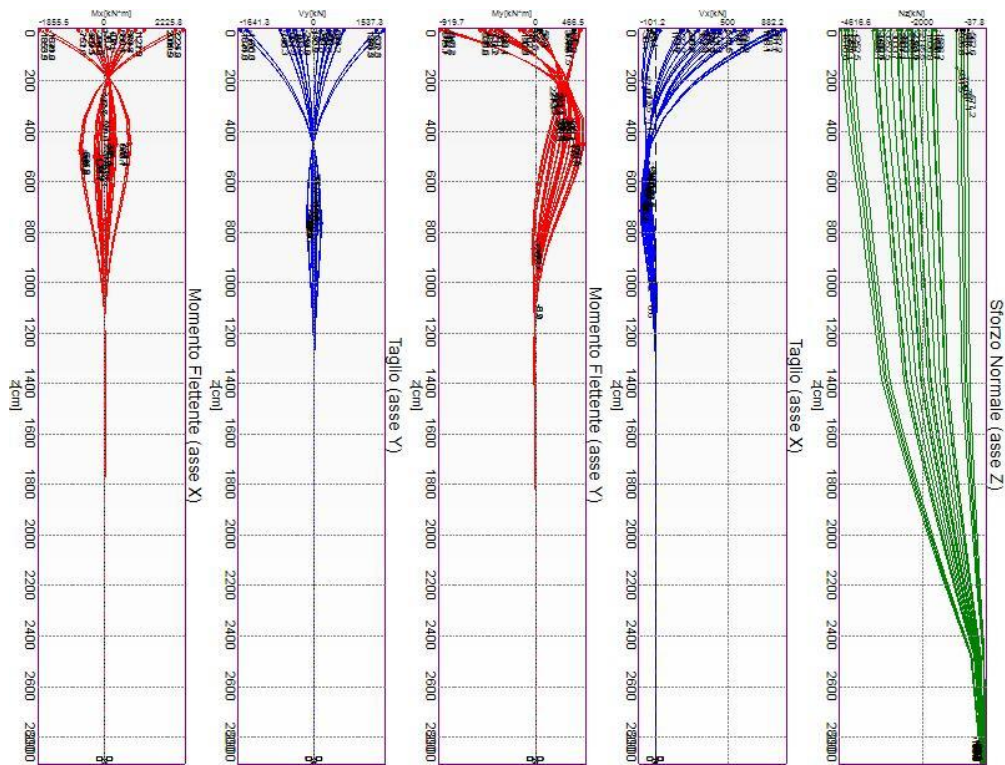
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM7, caso C5)

z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]
0	-2416.6849÷2916.4645	1649.2005	2048.233
0	-2416.6849÷2916.4645	1649.2005	2048.233
0.25	-2414.5081÷2905.1244	1493.8822	1675.7122
0.5	-2411.6616÷2893.1898	1344.8203	1339.25
0.75	-2408.1536÷2880.6707	1202.6995	1039.5577
1	-2403.9924÷2867.5768	1068.0397	777.3078
1.25	-2399.1864÷2853.9179	941.2137	561.5529
1.5	-2393.7438÷2839.7036	822.4658	395.566
1.75	-2387.6728÷2824.9435	711.9281	336.599
2	-2380.9816÷2809.647	609.6386	366.41
2.25	-2373.6783÷2793.8235	518.9499	448.4893
2.5	-2365.771÷2777.4823	436.4719	534.4016
3.5	-2328.2396÷2707.098	177.3441	764.6011
4.5	-2281.6711÷2629.1445	66.5769	804.9719
4.75	-2268.6787÷2608.5431	79.4179	793.2369
5	-2255.1591÷2587.5107	96.3795	775.0042
5.25	-2241.1193÷2566.0552	112.8645	751.2745

5.5	-2226.5664÷2544.1846	127.3995	722.9684
5.75	-2211.5076÷2521.9064	139.5623	690.9246
6	-2195.9496÷2499.2284	149.3298	655.9001
6.25	-2179.8993÷2476.158	156.8404	618.5728
6.5	-2163.3633÷2452.7024	162.3004	579.5447
6.65	-2153.2115÷2438.4474	164.6879	555.5346
6.65	-2153.2115÷2438.4474	164.6879	555.5346
6.9	-2139.7913÷2417.7352	170.0603	514.4249
7.15	-2129.8282÷2400.0284	173.9166	472.001
7.4	-2119.5424÷2382.0688	174.2007	428.9377
7.65	-2108.9386÷2363.8614	171.4838	386.1001
7.9	-2098.0212÷2345.4112	166.3134	344.1976
8.15	-2086.795÷2326.7228	159.196	303.7989
8.4	-2075.2643÷2307.8011	150.5899	265.3469
8.65	-2063.4335÷2288.6506	140.9022	229.1732
8.9	-2051.3072÷2269.276	130.4896	195.5127
9.15	-2038.8896÷2249.6816	119.6596	165.4597
10.15	-1986.8465÷2169.5758	76.7635	71.2778
11.15	-1933.9654÷2089.2142	41.5024	17.5489
12.15	-1882.8532÷2010.7635	17.2935	21.9967
12.4	-1870.346÷1991.4409	12.8001	24.6964
12.65	-1857.9457÷1972.2322	8.925	26.5689
12.9	-1845.6516÷1953.1362	5.7725	27.6508
13.15	-1833.463÷1934.1518	3.4108	28.0253
13.4	-1821.3792÷1915.278	3.1915	27.79
13.65	-1809.3996÷1896.5137	4.2649	27.0437
13.65	-1809.3996÷1896.5137	4.2649	27.0437
13.9	-1788.9025÷1870.7972	5.0522	25.9472
14.15	-1759.7374÷1838.0288	5.3713	24.6855
14.4	-1730.2721÷1805.0622	5.6019	23.3457
14.65	-1700.5091÷1771.8999	5.7498	21.952
14.9	-1670.4509÷1738.544	5.8224	20.5263
15.15	-1640.0995÷1704.9967	5.828	19.0875
15.4	-1609.4572÷1671.2598	5.7748	17.6523
15.65	-1578.5256÷1637.3349	5.6709	16.2349
15.9	-1547.3064÷1603.2235	5.5242	14.8477
16.15	-1515.801÷1568.9269	5.3414	13.5007
17.15	-1386.9256÷1429.8921	4.377	8.6603
18.15	-1253.5319÷1287.94	3.2722	4.9231
19.15	-1115.6109÷1143.0513	2.2352	2.3385
20.15	-973.0981÷995.1514	1.3729	0.7863
21.15	-825.8706÷844.1098	0.7402	0.8938
22.15	-673.7451÷689.7376	0.3109	1.2457

23.15	-516.4749÷531.7862	0.1319	1.3027
23.4	-476.3195÷491.7052	0.1479	1.2813
23.65	-435.8178÷451.3759	0.1735	1.2492
23.9	-394.9641÷410.7925	0.1992	1.2081
24.15	-353.7521÷369.9491	0.2223	1.1593
24.4	-312.1756÷328.8393	0.2418	1.1044
24.65	-270.2279÷287.4568	0.2576	1.0445
24.65	-270.2279÷287.4568	0.2576	1.0445
24.9	-244.585÷258.7757	0.282	0.979
25.15	-235.4239÷242.9232	0.3091	0.9064
25.4	-226.2764÷227.0845	0.3272	0.8276
25.65	-217.1417÷211.2589	0.337	0.7449
25.9	-208.0195÷195.4453	0.3394	0.6606
26.15	-198.9092÷179.6428	0.3351	0.5765
26.4	-189.8102÷163.8507	0.325	0.494
26.65	-180.7221÷148.0679	0.3099	0.4147
26.9	-171.6443÷132.2936	0.2904	0.3396
27.15	-162.5763÷116.5268	0.2669	0.2699
27.4	-153.5177÷100.7667	0.24	0.2065
27.65	-144.4678÷85.0123	0.2099	0.1502
27.9	-135.4261÷69.2628	0.1769	0.1018
28.15	-126.3922÷53.5173	0.1411	0.0621
28.4	-117.3655÷37.7748	0.1026	0.0315
28.65	-108.3455÷22.0345	0.0617	0.0109
28.9	-99.3318÷6.2955	0.0181	0.0009
29	-95.7279÷0	0	0

I massimi valori di **Taglio (in valore assoluto)**, **Momento flettente (in valore assoluto)**, si ottengono nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C5)

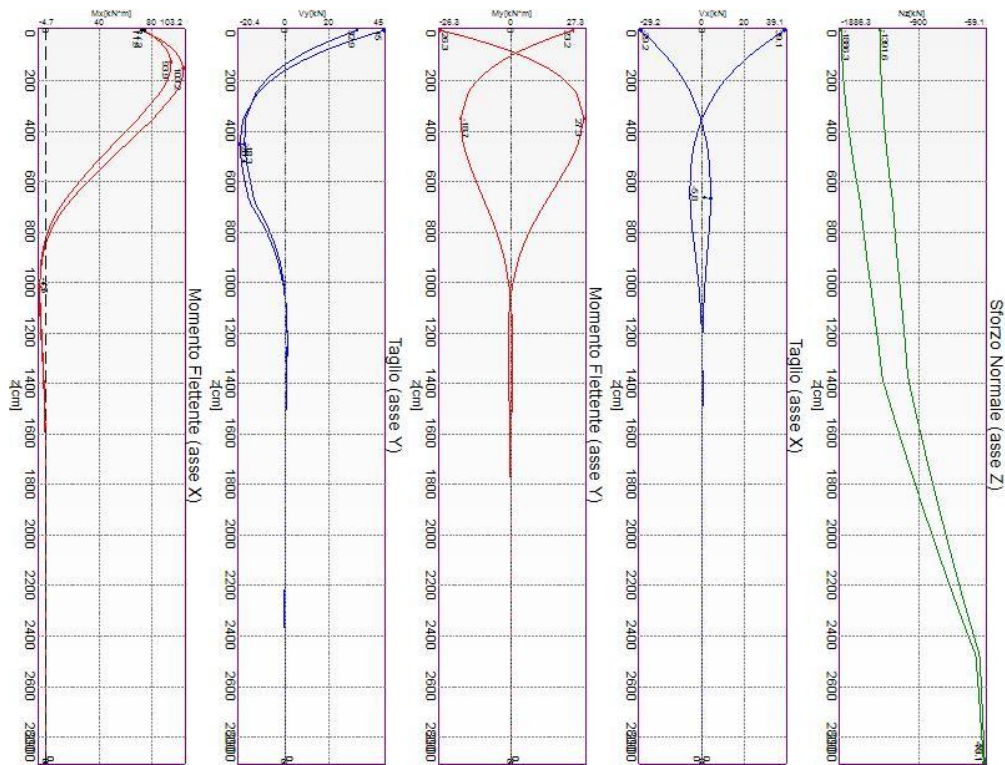
Azioni applicate in testa (punto maglia PM3, caso C5)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-4616.6182÷-562.6078	-882.2201÷50.9967	-1537.252÷1641.3213	1855.5209÷2225.7945	-436.03÷919.6845	-15.9519÷0.175
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C5)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-4616.6182÷-562.6078	1695.9048	2251.2832		
0	-4616.6182÷-562.6078	1695.9048	2251.2832		
0.25	-4608.9079÷-565.0947	1545.0436	1851.2858		
0.5	-4600.0106÷-567.3477	1399.1776	1488.7999		
0.75	-4589.942÷-569.3688	1259.1327	1162.9302		
1	-4578.718÷-571.1601	1125.5596	873.0213		
1.25	-4566.3544÷-572.7236	998.9516	619.3593		
1.5	-4552.8668÷-574.0612	879.6614	405.4904		
1.75	-4538.2707÷-575.1751	767.9175	331.5319		
2	-4522.5815÷-576.0673	663.8392	352.5908		
2.25	-4505.8146÷-576.7398	567.4527	446.6281		
2.5	-4487.9853÷-577.1946	478.7049	536.1202		
3.5	-4406.3036÷-576.8726	198.7965	760.1134		
4.5	-4308.8035÷-573.2285	65.784	792.5172		
4.75	-4282.0731÷-571.8145	77.8546	779.3949		
5	-4254.4243÷-570.2027	96.356	760.0222		
5.25	-4225.8707÷-568.3949	113.2569	735.3843		

5.5	-4196.4255÷-566.3932	127.7198	706.3821
5.75	-4166.1019÷-564.1992	139.6045	679.3983
6	-4134.9128÷-561.815	149.0187	650.1822
6.25	-4102.8708÷-559.2423	156.1657	618.1239
6.5	-4069.9883÷-556.483	161.2844	583.8709
6.65	-4049.8608÷-554.7385	163.4852	562.5069
6.65	-4049.8608÷-554.7385	163.4852	562.5069
6.9	-4022.4908÷-553.0751	168.2911	525.3031
7.15	-4001.2199÷-552.6421	171.3982	485.9527
7.4	-3979.392÷-552.0839	171.0487	445.1006
7.65	-3957.0157÷-551.4016	167.826	403.7327
7.9	-3934.0995÷-550.5967	163.1952	362.6689
8.15	-3910.652÷-549.6704	158.0913	322.5781
8.4	-3886.6813÷-548.624	151.1276	283.9933
8.65	-3862.1956÷-547.4588	142.7545	247.3263
8.9	-3837.203÷-546.1759	133.3678	212.8825
9.15	-3811.7116÷-544.7767	123.3111	180.8745
10.15	-3705.7101÷-538.2091	81.6066	79.193
11.15	-3598.4441÷-531.163	45.3865	18.1901
12.15	-3494.4692÷-524.6028	19.2288	22.0562
12.4	-3468.9785÷-523.038	14.3175	24.6602
12.65	-3443.6861÷-521.503	10.0233	26.4057
12.9	-3418.5905÷-519.9978	6.3414	27.3652
13.15	-3393.6904÷-518.5224	3.4407	27.6368
13.4	-3368.9842÷-517.0766	3.04	27.3241
13.65	-3344.4706÷-515.6604	4.2756	26.5279
13.65	-3344.4706÷-515.6604	4.2756	26.5279
13.9	-3305.135÷-511.0402	5.0624	25.4038
14.15	-3250.7261÷-503.1503	5.3692	24.1266
14.4	-3195.8167÷-495.129	5.5849	22.9119
14.65	-3140.4116÷-486.9769	5.7175	21.7041
14.9	-3084.515÷-478.6948	5.7754	20.4391
15.15	-3028.131÷-470.2835	5.7676	19.138
15.4	-2971.2633÷-461.7435	5.7024	17.8193
15.65	-2913.9153÷-453.0754	5.5883	16.4991
15.9	-2856.0898÷-444.2796	5.433	15.1914
16.15	-2797.7895÷-435.3566	5.2435	13.908
17.15	-2559.8548÷-398.3952	4.3117	9.1919
18.15	-2314.4345÷-359.416	3.3136	5.3873
19.15	-2061.5144÷-318.415	2.3262	2.6093
20.15	-1800.9794÷-275.3698	1.4757	0.8079
21.15	-1532.6099÷-230.2394	0.8142	0.8932
22.15	-1256.0777÷-182.9622	0.3492	1.2436

23.15	-970.9417÷-133.4558	0.1302	1.2878
23.4	-898.2526÷-120.7194	0.1433	1.2639
23.65	-824.9816÷-107.8354	0.1724	1.2296
23.9	-751.1182÷-94.8018	0.1996	1.1866
24.15	-676.6515÷-81.6165	0.2231	1.1363
24.4	-601.5701÷-68.2775	0.2425	1.0801
24.65	-525.8621÷-54.7824	0.2579	1.0245
24.65	-525.8621÷-54.7824	0.2579	1.0245
24.9	-478.2142÷-47.685	0.2813	0.9699
25.15	-458.9227÷-47.0619	0.3065	0.9061
25.4	-439.6574÷-46.4415	0.3227	0.8339
25.65	-420.4172÷-45.8237	0.3309	0.756
25.9	-401.201÷-45.2085	0.3319	0.6748
26.15	-382.0078÷-44.5959	0.3305	0.5922
26.4	-362.8364÷-43.9859	0.3248	0.5103
26.65	-343.6857÷-43.3783	0.3132	0.4304
26.9	-324.5547÷-42.7733	0.2964	0.3541
27.15	-305.4423÷-42.1707	0.2748	0.2827
27.4	-286.3473÷-41.5705	0.2488	0.2172
27.65	-267.2686÷-40.9727	0.2191	0.1586
27.9	-248.2053÷-40.3772	0.1858	0.1079
28.15	-229.1561÷-39.784	0.1491	0.066
28.4	-210.12÷-39.1931	0.1091	0.0336
28.65	-191.096÷-38.6045	0.0659	0.0117
28.9	-172.0828÷-38.018	0.0194	0.001
29	-164.4804÷-37.7841	0	0

10.4.2. Casi a SLE

I massimi valori di **Sforzo Normale di compressione**, si ottengono nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C2** (Rara).



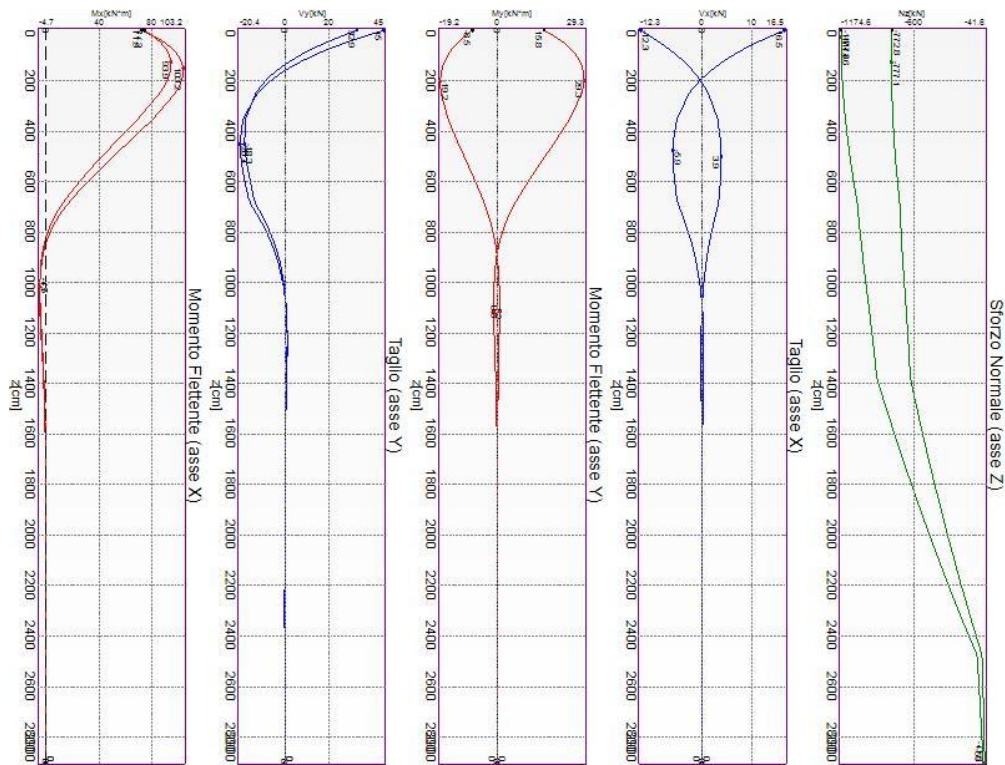
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM3, caso C2)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1886.2886÷-1391.5578	-39.0629÷29.2137	-45.0371÷-32.9026	71.928÷74.1557	-23.175÷26.2905	-2.0023÷1.5041
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM3, caso C2)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-1886.2886÷-1391.5578	59.6175	77.6927		
0	-1886.2886÷-1391.5578	59.6175	77.6927		
0.25	-1884.3805÷-1391.1603	49.632	83.7548		
0.5	-1881.8428÷-1390.2704	40.698	90.2714		
0.75	-1878.6864÷-1388.8961	32.8238	95.6681		
1	-1874.9219÷-1387.0453	26.0441	99.7772		
1.25	-1870.56÷-1384.726	20.4439	102.5821		
1.5	-1865.6114÷-1381.9461	16.1872	104.1427		
1.75	-1860.0865÷-1378.7133	13.5002	104.5572		
2	-1853.9958÷-1375.0354	12.484	103.9417		
2.25	-1847.3497÷-1370.9203	13.1825	102.418		
2.5	-1840.1584÷-1366.3756	14.3142	100.1077		
3.5	-1806.1187÷-1344.0323	18.9888	85.2321		
4.5	-1764.1556÷-1315.4122	20.782	65.7118		
4.75	-1752.5052÷-1307.3351	20.7585	60.6254		
5	-1740.4068÷-1298.9012	20.5933	55.5539		
5.25	-1727.8696÷-1290.1174	20.3104	50.5333		

5.5	-1714.9026÷-1280.9902	19.9323	45.5938
5.75	-1701.5143÷-1271.5263	19.4799	40.76
6	-1687.7135÷-1261.7322	18.9726	36.0518
6.25	-1673.5085÷-1251.6142	18.4277	31.4859
6.5	-1658.9077÷-1241.1786	17.8604	27.077
6.65	-1649.9607÷-1234.7674	17.5148	24.5133
6.65	-1649.9607÷-1234.7674	17.5148	24.5133
6.9	-1638.2589÷-1226.603	16.3637	20.4511
7.15	-1629.7229÷-1220.9258	14.6674	16.7714
7.4	-1620.9287÷-1215.0409	13.0272	13.5385
7.65	-1611.8823÷-1208.9526	11.4615	10.7526
7.9	-1602.5893÷-1202.6653	9.9845	8.4191
8.15	-1593.0553÷-1196.1833	8.6066	6.5546
8.4	-1583.286÷-1189.5108	7.3351	5.1895
8.65	-1573.2869÷-1182.6521	6.1746	4.35
8.9	-1563.0634÷-1175.6112	5.1276	4.0003
9.15	-1552.6209÷-1168.3923	4.195	4.1028
10.15	-1509.1613÷-1138.1299	1.6271	4.6865
11.15	-1465.6419÷-1107.7366	1.0648	4.4424
12.15	-1424.3344÷-1079.0151	1.1769	3.4868
12.4	-1414.3458÷-1072.0908	1.1682	3.2103
12.65	-1404.4905÷-1065.2676	1.1374	2.9349
12.9	-1394.7678÷-1058.5449	1.0863	2.6669
13.15	-1385.1765÷-1051.9221	1.0175	2.4115
13.4	-1375.7159÷-1045.3984	0.9337	2.1733
13.65	-1366.3851÷-1038.9733	0.8374	1.9559
13.65	-1366.3851÷-1038.9733	0.8374	1.9559
13.9	-1349.9357÷-1026.8754	0.7666	1.7584
14.15	-1326.2838÷-1009.0332	0.7284	1.5741
14.4	-1302.4647÷-991.0484	0.6881	1.3995
14.65	-1278.4813÷-972.9235	0.6465	1.2353
14.9	-1254.3363÷-954.6604	0.6039	1.0816
15.15	-1230.0322÷-936.2611	0.5612	0.9387
15.4	-1205.5711÷-917.7271	0.5187	0.8067
15.65	-1180.9549÷-899.06	0.4769	0.6856
15.9	-1156.1854÷-880.2612	0.4359	0.5752
16.15	-1131.264÷-861.3316	0.3963	0.4756
17.15	-1030.0633÷-784.3098	0.2543	0.188
18.15	-926.4832÷-705.2359	0.1442	0.1335
19.15	-820.4953÷-624.0876	0.0674	0.1844
20.15	-712.0039÷-540.7901	0.0262	0.2054
21.15	-600.8442÷-455.2147	0.0293	0.1926
22.15	-486.7795÷-367.1764	0.0385	0.1608

23.15	-369.4978÷-276.4314	0.0412	0.1214
23.4	-339.6321÷-253.2888	0.0409	0.1113
23.65	-309.5345÷-229.9529	0.0405	0.1012
23.9	-279.1978÷-206.418	0.0398	0.0913
24.15	-248.6144÷-182.6782	0.039	0.0816
24.4	-217.7763÷-158.7273	0.0381	0.0721
24.65	-186.6754÷-134.5588	0.0371	0.0629
24.65	-186.6754÷-134.5588	0.0371	0.0629
24.9	-168.1176÷-120.5153	0.0349	0.0541
25.15	-162.2246÷-116.6989	0.0317	0.0459
25.4	-156.3469÷-112.8934	0.0284	0.0386
25.65	-150.484÷-109.0986	0.0253	0.032
25.9	-144.6352÷-105.3141	0.0222	0.0262
26.15	-138.8001÷-101.5396	0.0193	0.0211
26.4	-132.9781÷-97.7746	0.0165	0.0167
26.65	-127.1686÷-94.0188	0.014	0.013
26.9	-121.3711÷-90.2719	0.0116	0.0099
27.15	-115.5851÷-86.5335	0.0095	0.0073
27.4	-109.8099÷-82.8032	0.0076	0.0052
27.65	-104.0452÷-79.0808	0.006	0.0036
27.9	-98.2902÷-75.3659	0.0045	0.0023
28.15	-92.5445÷-71.658	0.0032	0.0013
28.4	-86.8075÷-67.9569	0.0022	0.0006
28.65	-81.0788÷-64.2622	0.0012	0.0002
28.9	-75.3576÷-60.5736	0.0003	0
29	-73.0712÷-59.0997	0	0

I massimi valori di **Sforzo Normale di trazione**, si ottengono nel punto maglia **PM9**, nel caso di carico **C2** (Rara).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM9, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM9, caso C2)

N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1174.336÷-772.8424	-16.5148÷12.2752	-45.0371÷-32.9026	71.928÷74.1557	-15.8212÷-8.4599	-2.0023÷1.5041

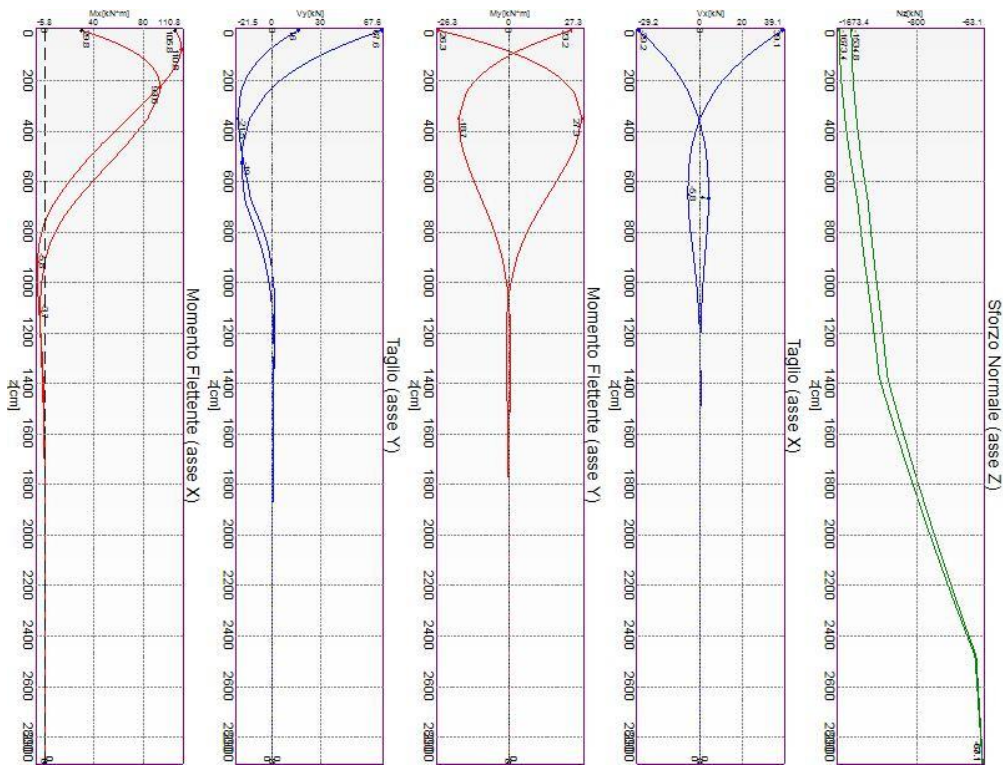
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM9, caso C2)

z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]
0	-1174.336÷-772.8424	47.9696	74.6367
0	-1174.336÷-772.8424	47.9696	74.6367
0.25	-1174.6018÷-774.3342	38.104	84.2942
0.5	-1174.4354÷-775.505	29.2199	92.6205
0.75	-1173.8436÷-776.3594	21.2759	98.8548
1	-1172.8331÷-776.902	14.2319	103.219
1.25	-1171.4106÷-777.1371	8.0663	105.9251
1.5	-1169.5828÷-777.0693	3.237	107.1731
1.75	-1167.3564÷-776.7031	5.9216	107.1503
2	-1164.738÷-776.0428	8.7853	106.0308
2.25	-1161.7342÷-775.093	11.2868	103.9755
2.5	-1158.3515÷-773.858	13.375	101.132
3.5	-1141.1437÷-766.1424	19.6418	84.3808
4.5	-1118.3822÷-754.2092	21.2566	63.6143
4.75	-1111.874÷-750.601	21.1372	58.3134
5	-1105.0491÷-746.7499	20.874	53.0608
5.25	-1097.9132÷-742.66	20.4952	47.889

5.5	-1090.472÷-738.335	20.0262	42.8236
5.75	-1082.7312÷-733.779	19.4899	37.8844
6	-1074.6963÷-728.9957	18.9068	33.0857
6.25	-1066.3728÷-723.9889	18.2947	28.4369
6.5	-1057.766÷-718.7623	17.6692	23.9435
6.65	-1052.4682÷-715.5224	17.2931	21.323
6.65	-1052.4682÷-715.5224	17.2931	21.323
6.9	-1045.857÷-711.7821	16.0525	17.1586
7.15	-1041.4351÷-709.6802	14.2408	13.3775
7.4	-1036.8275÷-707.4335	12.5016	10.0418
7.65	-1032.038÷-705.0447	10.8526	7.1324
7.9	-1027.0704÷-702.5164	9.3068	4.6281
8.15	-1021.9284÷-699.8511	7.873	2.513
8.4	-1016.6157÷-697.0516	6.5565	1.1113
8.65	-1011.1358÷-694.1202	5.3596	1.9795
8.9	-1005.4923÷-691.0595	4.2823	2.8097
9.15	-999.6887÷-687.8721	3.3224	3.4694
10.15	-975.2208÷-674.1142	0.5731	4.8037
11.15	-950.5909÷-660.1366	0.9161	4.5735
12.15	-927.3955÷-647.1553	1.208	3.5048
12.4	-921.8167÷-644.0633	1.207	3.2025
12.65	-916.3248÷-641.032	1.1766	2.9041
12.9	-910.9194÷-638.0613	1.1214	2.6166
13.15	-905.5998÷-635.1506	1.0457	2.3454
13.4	-900.3657÷-632.2999	0.9531	2.0953
13.65	-895.2164÷-629.5089	0.8471	1.8701
13.65	-895.2164÷-629.5089	0.8471	1.8701
13.9	-885.0292÷-622.853	0.7694	1.668
14.15	-869.7377÷-612.2763	0.7279	1.4808
14.4	-854.3147÷-601.5881	0.6846	1.3043
14.65	-838.762÷-590.7898	0.6403	1.1387
14.9	-823.0815÷-579.8827	0.5954	0.9843
15.15	-807.2748÷-568.8679	0.5505	0.8411
15.4	-791.3433÷-557.7465	0.5062	0.709
15.65	-775.2883÷-546.5195	0.4629	0.588
15.9	-759.1109÷-535.1876	0.4206	0.4776
16.15	-742.8123÷-523.7515	0.38	0.3777
17.15	-676.4066÷-476.9679	0.2358	0.074
18.15	-608.0927÷-428.5418	0.1254	0.1176
19.15	-537.8508÷-378.4582	0.0482	0.1901
20.15	-465.6152÷-326.6685	0.0085	0.2114
21.15	-391.2731÷-273.0891	0.0283	0.1953
22.15	-314.6623÷-217.5997	0.0399	0.1603

23.15	-235.5687÷-160.0416	0.0421	0.1188
23.4	-215.378÷-145.307	0.0417	0.1083
23.65	-195.0109÷-130.4273	0.0411	0.0979
23.9	-174.4625÷-115.3988	0.0403	0.0878
24.15	-153.7275÷-100.2177	0.0393	0.0778
24.4	-132.8006÷-84.8799	0.0383	0.0681
24.65	-111.6759÷-69.3812	0.0371	0.0587
24.65	-111.6759÷-69.3812	0.0371	0.0587
24.9	-99.6146÷-60.9835	0.0348	0.0497
25.15	-96.7099÷-59.764	0.0313	0.0414
25.4	-93.8143÷-58.5501	0.0276	0.0341
25.65	-90.9276÷-57.3417	0.0242	0.0276
25.9	-88.0494÷-56.1388	0.021	0.0219
26.15	-85.1795÷-54.9411	0.0179	0.0171
26.4	-82.3177÷-53.7487	0.0149	0.013
26.65	-79.4637÷-52.5613	0.0123	0.0096
26.9	-76.6171÷-51.3788	0.0098	0.0069
27.15	-73.7778÷-50.2013	0.0076	0.0047
27.4	-70.9454÷-49.0284	0.0057	0.0031
27.65	-68.1197÷-47.8602	0.0041	0.0018
27.9	-65.3004÷-46.6964	0.0027	0.001
28.15	-62.4873÷-45.5371	0.0016	0.0005
28.4	-59.6801÷-44.3821	0.0008	0.0002
28.65	-56.8786÷-43.2313	0.0003	0
28.9	-54.0823÷-42.0845	0.0001	0
29	-52.9653÷-41.6269	0	0

I massimi valori di **Taglio (in valore assoluto)**, si ottengono nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C2** (Rara).



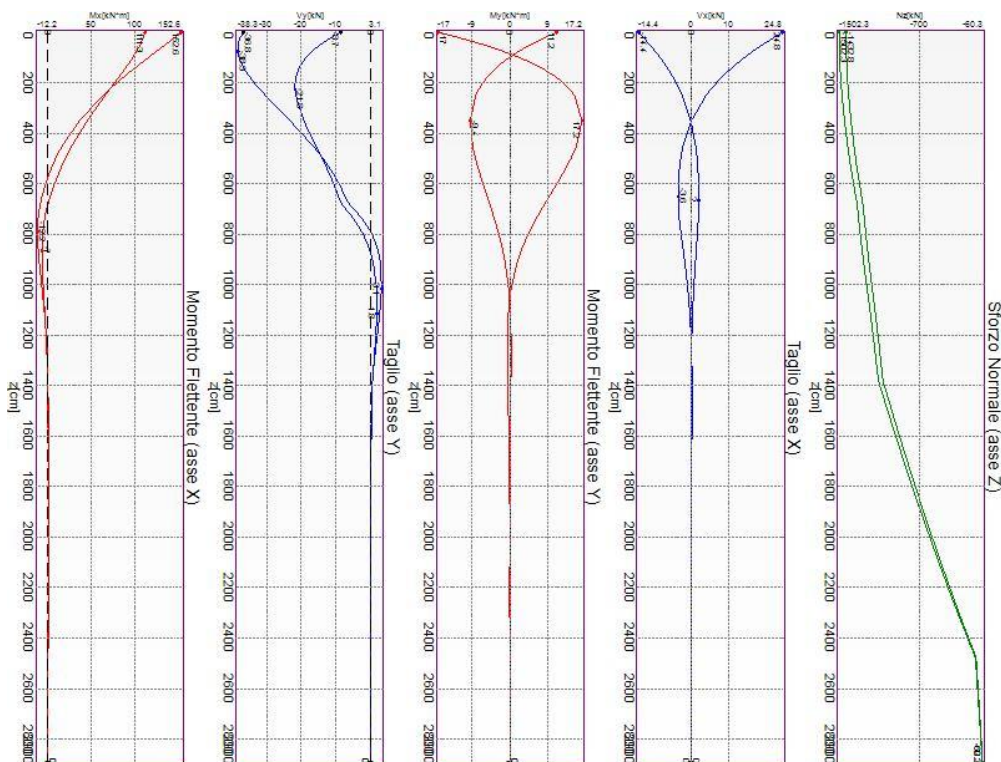
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C2)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C2)					
N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1673.3751÷-1534.7576	-39.0629÷29.2137	-67.5852÷-15.9641	29.8163÷105.7906	-23.175÷26.2905	-2.0023÷1.5041
Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C2)					
z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]		
0	-1673.3751÷-1534.7576	78.062	108.2993		
0	-1673.3751÷-1534.7576	78.062	108.2993		
0.25	-1672.117÷-1533.9228	66.3816	110.1445		
0.5	-1670.2885÷-1532.5559	55.6762	110.9918		
0.75	-1667.899÷-1530.6658	45.9312	110.8645		
1	-1664.9582÷-1528.2611	37.1299	109.8272		
1.25	-1661.4753÷-1525.3506	29.2592	107.9667		
1.5	-1657.46÷-1521.9429	22.3211	105.3807		
1.75	-1652.9215÷-1518.0467	18.3834	102.17		
2	-1647.8692÷-1513.6704	19.1371	98.4343		
2.25	-1642.3124÷-1508.8227	19.8896	96.3833		
2.5	-1636.2601÷-1503.5119	20.5384	96.3503		
3.5	-1607.2541÷-1477.7831	21.4641	87.8755		
4.5	-1571.0333÷-1445.3009	20.0313	71.4309		
4.75	-1560.9207÷-1436.1895	19.4399	66.7339		
5	-1550.3994÷-1426.6949	19.5254	61.9321		
5.25	-1539.4775÷-1416.8247	19.64	57.0754		

5.5	-1528.163÷-1406.5861	19.6052	52.2065
5.75	-1516.4636÷-1395.9863	19.4462	47.3612
6	-1504.3871÷-1385.0324	19.1869	42.569
6.25	-1491.941÷-1373.7314	18.8487	37.8541
6.5	-1479.1328÷-1362.0902	18.451	33.2357
6.65	-1471.2771÷-1354.945	18.191	30.5177
6.65	-1471.2771÷-1354.945	18.191	30.5177
6.9	-1461.0977÷-1345.7568	17.2759	26.1386
7.15	-1453.792÷-1339.2521	15.8483	22.0561
7.4	-1446.2498÷-1332.525	14.4009	18.3367
7.65	-1438.4765÷-1325.5805	12.9625	14.9844
7.9	-1430.477÷-1318.4232	11.5564	11.9982
8.15	-1422.2565÷-1311.0578	10.2015	9.3744
8.4	-1413.82÷-1303.489	8.9125	7.1099
8.65	-1405.1724÷-1295.7213	7.7003	5.9833
8.9	-1396.3185÷-1287.7592	6.573	6.1301
9.15	-1387.2633÷-1279.6072	5.5356	6.2174
10.15	-1349.4833÷-1245.5248	2.321	5.7923
11.15	-1311.6129÷-1211.3322	1.6035	4.5129
12.15	-1275.722÷-1178.9677	1.4442	3.424
12.4	-1267.0521÷-1171.1565	1.3556	3.2362
12.65	-1258.5018÷-1163.4556	1.2532	3.0302
12.9	-1250.0701÷-1155.8646	1.1394	2.8144
13.15	-1241.7563÷-1148.3825	1.0169	2.5961
13.4	-1233.5597÷-1141.0087	0.8883	2.3817
13.65	-1225.4794÷-1133.7426	0.8017	2.1766
13.65	-1225.4794÷-1133.7426	0.8017	2.1766
13.9	-1210.9027÷-1120.3852	0.7569	1.9829
14.15	-1189.751÷-1100.8613	0.73	1.7981
14.4	-1168.4428÷-1081.1878	0.6993	1.6204
14.65	-1146.9807÷-1061.3672	0.6656	1.4507
14.9	-1125.3671÷-1041.4016	0.6297	1.2898
15.15	-1103.6041÷-1021.2931	0.5924	1.138
15.4	-1081.6938÷-1001.0435	0.5541	0.9956
15.65	-1059.6379÷-980.6545	0.5155	0.863
15.9	-1037.438÷-960.1274	0.4769	0.7401
16.15	-1015.0952÷-939.4635	0.4387	0.6269
17.15	-924.3002÷-855.4431	0.2966	0.269
18.15	-831.2667÷-769.2759	0.1796	0.1989
19.15	-735.9688÷-680.9378	0.0922	0.2198
20.15	-638.3199÷-590.3479	0.0339	0.208
21.15	-538.1708÷-497.3672	0.0404	0.1824
22.15	-435.3068÷-401.7955	0.0426	0.1622

23.15	-329.4455÷-303.3695	0.0397	0.1288
23.4	-302.4732÷-278.2809	0.0386	0.1196
23.65	-275.2856÷-252.9878	0.038	0.1102
23.9	-247.8761÷-227.4841	0.038	0.1008
24.15	-220.2379÷-201.7634	0.0378	0.0913
24.4	-192.3638÷-175.819	0.0374	0.082
24.65	-164.2464÷-149.644	0.0369	0.0728
24.65	-164.2464÷-149.644	0.0369	0.0728
24.9	-147.6314÷-134.2938	0.0355	0.0638
25.15	-142.632÷-129.8763	0.0331	0.0553
25.4	-137.6462÷-125.471	0.0306	0.0474
25.65	-132.6733÷-121.0776	0.0279	0.0401
25.9	-127.7129÷-116.6956	0.0252	0.0335
26.15	-122.7646÷-112.3246	0.0226	0.0276
26.4	-117.8278÷-107.9642	0.0198	0.0223
26.65	-112.9022÷-103.614	0.0173	0.0177
26.9	-107.9872÷-99.2735	0.0148	0.0137
27.15	-103.0824÷-94.9425	0.0125	0.0103
27.4	-98.1873÷-90.6203	0.0104	0.0074
27.65	-93.3015÷-86.3067	0.0083	0.0051
27.9	-88.4244÷-82.0013	0.0064	0.0033
28.15	-83.5557÷-77.7036	0.0047	0.0019
28.4	-78.6949÷-73.4132	0.0032	0.0009
28.65	-73.8415÷-69.1298	0.0017	0.0003
28.9	-68.9951÷-64.8528	0.0004	0
29	-67.0584÷-63.1438	0	0

I massimi valori di **Momento flettente (in valore assoluto)**, si ottengono nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C3** (Frequente).



Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C3)

Azioni applicate in testa (punto maglia PM1, caso C3)

N_z [kN]	V_x [kN]	V_y [kN]	M_x [kN*m]	M_y [kN*m]	T_z [kN*m]
-1502.2709÷-1432.7947	-24.8402÷14.4355	8.6931÷36.7577	111.3365÷152.5838	-11.1677÷17.0405	-1.272÷0.7463

Caratteristiche di sollecitazione lungo il palo (punto maglia PM1, caso C3)

z_{loc} [m]	N_z [kN]	V_{xy} [kN]	M_{xy} [kN*m]
0	-1502.2709÷-1432.7947	39.4907	152.992
0	-1502.2709÷-1432.7947	39.4907	152.992
0.25	-1501.5353÷-1432.2712	39.8828	143.4669
0.5	-1500.2767÷-1431.244	39.8753	133.8305
0.75	-1498.5035÷-1429.7211	39.5072	124.1941
1	-1496.2245÷-1427.7109	38.8214	114.6542
1.25	-1493.4481÷-1425.2213	37.8621	105.2936
1.5	-1490.1828÷-1422.2606	36.6728	96.1818
1.75	-1486.4371÷-1418.8367	35.2946	87.3764
2	-1482.2193÷-1414.9578	33.7669	78.924
2.25	-1477.5378÷-1410.6317	32.1256	72.2151
2.5	-1472.4008÷-1405.8664	30.4037	67.158
3.5	-1447.44÷-1382.5482	23.2592	47.9378
4.5	-1415.834÷-1352.8159	16.668	31.454
4.75	-1406.9573÷-1344.441	15.2079	27.8618
5	-1397.7033÷-1335.7017	14.2874	24.495
5.25	-1388.0795÷-1326.6049	13.4783	21.3597

5.5	-1378.093÷-1317.1577	12.6997	18.4642
5.75	-1367.7509÷-1307.3667	11.9573	15.8216
6	-1357.0602÷-1297.2386	11.2558	13.4543
6.25	-1346.0276÷-1286.78	10.5988	11.4006
6.5	-1334.6598÷-1275.9972	9.9886	9.7214
6.65	-1327.6812÷-1269.3746	9.6454	9.5365
6.65	-1327.6812÷-1269.3746	9.6454	9.5365
6.9	-1318.7252÷-1260.9154	8.584	10.6731
7.15	-1312.4083÷-1254.9999	7.1577	11.5703
7.4	-1305.8723÷-1248.8725	5.9043	12.1519
7.65	-1299.122÷-1242.5376	4.8241	12.4424
7.9	-1292.1621÷-1235.9998	3.9176	12.4775
8.15	-1284.9971÷-1229.2634	3.1868	12.296
8.4	-1277.6316÷-1222.3328	2.6338	11.9361
8.65	-1270.0701÷-1215.2123	2.4522	11.4338
8.9	-1262.317÷-1207.9062	2.7591	10.8219
9.15	-1254.3766÷-1200.4185	2.9861	10.1298
10.15	-1221.1609÷-1169.0561	3.1586	7.0274
11.15	-1187.8302÷-1137.5687	2.5809	4.1477
12.15	-1156.2922÷-1107.7982	1.7372	2.2305
12.4	-1148.6822÷-1100.6185	1.5215	1.921
12.65	-1141.1805÷-1093.5426	1.3101	1.6441
12.9	-1133.7864÷-1086.5698	1.105	1.4006
13.15	-1126.4992÷-1079.6995	0.9076	1.1906
13.4	-1119.3183÷-1072.931	0.7193	1.0133
13.65	-1112.243÷-1066.2638	0.5688	0.8675
13.65	-1112.243÷-1066.2638	0.5688	0.8675
13.9	-1099.1713÷-1053.8032	0.4837	0.7469
14.15	-1080.0289÷-1035.4767	0.4426	0.6421
14.4	-1060.7385÷-1017.0056	0.403	0.5486
14.65	-1041.3026÷-998.3924	0.3649	0.4666
14.9	-1021.7232÷-979.639	0.3287	0.3962
15.15	-1002.0025÷-960.7475	0.2946	0.3375
15.4	-982.1421÷-941.7195	0.2623	0.2906
15.65	-962.1437÷-922.5566	0.2323	0.3032
15.9	-942.0087÷-903.26	0.2044	0.3211
16.15	-921.7383÷-883.8311	0.1787	0.3347
17.15	-839.3056÷-804.7939	0.0979	0.3486
18.15	-754.7476÷-723.6774	0.0563	0.314
19.15	-668.0406÷-640.4586	0.0666	0.2551
20.15	-579.1051÷-555.0612	0.0652	0.1901
21.15	-487.8044÷-467.3533	0.0564	0.1339
22.15	-393.9417÷-377.1456	0.0448	0.0959

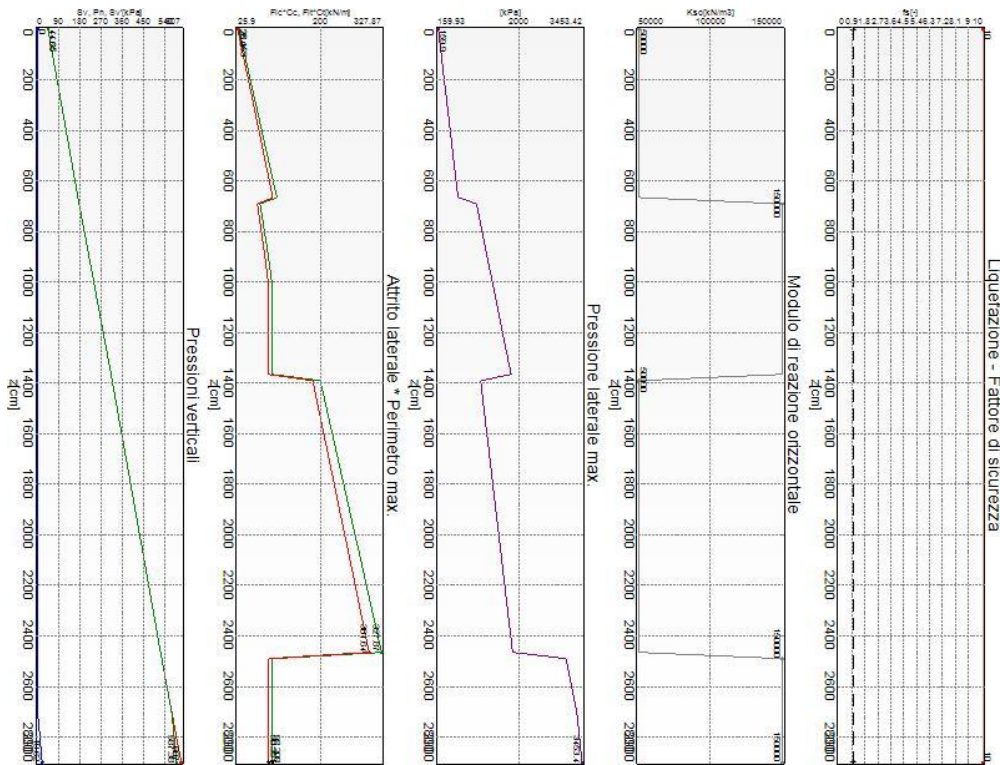
23.15	-297.2582÷-284.1887	0.0334	0.0626
23.4	-272.6111÷-260.4857	0.0307	0.0552
23.65	-247.762÷-236.5862	0.0287	0.0482
23.9	-222.705÷-212.4843	0.0271	0.0417
24.15	-197.4337÷-188.1741	0.0258	0.0356
24.4	-171.9415÷-163.6491	0.0244	0.0299
24.65	-146.2217÷-138.9028	0.023	0.0247
24.65	-146.2217÷-138.9028	0.023	0.0247
24.9	-131.168÷-124.4831	0.0205	0.0202
25.15	-126.8868÷-120.4935	0.0172	0.0166
25.4	-122.6176÷-116.5154	0.0141	0.0139
25.65	-118.36÷-112.5482	0.0115	0.0135
25.9	-114.1136÷-108.5916	0.0092	0.0138
26.15	-109.8779÷-104.6453	0.0073	0.0135
26.4	-105.6526÷-100.7088	0.006	0.0129
26.65	-101.4372÷-96.7819	0.0051	0.0118
26.9	-97.2314÷-92.8641	0.0059	0.0105
27.15	-93.0348÷-88.955	0.0065	0.0089
27.4	-88.8469÷-85.0543	0.0067	0.0073
27.65	-84.6675÷-81.1617	0.0066	0.0056
27.9	-80.496÷-77.2766	0.0062	0.004
28.15	-76.3321÷-73.3989	0.0053	0.0026
28.4	-72.1754÷-69.5281	0.0042	0.0014
28.65	-68.0255÷-65.6639	0.0026	0.0005
28.9	-63.882÷-61.8059	0.0008	0
29	-62.2263÷-60.2643	0	0

10.5. VERIFICHE GEOTECNICHE.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo.

10.5.1. Verifica: Capacità portante

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM9**, nel caso di carico **C5**, sestetto **6** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



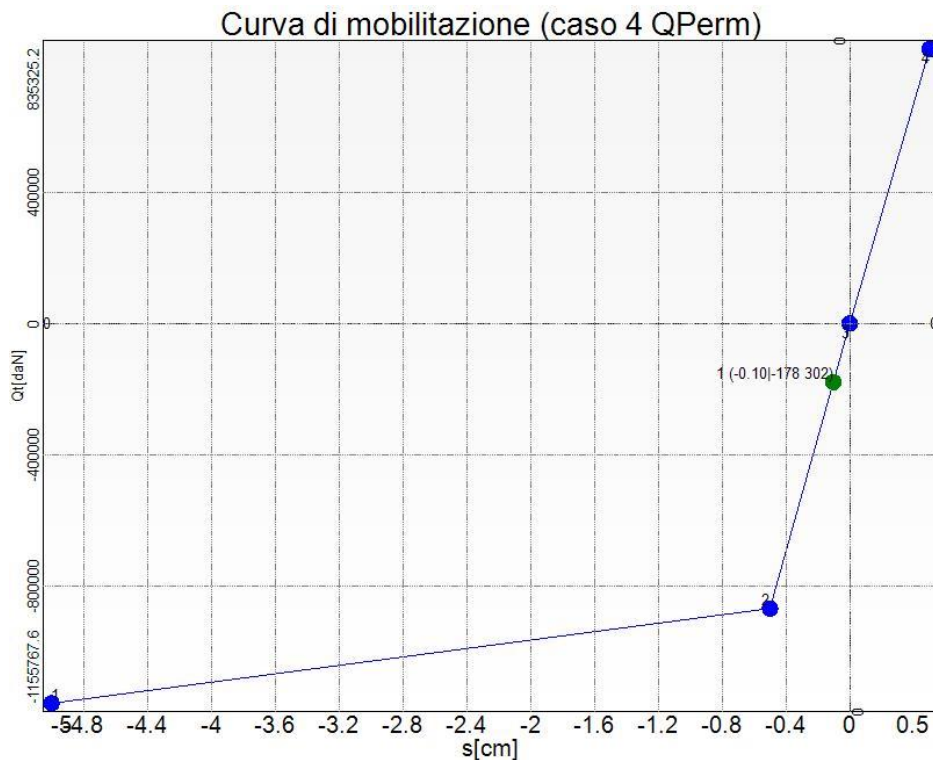
Capacità portante
Situazione peggiore: Punto maglia PM9, Caso C5, Sestetto 6

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Capacità portante					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Qt[kN]	S _d : Qt[kN]	fs[-]
PM1	C1	2	5840.82	3183.77	1.83
PM2	C5	17	5840.82	3671.8	1.59
PM3	C5	9	5840.82	5186.03	1.13
PM4	C1	2	5840.82	2778.33	2.10
PM5	C1	1	5840.82	2677.76	2.18
PM6	C5	2	5840.82	3574.7	1.63
PM7	C5	18	4050.06	2347.05	1.73
PM8	C5	6	5840.82	4097.37	1.43
PM9	C5	6	5840.82	5208.65	1.12

10.5.2. Verifica: Cedimento

I cedimenti del singolo palo sono calcolati utilizzando la relativa curva di mobilitazione. L'interazione tra i pali è valutata con il metodo dei fattori di interazione (Poulos e Davis, 1980). La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM5**, nel caso di carico **C4**, sestetto **1** (Quasi Permanente). Si ottengono i seguenti valori: cedimento del palo singolo = -1.03 [mm], cedimento indotto dal gruppo = -3.75 [mm], cedimento totale: -4.78 [mm].



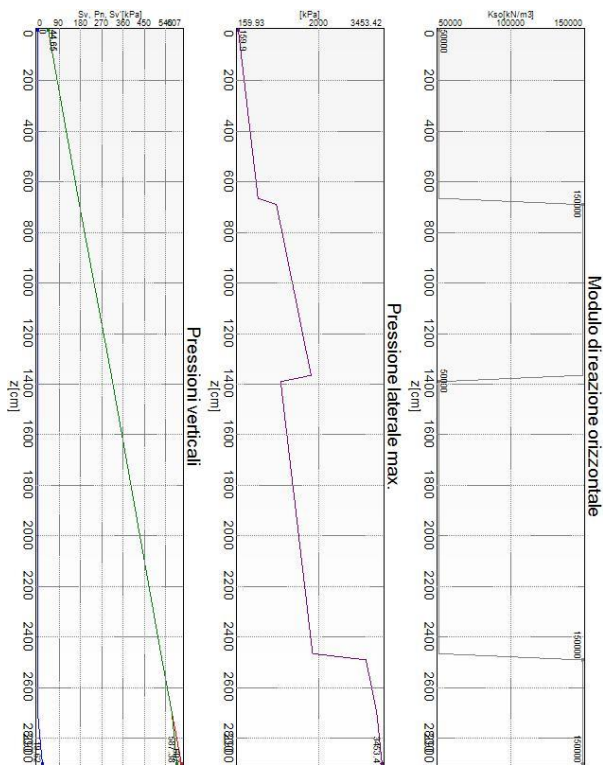
Cedimento
Situazione peggiore: Punto maglia PM5, Caso C4, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Cedimento					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Ced.[mm]	S _d : Ced.[mm]	f _s [-]
PM1	C4	1	-40	-1 + -3 = -4	9.17
PM2	C4	1	-40	-1 + -3 = -5	8.67
PM3	C4	1	-40	-1 + -3 = -4	9.14
PM4	C4	1	-40	-1 + -3 = -5	8.87
PM5	C4	1	-40	-1 + -4 = -5	8.37
PM6	C4	1	-40	-1 + -3 = -5	8.84
PM7	C4	1	-40	0 + -3 = -4	9.56
PM8	C4	1	-40	0 + -3 = -4	9.05
PM9	C4	1	-40	0 + -3 = -4	9.53

10.5.3. Verifica: Resistenza trasversale

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C5**, sestetto **5** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



Resistenza trasversale
Situazione peggiore: Punto maglia PM3, Caso C5, Sestetto 5

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Resistenza trasversale					
Punto	Caso	Ses.	R _d : R _{tr} [kN]	S _d : R _{tr} [kN]	fs[-]
PM1	C5	17	43154.3	1666.72	10.00
PM2	C5	5	43154.3	1648.52	10.00
PM3	C5	5	43154.3	1695.9	10.00
PM4	C5	17	43154.3	1657.5	10.00
PM5	C5	5	43154.3	1636.51	10.00
PM6	C5	5	43154.3	1684.24	10.00
PM7	C5	17	43154.3	1649.2	10.00
PM8	C5	5	43154.3	1625.9	10.00
PM9	C5	5	43154.3	1673.93	10.00

10.6. VERIFICHE STRUTTURALI.

Si riporta di seguito il dettaglio delle verifiche eseguite, per ciascun palo, solo in corrispondenza della progressiva dove si ottiene la situazione più severa.

10.6.1. Verifica: Spostamento orizzontale

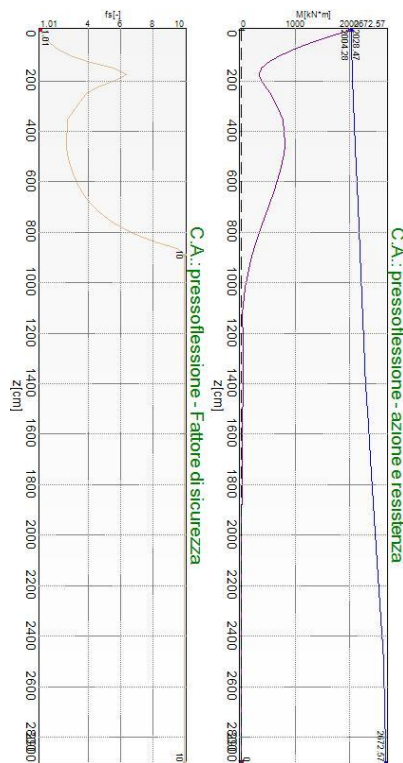
La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C2**, sestetto **1** (Rara).

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: Spostamento orizzontale					
Punto	Caso	Ses.	R _d : Sor[mm]	S _d : Sor[mm]	fs[-]
PM1	C2	1	50	0	10.00
PM2	C2	1	50	0	10.00
PM3	C2	1	50	0	10.00
PM4	C2	1	50	0	10.00
PM5	C2	1	50	0	10.00
PM6	C2	1	50	0	10.00
PM7	C2	1	50	0	10.00
PM8	C2	1	50	0	10.00
PM9	C2	1	50	0	10.00

10.6.2. Verifica: C.A.: pressoflessione

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM7**, nel caso di carico **C5**, sestetto **17** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



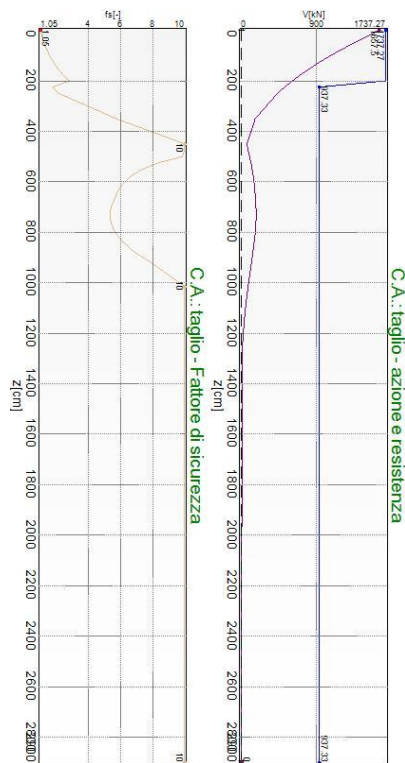
C.A.: pressoflessione
Situazione peggiore: Punto maglia PM7, Caso C5, Sestetto 17

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: pressoflessione					
Punto	Caso	Ses.	R _d : M[kN*m]	S _d : M[kN*m]	fs[-]
PM1	C5	5	2395.1873	2069.7142	1.16
PM2	C5	5	2609.4644	2160.1042	1.21
PM3	C5	5	2772.8607	2250.5866	1.23
PM4	C5	17	2563.7505	2005.7274	1.28
PM5	C5	5	2883.1555	2147.8926	1.34
PM6	C5	5	2976.5381	2238.8686	1.33
PM7	C5	17	2028.4677	2004.2819	1.01
PM8	C5	18	2360.0805	1923.5742	1.23
PM9	C5	6	3011.226	2229.6207	1.35

10.6.3. Verifica: C.A.: taglio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM4**, nel caso di carico **C5**, sestetto **17** (Stato limite di salvaguardia della Vita).



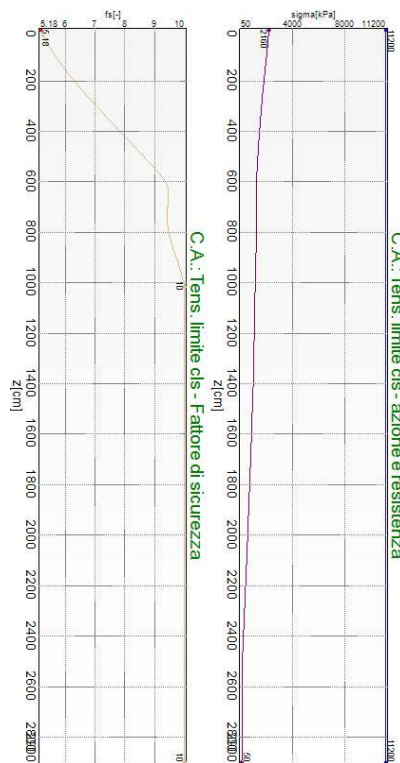
C.A.: taglio
Situazione peggiore: Punto maglia PM4, Caso C5, Sestetto 17

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: taglio					
Punto	Caso	Ses.	R _d : V[kN]	S _d : V[kN]	fs[-]
PM1	C5	5	1737.27	1601.23	1.08
PM2	C5	5	1737.27	1648.52	1.05
PM3	C5	5	1808.78	1695.9	1.07
PM4	C5	17	1737.27	1657.5	1.05
PM5	C5	17	1821.6	1618.68	1.13
PM6	C5	5	1990.25	1684.24	1.18
PM7	C5	17	1737.27	1649.2	1.05
PM8	C5	17	1737.27	1610.17	1.08
PM9	C5	17	1737.27	1571.19	1.11

10.6.4. Verifica: C.A.: Tens. limite cls

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C4**, sestetto **1** (Quasi Permanente).



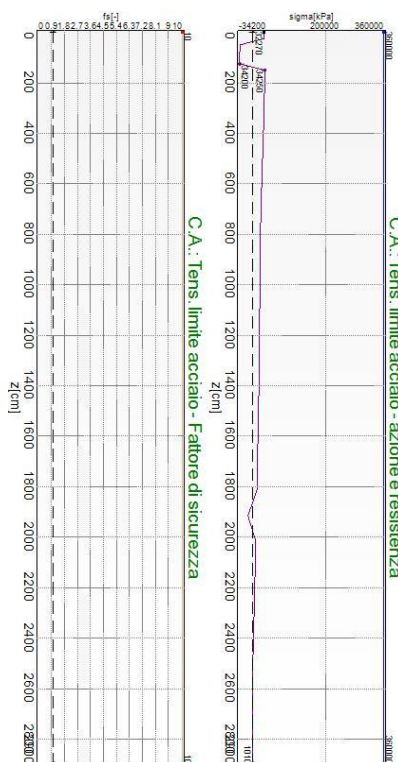
C.A.: Tens. limite cls
Situazione peggiore: Punto maglia PM3, Caso C4, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: Tens. limite cls					
Punto	Caso	Ses.	R _d : sigma[kPa]	S _d : sigma[kPa]	fs[-]
PM1	C4	1	11200	2100	5.33
PM2	C4	1	11200	2130	5.25
PM3	C4	1	11200	2160	5.18
PM4	C4	1	11200	1930	5.81
PM5	C4	1	11200	1960	5.71
PM6	C4	1	11200	1990	5.62
PM7	C4	1	11200	1760	6.38
PM8	C4	1	11200	1790	6.26
PM9	C4	1	11200	1820	6.15

10.6.5. Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM3**, nel caso di carico **C2**, sestetto **1** (Rara).



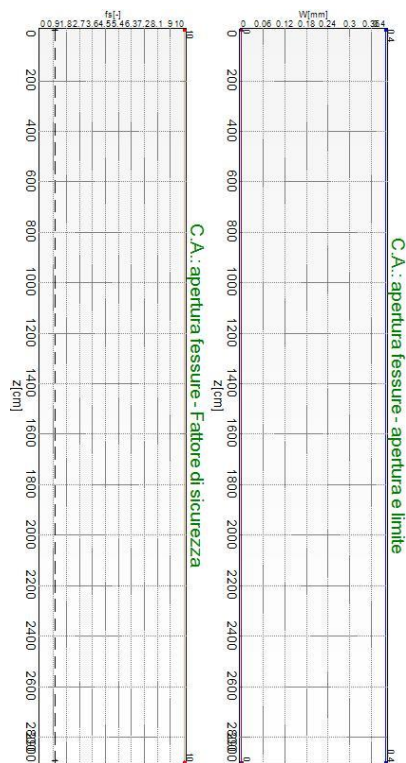
C.A.: Tens. limite acciaio
Situazione peggiore: Punto maglia PM3, Caso C2, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: Tens. limite acciaio					
Punto	Caso	Ses.	R _d : sigma[kPa]	S _d : sigma[kPa]	fs[-]
PM1	C2	1	360000	30570	10.00
PM2	C2	1	360000	32340	10.00
PM3	C2	1	360000	34250	10.00
PM4	C2	1	360000	25900	10.00
PM5	C2	1	360000	27670	10.00
PM6	C2	1	360000	29590	10.00
PM7	C2	2	360000	21810	10.00
PM8	C2	1	360000	23000	10.00
PM9	C2	1	360000	24930	10.00

10.6.6. Verifica: C.A.: apertura fessure

La situazione di verifica più severa, si ottiene nel punto maglia **PM1**, nel caso di carico **C3**, sestetto **1** (Frequente).



C.A.: apertura fessure
Situazione peggiore: Punto maglia PM1, Caso C3, Sestetto 1

Segue il riassunto della verifica, per tutti i punti maglia, per il caso ed il sestetto che danno il fattore di sicurezza minore.

Verifica: C.A.: apertura fessure					
Punto	Caso	Ses.	R _d : W[mm]	S _d : W[mm]	fs[-]
PM1	C3	1	0.4	0	10.00
PM2	C3	1	0.4	0	10.00
PM3	C3	1	0.4	0	10.00
PM4	C3	1	0.4	0	10.00
PM5	C3	1	0.4	0	10.00
PM6	C3	1	0.4	0	10.00
PM7	C3	1	0.4	0	10.00
PM8	C3	1	0.4	0	10.00
PM9	C3	1	0.4	0	10.00