



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>2 di 118</b>

## Indice

<b>1. RELAZIONE DESCRIPTIVA .....</b>	<b>5</b>
<b>2. RIFERIMENTI .....</b>	<b>7</b>
2.1 NORMATIVA E BIBLIOGRAFÍA DI RIFERIMENTO .....	7
2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	8
2.3 UNITÀ DI MISURA, CONVENZIONI E SISTEMI DI SEGNO .....	8
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO .....</b>	<b>9</b>
<b>4. RELAZIONE SUI MATERIALI .....</b>	<b>10</b>
4.1 OPERE IN CALCESTRUZZO .....	10
4.1.1 Acciaio di armatura .....	10
4.1.2 Conglomerato cementizio per elementi in cls (Deposito Via Gleno).....	11
4.1.3 Conglomerato cementizio per elementi in cls (Deposito Via per Levate) .....	11
4.2 OPERE IN ACCIAIO .....	12
4.2.1 Carpenteria metallica .....	12
4.2.1 Armatura micropalo.....	12
<b>5. DEFINIZIONE DELLE AZIONI .....</b>	<b>13</b>
5.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	13
5.1.1 Pericolosità Sismica di Base.....	13
5.1.2 Determinazione del Periodo di Riferimento .....	13
5.1.3 Stati Limite e relative probabilitá di superamento.....	15
5.2 CATEGORIA DEL SOTTOSUELO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	16
5.2.1 Categoria del Sottosuelo – Deposito Via Gleno .....	17
5.2.2 Categoria del Sottosuelo – Deposito Via per Levate .....	17
5.2.3 Condizioni topografiche.....	17
5.3 METODO DI ANALISI SISMICA .....	18
5.3.1 Analisi della struttura della pensiline .....	18
5.4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	19
5.4.1 Spetto di Risposta elastico – Deposito via Gleno .....	19
5.4.2 Spetto di Risposta elastico -Deposito per via Levate .....	20
5.4.3 Spetto di risposta di progetto .....	22
5.5 ANALISI DEI CARICHI PERMAENTI E VARIABILI .....	22
5.5.1 Azioni Permanenti .....	22

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>3 di 118</b>

- 5.5.2 Carichi d' esercizio ..... 23
- 5.5.3 Azioni variabili: Carico di neve ..... 23
- 5.5.4 Azioni variabili: Carico di vento ..... 25

## 6. VERICHE STRUTTURALI IMPALCATO E PILASTRI ..... 30

- 6.1 COMBINAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO ..... 30
  - 6.1.1 Combinazione Fondamentale (SLU) ..... 30
  - 6.1.2 Combinazione Rara o Caratteristica (SLE) ..... 31
  - 6.1.3 Combinazione Frequenti (SLE) ..... 31
  - 6.1.4 Combinazione Quasi Permanente (SLE) ..... 32
  - 6.1.5 Combinazione Sismica (SLU e SLE) ..... 32
  - 6.1.6 Combinazione Eccezionale (SLU) ..... 32
- 6.2 MODELLAZIONE FEM ..... 34
  - 6.2.1 Modello di calcolo ..... 34
  - 6.2.2 Carichi applicati ..... 35
  - 6.2.3 Analisi dinamica lineare ..... 40
- 6.3 VERIFICHE STRUTTURALI- DEPOSITO VIA GLENO ..... 43
  - 6.3.1 Verifica della pensiline ..... 43
  - 6.3.2 Verifica della deformazione ..... 54
  - 6.3.3 Verifica dei pilastri ..... 56
- 6.4 VERIFICHE STRUTTURALI – DEPOSITO VIA PER LEVATE ..... 57
  - 6.4.1 Verifica della pensiline ..... 57
  - 6.4.2 Verifica della deformazione ..... 65

## 7. FONDAZIONI – DEPOSITO VIA GLENO ..... 67

- 7.1 Introduzione ..... 67
- 7.2 Parametri geotecnici di riferimento ..... 69
- 7.3 Tipologia di fondazione ..... 69
- 7.4 Calcolo dei carichi assiali sui pali ..... 69
- 7.5 Cenni Teorici ..... 70
  - 7.5.1 Capacità portante a carichi assiali dei pali di fondazione ..... 70
  - 7.5.2 Capacità portante a carichi trasversali dei pali di fondazione ..... 72
- 7.6 Verifiche Fondazioni tipo 1 ..... 74
  - 7.6.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica 76
  - 7.6.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica 77

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>4 di 118</b>

7.6.2	Verifica di stabilità .....	78
7.6.1	Verifica strutturale per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	78
7.6.1	Verifica strutturale dei pilastri per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	80
7.6.2	Verifica strutturale della bassa colonna in acciaio .....	83
7.7	Verifiche Fondazioni tipo 2 .....	90
7.7.1	Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica	90
7.7.2	Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica	92
7.7.3	Verifica di stabilità .....	93
7.7.4	Verifica strutturale per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	93
7.8	Verifiche Fondazioni tipo 3 .....	96
7.8.1	Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica	96
7.8.2	Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica	98
7.8.3	Verifica della capacità portante a carichi trasversali (SLU-GEO)...	99
7.8.4	Verifica strutturale dei micropali per sollecitazioni assiali, flessionali e di taglio (SLU-STR)	99
7.8.5	Verifica strutturale del plinto per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	100

## 8. FONDAZIONI – DEPOSITO VIA PER LEVATE ..... 101

8.1	Introduzione .....	101
8.2	Verifiche geotecniche.....	102
8.2.1	Verifica della capacità portante (SLU-GEO) condizione statica ...	102
8.2.1	Verifica della capacità portante (SLU-GEO) condizione sismica..	104
8.3	Verifiche strutturali.....	105
8.3.1	Verifica strutturale della fondazione per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	105
8.3.1	Verifica strutturale della trave di collegamento per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR) .....	108
8.3.1	Verifica strutturale dei pilastri per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)	110
8.3.2	Verifica del collegamento Colonna – Plinto.....	111

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>5 di 118</b>

## 1. RELAZIONE DESCRIPTIVA

La presente relazione di calcolo contiene le verifiche strutturali per le seguenti opere:

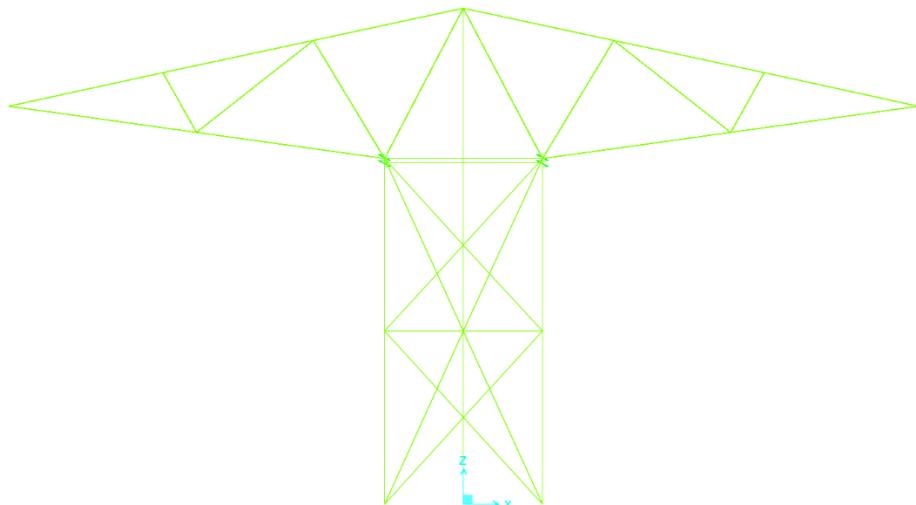
- Pensilina del deposito ATB (Bergamo) in Via Gleno
- Pensilina del deposito BRT (Osio Sopra) in via per Levate

La pensilina in via Gleno è costituita da una struttura metallica reticolare spaziale in tubi saldati a sezione circolare di luce 12,1 m e lunghezza 120 m.

Le campate centrali poggiano su 4 pilastri in cemento armato.

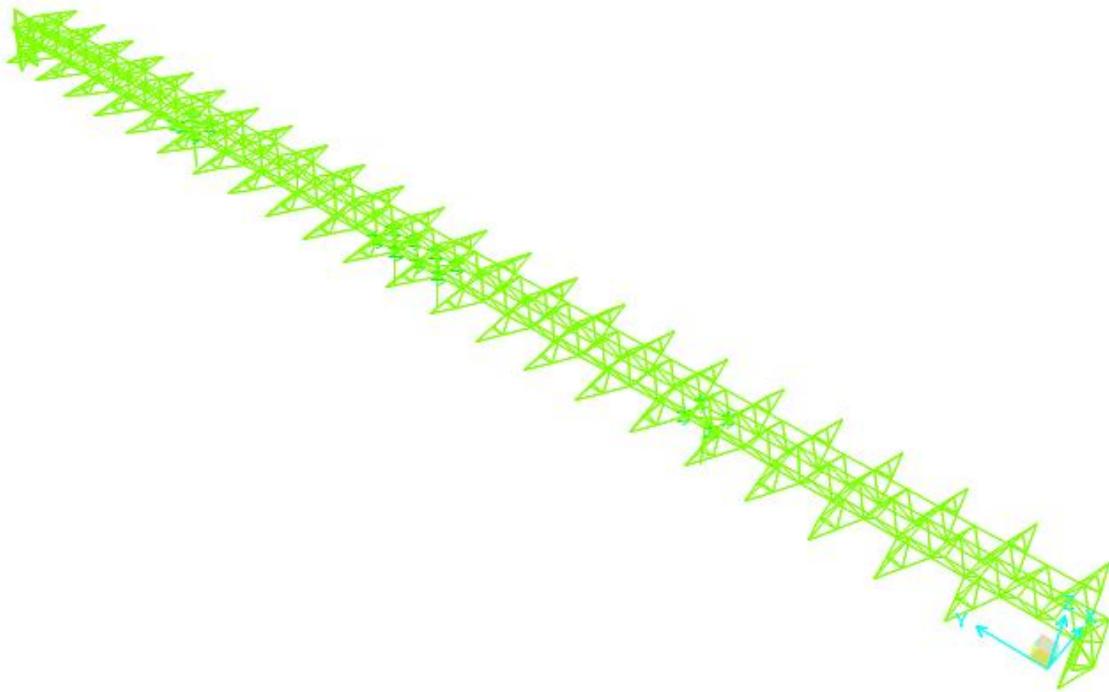


**Figura 1.1 Sezione longitudinale della pensilina**



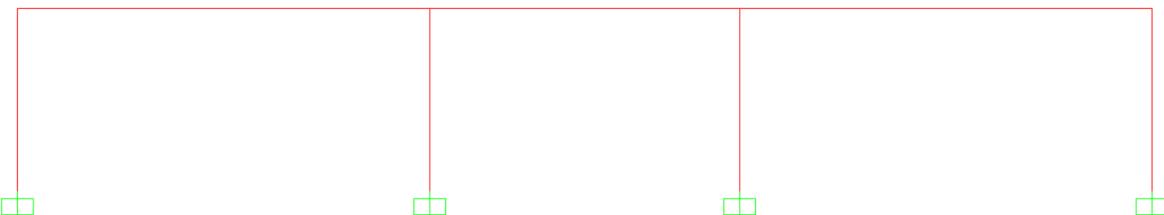
**Figura 1.2 Sezione trasversale della pensilina**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESMA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>6 di 118</b>



**Figura 1.3 Modello 3D**

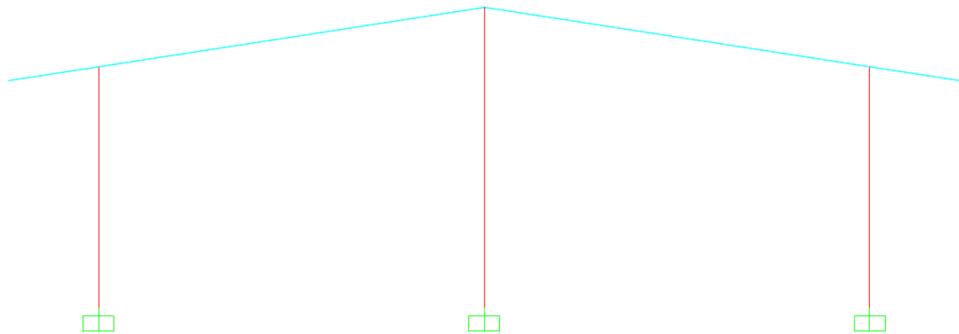
La pensilina in Osio Sopara è costituita da una struttura metallica composta da 2 telai strutturali in senso longitudinale, per una lunghezza complessiva di 33m costituiti da profili HEB e HEA e da un telaio a sbalzo in senso trasversale per una lunghezza complessiva dello sbalzo di 21.3m.



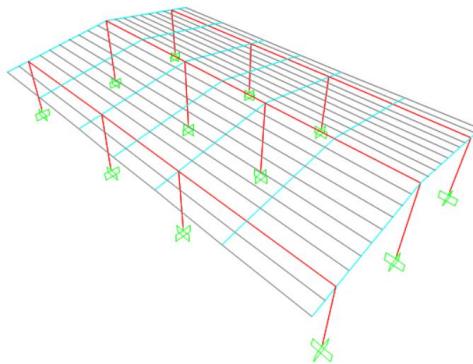
**Figura 1.4 Sezione longitudinale della pensilina**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>7 di 118</b>

[Set XZ View](#)



**Figura 1.5 Sezione trasversale della pensiline**



**Figura 1.6 Modello 3D**

## 2. RIFERIMENTI

### 2.1 NORMATIVA E BIBLIOGRAFÍA DI RIFERIMENTO

La progettazione e verifica degli interventi è stata condotta ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Construzione”” e della relativa “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”.

I principali riferimenti normativi sono di seguito elencati:

1. DM 17/01/2018: “Norme tecniche per le costruzioni”, abbreviate nel seguito con l’acronimo “NTC 2018”;

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>8 di 118</b>
Relazione di calcolo strutturale								

2. Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP.: "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni";
3. UNI EN 1990:2006
  - a. Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture
  - b. Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
  - c. Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio
  - d. Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
  - e. Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

## 2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

I principali elaborati di riferimento sono di seguito elencati:

- Pensiline depositi - Planimetria e pianta pensiline deposito via Gleno B23D00D00P9FVDB00001A
- Pensiline depositi - Planimetria e pianta pensiline deposito via per Levate B23D00D00P9FVDO00002A
- Pensiline deposito via Gleno – Fondazioni B23D00D00BXFVDB00003A
- Pensiline deposito via per Levate – Fondazioni B23D00D00BXFVDO00004A
- Pensiline deposito via Gleno - Piante e Sezioni B23D00D00WBFVDB00005A
- Pensiline deposito via per Levate - Piante e Sezioni B23D00D00WBFVDO00006A
- Relazione geotecnica B23D00D00GEGE0006001A

## 2.3 UNITÀ DI MISURA, CONVENZIONI E SISTEMI DI SEGNO

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nel seguito sono espresse nelle seguenti unità di misura:

- lunghezza : m
- forza : KN

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in millimetri.

I carichi agenti sull'impalcato sono positivi se diretti verso il basso.

Le tensioni sono positive se di trazione, sia per quanto riguarda il calcestruzzo che l'acciaio.

Si considera l'impalcato come un piano in cui un sistema di assi ortogonali x,y individua ogni punto di esso.

L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A
							FOGLIO 9 di 118

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SITO

Tenendo in conto quanto riportato nel documento B23D00D00GEGE0006001A, nel seguito si riporta la tabella di sintesi dei principali parametri geotecnici, per ciascuna delle unità geotecniche identificate lungo il tracciato della nuova linea E-BRT.

Descrizione litologica	Unità geotecnica	Peso specifico naturale γ	Valori statistici	Densità Relativa, Dr	Angolo d'attrito		Modulo di elasticità		Coesione non drenata
					Bazaar (1967)	Road Bridge Specification	Schmertmann, 1977	Bowles, 1995; Burland & Burbidge, 1985 e	
ID	UG	kg/m³		%	ϕ' (°)	ϕ' (°)	E (MPa)	E (MPa)	cu (kPa)
Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	A	1600 - 1800	n° valori	255	255			255	255
			DEV. STD	21	4			2	38
			MINIMO	12	19			5	6
			MAX	113	35			14	166
			MEDIA	49	26			8	52
			Val. caratter.	47	25			7	48
Limi argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	B	1700 - 1900	n° valori	1994	1994			1994	1994
			DEV. STD	13	4			2	44
			MINIMO	11	19			5	7
			MAX	96	36			20	288
			MEDIA	37	27			8	65
			Val. caratter.	37	27			8	63
Ghiaie con ciottoli in matrice limoso-argillosa prevalente e subordinatamente sabbiosa	C	2000 - 2200	n° valori	1283		1283		1283	
			DEV. STD	19		2		68	
			MINIMO	11		36		1	
			MAX	106		45		386	
			MEDIA	46		39		64	
			Val. caratter.	45		39		61	
Conglomerati da poco cementati a semi-litificati alterati e fratturati	D	2200 - 2400	n° valori	32		32		32	
			DEV. STD	15		1		28	
			MINIMO	13		36		2	
			MAX	65		41		110	
			MEDIA	28		37		22	
			Val. caratter.	24		37		14	

Nella tabella seguente si riportano i principali parametri geotecnici dei litotipi presenti nel settore dell'area di deposito ATB di Bergamo, Via Gleno.

Tali parametri sono stati ottenuti dalle sole indagini storiche disponibili sul Geoportale della Lombardia.

**Unità geotecnica A:** terreno superficiale di riporto; spessore circa 1 m

**Unità geotecnica B:** Limi argilosì con ciottoli alterati e disaggregati; da 1 ad almeno 10m di profondità

Falda assente sulla base dei dati disponibili.

**Tabella 1 Parametri Geotecnici**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 10 di 118

<b>Area deposito di Bergamo ATB</b>										
Descrizione litologica	Unità geotecnica	Peso specifico naturale	Valori statistici	Densità Relativa, Dr	Angolo d'attrito		Modulo di elasticità	Coesione non drenata	Modulo elastico non drenato	
					Bazaar (1967)	Road Bridge Specification	Schmertmann, 1977	Bowles, 1995;	Burland & Burbidge, 1985	Terzaghi- Peck, 1948
ID	UG	kg/m <sup>3</sup>		%	$\phi'$ (°)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	E (MPa)	cu (kPa)	[MPa]
Depositi superficiali prevalentemente limoso-argilosì derivati dalla pedogenizzazione e terreni di riporto fini	A	1600 - 1800	n° valori	33	33		33		33	33
			DEV. STD	21	4		2		38	40
			MINIMO	27	21		6		14	15
			MAX	66	30		9		86	68
			MEDIA	45	24		7		37	34
			Val. caratter.	39	23		6		26	22
Limì argilosì con ciottoli alterati e disaggregati	B	1700 - 1900	n° valori	302	302		302		302	302
			DEV. STD	13	4		2		44	46
			MINIMO	15	19		5		7	8
			MAX	82	36		36		202	212
			MEDIA	34	26		8		53	56
			Val. caratter.	33	26		8		49	52

La categoria di sottosuolo si definisce come C.

Non avendo riscontrato delle indagine geotecniche ed una parametrizzazione specifica per la zona del deposito di Levate; si assumono validi i principali parametri geotecnici dei litotipi presenti nel settore dell'area di deposito ATB di Bergamo, Via Gleno.

La categoria di sottosuolo si definisce come B.

## 4. RELAZIONE SUI MATERIALI

Si presentano di seguito i principali materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione di nuovi elementi.

### 4.1 OPERE IN CALCESTRUZZO

Per la verifica delle colonne e delle fondazioni esistenti degli edifici in calcestruzzo è richiesto l'utilizzo dei seguenti materiali strutturali.

#### 4.1.1 Acciaio di armatura

Acciaio B450 C per tutti gli elementi in c.a. saldabile qualificato secondo le procedure di cui al §11.3.1.2 del D.M. del 17/01/2018 e controllato con le modalità riportate al § 11.3.2.11 del D.M. del 17/01/2018.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>	<b>11 di 118</b>	

Si adotta il legame costitutivo  $\sigma$ - $\epsilon$  elastico-perfettamente plastico (b) ai sensi § 4.1.2.1.2.2 del D.M. del 17/01/2018.

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk}=450 \text{ N/mm}^2$

Tensione di snervamento di progetto:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk}=540 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico:  $E_s=210000 \text{ MPa}$

Coefficiente di sicurezza del materiale  $\gamma_s=1.15$

#### 4.1.2 Conglomerato cementizio per elementi in cls (Deposito Via Gleno)

I coefficienti di sicurezza per la determinazione delle resistenze di calcolo del calcestruzzo sono indicati nel § 4.1.2.1.1 del D.M. 17/01/2018 e sono i seguenti:

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale:  $\gamma_c = 1.5$ .

Coefficiente riduttivo per i carichi a lunga durata:  $\alpha_{cc} = 0.85$

##### a. Pilastri e Fondazioni C32/40

Resistenza cubica caratteristica:  $R_{ck}=40.0 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck}=33.20 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di progetto:  $f_{cd} = \frac{\alpha_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 33.20}{1.5} = 18.81 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico:  $E_c=33642.8 \text{ N/mm}^2$

Peso per unità di volume (armato):  $\gamma=25 \text{ KN/m}^3$

#### 4.1.3 Conglomerato cementizio per elementi in cls (Deposito Via per Levate)

I coefficienti di sicurezza per la determinazione delle resistenze di calcolo del calcestruzzo sono indicati nel § 4.1.2.1.1 del D.M. 17/01/2018 e sono i seguenti:

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale:  $\gamma_c = 1.5$ .

Coefficiente riduttivo per i carichi a lunga durata:  $\alpha_{cc} = 0.85$

##### a. Fondazioni C28/35

Resistenza cubica caratteristica:  $R_{ck}=35.0 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck}=29.05 \text{ N/mm}^2$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA  <b>B23D</b>	LOTTO  <b>00 D 00</b>	CODIFICA  <b>RH</b>	DOCUMENTO  <b>FVD000 001</b>	REV.  <b>A</b>	FOGLIO  <b>12 di 118</b>	

Resistenza di progetto:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_c f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 29.05}{1.5} = 16.46 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

$$E_c = 32588.1 \text{ N/mm}^2$$

Peso per unità di volume (armato):

$$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$$

## 4.2 OPERE IN ACCIAIO

### 4.2.1 Carpenteria metallica

Per la realizzazione della struttura portante delle pensiline è previsto l'impiego di acciaio per carpenteria metallica S355 certificato e conforme alle norme armonizzate della serie UNI En 1005, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1.

Si adotta il legame costitutivo  $\sigma$ - $\epsilon$  elastico-perfettamente plastico (b) ai sensi del 4.1.2.1.2.2 delle NTC 2018.

Qualità

S355

Tensione caratteristica all' 1% di deformazione:

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura:

$$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale:

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

### 4.2.1 Armatura micropalo

Per la realizzazione della armatura dei micropali è previsto l'impiego di acciaio S275.

Qualità

S275

Tensione caratteristica all' 1% di deformazione:

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura:

$$f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale:

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>13 di 118</b>
Relazione di calcolo strutturale								

## 5. DEFINIZIONE DELLE AZIONI

### 5.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

#### 5.1.1 Pericolosità Sismica di Base

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi limiti considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria C quale definita ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $Se(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definito al ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.

#### 5.1.2 Determinazione del Periodo di Riferimento

Secondo il D.M. 17/01/2018 § 2.4.3 le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$V_R = V_N * C_U$$

La vita nominale dell'opera VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella seguente tabella (ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.1 tabella 2.4.I).

c	TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE VN (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provisionale - Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensione contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>14 di 118</b>

In questo caso si ha un tipo 2.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastruttura, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche in riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

In questo caso si ha una Classe II.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della Classe d'uso, come mostrato ai sensi del D.M. 17/01/2018 § 2.4.3 tabella 2.4.II.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

Perciò si ottiene:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50 \text{ anni}$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>15 di 118</b>

### 5.1.3 Stati Limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite d'esercizio sono:

- **Stato limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato limite di danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella 3.2.1. ai sensi del D.M. 14.01.2018.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo strutturale			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A	16 di 118

Stati Limite		P <sub>VR</sub> Probabilitá di superamento nel period di riferimento V <sub>R</sub>
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il periodo di ritorno dell'azione sismica corrispondente a ciascun stato limite vale:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori sono riportati nella seguente tabella.

Stati Limite		T <sub>R</sub> (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	30
	SLD	50
Stati Limite Ultimi	SLV	475
	SLC	975

## 5.2 CATEGORIA DEL SOTTOSUELO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Si seguono le indicazioni contenute nel § 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 relative alla classificazione del sottosuolo e all'individuazione delle condizioni topografiche della superficie del sito oggetto dell'intervento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante analisi del sottosuolo, come indicato ai sensi del D.M. 17/01/2018 al § 7.11.3.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>17 di 118</b>

### 5.2.1 Categoria del Sottosuelo – Deposito Via Gleno

Da quanto riportato nel paragrafo relativo alle Caratterizzazione Geotecnica del sottosuelo presente del sito si evince che il sottosuelo rientra nella categoria C.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

### 5.2.2 Categoria del Sottosuelo – Deposito Via per Levate

Da quanto riportato nel paragrafo relativo alle Caratterizzazione Geotecnica del sottosuelo presente del sito si evince che il sottosuelo rientra nella categoria B.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

### 5.2.3 Condizioni topografiche

La risposta sismica riferita ad un sottosuelo rigido di categoria A deve quindi essere amplificata da opportuni coefficienti d'amplificazione che tengono conto della diversa stratigrafia

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>18 di 118</b>

del sito; essi sono: SS, coefficiente stratigrafico e CC, coefficiente che modifica il periodo, TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico.

Allo scopo di individuare le condizioni topografiche della superficie del sito e valutare i corrispondenti coefficienti amplificativi topografici, ST della risposta sismica finale la Normativa mette a disposizione la seguente classificazione:

<b>Categoria</b>	<b>Classificazione della superficie topografica</b>	<b><math>S_T</math></b>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i < 30^\circ$	1.2
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

## 5.3 METODO DI ANALISI SISMICA

### 5.3.1 Analisi della struttura della pensiline

I metodi di analisi impiegati sono, in accordo con quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018, quello statico lineare e il dinamico lineare con spettro di risposta.

Il metodo di analisi dinamica lineare propone una rappresentazione dell'azione sismica semplificata secondo uno spettro di risposta. Lo spettro di risposta fornisce i valori massimi delle grandezze cinematiche, quali accelerazione, velocità e spostamento, di un sistema strutturale semplificato in un oscillatore semplice secondo il periodo proprio di vibrare. Con questo strumento, i metodi d'analisi lineari ipotizzano una configurazione deformata della struttura e valutano, rispetto a questa, l'azione sismica di progetto da considerare ai fini del calcolo delle sollecitazioni. Le capacità dissipative dovute al comportamento oltre il limite elastico del materiale e degli elementi strutturali sono racchiusi in un fattore riduttivo dello spettro di risposta. Il metodo d'analisi non lineare consente di valutare il reale comportamento del sistema strutturale soggetto ai carichi verticali e ad una certa distribuzione di forze orizzontali sismiche, poiché tiene conto di tutte le non linearità del sistema: la configurazione d'equilibrio delle forze è calcolata sulla base di una deformata indotta dallo stesso sistema di forze che la genera. Per

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>19 di 118</b>

le verifiche oggetto della presente relazione , si procederà seguendo l'approccio del metodo dinamico multimodale con spettro di risposta.

## 5.4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La determinazione dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione è svolta secondo quanto indicato al § 3.2 del DM 17/01/2018, per uno smorzamento convenzionale del 5% e a partire dai valori assunti dei seguenti parametri riferiti al suolo rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del sito;
- $F_c$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 5.4.1 Spetto di Risposta elastico – Deposito via Gleno

Bergamo, regione Lombardia, dove sorge l’opera; è individuato dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 45.698

Longitudine: 9.677

Altezza: 249 m.s.l.m.m

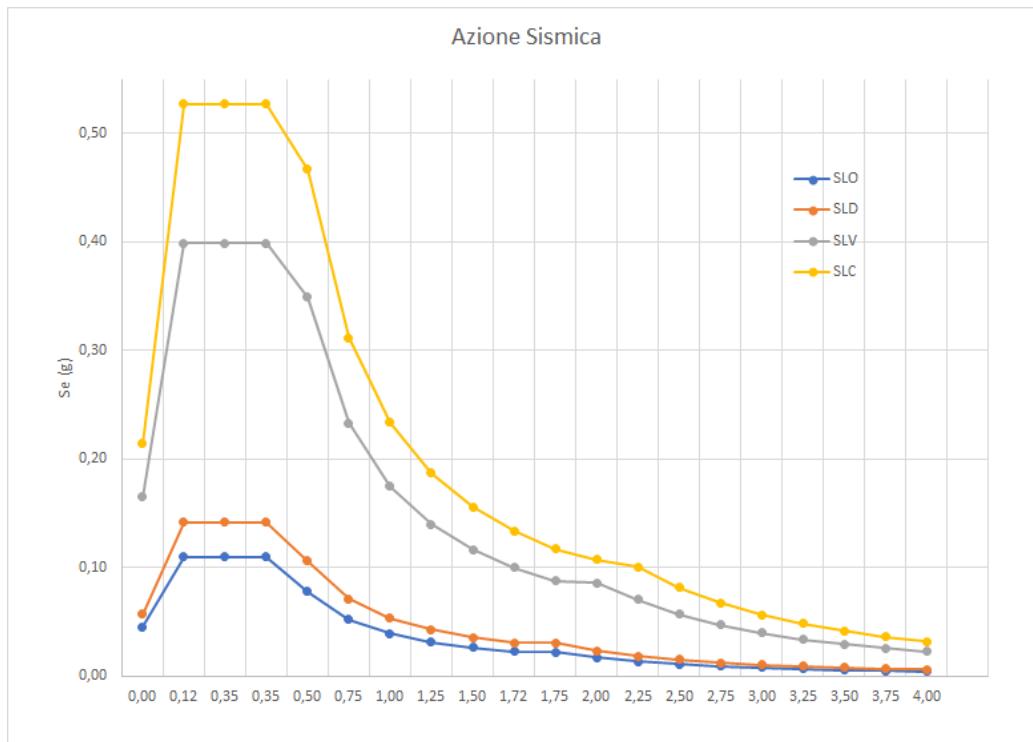
Considerando quanto prescritto al § 3.2.3 del DM 17/01/2018 e i valori dei coefficienti, si ha:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

I valori indicati dalla Normativa per i quattro stati limite sono riassunti nella seguente tabella.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 20 di 118

<b><i>Stati Limite</i></b>	<b>P<sub>VR</sub></b>	<b>T<sub>R</sub> (anni)</b>	<b>a<sub>g/g</sub></b>	<b>F<sub>o</sub></b>	<b>T<sup>*</sup>c(sec)</b>
<i>SLO</i>	81%	30	0,0300	2,4380	0,1980
<i>SLD</i>	63%	50	0,0380	2,4800	0,2150
<i>SLV</i>	10%	475	0,1100	2,4180	0,2710
<i>SLC</i>	5%	975	0,1440	2,4610	0,2760



#### 5.4.2 Spetto di Risposta elastico -Deposito per via Levate

Osio Sopra, provincia di Bergamo, dove sorge l'opera; è individuato dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 45.629

Longitudine: 9.585

Altezza: 192 m.s.l.m.m

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 21 di 118

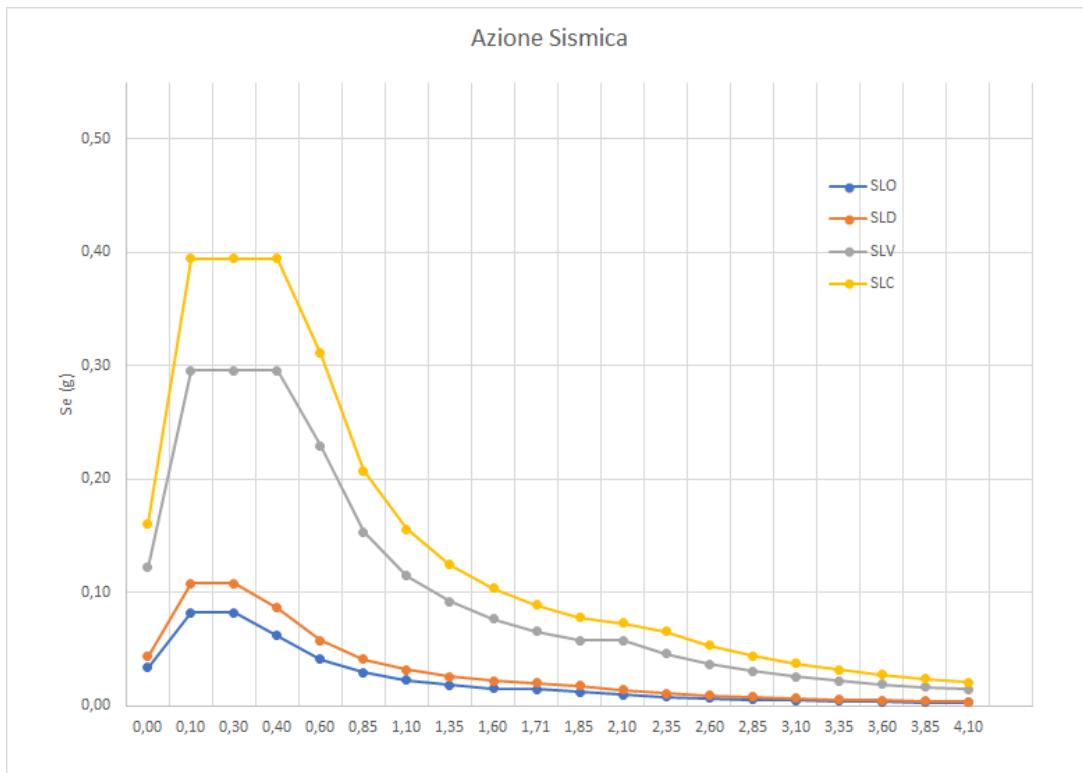
Considerando quanto prescritto al § 3.2.3 del DM 17/01/2018 e i valori dei coefficienti, si ha:

Categoria sottosuolo	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

I valori indicati dalla Normativa per i quattro stati limite sono riassunti nella seguente tabella.

Stati Limite	P <sub>VR</sub>	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> /g	F <sub>o</sub>	T <sup>*</sup> <sub>c(sec)</sub>
SLO	81%	30	0,0278	2,4544	0,1971
SLD	63%	50	0,0362	2,4868	0,2128
SLV	10%	475	0,1015	2,4283	0,2717
SLC	5%	975	0,1340	2,4527	0,2772

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A
							FOGLIO 22 di 118



### 5.4.3 Spetto di risposta di progetto

Lo spettro di risposta di progetto è ottenuto riducendo le ordinate dello spettro elastico per un fattore di struttura che tiene conto, in modo semplificato, della capacità dissipativa anelastica del sistema strutturale resistente alle forze sismiche. In questo caso viene assunto a favore di sicurezza  $q=1$ .

## 5.5 ANALISI DEI CARICHI PERMAENTI E VARIABILI

Le azioni da considerare nella progettazione della pensiline sono state determinati in accordo con le prescrizioni delle "Norme tecniche per le Costruzioni" del 17/01/2018.

### 5.5.1 Azioni Permanentie

Il peso proprio degli elementi strutturali in acciaio è attribuito automaticamente dal programma di calcolo considerando le seguenti densità dei materiali:

- acciaio: 78,5 kN/m<sup>3</sup>
- calcestruzzo: 25,0 kN/m<sup>3</sup>

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>23 di 118</b>	

A titolo meramente indicativo, l'incidenza del peso proprio della struttura della copertura è di circa 0,50 kN/m<sup>2</sup>.

### 5.5.2 Carichi d' esercizio

I carichi di esercizio sono definiti da quanto previsto al § 3.1.4 del DM del 17/01/2018.

Cat.	Ambienti	q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>k</sub> [kN]	H <sub>k</sub> [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00	6,00	1,00*
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50	2 x 10,00	1,00**
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 —	1,20 —	1,00 —

\* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali rimangazzinati

\*\* per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

### 5.5.3 Azioni variabili: Carico di neve

Il carico provocato dalla neve sulla copertura è valutato, secondo quanto disposto al § 3.4.1. del D.M. 17 gennaio 2018, mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t$$

Dove:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>24 di 118</b>

qs è il carico da neve sulla copertura;

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;

qsk è il valore caratteristico di riferimento del carico da neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] per un periodo di ritorno di 100 anni;

cE è il coefficiente di esposizione;

ct è il coefficiente termico.

#### 5.5.3.1 Carico di neve – Deposito via Gleno

Nel caso in esame, la struttura è ubicata nella regione Lombardia, nel comune di Bergamo, corrispondente a una Zona I; considerando un'altezza sul livello del mare di circa 249 m, il corrispondente valore del carico da neve al suolo qsk è pari a:

$$q_{sk} = 1.39 [1 + (a_s/728)^2] kN/m^2 = 1.55 kN/m^2$$

Per quanto riguarda la determinazione del coefficiente di forma  $\mu_i$ , esso dipende unicamente dall'angolo a formato dalla falda del tetto con l'orizzontale. Poiché la struttura in esame presenta un unico piano orizzontale, si può considerare un unico valore di tale coefficiente di forma che risulterà pari a 0,8.

Nel caso del coefficiente di esposizione e del coefficiente termico si prendono i valori D.M. 17/01/2018 al § 3.4.4 e 3.4.5.

Si ottiene:

- Battuta dai venti

$$q_s = 0.8 * 1.55 * 0.9 * 1.0 = 1.12 kN/m^2$$

- Normale

$$q_s = 0.8 * 1.55 * 1.0 * 1.0 = 1.24 kN/m^2$$

#### 5.5.3.1 Carico di neve – Deposito via per Levate

Nel caso in esame, la struttura è ubicata nella regione Lombardia, nel comune di Osio Sopra, corrispondente a una Zona I; considerando un'altezza sul livello del mare di circa 192 m, il corrispondente valore del carico da neve al suolo qsk è pari a:

$$q_{sk} = 1.5 kN/m^2$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>	<b>25 di 118</b>	

Per quanto riguarda la determinazione del coefficiente di forma  $\mu$ , esso dipende unicamente dall'angolo  $\alpha$  formato dalla falda del tetto con l'orizzontale. Poiché la struttura in esame presenta un unico piano orizzontale, si può considerare un unico valore di tale coefficiente di forma che risulterà pari a 0,8.

Nel caso del coefficiente di esposizione e del coefficiente termico si prendono i valori D.M. 17/01/2018 al § 3.4.4 e 3.4.5.

Si ottiene:

- Battuta dai venti

$$q_s = 0.8 * 1.5 * 0.9 * 1.0 = 1.08 \text{ kN/m}^2$$

- Normale

$$q_s = 0.8 * 1.5 * 1.0 * 1.0 = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

## 5.5.4 Azioni variabili: Carico di vento

Si considerano le seguenti azioni del vento agenti:

- in direzione ortogonale alla copertura sia in pressione che in depressione;
- in direzione tangenziale alla copertura;

### 5.5.4.1 Pressione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$P = q_r * C_e * C_p * C_d$$

dove:

- qr        è la pressione cinetica di riferimento;
- ce        è il coefficiente di esposizione;
- cp        è il coefficiente di pressione;
- cd        è il coefficiente dinamico

#### a) Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 26 di 118

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * V_r^2$$

dove:

$v_r$  velocitá di riferimento del vento in m/s

$\rho$  densitá dell'aria assunta constante e pari a 1.25 kg/m<sup>3</sup>

### b) Velocitá di base di riferimento

In mancanza di specifiche indagini statistiche, la velocitá di base di riferimento viene definita dalla seguente espressione:

$$V_b = V_{b,0} * C_a$$

dove:

$V_{b,0}$  velocitá di riferimento del vento

$C_a$ , coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$C_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$C_a = 1 + k_a * \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_s > a_0$$

Dove  $a_0$  e  $k_a$  sono parametri assegnati in funzione della zona geografica, mentre  $a_s$  è la latitudine sul livello del mare del sito in esame

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

In base alla zona geografica (Zona 1) ed all'altitudine del sito (circa 249 m.s.l.m. per il deposito in via Gleno, e circa 192 m.s.l.m. per il deposito in via per Levate) si ottiene:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA  <b>B23D</b>	LOTTO  <b>00 D 00</b>	CODIFICA  <b>RH</b>	DOCUMENTO  <b>FVD000 001</b>	REV.  <b>A</b>	FOGLIO  <b>27 di 118</b>

$$V_b = V_{b,0} * C_a = 25 \text{ m/s}$$

**c) Periodo di ritorno e velocità di riferimento di progetto;**

In mancanza di specifiche indagini statistiche, la velocità viene definita dalla seguente espressione:

$$V_r = V_b * C_r$$

dove:

$V_b$  è la velocità base di riferimento

$C_r$ , è il coefficiente di ritorno

Ove non specificato diversamente, si assumerà  $T_R = 50$  anni, cui corrisponde  $C_r = 1$ .

$$V_r = 25 \text{ m/s}$$

**d) Coefficiente di topografia;**

In mancanza di più approfondite valutazioni, il coefficiente di topografia è posto di regola pari a 1 sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

**e) Coefficiente di esposizione;**

Il coefficiente di esposizione è fornito dalla seguente relazione:

$$c_e(z) = k_r^2 * \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) * c_t(z_{min}) * \left[ \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) * c_t(z_{min}) + 7 \right] \quad \text{per } z \leq z_{min}$$

$$c_e(z) = k_r^2 * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * c_t(z) * \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * c_t(z) + 7 \right] \quad \text{per } z > z_{min}$$

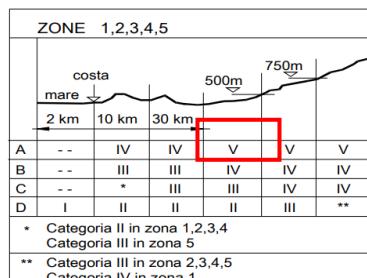
SI sceglie la classe A come classe di rugosità del terreno caratteristica del sito.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			COMMESMA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>28 di 118</b>

<b>Classe di rugosità del terreno</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
<b>B</b>	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
<b>C</b>	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
<b>D</b>	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Pertanto, considerata la zona e l'altitudine del sito, la costruzione è ubicata nella categoria di esposizione V, i cui parametri risultano i seguenti:



<b>Categoria di esposizione del sito</b>	<b><math>k_r</math></b>	<b><math>z_0</math> [m]</b>	<b><math>z_{min}</math> [m]</b>
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
<b>V</b>	<b>0,23</b>	<b>0,70</b>	<b>12</b>

$k_r$  0.23

$z_0$  0.70 m

$z_{min}$  12 m

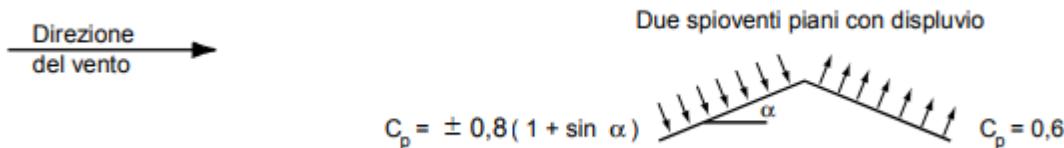
Si assume un'altezza convenzionale pari a 12m. Il coefficiente di esposizione risulta pari a

$c_e = 1.479$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>29 di 118</b>	

### f) Coefficiente dinámico

Per tettoie o pensiline isolate ad uno o due spioventi per le quali il rapporto tra l'altezza totale sul suolo o la massima dimensione in pianta non è maggiore di uno, si assumeranno i seguenti valori del coefficiente  $C_p$ :



**Tabella 2 Vento – Calcolo Pressione del Vento**

$q_r$ N/m <sup>2</sup>	$C_e$	$C_p$	$C_d$	$P$ N/m <sup>2</sup>
390.6	1.479	±0.985	1	568.97
		0.6		346.73

#### 5.5.4.2 Azione Tangente del vento

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

$$p_r = q_r * C_e * C_f$$

Dove:

$q_r$  è la pressione cinetica di riferimento;

$C_e$  è il coefficiente di esposizione;

$C_f$  è il coefficiente di attrito;

In accordo a quanto riportato nella Tabella C3.3.XIX della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, il coefficiente di attrito  $c_f$  è assunto pari a 0,04 per il tratto verticale del portale che è rivestito in lamiera stirata

$$p_r = 577.9 \text{ N/m}^2 * 1.479 * 0.04 = 34.19 \text{ N/m}^2$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>30 di 118</b>

## 6. VERICHE STRUTTURALI IMPALCATO E PILASTRI

La verifica strutturale della pensiline e dei pilastri è realizzata mediante il metodo semiprobabilistico agli stati limite, applicando il DM 17/01/2018 e le sue relative Istruzioni.

In particolare viene verificata la sicurezza sia nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU) che nei confronti degli stati limite di esercizio.

Ai fini delle verifiche delgi stati limiti si considerano le seguenti combinazioni delle azioni ai sensi delle DM 17/01/2018 al § 2.5.3.

### 6.1 COMBINAZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO

#### 6.1.1 Combinazione Fondamentale (SLU)

Per gli stati limite ultimi i valori di progetto delle azioni nella situazione non sismica si combinano secondo la seguente relazione:

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_P P + \gamma_Q Q_{1k} + \gamma_Q \sum_i \psi_{0i} Q_{ik}$$

Dove:

$G_{1k}$  il valore caratteristico delle azioni permanenti dovute ai pesi strutturali, alle forze indotte dal terreno ed alle forze risultanti della pressione dell'acqua;

$G_{2k}$  il valore caratteristico delle azioni permanenti dovute ai pesi non strutturali;

$P$  il valore caratteristico delle azioni di pretensione e precompressione;

$Q_{1k}$  il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

$Q_{ik}$  i valori caratteristici delle altre azioni accidentali variabili

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale di sicurezza del peso proprio della struttura, nonché del perso del terreno e dell'acqua;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale di sicurezza del peso proprio degli elementi non strutturali;

$\gamma_P$  coefficiente parziale di sicurezza per le azioni variabili;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale di sicurezza per le azioni accidentali;

$\psi_i$  coefficiente di combinazione delle azioni accidentali.

Per le verifiche agli stati limite ultimi SLU del ponte stradale si adottano i valori dei coefficienti parziali di sicurezza in Tab. 5.1.V ai sensi delle DM 17/01/2018.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>31 di 118</b>	

		Coefficiente $\gamma_f$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G <sub>i</sub>	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G <sub>2(i)</sub> <sup>(1)</sup>	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Altri valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  si forniscono nella Tab. 5.1.VI ai sensi delle DM 17/01/2018.

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

### 6.1.2 Combinazione Rara o Caratteristica (SLE)

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \psi_{02}Q_{2k} + \psi_{03}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

### 6.1.3 Combinazione Frequente (SLE)

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \psi_{11}Q_{21} + \psi_{22}Q_{2k} + \psi_{23}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>32 di 118</b>

#### 6.1.4    **Combinazione Quasi Permanente (SLE)**

$$G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21}Q_{1k} + \psi_{22}Q_{2k} + \psi_{23}Q_{3k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

#### 6.1.5    **Combinazione Sismica (SLU e SLE)**

$$E + G_{1k} + G_{2k} + \psi_{21}Q_{1k} + \psi_{22}Q_{2k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi:

$$\text{Gravitazionali} \quad G_1 + G_2 + \sum \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

#### 6.1.6    **Combinazione Eccezionale (SLU)**

$$G_{1k} + G_{2k} + A_D + \psi_{21}Q_{1k} + \psi_{22}Q_{2k} + \dots$$

dove, per il significato dei simboli e per i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi$  (relativi alle azioni variabili), si rimanda al paragrafo precedente.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale			<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>33 di 118</b>

**Tabella 3 Combinazione delle azioni**

Nome	Tipo	carichi propri	carichi propri non modellato	sovraaccarichi	vento caso 1	vento caso 2	vento tangente	neve con vento	neve senza vento	sisma x	sisma y	sisma z
SLU_001	SLU	1,30	1,30	1,50	0,90			0,75				
SLU_002	SLU	1,30	1,30	1,50		0,90		0,75				
SLU_003	SLU	1,30	1,30	1,50			0,90	0,75				
SLU_004	SLU	1,30	1,30		1,50			0,75				
SLU_005	SLU	1,30	1,30			1,50		0,75				
SLU_006	SLU	1,30	1,30				1,50	0,75				
SLU_007	SLU	1,30	1,30		0,90			1,50				
SLU_008	SLU	1,30	1,30			0,90		1,50				
SLU_009	SLU	1,30	1,30				0,90	1,50				
SLU_010	SLU	1,30	1,30						1,50			
SLE_001	SLE	1,00	1,00	1,00	0,60			0,50				
SLE_002	SLE	1,00	1,00	1,00		0,60		0,50				
SLE_003	SLE	1,00	1,00	1,00			0,60	0,50				
SLE_004	SLE	1,00	1,00		1,00			0,50				
SLE_005	SLE	1,00	1,00			1,00		0,50				
SLE_006	SLE	1,00	1,00				1,00	0,50				
SLE_007	SLE	1,00	1,00		0,60			1,00				
SLE_008	SLE	1,00	1,00			0,60		1,00				
SLE_009	SLE	1,00	1,00				0,60	1,00				
SLE_010	SLE	1,00	1,00		0,20			0,20				
SLE_011	SLE	1,00	1,00			0,20		0,20				
SLE_012	SLE	1,00	1,00				0,20	0,20				
SLE_013	SLE	1,00	1,00						0,20			
SLE_014	SLE	1,00	1,00						1,00			
SLV_001	SLV	1,00	1,00							1,00	0,30	0,00
SLV_002	SLV	1,00	1,00							0,30	1,00	0,00
SLD_001	SLD	1,00	1,00							1,00	0,30	0,00
SLD_002	SLD	1,00	1,00							0,30	1,00	0,00
EQU_001	SLU	1,10	1,10	1,50	0,90			0,75				
EQU_002	SLU	1,10	1,10	1,50		0,90		0,75				
EQU_003	SLU	1,10	1,10	1,50			0,90	0,75				
EQU_004	SLU	1,10	1,10		1,50			0,75				
EQU_005	SLU	1,10	1,10			1,50		0,75				
EQU_006	SLU	1,10	1,10				1,50	0,75				
EQU_007	SLU	1,10	1,10		0,90			1,50				
EQU_008	SLU	1,10	1,10			0,90		1,50				
EQU_009	SLU	1,10	1,10				0,90	1,50				
EQU_010	SLU	1,10	1,10						1,50			

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>34 di 118</b>

## 6.2 MODELLAZIONE FEM

### 6.2.1 Modello di calcolo

L'analisi delle sollecitazioni è stata condotta tramite un modello tridimensionale FEM utilizzando il software di calcolo strutturale SAP2000.

Le azioni e le caratteristiche geometriche delle sezioni sono stati assegnate al modello in funzione delle proprietà dei profili effettivamente utilizzati.

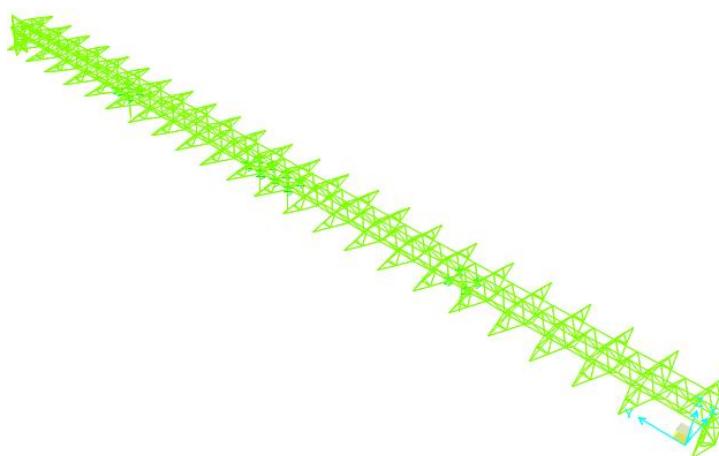
Gli elementi strutturali mono-dimensionali quali travi e pilastri sono stati schematizzati nel modello numerico come elementi

- trave (elemento finito dotato di rigidezza assiale, flessionale e torsionale)
- asta (elemento finito dotato di sola rigidezza assiale),

assegnando all'elemento le caratteristiche geometriche e meccaniche reali e posizionandoli nell'asse baricentrico delle travi e delle colonne schematizzati.

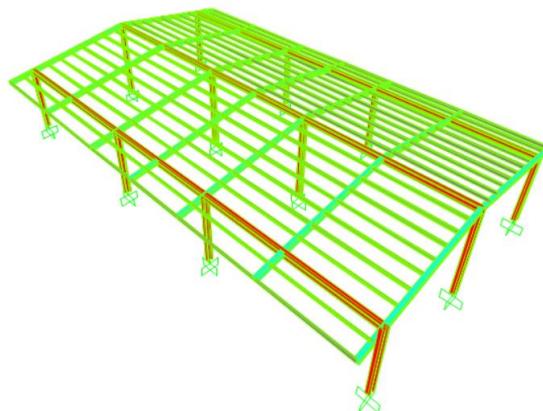
Tutti i collegamenti fra gli elementi monodimensionali sono modellati di volta in volta, rilasciando i gradi di libertà necessari ad ottenere una modellazione rappresentativa del reale comportamento del nodo in esame.

Si riportano nelle figure seguenti alcune viste tridimensionali del modello di calcolo implementato.



**Figura 6.1 Viste assonometriche modello di calcolo FEM – Deposito via Gleno**

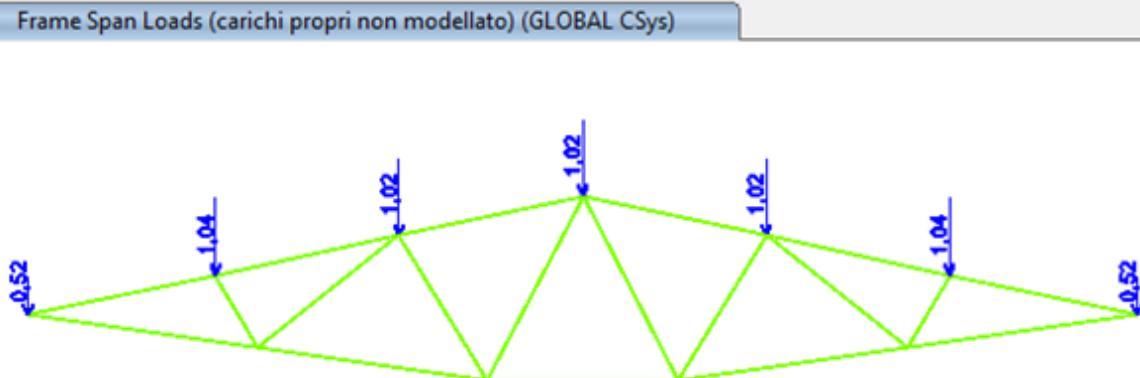
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 35 di 118



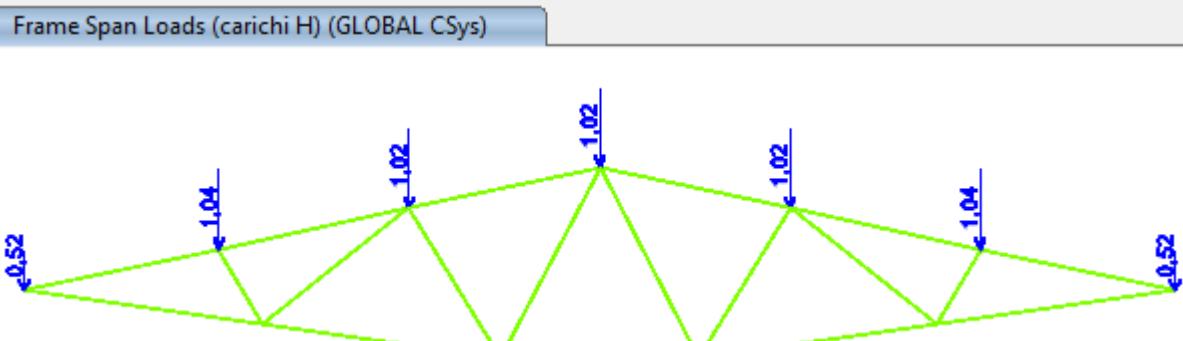
**Figura 6.2 Viste assonometriche modello di calcolo FEM – Deposito per via Levate**

### 6.2.2 Carichi applicati

Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati alla struttura reticolare del Deposito Via Gleno

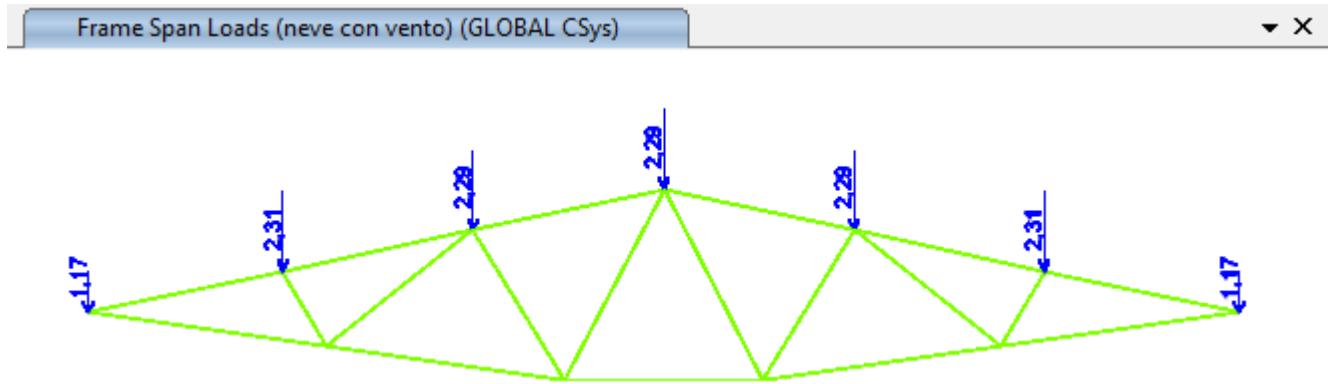


**Figura 6.3 Carichi propri non modellato [kN/m] -Deposito via GLeno**

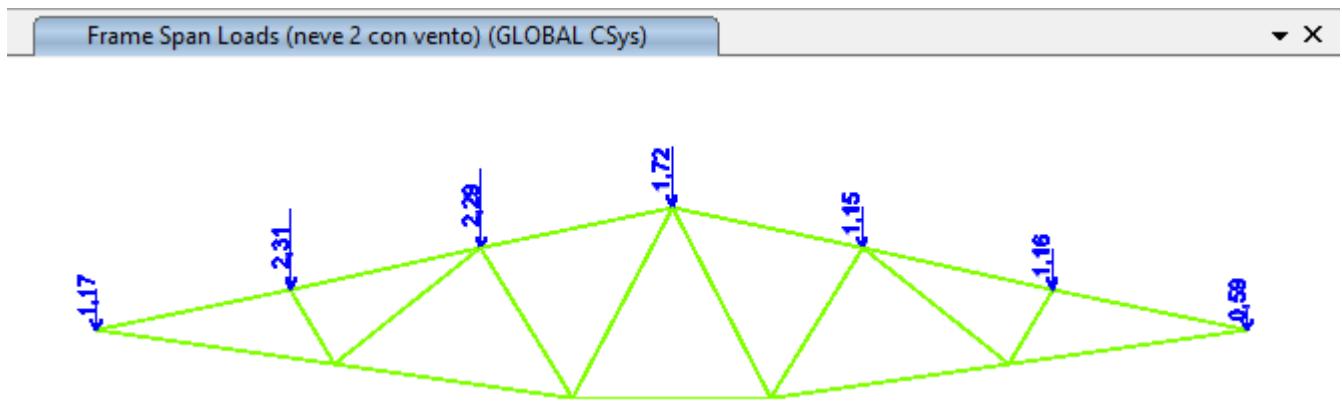


Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo strutturale			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A	36 di 118

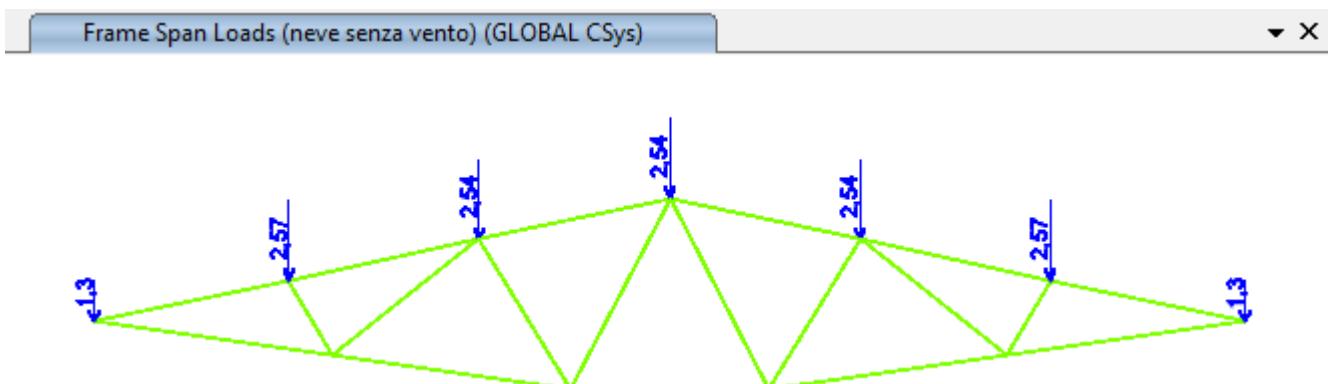
**Figura 6.4 Sovraccarico variabile [kN/m] - Deposito via GLeno**



**Figura 6.5 Azione da neve con vento [kN/m] - Deposito via GLeno**



**Figura 6.6 Azione da neve con vento – Caso 2 [kN/m]- Deposito via GLeno**



**Figura 6.7 Azione da neve senza vento [kN/m]- Deposito via GLeno**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      37 di 118	

Frame Span Loads (vento caso 1) (GLOBAL CSys)



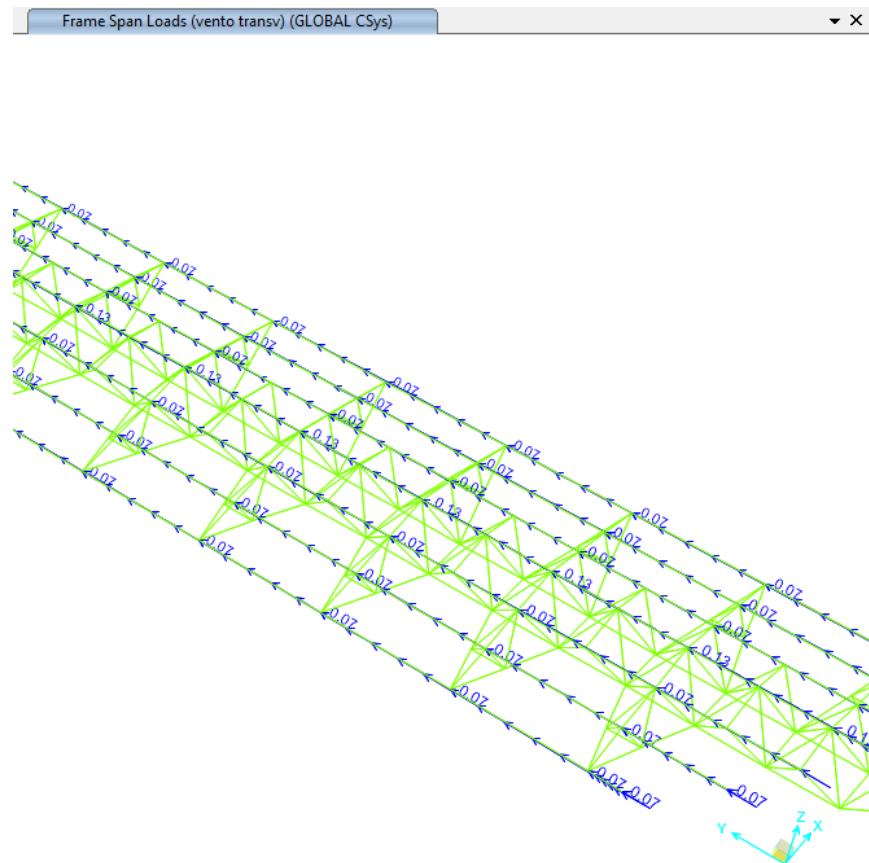
**Figura 6.8 Azione del vento – Caso 1 [kN/m] - Deposito via GLeno**

Frame Span Loads (vento caso 2) (GLOBAL CSys)



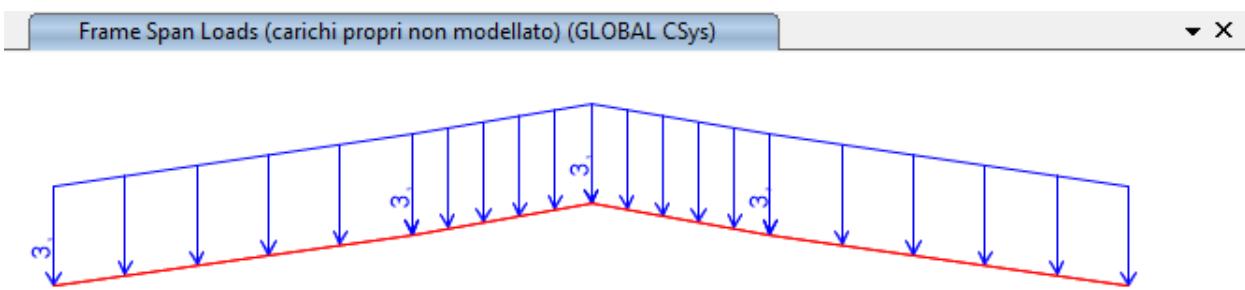
**Figura 6.9 Azione del vento – Caso 2 [kN/m] - Deposito via GLeno**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 38 di 118



**Figura 6.10 Azione del vento transversal [kN/m] - Deposito via Gleno**

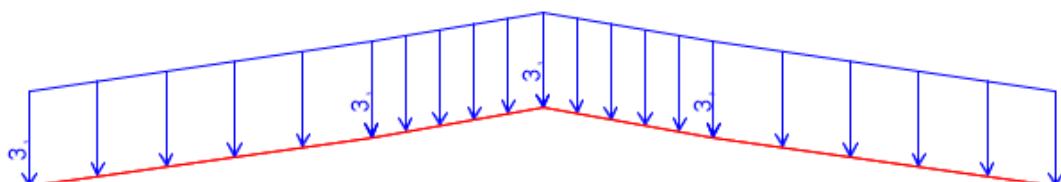
Di seguito si riportano alcune immagini esplicative dei carichi applicati alla struttura del deposito per via per Levate.



**Figura 6.11 Carichi propri non modellato [kN/m] - Deposito via per Levate**

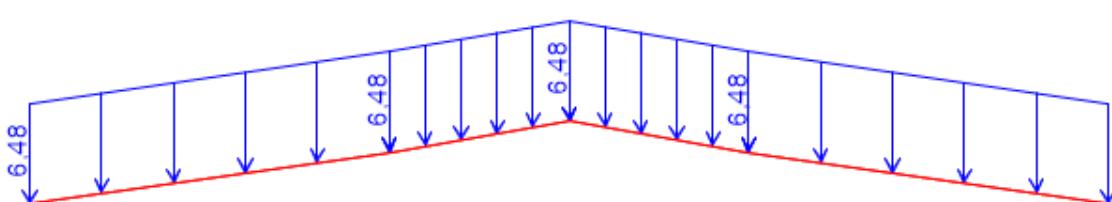
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>39 di 118</b>

Frame Span Loads (sovraffreno) (GLOBAL CSys) ▾ X



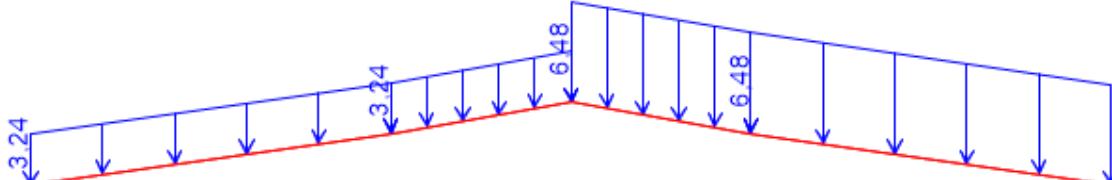
**Figura 6.12 Sovraccarico variabile [kN/m] - Deposito via per Levate**

Frame Span Loads (neve con vento) (GLOBAL CSys) ▾ X



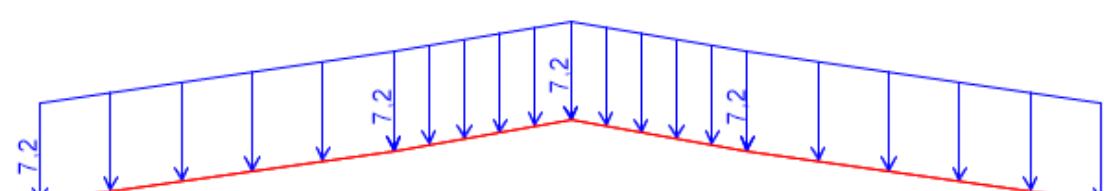
**Figura 6.13 Azione da neve con vento [kN/m] - Deposito via per Levate**

Frame Span Loads (neve 2 con vento) (GLOBAL CSys) ▾ X



**Figura 6.14 Azione da neve con vento – Caso 2 [kN/m] - Deposito via per Levate**

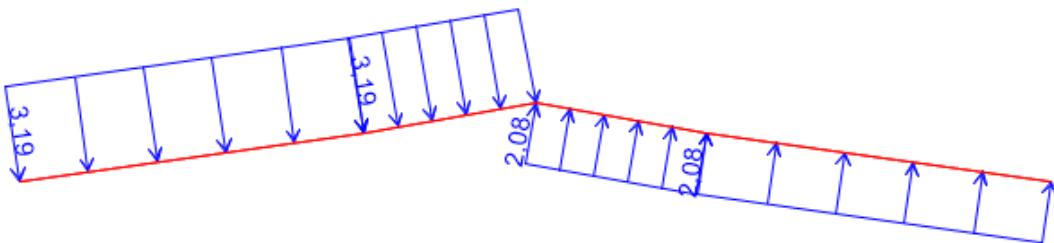
Frame Span Loads (neve senza vento) (GLOBAL CSys) ▾ X



**Figura 6.15 Azione da neve senza vento [kN/m] - Deposito via per Levate**

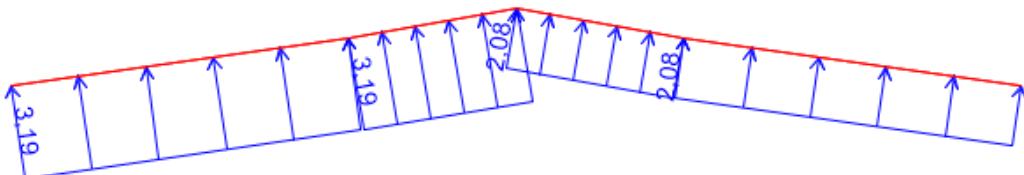
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 40 di 118

Frame Span Loads (vento 1) (Local CSys)



**Figura 6.16 Azione del vento – Caso 1 [kN/m]**

Frame Span Loads (vento 2) (Local CSys)



**Figura 6.17 Azione del vento – Caso 2 [kN/m]**

Il peso proprio e l'azione sismica vengono calcolati automaticamente dal programma di calcolo.

### 6.2.3 Analisi dinamica lineare

L'analisi dinamica lineare consiste:

1. nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi frequenziale);
2. nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
3. nella combinazione di questi effetti.

Il modello della struttura su cui verrà effettuata l'analisi rappresenta in modo adeguato la distribuzione di massa e rigidezza effettiva.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>41 di 118</b>

È stata condotta un'analisi in frequenza della struttura per determinare le principali forme modali, i relativi periodi e fattori di partecipazione di massa.

Come previsto dalla norma sono stati considerati gli effetti dovuti all'eccentricità accidentale imponendo al centro di massa i relativi spostamenti di norma assunti pari al 5% della dimensione massima dell'edificio nella direzione perpendicolare all'azione sismica.

I risultati delle analisi modali per il deposito in via Gleno sono riassunti nel prospetto seguente.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless												
MODAL	Mode	1	0.6132	0.32	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.67	0.00	
MODAL	Mode	2	0.5837	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.67	0.22	
MODAL	Mode	3	0.5247	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.68	0.22	
MODAL	Mode	4	0.4953	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.22	
MODAL	Mode	5	0.3116	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.68	0.41	
MODAL	Mode	6	0.3038	0.18	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.73	0.41	
MODAL	Mode	7	0.2890	0.12	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.74	0.41	
MODAL	Mode	8	0.2282	0.00	0.04	0.00	0.63	0.04	0.00	0.30	0.00	0.02	0.30	0.74	0.43	
MODAL	Mode	9	0.2254	0.02	0.00	0.10	0.65	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	0.30	0.75	0.43	
MODAL	Mode	10	0.2139	0.00	0.11	0.00	0.65	0.15	0.10	0.00	0.00	0.04	0.30	0.75	0.46	
MODAL	Mode	11	0.2105	0.12	0.00	0.00	0.77	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.30	0.75	0.46	
MODAL	Mode	12	0.2080	0.00	0.77	0.00	0.77	0.93	0.10	0.03	0.00	0.00	0.33	0.75	0.47	
MODAL	Mode	13	0.2072	0.00	0.04	0.00	0.77	0.96	0.10	0.00	0.00	0.24	0.33	0.75	0.71	
MODAL	Mode	14	0.1936	0.03	0.00	0.00	0.80	0.96	0.10	0.00	0.00	0.00	0.33	0.75	0.71	
MODAL	Mode	15	0.1832	0.00	0.00	0.00	0.80	0.96	0.10	0.00	0.00	0.08	0.33	0.75	0.79	
MODAL	Mode	16	0.1704	0.00	0.00	0.00	0.80	0.97	0.10	0.33	0.00	0.00	0.66	0.75	0.79	
MODAL	Mode	17	0.1651	0.00	0.00	0.52	0.80	0.97	0.62	0.00	0.00	0.00	0.66	0.75	0.79	
MODAL	Mode	18	0.1486	0.00	0.00	0.00	0.80	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.66	0.75	0.79	
MODAL	Mode	19	0.1473	0.00	0.00	0.00	0.80	0.97	0.63	0.00	0.00	0.05	0.66	0.75	0.84	
MODAL	Mode	20	0.1459	0.10	0.00	0.00	0.90	0.97	0.63	0.00	0.17	0.00	0.66	0.92	0.84	
MODAL	Mode	21	0.1366	0.00	0.00	0.00	0.90	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.66	0.92	0.85	
MODAL	Mode	22	0.1337	0.00	0.00	0.00	0.90	0.97	0.63	0.00	0.01	0.00	0.66	0.93	0.85	
MODAL	Mode	23	0.1271	0.00	0.00	0.00	0.90	0.97	0.63	0.00	0.00	0.01	0.66	0.93	0.85	
MODAL	Mode	24	0.1186	0.01	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.66	0.93	0.85	
MODAL	Mode	25	0.1124	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.93	0.86	
MODAL	Mode	26	0.1086	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.02	0.00	0.67	0.94	0.86	
MODAL	Mode	27	0.1048	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.94	0.86	
MODAL	Mode	28	0.1025	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.94	0.86	
MODAL	Mode	29	0.0997	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.94	0.86	
MODAL	Mode	30	0.0989	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.67	0.94	0.86	

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>		<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>42 di 118</b>	

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless												
MODAL	Mode	31	0.0972	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.68	0.94	0.86	
MODAL	Mode	32	0.0966	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.63	0.00	0.00	0.00	0.68	0.94	0.86	
MODAL	Mode	33	0.0952	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.64	0.00	0.00	0.00	0.68	0.95	0.86	
MODAL	Mode	34	0.0942	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.64	0.00	0.00	0.00	0.68	0.95	0.86	
MODAL	Mode	35	0.0942	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.64	0.00	0.00	0.00	0.68	0.95	0.86	
MODAL	Mode	36	0.0932	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.64	0.01	0.00	0.00	0.68	0.95	0.86	
MODAL	Mode	37	0.0907	0.00	0.01	0.00	0.91	0.98	0.64	0.01	0.00	0.00	0.69	0.95	0.86	
MODAL	Mode	38	0.0888	0.00	0.00	0.00	0.91	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.69	0.95	0.86	
MODAL	Mode	39	0.0863	0.00	0.00	0.00	0.91	0.98	0.64	0.01	0.00	0.00	0.70	0.95	0.86	
MODAL	Mode	40	0.0856	0.00	0.00	0.00	0.91	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.70	0.95	0.86	
MODAL	Mode	41	0.0838	0.01	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.01	0.00	0.70	0.96	0.86	
MODAL	Mode	42	0.0775	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.03	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	43	0.0757	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	44	0.0753	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	45	0.0753	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	46	0.0752	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	47	0.0752	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	48	0.0752	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	49	0.0752	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	
MODAL	Mode	50	0.0752	0.00	0.00	0.00	0.92	0.98	0.64	0.00	0.00	0.00	0.71	0.96	0.89	

I risultati delle analisi modali per il Deposito in via per Levate sono riassunti nel prospetto seguente.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless												
MODAL	Mode	1	0,582	0,000	0,970	0,000	0,000	0,970	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
MODAL	Mode	2	0,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,970	0,000	0,000	0,000	0,470	0,000	0,000	0,470	
MODAL	Mode	3	0,380	0,900	0,000	0,000	0,900	0,970	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,470
MODAL	Mode	4	0,350	0,000	0,000	0,000	0,900	0,970	0,000	0,000	0,000	0,370	0,000	0,004	0,840	
MODAL	Mode	5	0,301	0,000	0,032	0,000	0,900	1,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,840
MODAL	Mode	6	0,261	0,009	0,000	0,000	0,910	1,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,006	0,840
MODAL	Mode	7	0,255	0,000	0,000	0,160	0,910	1,000	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,840
MODAL	Mode	8	0,237	0,000	0,001	0,000	0,910	1,000	0,160	0,270	0,000	0,000	0,000	0,270	0,006	0,840
MODAL	Mode	9	0,194	0,005	0,000	0,000	0,910	1,000	0,160	0,000	0,170	0,000	0,000	0,270	0,170	0,840
MODAL	Mode	10	0,188	0,000	0,000	0,000	0,910	1,000	0,160	0,000	0,000	0,018	0,000	0,270	0,170	0,860
MODAL	Mode	11	0,181	0,000	0,000	0,000	0,910	1,000	0,160	0,000	0,000	0,093	0,000	0,270	0,170	0,960
MODAL	Mode	12	0,172	0,065	0,000	0,000	0,980	1,000	0,160	0,000	0,010	0,000	0,000	0,270	0,180	0,960
MODAL	Mode	13	0,161	0,000	0,000	0,000	0,980	1,000	0,160	0,000	0,030	0,000	0,000	0,270	0,180	0,990
MODAL	Mode	14	0,146	0,000	0,036	0,980	1,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,270	0,180	0,990		
MODAL	Mode	15	0,141	0,000	0,000	0,210	0,980	1,000	0,400	0,000	0,000	0,270	0,180	0,990		
MODAL	Mode	16	0,140	0,000	0,000	0,000	0,980	1,000	0,400	0,088	0,000	0,000	0,360	0,180	0,990	
MODAL	Mode	17	0,137	0,002	0,000	0,000	0,980	1,000	0,400	0,000	0,070	0,000	0,000	0,360	0,250	0,990
MODAL	Mode	18	0,128	0,000	0,000	0,000	0,980	1,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,250	0,990
MODAL	Mode	19	0,123	0,000	0,000	0,000	0,980	1,000	0,400	0,000	0,025	0,000	0,000	0,360	0,280	0,990
MODAL	Mode	20	0,119	0,000	0,000	0,000	0,980	1,000	0,400	0,000	0,000	0,005	0,000	0,360	0,280	0,990
MODAL	Mode	21	0,118	0,007	0,000	0,000	0,990	1,000	0,400	0,000	0,071	0,000	0,000	0,360	0,350	0,990
MODAL	Mode	22	0,094	0,006	0,000	0,000	0,990	1,000	0,400	0,000	0,010	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	23	0,093	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	24	0,091	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	25	0,090	0,000	0,023	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	26	0,088	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	27	0,087	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	28	0,085	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990
MODAL	Mode	29	0,084	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990

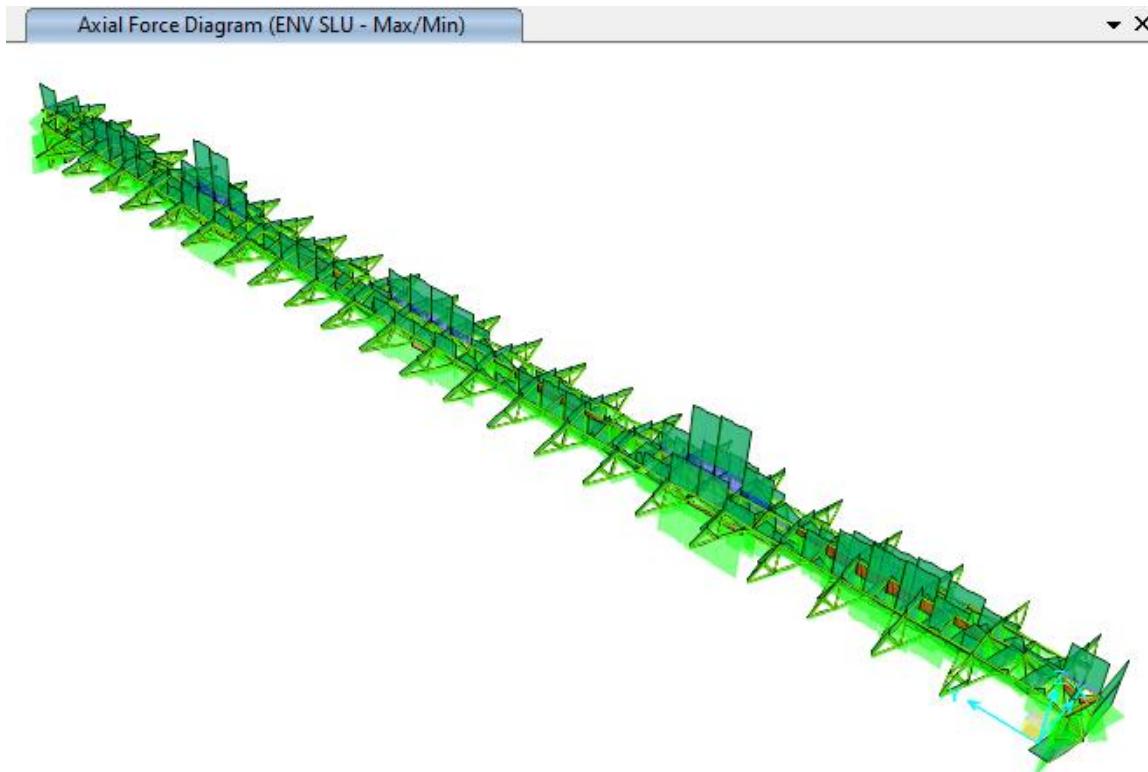
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>43 di 118</b>

TABLE: Modal Participating Mass Ratios																
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless												
MODAL	Mode	30	0,081	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	31	0,081	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	32	0,079	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	33	0,078	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,001	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	34	0,076	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	35	0,075	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	36	0,075	0,000	0,000	0,000	0,990	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,360	0,990	
MODAL	Mode	37	0,075	0,003	0,000	0,000	1,000	1,000	0,430	0,000	0,120	0,000	0,360	0,480	0,990	
MODAL	Mode	38	0,074	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,430	0,000	0,000	0,006	0,360	0,480	1,000	
MODAL	Mode	39	0,074	0,001	0,000	0,000	1,000	1,000	0,430	0,000	0,160	0,000	0,360	0,650	1,000	
MODAL	Mode	40	0,073	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,360	0,650	1,000	
MODAL	Mode	41	0,071	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,430	0,022	0,000	0,000	0,380	0,650	1,000	
MODAL	Mode	42	0,070	0,000	0,000	0,110	1,000	1,000	0,530	0,000	0,000	0,000	0,380	0,650	1,000	
MODAL	Mode	43	0,068	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,530	0,000	0,000	0,000	0,380	0,650	1,000	
MODAL	Mode	44	0,066	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,530	0,000	0,000	0,000	0,380	0,650	1,000	
MODAL	Mode	45	0,062	0,000	0,000	0,059	1,000	1,000	0,590	0,000	0,000	0,000	0,380	0,650	1,000	
MODAL	Mode	46	0,062	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,590	0,130	0,000	0,000	0,520	0,650	1,000	
MODAL	Mode	47	0,060	0,000	0,000	0,110	1,000	1,000	0,700	0,000	0,000	0,000	0,520	0,650	1,000	
MODAL	Mode	48	0,055	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,700	0,000	0,000	0,000	0,520	0,650	1,000	
MODAL	Mode	49	0,049	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,700	0,000	0,000	0,000	0,520	0,650	1,000	
MODAL	Mode	50	0,048	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,700	0,000	0,002	0,000	0,520	0,650	1,000	

## 6.3 VERIFICHE STRUTTURALI- DEPOSITO VIA GLENO

### 6.3.1 Verifica della pensiline

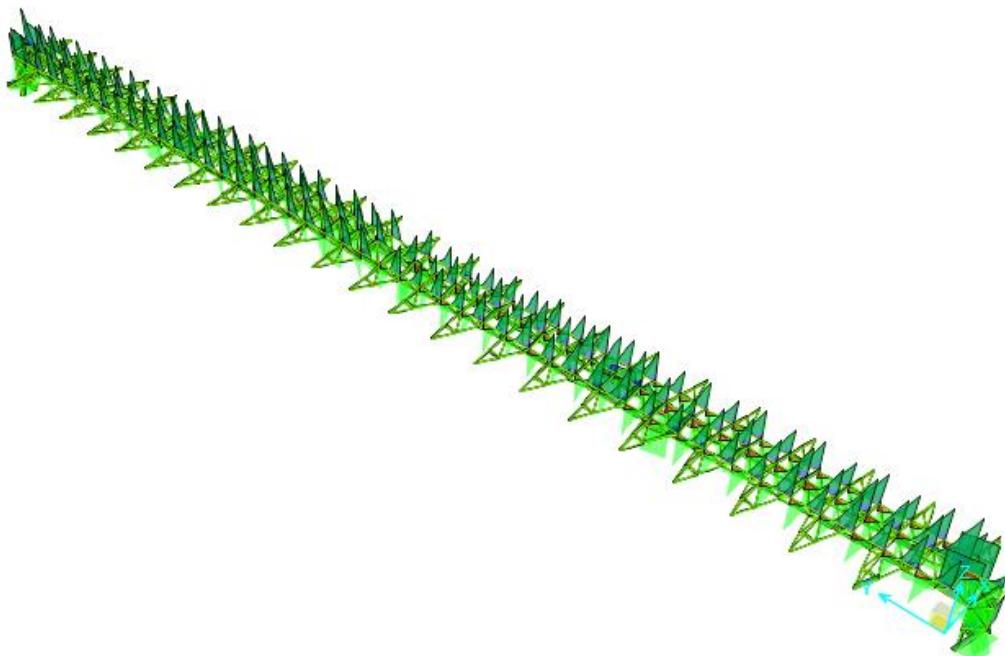
Di seguito si riportano i risultati in termini di momenti, tagli e sforzi normali sulla struttura per le combinazioni di carico analizzate.



**Figura 6.18 Sforzi assiali – Env SLU**

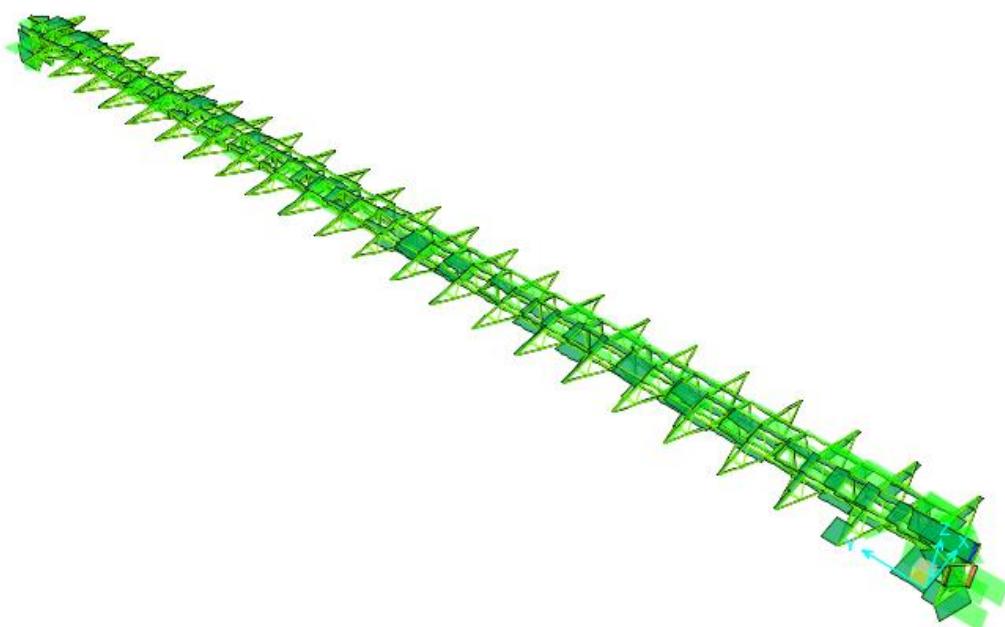
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>44 di 118</b>

Shear Force 2-2 Diagram (ENV SLU - Max/Min) ▾ X



**Figura 6.19 Tagli 2-2 – Env SLU**

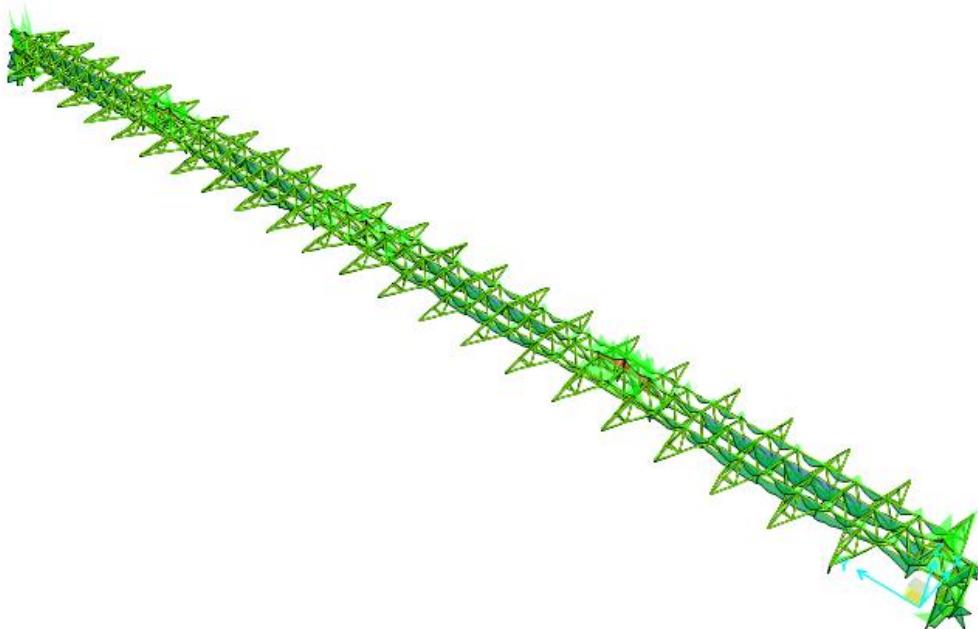
Shear Force 3-3 Diagram (ENV SLU - Max/Min) ▾ X



**Figura 6.20 Tagli 3-3 – Env SLU**

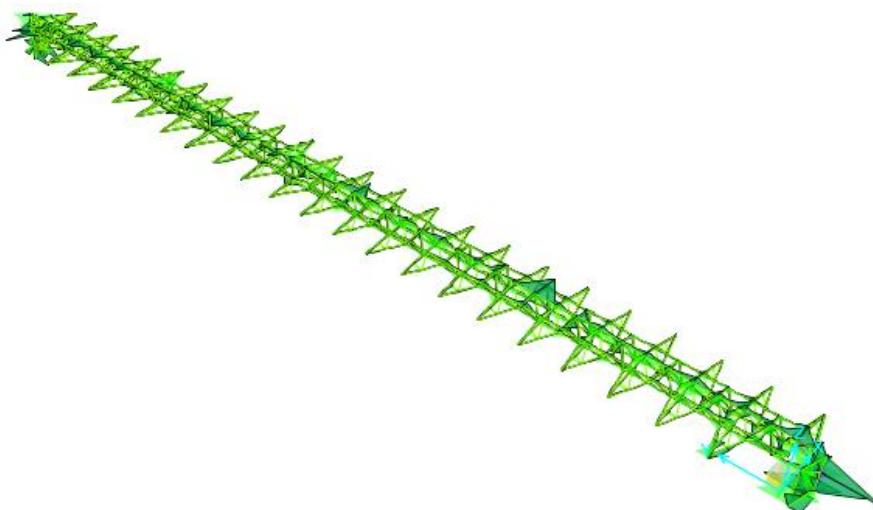
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale		COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      45 di 118					

Moment 3-3 Diagram (ENV SLU - Max/Min) ▾ X



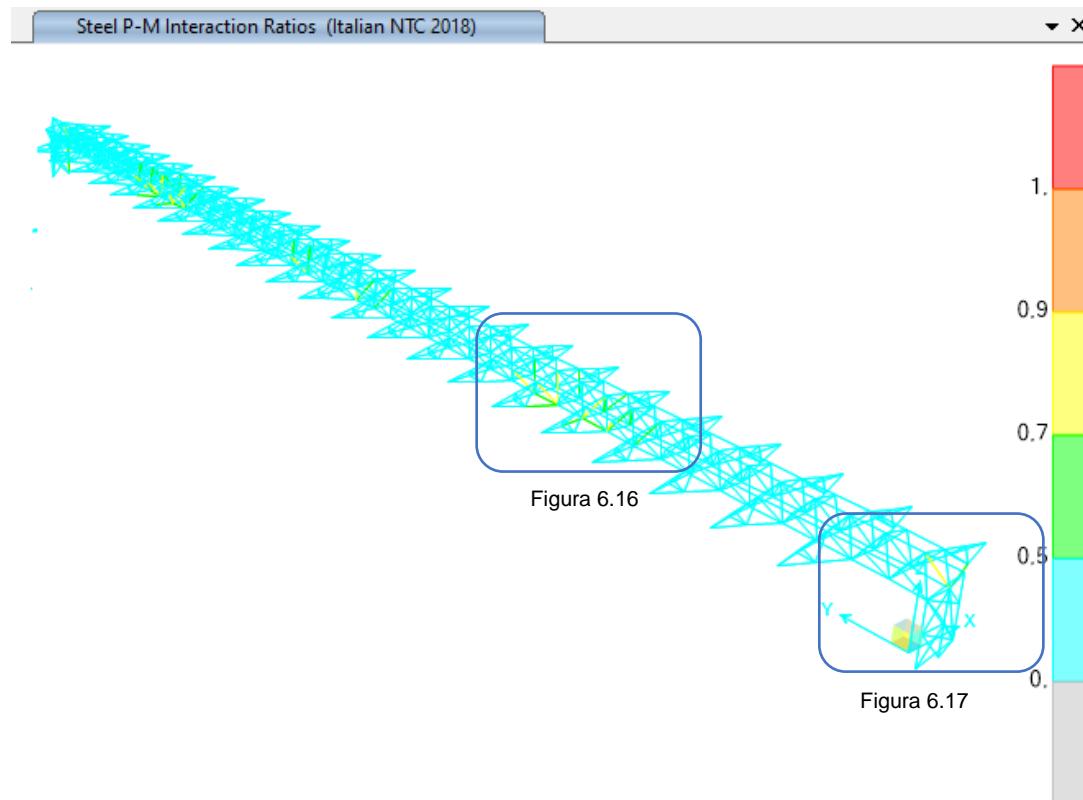
**Figura 6.21 Momenti 3-3 – Env SLU**

Moment 2-2 Diagram (ENV SLU - Max/Min) ▾ X

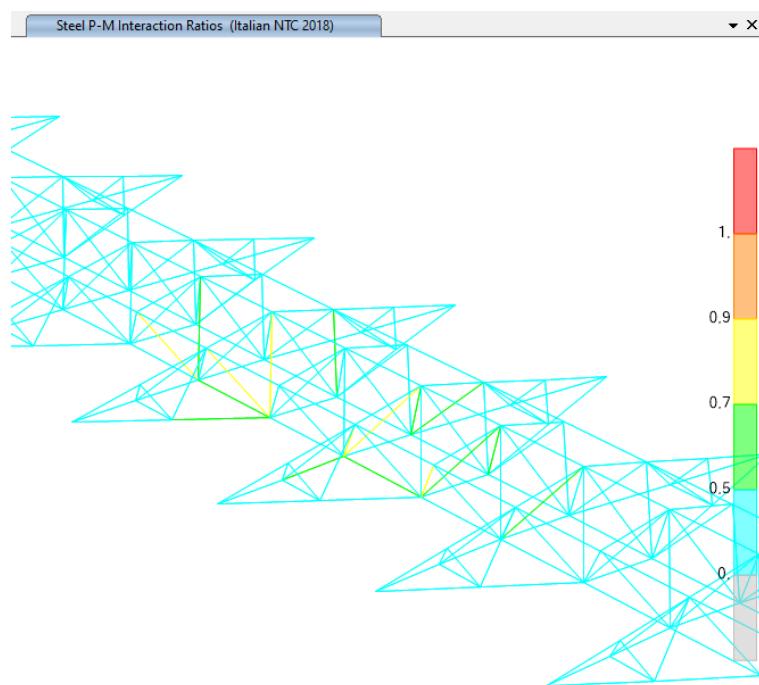


**Figura 6.22 Momenti 2-2 – Env SLU**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>46 di 118</b>



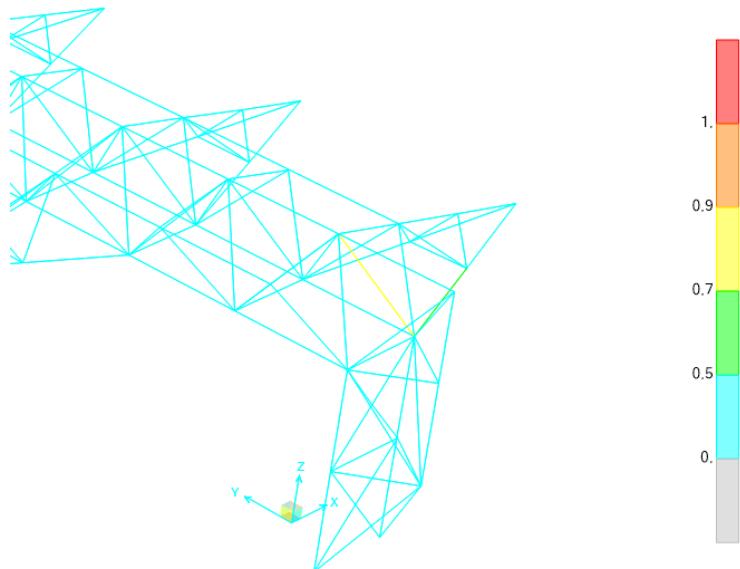
**Figura 6.23 Fattori di utilizzo**



**Figura 6.24 Fattori di utilizzo**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>47 di 118</b>		

Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018)



**Figura 6.25 Fattori di utilizzo**

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Italian NTC 2018										
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location	ErrMsg	WarnMsg	
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m	Text	Text	
266	CHS-CF 101.6X8	Brace	No Messages	0,815032	PMM	SLU_015	2,59141	No Message	No Messages	
2618	CHS-CF 101.6X8	Brace	No Messages	0,815032	PMM	SLU_015	2,59141	No Message	No Messages	
233	CHS-CF 193.7X8	Beam	No Messages	0,556817	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
2604	CHS-CF 193.7X8	Beam	No Messages	0,556817	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
340	CHS-CF 219.1X12.5	Beam	No Messages	0,347961	PMM	SLU_010		2,54	No Message	No Messages
2644	CHS-CF 219.1X12.5	Beam	No Messages	0,347961	PMM	SLU_010		2,54	No Message	No Messages
1531	CHS-CF 60.3X4	Brace	No Messages	0,300083	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
2896	CHS-CF 60.3X4	Brace	No Messages	0,300083	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
1538	CHS-CF 88.9X5 (2)	Brace	No Messages	0,816444	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
2903	CHS-CF 88.9X5 (2)	Brace	No Messages	0,816444	PMM	SLU_015		0	No Message	No Messages
1755	CHS-CH 139.7X8	Beam	No Messages	0,487745	PMM	SLU_015		2,54	No Message	No Messages
3095	CHS-CH 139.7X8	Beam	No Messages	0,487745	PMM	SLU_015		2,54	No Message	No Messages

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>48 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 266 X Mid: -0,525 Combo: SLU\_015 Design Type: Brace  
 Length: 2,591 Y Mid: 26,025 Shape: CHS-CF 101.6X8 Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 2,591 Z Mid: 5,6 Class: Class 1 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,002	eNy=0,	eNz=0,	Weff,yy=5,108E-05	Weff,zz=5,108E-05
A=0,002	Iyy=2,595E-06	iyy=0,033	Weff,yy=5,108E-05	Weff,zz=5,108E-05
It=5,190E-06	Izz=2,595E-06	izz=0,033	Weff,yy=5,108E-05	Weff,zz=5,108E-05
Iw=0,	Iys=0,	h=0,102	Wpl,yy=7,026E-05	Av,y=0,001
E=210000000,	fy=255000,	fu=510000,	Wpl,zz=7,026E-05	Av,z=0,001

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2,591	-338,651	0,	0,	0,194	0,	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.37)  
 D/C Ratio: 0,815 = 0,807 + sqrt[(0,008)^2 + (0,)^2] < 0,95 OK  
 = Ned / (Chi\_y NRk/GammaM1) + sqrt[(kyy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT  
 My,Rk/GammaM1))^2 + (kzs (Ms,Ed+NEd eNs)/(Ms,Rk/GammaM1))^2] (NTC Eq C4.2.37)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
Axial	Force	Capacity	Capacity
	-338,651	795,344	795,344

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	795,344	863,81	190003,524	800,914	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	800,914	1,021	1,223	0,528	419,765
MajorB(y-y)	c 0,49	800,914	1,021	1,223	0,528	419,765
Minor (z-z)	c 0,49	800,914	1,021	1,223	0,528	419,765
MinorB(z-z)	c 0,49	800,914	1,021	1,223	0,528	419,765
Torsional TF	c 0,49	800,914	1,021	1,223	0,528	419,765

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	0,	0,126	0,063	0,094
Minor (z-z)	0,	0,	0,	0,

	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	23,754	23,754	23,754	23,754
Minor (z-z)	23,754	23,754	23,754	23,754

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	d	0,76	0,181	0,509	1,	1,316	762,406
		kyy	kzs	kzy	kzs		
		1,563	0,987	0,938	1,645		

SHEAR DESIGN

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>49 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 233 X Mid: -1,05 Combo: SLU\_015 Design Type: Beam  
 Length: 2,54 Y Mid: 25,4 Shape: CHS-CF 193.7X8 Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 2,117 Z Mid: 4,6 Class: Class 1 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,005	eNy=0,	eNs=0,	Weff,yy=2,081E-04	Weff,yy=2,081E-04
A=0,005	Iyy=2,016E-05	iyy=0,066	Weff,zz=2,081E-04	Weff,zz=2,081E-04
It=4,031E-05	Iss=2,016E-05	iss=0,066	Wpl,yy=2,760E-04	Wpl,yy=2,760E-04
Iw=0,	Iys=0,	h=0,194	Wpl,zz=2,760E-04	Wpl,zz=2,760E-04
E=2100000000,	fy=355000,	fu=510000,	Av,y=0,003	Av,z=0,003

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2,117	-609,618	-0,224	-1,173	-6,635	-0,201	5,074

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.37)  
 D/C Ratio: 0,557 = 0,46 + sqrt((0,096)^2 + (0,01)^2) 1 < 0,95 OK  
 = NEd/(Chi\_y NRk/GammaM1) + sqrt((kyy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT  
 My,Rk/GammaM1))^2 + (kys (Ms,Ed+NEd eNs)/(Ms,Rk/GammaM1))^2) (NTC Eq C4.2.37)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	
Axial	Force	Capacity	Capacity	
	-609,618	1577,941	1577,941	

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	1577,941	1713,777	276962,119	6475,04	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	6475,04	0,506	0,702	0,84	1325,023
MajorB(y-y)	c 0,49	6475,04	0,506	0,702	0,84	1325,023
Minor (z-z)	c 0,49	6475,04	0,506	0,702	0,84	1325,023
MinorB(z-z)	c 0,49	6475,04	0,506	0,702	0,84	1325,023
Torsional TF	c 0,49	6475,04	0,506	0,702	0,84	1325,023

MOMENT DESIGN

	Med	Med, span	Mm, Ed	Meq, Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	-0,224	-15,314	-6,142	-11,486
Minor (z-z)	-1,173	-1,599	-1,343	-1,394

	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	93,33	93,33	93,33	93,33
Minor (z-z)	93,33	93,33	93,33	93,33

LTB	Curve d	AlphaLT 0,76	LambdaBarLT 0,105	PhiLT 0,469	ChiLT 1,	psi 1,932	Mcr 8877,653
-----	---------	--------------	-------------------	-------------	----------	-----------	--------------

Factors	kyy 0,586	kys 0,597	kzy 0,352	kzs 0,995
---------	-----------	-----------	-----------	-----------

SHEAR DESIGN

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>50 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 340      X Mid: 0,      Combo: SLU\_010      Design Type: Beam  
 Length: 5,08      Y Mid: 27,94      Shape: CHS-CF 219.1X12. Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 2,54      Z Mid: 6,6      Class: Class 1      Rolled : No

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05      GammaM1=1,05      GammaM2=1,25  
 An/Ag=1,      RLLF=1,      PLLF=0,75      D/C Lim=0,95

Aeff=0,008	eNy=0,	eNs=0,	Weff,yy=3,966E-04	Weff,yy=3,966E-04
A=0,008	Iyy=4,345E-05	iyy=0,073	Weff,zz=3,966E-04	Weff,zz=3,966E-04
It=8,689E-05	Izz=4,345E-05	izz=0,073	Wpl,yy=5,342E-04	Wpl,yy=5,342E-04
Iw=0,	Iys=0,	h=0,219	Wpl,zz=5,342E-04	Wpl,zz=5,342E-04
E=210000000,	fy=355000,	fu=510000,	Av,y=0,005	Av,z=0,005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2,54	767,945	-12,272	-0,478	-8,654	-0,146	-0,687

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO      (Governing Equation EC3 6.2.1(7))  
 D/C Ratio: 0,348 = 0,28 + sqrt[(0,068)^2 + (0,003)^2 ] < 0,95      OK  
 = (NEd/NRd) + sqrt[(My,Ed/My, Rd)^2 + (Mz,Ed/Mz, Rd)^2]      (EC3  
 6.2.1(7))

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
	767,945	2743,022	2743,022

Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
2743,022	2979,153	655293,937	13957,234	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Major (y-y)	c	0,49	13957,234	0,454	0,665	0,868	2381,542
MajorB(y-y)	c	0,49	13957,234	0,454	0,665	0,868	2381,542
Minor (z-z)	c	0,49	13957,234	0,454	0,665	0,868	2381,542
MinorB(z-z)	c	0,49	13957,234	0,454	0,665	0,868	2381,542
Torsional TF	c	0,49	13957,234	0,454	0,665	0,868	2381,542

MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med	Med, span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
	-12,272	-12,273	-8,339	-10,841
Minor (z-z)	-0,478	-0,478	-0,309	-0,402

Major (y-y)	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
	180,609	180,609	180,609	180,609
Minor (z-z)	180,609	180,609	180,609	180,609

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	d	0,76	0,126	0,48	1,	1,201	11891,424

Factors	kyy	kys	key	kss
	0,949	0,497	0,569	0,829

SHEAR DESIGN

Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
-----	-----	-------	--------	--------

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>51 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 1531 X Mid: -3,775 Combo: SLU\_015 Design Type: Brace  
 Length: 1,109 Y Mid: 25,718 Shape: CHS-CF 60.3X4 Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 0, Z Mid: 5,345 Class: Class 1 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=7,075E-04	eNy=0,	eNs=0,	Weff,yy=9,344E-06	Weff,yy=9,344E-06
A=7,075E-04	Iyy=0,	iyy=0,02	Weff,zz=9,344E-06	Weff,zz=9,344E-06
It=0,	Izz=0,	izz=0,02	Wpl,yy=1,270E-05	Av,y=4,504E-04
Iw=0,	Iys=0,	h=0,06	Wpl,zz=1,270E-05	Av,z=4,504E-04
E=210000000,	fy=355000,	fu=510000,		

**STRESS CHECK FORCES & MOMENTS**

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,	-50,457	0,	0,	-0,028	0,	0,

**PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.37)**

$$\frac{D/C \text{ Ratio}}{NEd / (\text{Chi}_y NRk} = \frac{0,3 = 0,298 + \sqrt{(0,002)^2 + (0,)^2}}{NRk/GammaM1} < 0,95 \text{ OK}$$

$$= NEd / (\text{Chi}_y NRk / GammaM1) + \sqrt{kyy (My, Ed + NEd eNy) / (\text{Chi}_y NRk / GammaM1))^2} \quad (\text{NTC Eq C4.2.37})$$

**AXIAL FORCE DESIGN**

<b>Axial</b>	<b>Ned</b>	<b>Nc,Rd</b>	<b>Nt,Rd</b>
	Force	Capacity	Capacity
	-50,457	239,198	239,198
	<b>Npl,Rd</b>	<b>Nu,Rd</b>	<b>Ncr,T</b>
	239,198	259,789	57143,154
			<b>Ncr,TF</b>
			474,473
			<b>An/Ag</b>
			1,

<b>Curve</b>	<b>Alpha</b>	<b>Ncr</b>	<b>LambdaBar</b>	<b>Phi</b>	<b>Chi</b>	<b>Nb,Rd</b>
Major (y-y)	c 0,49	474,473	0,728	0,894	0,708	169,248
MajorB(y-y)	c 0,49	474,473	0,728	0,894	0,708	169,248
Minor (z-z)	c 0,49	474,473	0,728	0,894	0,708	169,248
MinorB(z-z)	c 0,49	474,473	0,728	0,894	0,708	169,248
Torsional TF	c 0,49	474,473	0,728	0,894	0,708	169,248

**MOMENT DESIGN**

<b>Major (y-y)</b>	<b>Med</b>	<b>Med, span</b>	<b>Mm, Ed</b>	<b>Meq, Ed</b>
	Moment	Moment	Moment	Moment
	0,	0,008	0,004	0,006
<b>Minor (z-z)</b>	0,	0,	0,	0,
	<b>Mc,Rd</b>	<b>Mv,Rd</b>	<b>Mn,Rd</b>	<b>Mb,Rd</b>
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	4,294	4,294	4,294	4,294
Minor (z-z)	4,294	4,294	4,294	4,294
	<b>Curve</b>	<b>AlphaLT</b>	<b>LambdaBarLT</b>	<b>PhiLT</b>
LTB	d 0,76	0,153	0,153	0,494
				<b>ChiLT</b>
				1,
				<b>psi</b>
				1,316
				<b>Mcr</b>
				193,251
<b>Factors</b>	<b>kyy</b>	<b>kys</b>	<b>kzy</b>	<b>kss</b>
	1,099	0,694	0,66	1,157

**SHEAR DESIGN**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>52 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 1538 X Mid: -1,525 Combo: SLU\_015 Design Type: Brace  
 Length: 2,232 Y Mid: 26,025 Shape: CHS-CF 88.9X5 (2) Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 0, Z Mid: 5,385 Class: Class 1 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,001	eNy=0,	eNs=0,	We1,yy=2,618E-05	Weff,yy=2,618E-05
A=0,001	Iyy=1,164E-06	iyy=0,03	We1,ss=2,618E-05	Weff,ss=2,618E-05
It=2,327E-06	Izs=1,164E-06	isz=0,03	Wpl,yy=3,524E-05	Av,y=8,390E-04
Iw=0,	Iys=0,	h=0,089	Wpl,ss=3,524E-05	Av,z=8,390E-04
E=210000000,	fy=255000,	fu=510000,		

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,ss	Ved,s	Ved,y	Ted
0,	-198,182	0,	0,	-0,105	0,	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.37)  
 D/C Ratio: 0,816 = 0,809 + sqrt[(0,008)^2 + (0,)^2] < 0,95 OK  
 = Ned/(Chi\_y NRk/GammaM1) + sqrt[(kyy (My,Ed+Ned eNy)/(Chi\_LT  
 My,Rk/GammaM1))^2] + (kys (Ms,Ed+Ned eNs)/(Ms,Rk/GammaM1))^2] (NTC Eq C4.2.37)

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
	-198,182	445,575	445,575

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	445,575	483,932	106445,617	484,224	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	484,224	0,983	1,175	0,55	245,018
MajorB(y-y)	c 0,49	484,224	0,983	1,175	0,55	245,018
Minor (s-s)	c 0,49	484,224	0,983	1,175	0,55	245,018
MinorB(s-s)	c 0,49	484,224	0,983	1,175	0,55	245,018
Torsional TF	c 0,49	484,224	0,983	1,175	0,55	245,018

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mm, Ed Moment	Meq, Ed Moment
Major (y-y)	0,	0,058	0,029	0,044
Minor (s-s)	0,	0,	0,	0,

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	11,914	11,914	11,914	11,914
Minor (s-s)	11,914	11,914	11,914	11,914

LTB	Curve d	AlphaLT 0,76	LambdaBarLT 0,178	PhiLT 0,507	ChiLT 1,	psi 1,316	Mcr 396,986

Factors	kyy 1,552	kys 0,98	kzy 0,931	kss 1,633

SHEAR DESIGN

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZIO INTEGRATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>53 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 1755 X Mid: -2, Combo: SLU\_015 Design Type: Beam  
 Length: 5,08 Y Mid: 27,94 Shape: CHS-CH 139.7X8 Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 2,54 Z Mid: 6,17 Class: Class 1 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,003	eNy=0,	eNs=0,	WeI,yy=1,031E-04	Weff,yy=1,031E-04
A=0,003	Iyy=7,203E-06	iyy=0,047	WeI,zz=1,031E-04	Weff,zz=1,031E-04
It=1,441E-05	Iss=7,203E-06	iss=0,047	WeI,zz=1,031E-04	Weff,zz=1,031E-04
Iw=0,	Iy=0,	h=0,14	Wpl,yy=1,389E-04	Av,y=0,002
E=210000000,	fy=355000,	fu=510000,	Wpl,zz=1,389E-04	Av,z=0,002

#### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,s	Ved,y	Ted
2,54	366,767	-7,063	2,569	-8,917	1,52	0,666

#### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7))

D/C Ratio: 0,488 = 0,328 + sqrt[(0,15)^2 + (0,055)^2] < 0,95 OK  
 = (Ned/NRd) + sqrt[(My,Ed/My,Rd)^2 + (Ms,Ed/Ms,Rd)^2] (EC3)

6.2.1 (7))

#### AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
	366,767	1119,089	1119,089

Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
1119,089	1215,425	267344,702	2313,973	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	2313,973	0,713	0,879	0,717	802,244
MajorB(y-y)	c 0,49	2313,973	0,713	0,879	0,717	802,244
Minor (z-z)	c 0,49	2313,973	0,713	0,879	0,717	802,244
MinorB(z-z)	c 0,49	2313,973	0,713	0,879	0,717	802,244
Torsional TF	c 0,49	2313,973	0,713	0,879	0,717	802,244

#### MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med	Med, span	Mm,Ed	Meq,Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
	-7,063	-7,063	-3,106	-5,297
Minor (z-z)	2,569	2,569	1,522	1,979

Major (y-y)	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
	46,971	46,971	46,971	46,971
Minor (z-z)	46,971	46,971	46,971	46,971

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	d	0,76	0,146	0,49	1,	1,416	2323,276
Factors	kyy	kys	kzy	kzs	0,919		
	0,909	0,551	0,546				

#### SHEAR DESIGN

Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
-----	-----	-------	--------	--------

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      54 di 118

### 6.3.2 Verifica della deformazione

Sono state condotte le verifiche definite al par. 4.2.4.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 e in particolare si citano:

- Verifiche agli spostamenti verticali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.1).
- Verifiche agli spostamenti laterali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.2).
- Verifiche agli spostamenti per il piano e per l'edificio (par. 4.2.4.2.2).

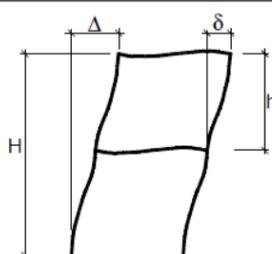
I relativi risultati sono riportati nei tabulati.

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{\max}}{1}$	$\frac{\delta_2}{1}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

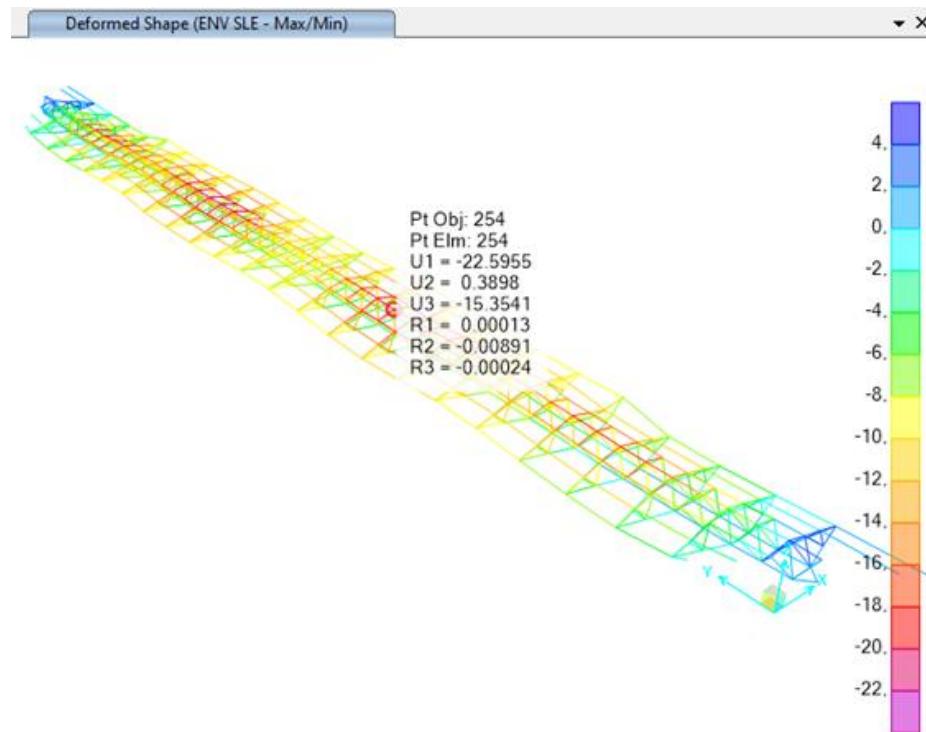
*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

Tipologia dell'edificio	Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali	
	$\frac{\delta}{h}$	$\frac{\Delta}{H}$
Edifici industriali monopiano senza carroponte	$\frac{1}{150}$	/
Altri edifici monopiano	$\frac{1}{300}$	/
Edifici multipiano	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{500}$

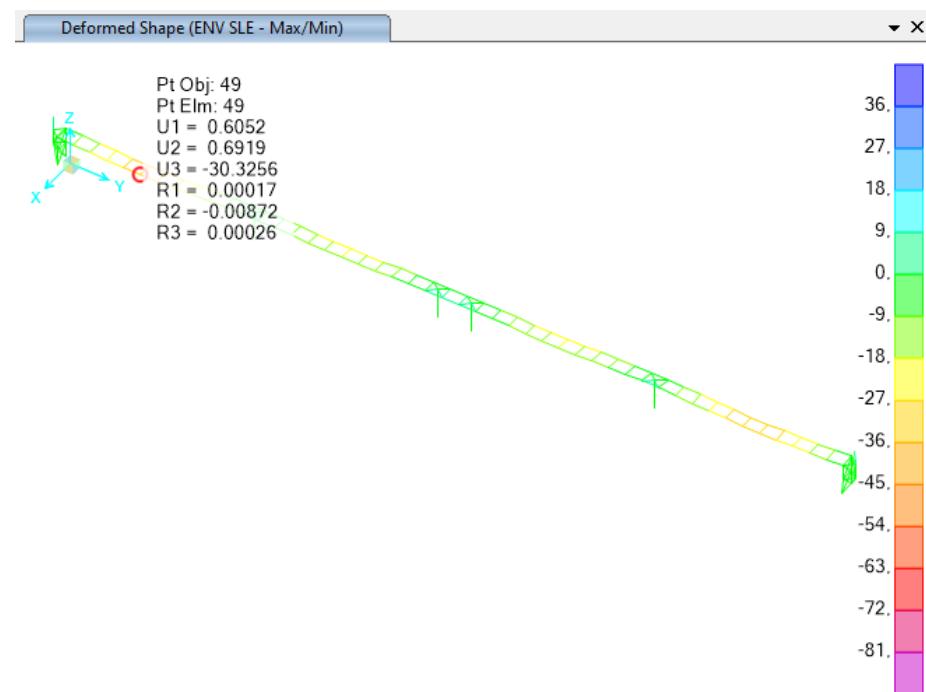
*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      55 di 118	



**Figura 6.26 Env SLE – Spostamenti orizzontali**



**Figura 6.27 Env SLE – Spostamenti verticali**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>56 di 118</b>	

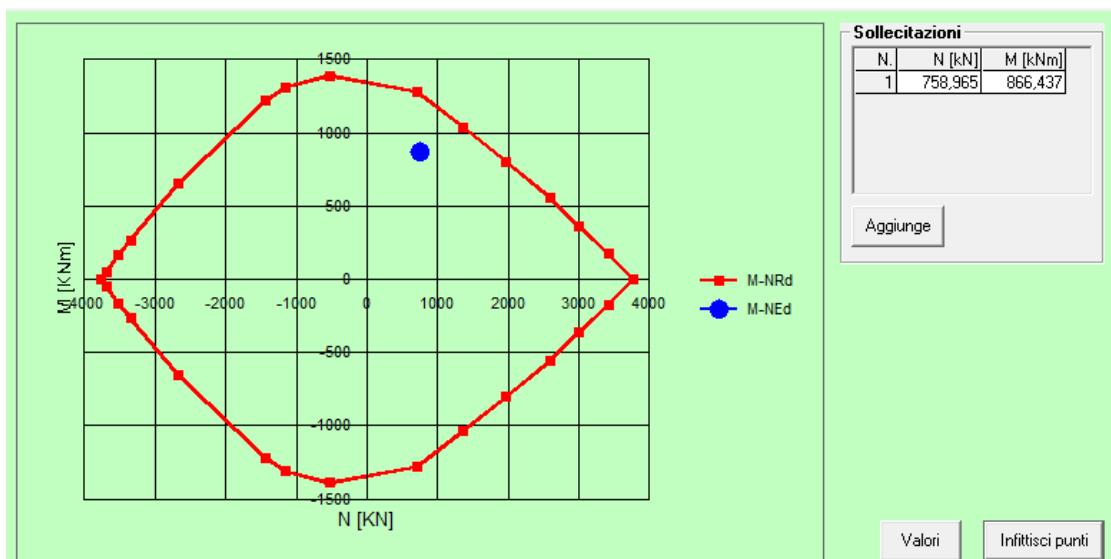
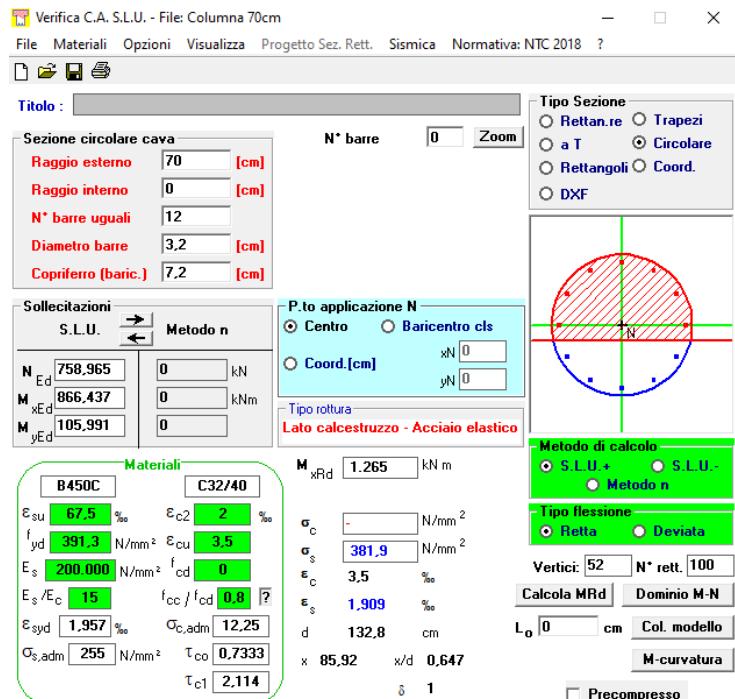
### 6.3.3 Verifica dei pilastri

Dati:

Dimensione = 70 cm

Armadura long= 12 φ32

Staffe = φ16@30cm



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>57 di 118</b>

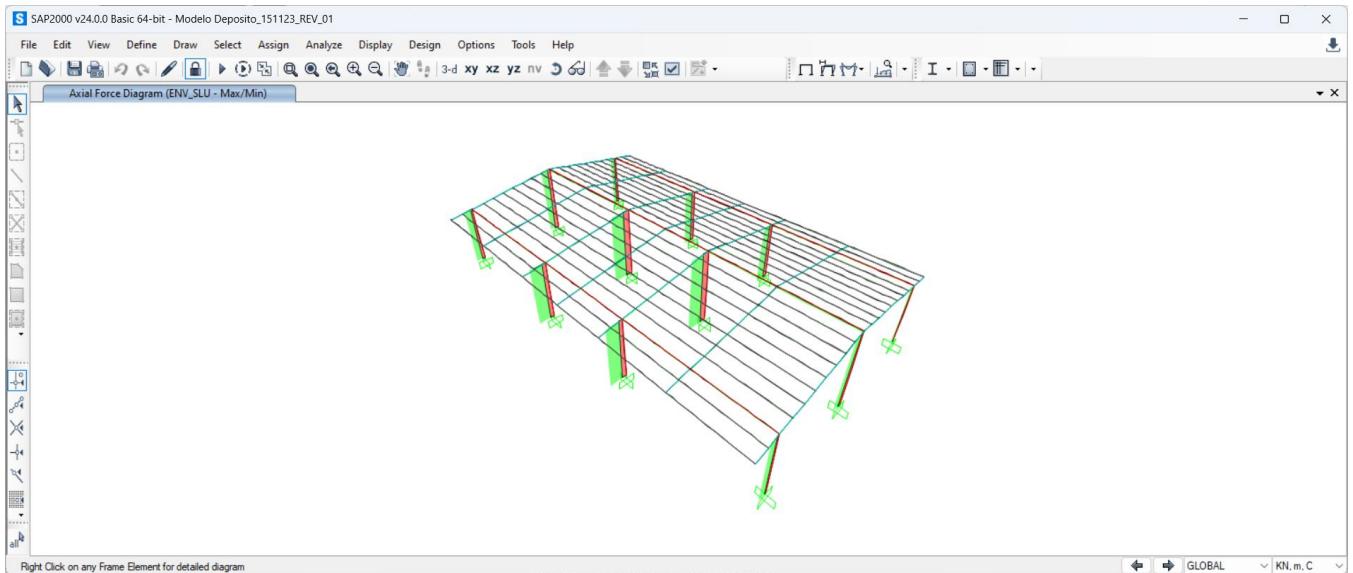
Tagliare NTC 2018			
V <sub>u</sub> =	152,27	kN	
φ <sub>long</sub> =	32	mm	
N° Barre long =	12		
γ <sub>c</sub> =	1,5		
f <sub>ck</sub> =	33,2	N/mm <sup>2</sup>	
f <sub>cd</sub> =	18,81	N/mm <sup>2</sup>	
D=	700	mm	
d=	628	mm	
Ned=	0	N	
α <sub>c</sub> =	0,85		
σ <sub>cp</sub> =	0,000	N/mm <sup>2</sup>	<= 3,763
A <sub>s long</sub> =	9650,97	mm <sup>2</sup>	
p <sub>1</sub> =	0,0251		
k=	1,564 < 2		
v <sub>min</sub> =	0,395		
V <sub>rd</sub> =	360,3	kN	
V <sub>rd</sub> =	173,5	kN	OK
φ <sub>trans</sub> =	16	mm	
A <sub>sw/S</sub>	10,5	cm^2/m	
S=	38,30	cm	
Smax =	502,4	cm	

## 6.4 VERIFICHE STRUTTURALI – DEPOSITO VIA PER LEVATE

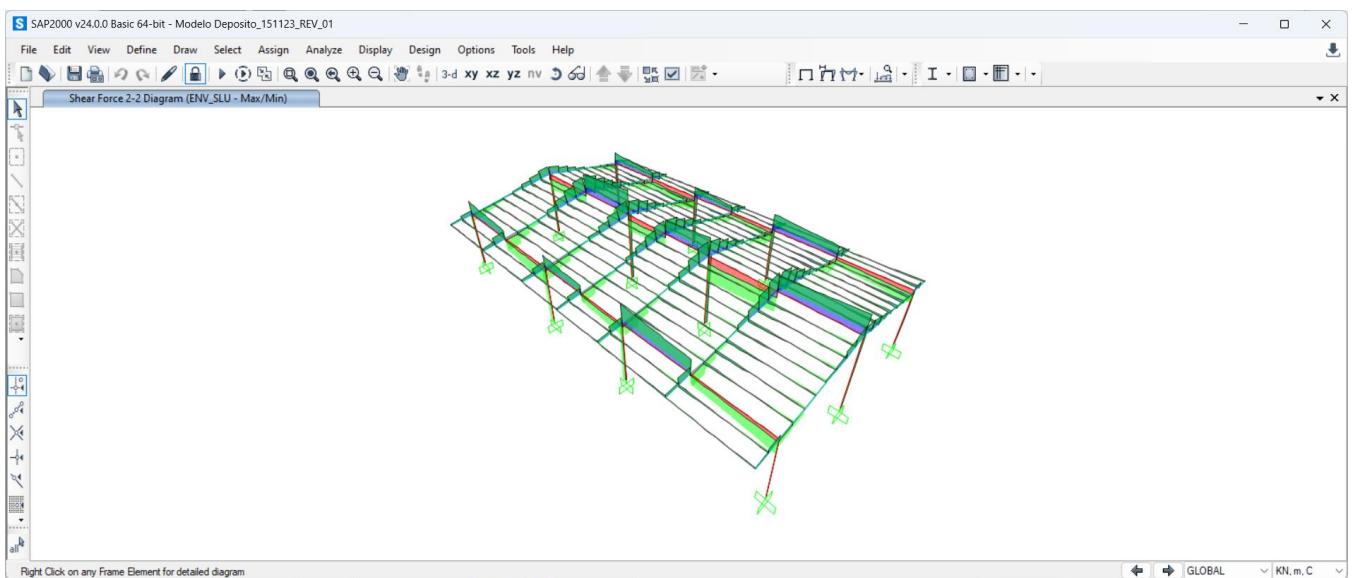
### 6.4.1 Verifica della pensiline

Di seguito si riportano i risultati in termini di momenti, tagli e sforzi normali sulla struttura per le combinazioni di carico analizzate.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>58 di 118</b>

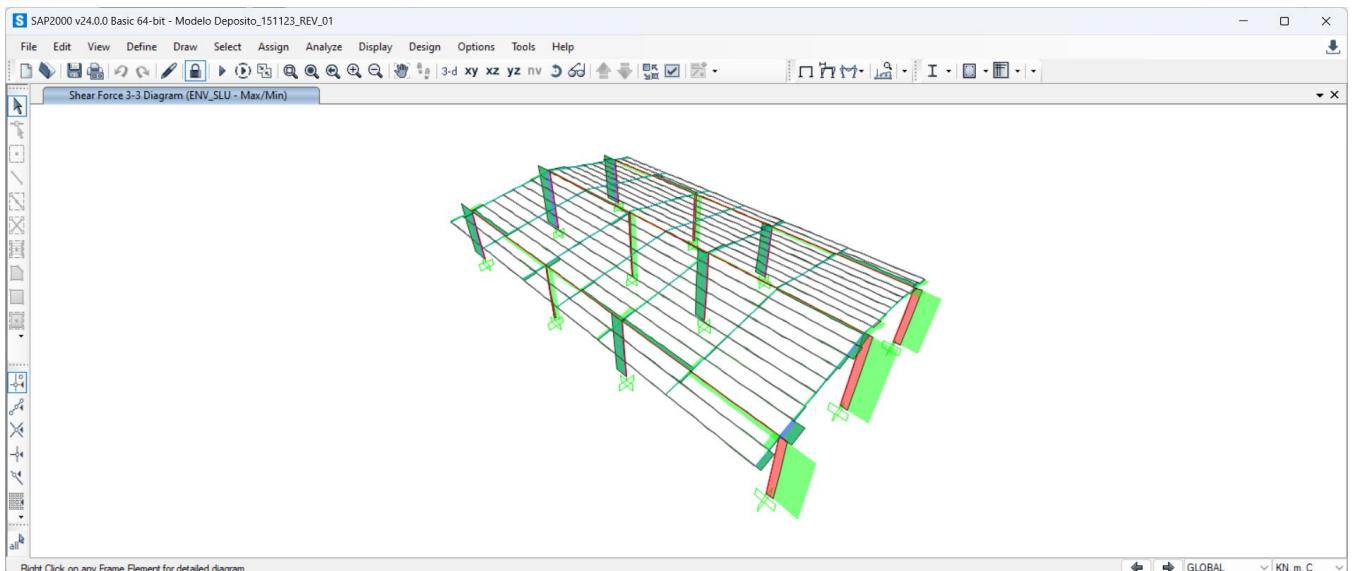


**Figura 6.28 Sforzi assiali – Env SLU [kN]**

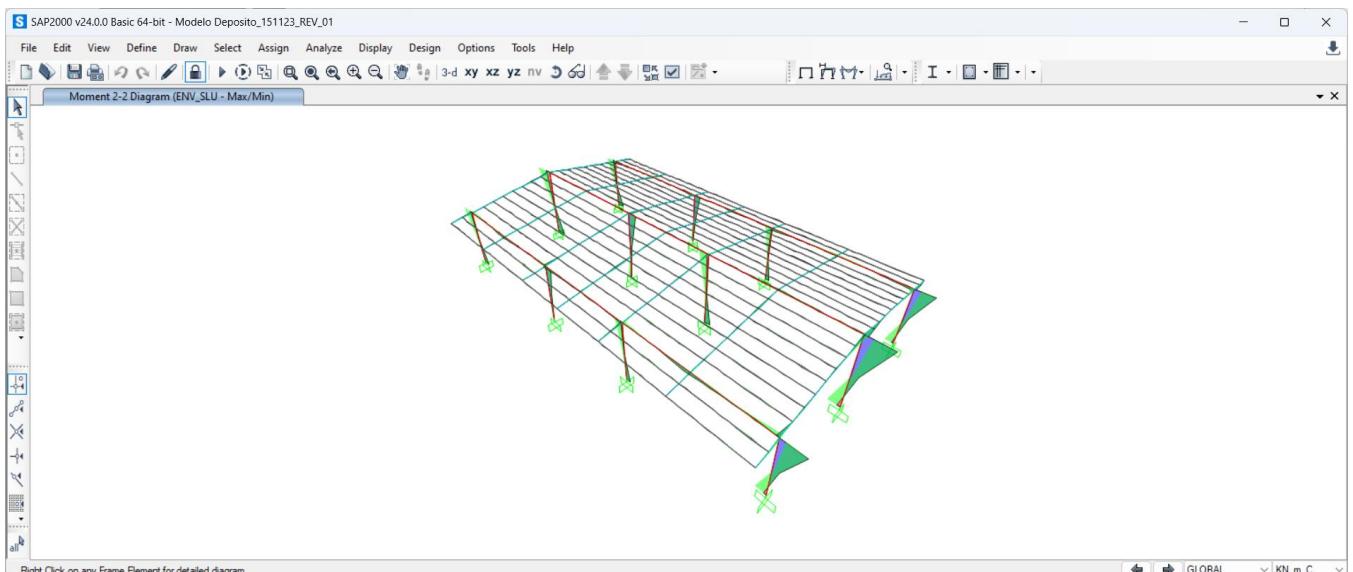


**Figura 6.29 Tagli 2-2 – Env SLU [kN]**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>		COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO <b>B23D</b> <b>00 D 00</b> <b>RH</b> <b>FVD000 001</b> <b>A</b> <b>59 di 118</b>				

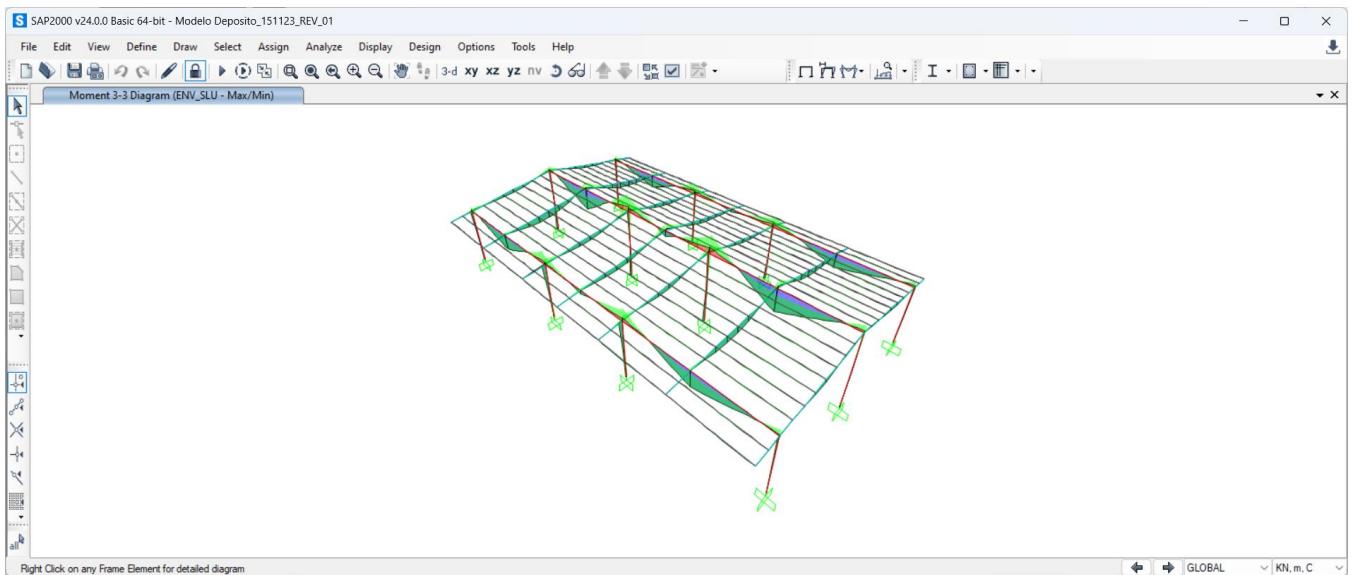


**Figura 6.30 Tagli 3-3 – Env SLU [kN]**



**Figura 6.31 Momenti 2-2 – Env SLU [kN-m]**

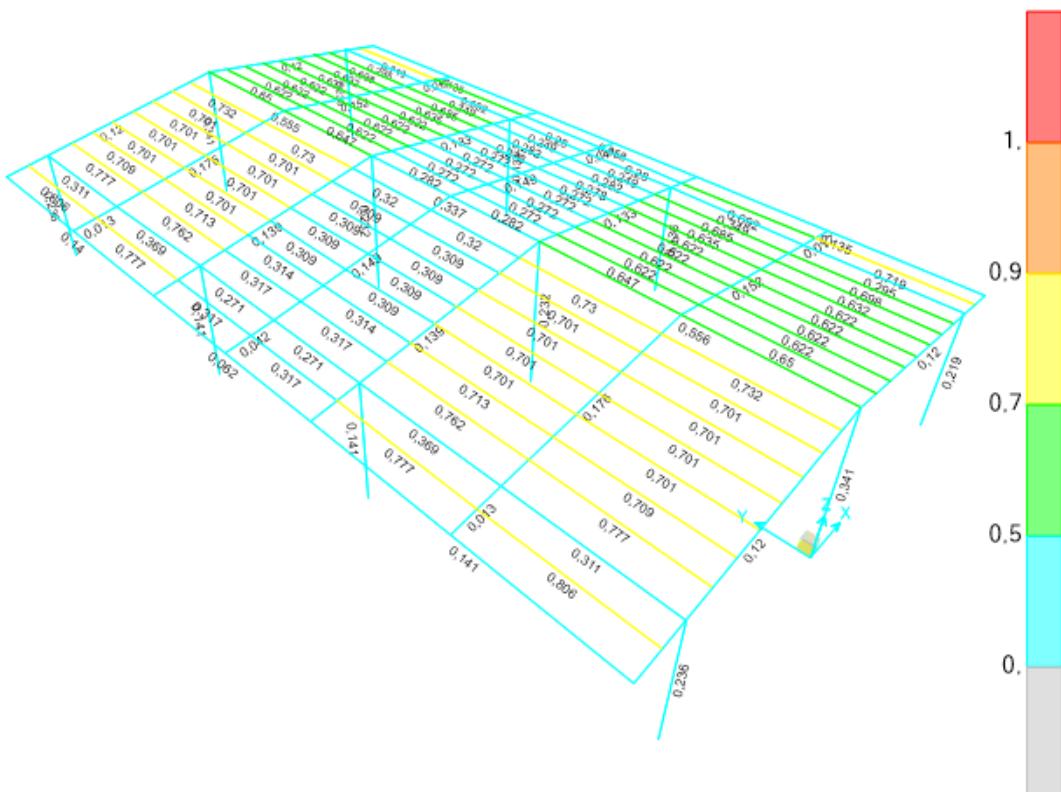
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>60 di 118</b>



**Figura 6.32 Momenti 3-3 – Env SLU [kN-m]**

Capogruppo/mandataria:	Mandanti:	PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-					
 <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	 <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGENIERIA ED ARCHITETTURA					
 <b>OPINI</b> SMART ENGINEERING	<b>studio CARRARA</b> ARCHITETTURA + INGEGNERIA <i>Dear builder</i>						
7.0 Opere Civili		COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo strutturale		B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A	61 di 118

Steel P-M Interaction Ratios (Italian NTC 2018) ▾ X



**Figura 6.33 Fattori di utilizzo**

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Italian NTC 2018									
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location	ErrMsg	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m	Text	Text
50	HE360A	Beam	No Messages	0,55551	PMM	SLU_010	6	No Messages	No Messages
8	HE360A	Column	No Messages	0,340853	PMM	SLU_010	6,6	No Messages	No Messages
89	UPN200	Beam	No Messages	0,805795	PMM	SLU_007	0	No Messages	No Messages

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>
<b>7.0 Opere Civili</b>			<b>COMMESMA</b> <b>LOTTO</b> <b>CODIFICA</b> <b>DOCUMENTO</b> <b>REV.</b> <b>FOGLIO</b> <b>B23D</b> <b>00 D 00</b> <b>RH</b> <b>FVD000 001</b> <b>A</b> <b>62 di 118</b>
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>			

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 89      X Mid: -9,45      Combo: SLU\_007      Design Type: Beam  
 Length: 6,      Y Mid: 3,      Shape: UPN200      Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 6,      Z Mid: 5,16      Class: Class 1      Rolled : Yes

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,      GammaM1=1,      GammaM2=1,25  
 An/Ag=1,      RLLF=1,      PLLF=0,75      D/C Lim=0,95

Aeff=0,003      eNy=0,      eNs=0,  
 A=0,003      Iyy=1,911E-05      iyy=0,077      Wel,yy=1,911E-04      Weff,yy=1,911E-04  
 It=0,      Iss=1,483E-06      iss=0,021      Wel,ss=2,700E-05      Weff,ss=2,700E-05  
 Iw=0,      Iys=0,      h=0,2      Wpl,yy=2,335E-04      Av,y=0,002  
 E=2100000000,      fy=355000,      fu=510000,      Wpl,ss=5,804E-05      Av,z=0,002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,ss	Ved,z	Ved,y	Ted
6,	-8,625	0,	0,	-9,584	-0,216	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO      (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)  
 D/C Ratio: 0,806 = 0,115 + 0,675 + 0,016 < 0,95      OK  
 = NEd/(Chi\_s NRk/GammaM1) + ksy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT My,Rk/GammaM1)  
 + kss (Ms,Ed+NEd eNs)/(Ms,Rk/GammaM1)      (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
	Force	Capacity	Capacity	Phi	Chi	Nb,Rd
	-8,625	1142,745	1142,745			
		Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
		1142,745	1182,017	1153,486	757,247	1,
Major (y-y)	c 0,49	1100,214	1,019	1,22	0,529	604,409
MajorB(y-y)	c 0,49	1100,214	1,019	1,22	0,529	604,409
Minor (z-z)	c 0,49	85,38	3,658	8,039	0,066	75,19
MinorB(z-z)	c 0,49	85,38	3,658	8,039	0,066	75,19
Torsional TF	c 0,49	757,247	1,228	1,507	0,42	480,434

MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med	Med, span	Mm,Ed	Meq,Ed		
	Moment	Moment	Moment	Moment		
	0,	-14,376	-9,517	12,372		
Minor (z-z)	0,	-0,324	-0,215	0,279		

Major (y-y)	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd		
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		
	82,893	82,893	82,893	20,955		
Minor (z-z)	20,604	20,604	20,604			

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	d	0,76	1,593	2,299	0,253	1,136	32,654

Factors	kyy	kys	ksy	kss		
	0,961	0,622	0,984	1,037		

SHEAR DESIGN

Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
-----	-----	-------	--------	--------

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>		<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>63 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 50      X Mid: 0,      Combo: SLU\_010      Design Type: Beam  
 Length: 12,      Y Mid: 6,      Shape: HE360A      Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 10,5      Z Mid: 6,6      Class: Class 1      Rolled : Yes

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,      GammaM1=1,      GammaM2=1,25  
 An/Ag=1,      RLLF=1,      PLLF=0,75      D/C Lim=0,95

Aeff=0,014      eNy=0,      eNz=0,  
 A=0,014      Iyy=3,309E-04      iyy=0,152      Wel,yy=0,002      Weff,yy=0,002  
 It=1,530E-06      Iss=7,887E-05      iss=0,074      Wel,ss=5,258E-04      Weff,ss=5,258E-04  
 Iw=2,180E-06      Iya=0,      h=0,35      Wpl,yy=0,002      Av,y=0,011  
 E=2100000000,      fy=355000,      fu=510000,      Wpl,ss=8,020E-04      Av,s=0,005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,ss	Ved,z	Ved,y	Ted
10,5	-29,972	20,007	0,	78,178	0,	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO    (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,556 = 0,012 + 0,544 + 0, < 0,95      OK  
 = NEd/(Chi\_z NRk/GammaM1) + ksy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi\_LT My,Rk/GammaM1)  
 + kss (Ms,Ed+NEd eNs)/(Ms,Rk/GammaM1)      (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	An/Ag		
	Force	Capacity	Capacity			
	-29,972	5076,5	5076,5	1,		
	Npl,Rd 5076,5	Nu,Rd 5250,96	Ncr,T 8692,273	Ncr,TF 8692,273		
Major (y-y)	b 0,34	4762,701	1,032	Phi 1,174	Chi 0,577	Nb,Rd 2927,073
MajorB(y-y)	b 0,34	4762,701	1,032	1,174	0,577	2927,073
Minor (z-z)	c 0,49	4540,758	1,057	1,269	0,507	2575,837
MinorB(z-z)	c 0,49	4540,758	1,057	1,269	0,507	2575,837
Torsional TF	c 0,49	8692,273	0,764	0,93	0,685	3475,504

MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med	Med, span	Mm, Ed	Meq, Ed
	Moment	Moment	Moment	Moment
Major (y-y)	20,007	331,953	212,752	276,578
Minor (z-z)	0,	0,	0,	0,

Major (y-y)	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	741,24	741,24	741,24	609,319
Minor (z-z)	284,71	284,71	284,71	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	b	0,34	0,761	0,885	0,822	1,204	1280,44
Factors	kyy 0,822	kys 0,61	ksy 0,998	ksz 1,016			

SHEAR DESIGN

Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
-----	-----	-------	--------	--------

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>64 di 118</b>

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK      (Summary for Combo and Station)  
 Units : KN, m, C

Frame : 8      X Mid: 0,      Combo: SLU\_010      Design Type: Column  
 Length: 6,6      Y Mid: 0,      Shape: HE360A      Frame Type: DCH-MRF  
 Loc : 6,6      Z Mid: 3,3      Class: Class 1      Rolled : Yes

Interaction=Method B      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
 Consider Torsion? No

GammaM0=1,      GammaM1=1,      GammaM2=1,25  
 An/Ag=1,      RLLF=1,      PLLF=0,75      D/C Lim=0,95

Aeff=0,014      eNy=0,      eNs=0,  
 A=0,014      Iyy=3,209E-04      iyy=0,152      Wel,yy=0,002      Weff,yy=0,002  
 It=1,530E-06      Iss=7,887E-05      iss=0,074      Wel,ss=5,258E-04      Weff,ss=5,258E-04  
 Iw=2,180E-06      Iys=0,      h=0,35      Wpl,yy=0,002      Av,y=0,011  
 E=210000000,      fy=355000,      fu=510000,      Wpl,ss=8,020E-04      Av,z=0,005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,ss	Ved,s	Ved,y	Ted
6,6	-161,844	0,	97,044	0,	-21,997	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO    (Governing Equation NTC Eq 4.2.38(z))

D/C Ratio: 0,341 = 0,341 < 0,95      OK  
 = (Ms,Ed/Mn,s,Rd)      (NTC Eq 4.2.38(z))

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
	-161,844	5076,5	5076,5

Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
5076,5	5250,96	7466,236	7466,236	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Major (y-y)	b	0,34	3937,196	1,136	1,304	0,514	2610,992
MajorB(y-y)	b	0,34	32177,654	0,397	0,612	0,927	4706,85
Minor (z-z)	c	0,49	3269,644	1,246	1,533	0,412	2093,494
MinorB(z-z)	c	0,49	11073,202	0,677	0,846	0,729	3750,614
Torsional TF	c	0,49	7466,236	0,825	0,993	0,647	3283,123

MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med	Med, span	Mm, Ed	Meq, Ed
	Moment	Moment		
	0,	0,	0,	0,
Minor (z-z)	97,044	97,044	24,455	38,973

Major (y-y)	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Capacity	Capacity		
	741,24	741,24	741,24	470,336
Minor (z-z)	284,71	284,71	284,71	284,71

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	psi	Mcr
	b	0,34	0,941				
				1,069	0,625	1,	836,379

Factors	kyy	kys	ksy	kss
	1,007	0,249		
			0,996	0,415

SHEAR DESIGN

Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
-----------	-------------	----------------	--------------	--------------

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>	<b>65 di 118</b>

#### 6.4.2 Verifica della deformazione

Sono state condotte le verifiche definite al par. 4.2.4.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 e in particolare si citano:

- Verifiche agli spostamenti verticali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.1).
- Verifiche agli spostamenti laterali per i singoli elementi (par. 4.2.4.2.2).
- Verifiche agli spostamenti per il piano e per l'edificio (par. 4.2.4.2.2).

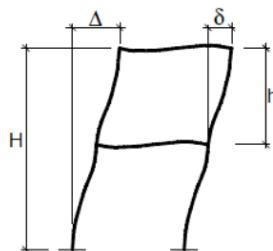
I relativi risultati sono riportati nei tabulati.

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{\max}}{1}$	$\frac{\delta_2}{1}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

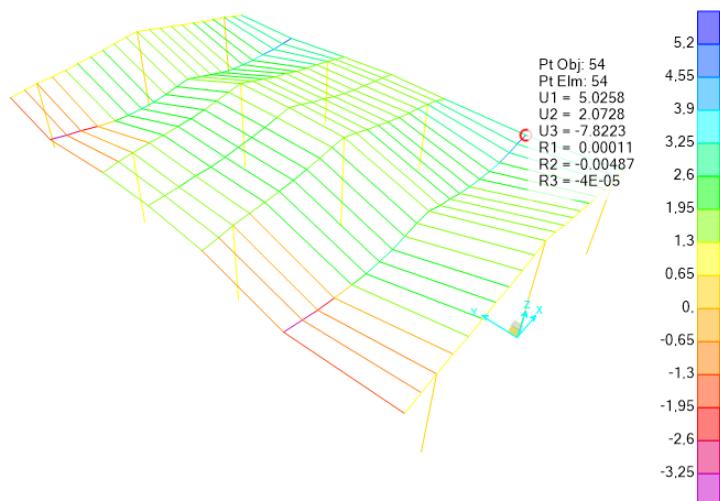
Tipologia dell'edificio	Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali	
	$\frac{\delta}{h}$	$\frac{\Delta}{H}$
Edifici industriali monopiano senza carroponte	$\frac{1}{150}$	/
Altri edifici monopiano	$\frac{1}{300}$	/
Edifici multipiano	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{500}$

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*



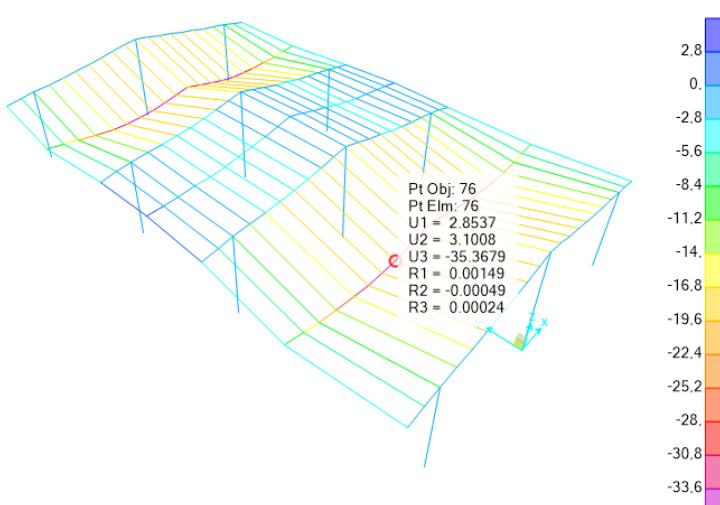
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>66 di 118</b>

Deformed Shape (ENV\_SLE - Max/Min) ▾ ×



**Figura 6.34 Env SLE – Spostamenti orizzontali [mm]**

Deformed Shape (ENV\_SLE - Max/Min) ▾ ×



Deformed Shape (ENV\_SLE - Max/Min) ▾ ×

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESMA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>67 di 118</b>

**Figura 6.35 Env SLE – Spostamenti verticali**

## 7. FONDAZIONI – DEPOSITO VIA GLENO

### 7.1 Introduzione

Le fondazioni proposte sono di tipo misto, costituite da plinti e plinti su pali. Questo è anche dovuto ai vincoli geometrici per la presenza del cunicolo tecnologico in prossimità degli appoggi centrali della struttura.

Si prevedono due tipologie di fondazioni per le opere in oggetto:

- Fondazione tipo 1: in corrispondenza delle colonne esterne, costituite da fondazione continua di 2.5mx4.0m con altezza pari a 0.5m. Le colonne esterne, costituiti da profili in acciaio verrano collegati ai pilastri 0.45x0.45 rtamite piastre in acciaio bullonte
- Fondazione tipo 2: in corrispondenza delle colonne intermedie, costituite da fondazione continua 3.0mx4.0m con altezza pari a 0.5m.
- Fondazione tipo 3: fondazione mista di 2.10mx4.8m di altezza pari a 0.6m e fondata su 8 micropali di 0.30m di diametro e lunghezza di 15m

Per tutte le fondazioni si considera un piano di posa dei plinti corrispondente con la profondità rilevata della soletta del cunicolo tecnologico, pari a 1.7m dal livello del terreno.

Note le azioni totali ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$  ed  $M_y$ ) che trasmette la colonna al plinto, risultato del dimensionamento strutturale visto nei precedente capitoli, si procede quindi con le seguenti verifiche:

- Calcolo dei carichi assiali sui pali
- Dimensionamento geotecnico dei pali
- Dimensionamento strutturale dei pali

La progettazione delle fondazioni sui pali è eseguita in conformità a quanto richiesto dalle NTC 2018 al par. 6.4.3. In particolare, tenuto conto delle scelte progettuali, si sono presi in considerazione i seguenti stati limiti:

- Approccio 1: SLU di tipo geotecnico:
  - Collasto per carico limite del palo nei riguardi dei carichi assiali
  - Collasto per carico limite del palo nei riguardi dei carichi trasversali
- Approccio 2: SLU di tipo strutturale:

Capogruppo/mandataria:    	Mandanti: 	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>68 di 118</b>

- Raggiungimento della resistenza (per sollecitazioni assiali e flessionali, taglienti, torcenti) nelle opere di fondazione (plinto)
- Raggiungimento della resistenza (per sollecitazioni assiali e flessionali, taglienti, torcenti) nelle opere di sottofondazione (pali)

Le verifiche SLU-GEO sono svolte secondo l'approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.4II e 6.4 VI. Per R3 si intende il congiunto di coefficienti parziali di sicurezza sulle resistenze relativi alla tipologia di verifica da condurre.

Le verifiche SLU-STR sono quindi svolte con la combinazione (A1+M1+R3) in cui i coefficienti  $\gamma_R$  e  $\gamma_M$  sono unitari.

In modo cautelativo, si sono considerate le sollecitazioni per le verifiche dei pali quelle azioni ottenute dalle combinazioni dei carichi orizzontali e verticali della struttura in elevazione e applicati in testa al palo.

Le verifiche nei confronti delle azioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni (A) e sui parametri geotecnici (M) ed adottando per le resistenze gli stessi valori assunti in condizione statica (R3).

Le azioni in input trasmesse dalla struttura soprastante sono già risultanti di SLU, avendo applicato i coefficienti parziali di sicurezza delle azioni e dei parametri geotecnici; mentre i sovraccarichi dovuti al peso del plinto e al ritombamento fino a quota terreno sono maggiorati applicando i coefficienti parziali di sicurezza indicati a continuazione (tabelle 6.2.I, NTC 2018):

- Carichi permanenti  $G_1$ :  $\gamma_{G1} = 1,3$

Di seguito invece si riportano i coefficienti parziali di sicurezza delle resistenze:

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup>da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA  <b>B23D</b>	LOTTO  <b>00 D 00</b>	CODIFICA  <b>RH</b>	DOCUMENTO  <b>FVD000 001</b>	REV.  <b>A</b>	FOGLIO  <b>69 di 118</b>

## 7.2 Parametri geotecnici di riferimento

Vengono svolti il dimensionamento e le verifiche geotecniche con il metodo degli stati limite. Si considerano i valori geotecnici del terreno indicati dalla relazione geologica, nello specifico:

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 26^\circ$$

$$k_w = 0.032 \text{ ( } \underline{\text{https://geoapp.eu/parametrismici2018/}}$$

## 7.3 Tipologia di fondazione

Le fondazioni sono di tipo profonde, mediante pali trivelatti di 0.45m di diametro e lunghezza variabile.

Il palo di fondazione deve essere in grado di far fronte al carico verticale di progetto mediante la sua resistenza assiale. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando opportuni coefficienti di sicurezza precritti dalla normativa.

## 7.4 Calcolo dei carichi assiali sui pali

Dato un gruppo di n pali soggetto a delle sollecitazioni relativi ad una determinata combinazione, i carichi agenti alla testa di ciascun palo risultano:

$$N_i = \frac{F_z}{n} + \left[ \frac{M_x * y_i}{\sum_1^n y_i^2} \right] - \left[ \frac{M_y * x_i}{\sum_1^n x_i^2} \right]$$

$$V_{xi} = \frac{F_x}{n}$$

$$V_{yl} = \frac{F_y}{n}$$

Dove, fissato un sistema di riferimento XYZ destroso, avente origine nel baricentro della plafoniera con asse Z rivolto verso l'alto, risultano:

- $M_x$  momento esterno attorno all'asse X
- $M_y$  momento esterno attorno all'asse Y
- $F_x$  forza orizzontale esterna nella direzione X
- $F_y$  forza orizzontale esterna nella direzione Y

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA B23D	LOTTO 00 D 00	CODIFICA RH	DOCUMENTO FVD000 001	REV. A	FOGLIO 70 di 118

- $F_z$  forza verticale esterna nella direzione Z
- $N_i$  forza verticale agente alla testa del palo
- $V_{xi}$  forza orizzontale agente alla testa del palo i-esimo nella direzione X
- $V_{yi}$  forza orizzontale agente alla testa del palo i-esimo nella direzione Y
- $x_i$  distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della pilaificata nella direzione X
- $y_i$  distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della pilaificata nella direzione Y

Nel caso in esame i micropali si considerano disposti verticalmente per cui deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq N_i \quad (1)$$

Inoltre devono verificarsi le seguenti condizioni:

$$F_x \leq \sum_{i=1}^n \frac{H_{i,res}}{\sin \alpha_{xi}} \quad (2)$$

$$F_y \leq \sum_{i=1}^n \frac{H_{i,res}}{\sin \alpha_{yi}} \quad (2)$$

dove  $H_{i,res}$  è la componente orizzontale del residuo di resistenza assiale dei singoli micropali che vale:

$$H_{i,res} = Q_{Rd} - N_{i,ass}$$

Mediante un processo iterativo è possibile quindi determinare la lunghezza minima dei pali affinché siano contemporaneamente soddisfatte le condizioni (1), (2), e (3).

## 7.5 Cenni Teorici

### 7.5.1 Capacità portante a carichi assiali dei pali di fondazione

La capacità portante di un palo è composta dalla portanza di base (o di punta) e dalla portanza per attrito laterale lungo il fusto. In ciascuna combinazione prevista deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

In cui:

$$Q_{Rd} = \frac{1}{\xi} \left( \frac{Q_s}{R_i^s} + \frac{Q_b}{R_i^b} \right) - W_k + \frac{S_w}{R_w}$$

dove:

$Q_s$  Portata laterale del palo determinata analiticamente;

$Q_b$  Portata di base del palo determinata analiticamente;

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione di calcolo strutturale		B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A	71 di 118

$W_k$  Peso proprio del palo.

$\xi$  fattore di correlazione funzione del numero di verticali indagate secondo la Tab. 6.4.IV delle NTC 2018

In sede di calcolo, considerato la limitata disponibilità di indagini geognostiche, sono stati assunti i valori di 1.70 e 1.70 rispettivamente, considerando la Tab. 6.4.IV delle NTC 2018 e n.1 verticali indagate.

La capacità laterale del palo sarà calcolata con il metodo di Burland per terreno incoerente essendo:

$$Q_s = A_{lat} * P_{ef} * K * f_w * \tan \delta$$

Dove:

$A_{lat}$  Area laterale del palo;

$P_{ef}$  Pressione efficace del terreno;

$K$   $1 - \sin \phi'$ .

$f_w$  fattore correttivo per la tronco-conicità del palo; assunto pari a 1 essendo pali a sezione costante

$\delta$  angolo d'attrito terreno-palo; assunto pari a  $2/3 \phi'$  per pali in calcestruzzo

Nell'applicare tali relazioni va tenuto presente che a causa del disturbo indotto nei livelli incoerenti dall'asportazione del terreno, l'angolo d'attrito del terreno da considerare si assume come:  $\phi' = \phi - 3$ .

La capacità di base del palo sarà calcolata con il metodo di Berezantev per terreno incoerente essendo:

$$Q_b = A_{base} * P_{ef} * N_q$$

$A_{base}$  Area base;

$P_{ef}$  Pressione efficace del terreno;

$N_q$  Fattore adimensionale di portata uguale a  $10^m$ ; per i fini di calcolo della presente relazione si limita il valore di  $N_q$  a 10.

$m$   $-0.764 + 0.076 \phi'$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> <small>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</small>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>72 di 118</b>

Nell' applicare tali relazioni va tenuto presente che a causa del disturbo indotto nei livelli incoerenti dallasportazione del terreno, l' angolo d' attrito del terreno da cosiderare si assume come:  $\phi' = \phi - 3$ .

### 7.5.2 Capacità portante a carichi trasversali dei pali di fondazione

In presenza di forze orizzontali agenti su un palo è necessario che esso venga dimensionato a carico limite sotto queste azioni.

Lo stato tenso-deformativo del complesso palo-terreno si presenta come problema tridimensionale, per la cui soluzione è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative. La teoria che verrà presentata è quella sviluppata da Broms, che assume:

- terreno omogeneo;
- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico;
- forma del palo ininfluente. Quest'ultima ipotesi comporta che il palo abbia solo moti rigidi finché non si raggiunge il momento di plasticizzazione ( $M_y$ ) del palo, a partire dalla quale si forma una cerniera plastica in cui la rotazione continua indefinitamente con momento costante.

Nello studio seguente si fa riferimento a pali soggetti a carichi orizzontali con rotazione impedita in testa, in quanto la presenza di una struttura rigida in sommità (platea o plinto) consente l'ipotesi dell'esistenza di un vincolo di incastro.

Per un terreno prevalentemente incoerente, come quello interessato dai pali di fondazione in progetto, si assume che la resistenza opposta dal terreno  $p$  alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità:

$$p = 3 K_p \gamma z d$$

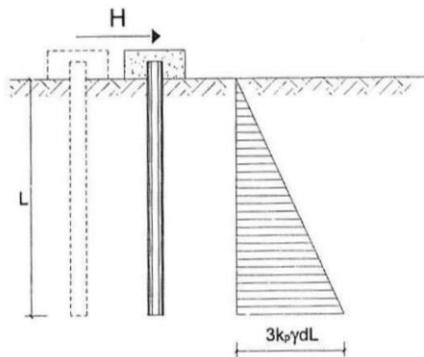
dove

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva calcolato come  $(1 + \operatorname{sen}\phi') / (1 - \operatorname{sen}\phi')$

$z$  = profondità dal piano campagna;

$\gamma$  = peso specifico del terreno

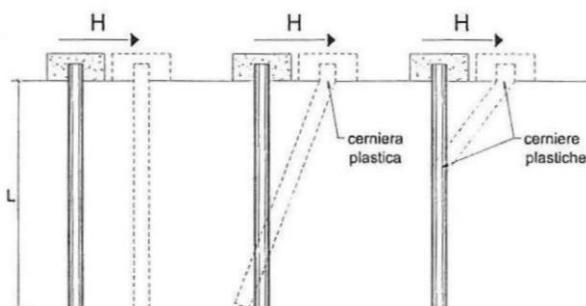
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>73 di 118</b>



**Figura 7.1 Resistenza limite dei terreni incoerenti**

Come si evince dall'espressione precedente, la pressione orizzontale risulta tre volte maggiore della spinta passiva; ciò si giustifica tenendo in considerazione il fatto che il fenomeno di rottura in questo caso è di tipo tridimensionale, per cui esso comprende anche le azioni tangenziali che si sviluppano sulla superficie laterale del palo.

I meccanismi di rottura del complesso palo-terreno sono condizionati dalla lunghezza del palo, dal momento di plasticizzazione della sezione e dalla resistenza esercitata dal terreno. I possibili meccanismi di rottura sono riportati di seguito:



**Figura 7.2 Meccanismi di rottura per i pali vincolati in testa**

Il meccanismo di "palo corto" corrisponde alla condizione in cui non si raggiunge il momento di plasticizzazione in nessuna sezione; il carico limite orizzontale corrispondente a tale caso si determina facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio e vale:

$$H_1 = 1.5 * k_p * \gamma * d^3 * \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Il meccanismo di "palo intermedio" corrisponde alla condizione in cui si raggiunge il momento di plasticizzazione all'attacco palo-fondazione; il carico limite orizzontale

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA  <b>B23D</b>	LOTTO  <b>00 D 00</b>	CODIFICA  <b>RH</b>	DOCUMENTO  <b>FVD000 001</b>	REV.  <b>A</b>	FOGLIO  <b>74 di 118</b>	

corrispondente a tale caso si determina facendo ricorso ad equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica all'attacco palo-fondazione e risulta:

$$H_2 = 0.5 * k_p * \gamma * d^3 * \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Infine il meccanismo "palo lungo" corrisponde alla condizione in cui si raggiunge il momento di plasticizzazione dapprima all'attacco palo-fondazione e successivamente in una sezione lungo il fusto del palo stesso; il carico limite orizzontale corrispondente a tale caso si determina facendo ricorso ad equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di cerniere plastiche nelle 2 sezioni che hanno raggiunto il momento di plasticizzazione e risulta:

$$H_3 = k_p * \gamma * d^3 * \sqrt[3]{(3.676 * \frac{M_y}{k_p * \gamma * d^4})^2}$$

L'azione ultima resistente del terreno a carichi traversali risulta pertanto pari a:

$$R_{tr,d} = \frac{\min (H_1; H_2; H_3)}{\gamma_T * \xi}$$

dove il fattore di correlazione  $\xi$  relativo al numero n di verticali di indagini, è analogo a quanto assunto per la capacità del palo a carichi verticali, mentre per il coefficiente parziale di sicurezza delle resistenze  $\gamma_T$  è determinato secondo la combinazione A1+M1+R3 in cui:

**Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

## 7.6 Verifiche Fondazioni tipo 1

Per il calcolo del Qlim viene utilizzata la formula di Terzaghi-Vesic. La verifica per il dimensionamento della fondazione viene svolta con l'Approccio n. 2 indicato dalle NTC2018 al cap. 6. Vengono pertanto utilizzati i coefficienti:

A1+M1+R3

I coefficienti amplificativi dei carichi risultano:

Carichi propri:  $\gamma = 1,3$

Carichi permanenti:  $\gamma = 1,5$

Carichi variabili:  $\gamma = 1,5$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>75 di 118</b>

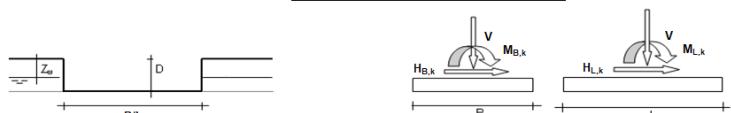
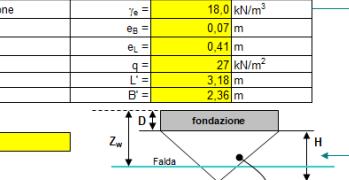
Il coefficiente di sicurezza da adottare risulta:

$$R_3 = 2,3$$

Viene svolto il calcolo del Qlimite:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>76 di 118</b>

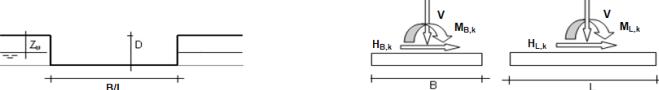
## 7.6.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica

CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAMENTI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE					
>> <span style="color: green;">INPUT</span> <span style="color: yellow;">INTERMEDI</span> <span style="color: red;">OUTPUT</span> <<					
					
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO					
Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni	Proprietà del terreno			
[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	tan φ'	c'	TR
[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80
[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30
[4] Definiti dall'utente	1,30	1,50	1,00	1,00	1,80
3					
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO					
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet}$ = 18	18 kN/m³			
Peso per unità di volume terreno sattato	$\gamma_{sat}$ = 18	18 kN/m³			
Cohesione	$c'_k$ = 0,0	0,0 kN/m²			
Angolo di attrito interno	$\phi'_k$ = 26,0	26,0 °			
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$K_s$ = 0,000	0,000 Assenza sisma			
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE E DI CALCOLO AGENTI					
Nota: per fondamenti nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro (kN/m)					
Forza verticale	V <sub>k</sub> [kN] = 297,3	Valori caratteristici			
Forza verticale	V <sub>k</sub> [kN] = 297,3	Permanenti	Temporanee	Valori di calcolo	
Momento flettente lungo B	MB, k [kN·m] = 25,1			39,6 = Vd	
Momento flettente lungo L	ML, k [kN·m] = 121,8			27,4 = MB,d	
Forza orizzontale lungo B	HB, k [kN] = 114,9			158,3 = ML,d	
Forza orizzontale lungo L	HL, k [kN] = 0,2			149,4 = Hd	
PARAMETRI GEOMETRICI					
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	D = 1,5 m				
Profondità della falda da p.c.	Z <sub>w</sub> = 20,0 m				
Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	L = 4,00 m				
Larghezza fondazione	B (B+L) = 2,50 m				
Inclinazione base	η = 0				
Inclinazione piano campagna	β = 0				
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI					
H=0,5·B·tan(45+φ/2)	H = 2,0 m				
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e$ = 18,0 kN/m³				
Eccentricità in direzione B	e <sub>B</sub> = 0,07 m				
Eccentricità in direzione L	e <sub>L</sub> = 0,41 m				
Carico alla base della fondazione	q = 21 kN/m²				
Lunghezza efficace	L' = 3,18 m				
Larghezza efficace	B' = 2,36 m				
					
<b>Fattori di capacità portante</b>					
N <sub>x</sub> = 22,25	m = 1,62				
N <sub>y</sub> = 11,85					
N <sub>z</sub> = 12,54					
<b>Fattori di correttivi</b>					
s <sub>x</sub> = 1,39	s <sub>y</sub> = 1,36	s <sub>z</sub> = 0,70			
i <sub>x</sub> = 0,28	i <sub>y</sub> = 0,34	i <sub>z</sub> = 0,21			
b <sub>x</sub> = 1,00	b <sub>y</sub> = 1,00	b <sub>z</sub> = 1,00			
g <sub>x</sub> = 1,00	g <sub>y</sub> = 1,00	g <sub>z</sub> = 1,00			
d <sub>x</sub> = 1,24	d <sub>y</sub> = 1,18	d <sub>z</sub> = 1,00			
z <sub>x</sub> = 1,00	z <sub>y</sub> = 1,00	z <sub>z</sub> = 1,00			
k = 0,60		r <sub>z</sub> = 0,98			
<b>CALCOLO DELLA Q<sub>k</sub> E VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE</b>					
$Q_k = 0,5 \times B \times N_x \times r_x \times s_x \times d_x \times i_x \times b_x \times g_x \times z_x + c' \times N_y \times s_y \times d_y \times i_y \times b_y \times g_y \times z_y + q \times N_z \times s_z \times d_z \times i_z \times b_z \times g_z \times z_z$					
<b>Q<sub>k</sub> (kPa)</b> <b>214,2</b>	<b>Q<sub>d</sub> (kPa)</b> <b>108,4</b>	<b>&gt;</b>	<b>Q<sub>a</sub> (kPa)</b> <b>51,5</b>	<b>OK</b>	

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>77 di 118</b>	

### 7.6.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica

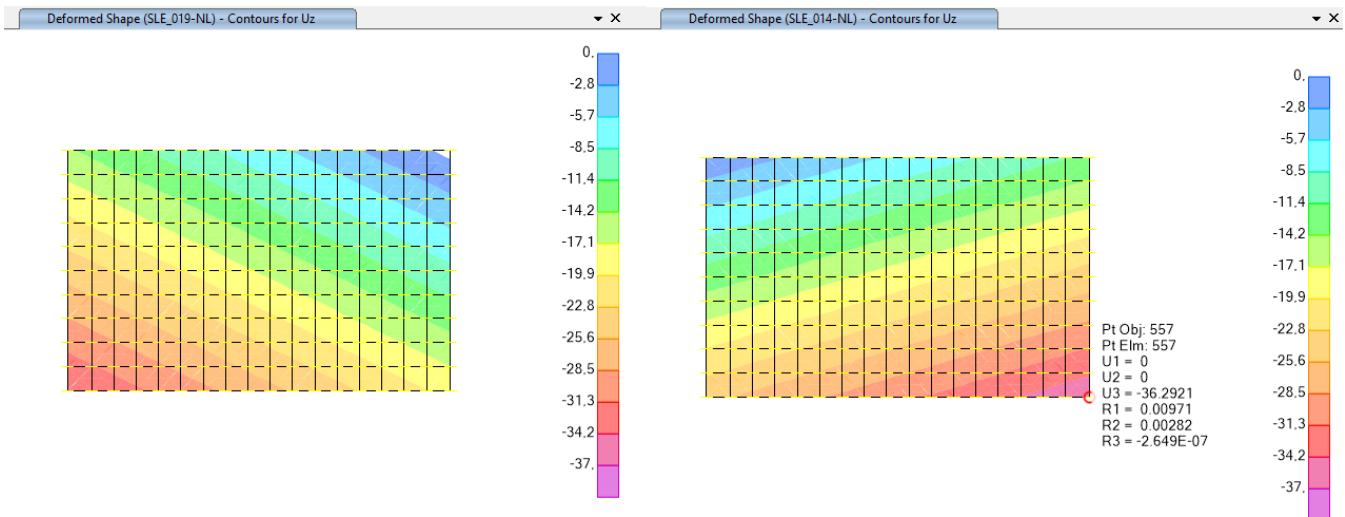
La capacità del complesso fondazione-terreno viene verificata con riferimento allo stato limite ultimo (SLV):

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE					
>> INPUT      INTERMEDI      OUTPUT <<					
					
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO					
Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		$\gamma_R$
	Permanenti	Temporanee Variabili	$\tan \phi'$	$c'$	
[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80
[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30
[4] Definiti dall'utente	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30
<b>4</b>					
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO					
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{\text{wet}}$ =	18	18	$\text{kN/m}^3$	
Peso per unità di volume terreno satturo	$\gamma_{\text{sat}}$ =	18	18	$\text{kN/m}^3$	
Cohesione	$c_k$ =	0,0	0,0	$\text{kN/m}^2$	
Angolo di attrito interno	$\phi'_k$ =	26,0	26,0	$^{\circ}$	
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_0$ =	0,032	0,032	<i>Presenza Sisma</i>	
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE DI CALCOLO AGENTI					
<i>Nota: per fondazioni nonstriformi (<math>L=100m</math>) le sollecitazioni sono a metro [<math>\text{kN/m}</math>]</i>					
Forza verticale	Valori caratteristici			Valori di calcolo	
	Permanenti	Temporanee			
	$V_k$ [ $\text{kN}$ ] =	72,4			$V_d$ =
	$M_B, k$ [ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ] =	5,4			$M_B, d$ =
	$M_L, k$ [ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ] =	42,4			$M_L, d$ =
Forza orizzontale lungo B	$H_B, k$ [ $\text{kN}$ ] =	60,6			$H_d$ =
Forza orizzontale lungo L	$H_L, k$ [ $\text{kN}$ ] =	11,5			
PARAMETRI GEOMETRICI					
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D$ =	1,5	m		
Profondità della falda da p.c.	$Z_c$ =	20,0	m		
Lunghezza fondazione (per fondazione nonstriforme porre $L=100m$ )	$L$ =	4,00	m	Fond. rettangolare	
Larghezza fondazione	$B$ ( $B < L$ ) =	2,50	m		
Inclinazione base	$\gamma_1$ =	0	m		
Inclinazione piano campagna	$\beta$ =	0	m		
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI					
$H=0,5 \cdot B \cdot \tan(45+\frac{\beta}{2})$	$H$ =	2,0	m		
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e$ =	18,0	$\text{kN/m}^3$		
Eccentricità in direzione B	$e_B$ =	0,07	m		
Eccentricità in direzione L	$e_L$ =	0,59	m		
Carico alla base della fondazione	$q$ =	27	$\text{kN/m}^2$		
Lunghezza efficace	$L'$ =	2,83	m		
Larghezza efficace	$B'$ =	2,35	m		
Fattori di capacità portante	$N_u$ = 22,25	$m$ = 1,62			
	$N_u$ = 11,05				
	$N_u$ = 12,54				
Fattori correttivi	$s_a$ = 1,44	$s_q$ = 1,41	$s_c$ = 0,67		
	$i_c$ = -0,02	$i_q$ = 0,06	$i_c$ = 0,01		
	$b_a$ = 1,00	$b_q$ = 1,00	$b_c$ = 1,00		
	$g_a$ = 1,00	$g_q$ = 1,00	$g_c$ = 1,00		
	$d_a$ = 1,24	$d_q$ = 1,18	$d_c$ = 1,00		
	$z_a$ = 0,99	$z_q$ = 0,98	$z_c$ = 0,98		
	$k$ = 0,60		$r_c$ = 0,98		
$\gamma_r = (2H - d_w) \frac{d_w}{H^2} \gamma_{\text{wet}} + \frac{\gamma'}{H^2} (H - d_w)^2$ <span style="font-size: small; color: red;">Coefficients di correzione sismici</span>					
CALCOLO DELLA $Q_u$ E VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE					
$Q_u = 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_u \cdot r_c \cdot s_a \cdot s_q \cdot d_c \cdot x_i \cdot b_q \cdot g_c \cdot Z_c + c' \cdot N_u \cdot s_a \cdot d_w \cdot i_c \cdot b_q \cdot g_c \cdot Z_c + q \cdot N_u \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot Z_c$					
$Q_u$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)			$Q_b$ (kPa)	OK
34,2	30,1	>		10,9	OK

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>78 di 118</b>

## 7.6.2 Verifica di stabilità

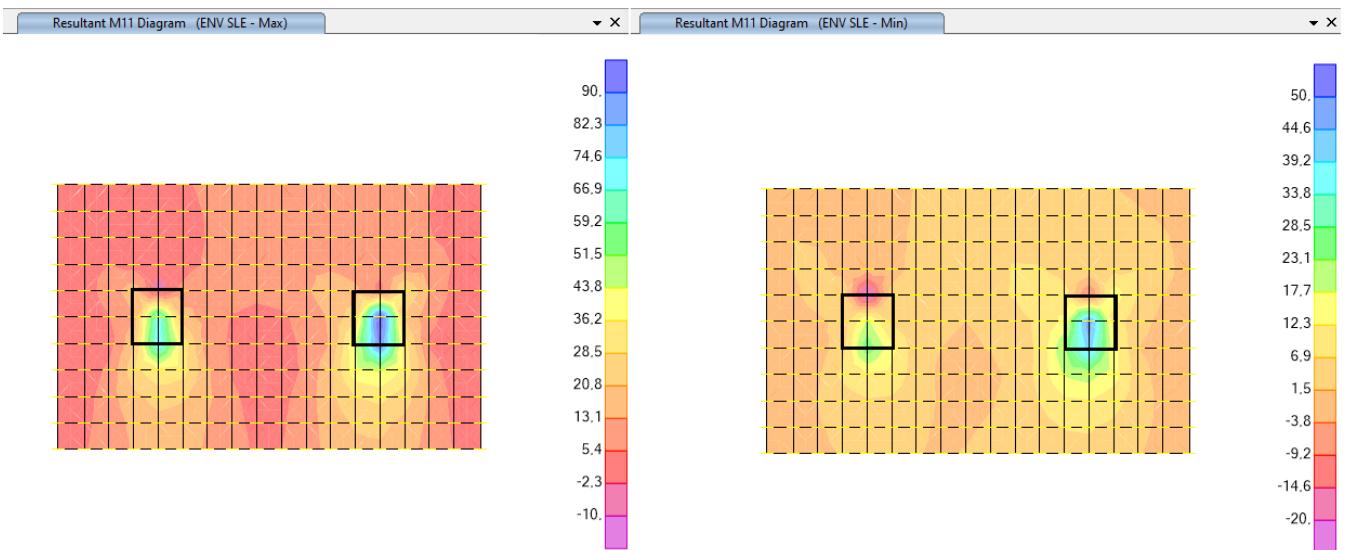
Di seguito si riportano le verifiche di stabilità per le combinazioni più sfavorevoli:



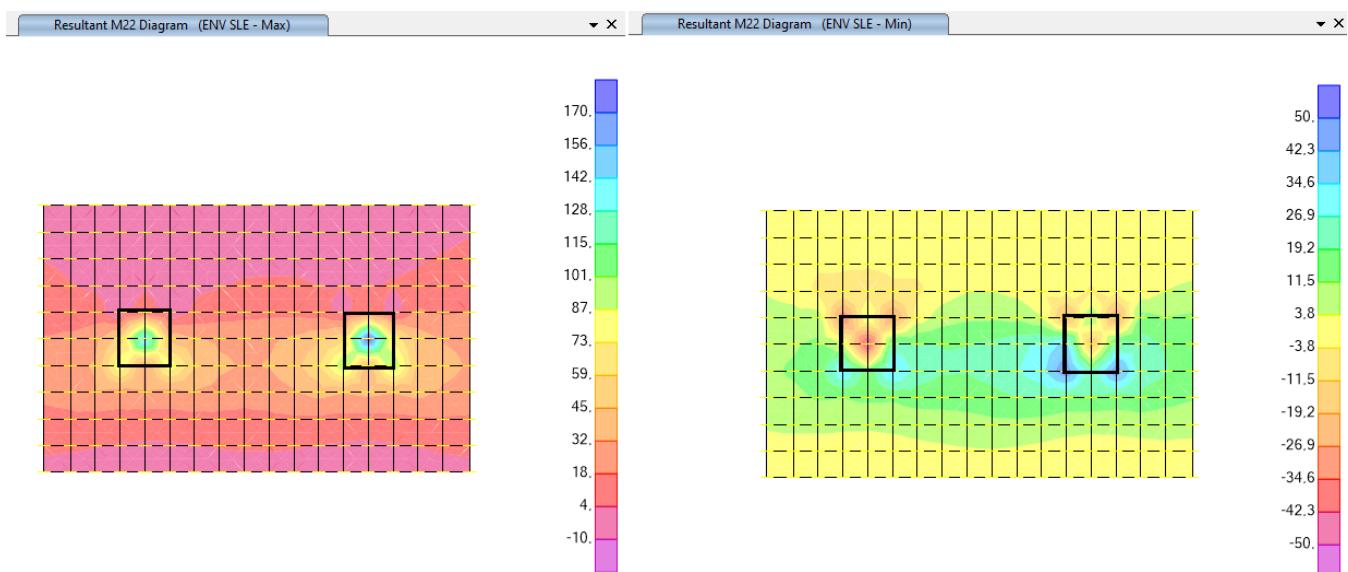
La fondazione è stabile con un'area di compressione del 99%.

## 7.6.1 Verifica strutturale per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

Viene svolta la verifica di resistenza a flessione:



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>79 di 118</b>



**Figura 7.3 Momenti M11 y M22 – ENV SLE [kN-m]**

Dati:

Dimensione = sp.50cm

Armadura inf =  $\phi 16 @ 20 \text{ cm}$

Armadura sup =  $\phi 16 @ 20\text{cm}$

Med=  $86,7 \text{ kN} \cdot \text{m} \times 1,5 = 130,1 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZIO INTEGRATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fund\_01

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :**

**N° figure elementari**   **N° strati barre**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	10,05	7,4
2	10,05	42,6

**Sollecitazioni**

S.L.U. <input type="button"/>	Metodo n <input type="button"/>
N <sub>Ed</sub> <input type="text"/> 0	0 <input type="text"/> kN
M <sub>xEd</sub> <input type="text"/> 130,1	0 <input type="text"/> kNm
M <sub>yEd</sub> <input type="text"/> 0	0 <input type="text"/>

**P.ti applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm]  **xN**  0  
 **yN**  0

**Tipo rottura**  
**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**

**Materiali**

B450C	C32/40
ε <sub>su</sub> 67,5 %	ε <sub>c2</sub> 2 %
f <sub>yd</sub> 391,3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> 3,5
E <sub>s</sub> 200.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> 18,81
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> / f <sub>cd</sub> 0,8
ε <sub>syd</sub> 1,957 %	σ <sub>c,adm</sub> 12,25
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> 0,7333
	τ <sub>c1</sub> 2,114

**Calcolo**

**Tipo Sezione**

- Rettang.re  Trapezi
- a T  Circolare
- Rettangoli  Coord.
- DXF

**Diagramma**

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

- Retta  Deviata

**Parametri**

M<sub>xRd</sub> 178,5 kNm  
 $\sigma_c = -18,81 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma_s = 391,3 \text{ N/mm}^2$   
 $\epsilon_c = 3,5 \text{ %}$   
 $\epsilon_s = 26,85 \text{ %}$   
d = 42,6 cm  
x = 4,913 x/d = 0,1153  
δ = 0,7

Precompresso

La verifica risulta soddisfatta.

### 7.6.1      Verifica strutturale dei pilastri per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

Verifica dei pilastri:

Dati:

Dimensione = 45cm x45 cm

Armadura long = 8 φ16

Staffe = φ16@20cm

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>						<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>
<b>Relazione di calcolo strutturale</b>						<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>
<b>REV.</b> <b>A</b>						<b>FOGLIO</b> <b>81 di 118</b>	

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pil45x45

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?



**Titolo :**

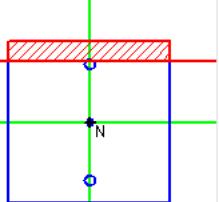
N\* strati barre

N*	b [cm]	h [cm]
1	45	45

N*	As [cm²]	d [cm]
1	6,03	6,4
2	2,01	22,5
3	6,03	38,6

**Tipo Sezione**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.	Metodo n
N Ed 93,42	0 kn
M xEd 12,8638	0 kNm
M yEd 2,1361	0

P.to applicazione N

- Centro
- Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0  
yN 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali	
B450C	C32/40
$\epsilon_{su}$ 67,5 %	$\epsilon_{c2}$ 2 %
$f_yd$ 391,3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3,5
$E_s$ 200.000 N/mm²	$f_{cd}$ 18,81
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0,9
$\epsilon_{syd}$ 1,957 %	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0,7333
	$\tau_{cl}$ 2,114

M xRd 104,2 kNm

$\sigma_c$  -18,81 N/mm²

$\sigma_s$  391,3 N/mm²

$\epsilon_c$  3,5 %

$\epsilon_s$  20,88 %

d 38,6 cm

x 5,54 x/d 0,1435

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

- Retta
- Deviata

N\* rett. 100

Calcola MRd  Dominio M-N

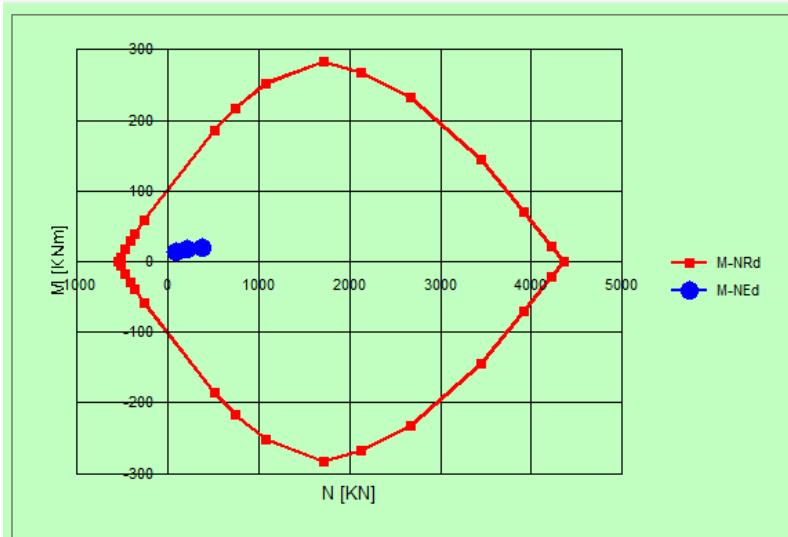
L<sub>0</sub> 0 cm  Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Domino M-N

File



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>
							FOGLIO <b>82 di 118</b>

### VERIFICA AL PUNZONAMENTO DELLA FONDAZIONE

$$V_{Ed} := 369.2 \text{ kN} \quad \text{armatura in entrambe le direzioni:}$$

$$As_{prop} = \phi 16/20$$

$$f_{ck} := 33.20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\phi := 16 \text{ mm}$$

$$f_{cd} := 18.81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$esp := 20 \text{ cm} \quad A_s := \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 2.01 \text{ cm}^2$$

Area caricata:

$$b := 45 \text{ cm} \quad l := 45 \text{ cm}$$

$$d := 44.2 \text{ cm} \quad \text{altezza utile}$$

$$\mu_1 := 4 \cdot b + 4 \cdot \pi \cdot d = 735.4 \text{ cm}$$

$$\beta := 1.15$$

$$v := 0.5$$

$$V_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4702.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$V_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{\mu_1 \cdot d} = 130.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

if( $V_{Rd,max} > V_{Ed}$ , "OK", "No Ok") = "OK"

$$k := \min \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{\frac{d}{\text{cm}}}}, 2 \right) = 2$$

$$\rho_x := \frac{A_s}{esp \cdot d} = 0.00227 \quad \rho_y := \frac{A_s}{esp \cdot d} = 0.00227$$

$$\rho_1 := \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = 0.00227$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

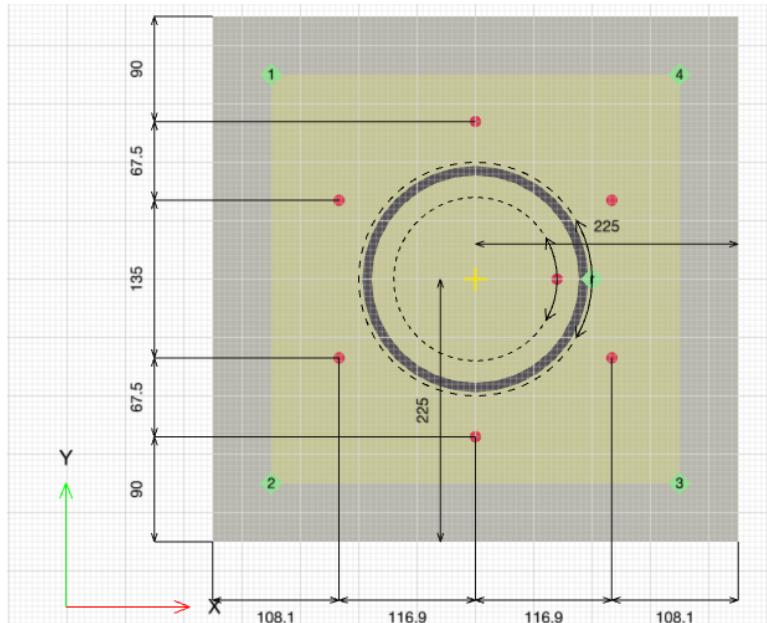
$$V_{Rd,c} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \left( 100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{N}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{1}{3}} = 470.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{\frac{N}{\text{mm}^2}} \right)^{\frac{1}{2}} = 320.128 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

if( $V_{Rd,c} > V_{Ed}$ , "OK", "No Ok") = "OK"

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A
							FOGLIO 83 di 118

## 7.6.2 Verifica strutturale della base colonna in acciaio



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>84 di 118</b>

**Materiali:**

$$f_{cd} := 18.81 \frac{N}{mm^2} \quad C32/40$$

Bulloni M16 di classe 5.6:

$$A_s := 1.57 cm^2 \quad f_{tb} := 500 \frac{N}{mm^2} \quad f_{yb} := 300 \frac{N}{mm^2}$$

Piastra S355:

$$B := 350 mm \quad \text{Larghezza} \quad f_{yp} := 355 \frac{N}{mm^2} \quad f_{tp} := 510 \frac{N}{mm^2}$$

$$H := 350 mm \quad \text{Altezza}$$

$t := 25 mm$  spessore della piastra

Calcolo:

$y := 96 mm$  larghezza di compressione

$$d := 38.1 mm \quad \text{distanza dei tirafondi dall'φ} \quad A_c := y \cdot H = 33600 \cdot mm^2$$

$$z_c := 64 mm$$

$$z_t := 169 mm$$

$$\beta := \frac{2}{3}$$

$$f_{R.du} := 3.0 \cdot f_{cd} = 56.43 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

**Sollecitazioni:**

$$N_{Ed} := 396.2 kN$$

$$Mx_{Ed} := 18.74 kN$$

$$My_{Ed} := 1.20 kN$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>85 di 118</b>	

$$f_{jd} := \beta \cdot f_{R,du} = 37.62 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{c,Rd} := f_{jd} \cdot A_c = 1264 \cdot kN$$

$$\gamma_{Mb} := 1.25$$

$$F_{t,Rd} := 5 \cdot \frac{0.9 \cdot f_{tb} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} = 282.6 \cdot kN$$

$$F_{c,Rd} - F_{t,Rd} = 981.4 \cdot kN$$

$$C := F_{t,Rd} + N_{Ed} = 678.8 \cdot kN \quad T := F_{t,Rd}$$

$$M_{Rd} := T \cdot z_t + C \cdot z_c = 91.2 \cdot kN \cdot m$$

Momento sollecitante:

$$M_{ed} := F_{t,Rd} \cdot d = 10.8 \cdot kN \cdot m$$

Momento resistente:

$$\gamma_{MO} := 1.05 \quad W_{el} := H \cdot \frac{t^2}{4} = 54687.5 \cdot mm^3$$

$$M_{Rd} := f_{yp} \cdot \frac{W_{el}}{\gamma_{MO}} = 18.49 \cdot kN \cdot m$$

if  $(M_{Rd} > M_{ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>86 di 118</b>

### ANCHORING TO CONCRETE EN 1992-4

*Concrete properties:*

$$f_{ck} := 33.20 \frac{N}{mm^2} \quad E_c := 33642.8 \frac{N}{mm^2} \quad f_{ykre} := 450 \frac{N}{mm^2}$$

$h := 1200\text{mm}$  alto pedestal

*Anchors properties:*

M16 class 5.6

$f_{yk} := 300 \frac{N}{mm^2}$	$n_p := 6$	Number of anchors	$L_a := 200\text{mm}$	Anchor length
$E_s := 2100 \frac{tonf}{cm^2}$	$d_a := 16\text{mm}$	Anchor diameter M16		
$f_{uk} := 500 \frac{N}{mm^2}$	$d_h := 24\text{mm}$	Nut diameter		
	$A_0 := 157\text{mm}^2$	Anchoring area		

*Solicitation:*

Most requested anchor:

Anchor group:

$$N_{Ed} := 0\text{kN}$$

$$N_{Edg} := 0\text{kN}$$

$$V_{Ed} := 14.620\text{kN}$$

$$V_{Edg} := 87.71\text{kN}$$

Design requirements for tensile loading

Design requirements for shear loading

$$\gamma_{M.s} := 1.25 \quad \gamma_{M.c} := 1.50$$

$$\gamma_{M.cp} := 1.50$$

#### Steel failure of fastener without lever arm - Most requested anchor:

$$k_6 := 0.6 \quad \text{para } f_{uk} < 500 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rks} := k_6 \cdot A_0 \cdot f_{uk} = 47.1 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rds} := \frac{V_{Rks}}{\gamma_{M.s}} = 37.68 \cdot \text{kN} \quad \beta_{Vs} := \frac{V_{Ed}}{V_{Rds}} = 0.39$$

if( $V_{Rds} > V_{Ed}$ , "OK" , "No Ok" ) = "OK"

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>87 di 118</b>

**Concrete pry-out failure - Anchor group:**

$$k_8 := 2.56$$

$$e_{c1v} := 0\text{mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$A_{cN1} = 178445 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{cNo2} := S_{crN1}^2 = 46742 \cdot \text{mm}^2$$

$$\psi_{ec1N} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c1v}}{S_{crN1}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$e_{c2v} := 0\text{mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$\psi_{ec2N} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c2v}}{S_{crN1}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$N_{Rk.c1} := N_{Rk.sp.o} \cdot \frac{A_{cN1}}{A_{cNo2}} \psi_{sN1} \cdot \psi_{reN} \cdot \psi_{ec1N} \cdot \psi_{ec2N} \cdot \psi_{MN} = 98.417 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rk.cp} := k_8 \cdot N_{Rk.c1} = 251.949 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd.cp} := \frac{V_{Rk.cp}}{\gamma_{M.cp}} = 167.97 \cdot \text{kN} \quad \beta_{Vcp} := \frac{V_{Edg}}{V_{Rd.cp}} = 0.52$$

if( $V_{Rd.cp} > V_{Edg}$ , "OK", "No Ok") = "OK"

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>88 di 118</b>

Concrete edge failure in Y direction - Anchor group:

$$k_g := 1.7 \quad \text{cracked concrete}$$

$$\alpha := 0.1 \cdot \left( \frac{L_a}{c_1} \right)^{0.5} = 0.149 \quad \beta := 0.1 \cdot \left( \frac{d_a}{c_1} \right)^{0.2} = 0.071$$

$$A_{cv0} := 4.5 \cdot c_1^2 = 36450 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{cv} := 36450 \text{mm}^2$$

$$\psi_{sv} := \min \left( 1, 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5 \cdot c_1} \right) = 0.94$$

$$\psi_{hv} := \max \left[ 1, \left( \frac{1.5 \cdot c_1}{h} \right)^{0.5} \right] = 1$$

$$\alpha_v := 9.21^\circ \quad \text{Shear rotation angle}$$

$$\psi_{av} := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{1}{(\cos(\alpha_v))^2 + (0.5 \cdot \sin(\alpha_v))^2}} \right] = 1.01$$

$$e_v := 0 \text{mm}$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>89 di 118</b>

$$\psi_{ecv} := \min \left[ 1, \frac{1}{1 + \left( \frac{2e_v}{3 \cdot c_1} \right)} \right] = 1$$

$\psi_{rev} := 1.0$  fastening in uncracked concrete and fastening in cracked concrete without edge reinforcement or stirrups

$$k_t := 1$$

$$V_{Rk.c.o} := k_g \cdot \left( \frac{d_a}{mm} \right)^\alpha \cdot \left( \frac{l_a}{mm} \right)^\beta \cdot N \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{N}} \cdot \left( \frac{c_1}{mm} \right)^{1.5} = 18.398 \cdot kN$$

$$V_{Rk.c} := k_t \cdot V_{Rk.c.o} \cdot \frac{A_{cv}}{A_{cvo}} \cdot \psi_{sv} \cdot \psi_{hv} \cdot \psi_{av} \cdot \psi_{ecv} \cdot \psi_{rev} = 17.471 \cdot kN \quad V_{Edg} = 87.71 \cdot kN$$

$$V_{Rd.c} := \frac{V_{Rk.c}}{\gamma_{M.c}} = 11.65 \cdot kN \quad \beta_{Vkc} := \frac{V_{Edg}}{V_{Rd.c}} = 7.53$$

if( $V_{Rd.c} > V_{Edg}$ , "OK", "Reinforcement") = "Reinforcement"

#### Supplementary reinforcement:

$$\phi_v := 16mm \quad \gamma_{Msre} := 1.15 \quad n := 2$$

$$l_1 := 200mm \quad \eta_1 := 1 \quad \eta_2 := 1$$

$$f_{ctd} := \frac{2.0MPa}{1.5} = 1.333 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$\alpha_1 := 1$$

$$\alpha_2 := 1$$

$$N_{Rda} := \pi \cdot n \cdot \frac{\phi_v^2}{4} \cdot \frac{f_{ykre}}{\gamma_{Msre}} = 157.35 \cdot kN \quad \text{Condition} := \begin{cases} \text{"Ok"} & \text{if } \frac{l_1 \cdot \pi \cdot \phi_v \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} \leq N_{Rda} = \text{"Ok"} \\ \text{"No Ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

if( $N_{Rda} > V_{Edg}$ , "OK", "No OK") = "OK"

$$\beta_{NRda} := \frac{V_{Edg}}{N_{Rda}} = 0.56$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>	<b>90 di 118</b>	

#### Combined tension and shear load:

Steel failure:

$$\beta_{NS} := \beta_{Ns}^2 + \beta_{Vs}^2 = 0.151 \quad \text{if } (\beta_{NS} > 1, \text{"No OK"}, \text{"OK"}) = \text{"OK"}$$

Concrete Failure:

$$\beta_{Nc1} := \max(\beta_{Np}, \beta_{Nc}, \beta_{Nsp}) = 0$$

$$\beta_{Vc1} := \max(\beta_{Vcp}, \beta_{NRda}) = 0.557$$

$$\beta_{NC} := \frac{(\beta_{Nc1} + \beta_{Vc1})}{1.2} = 0.465 \quad \text{if } (\beta_{NC} > 1, \text{"No OK"}, \text{"OK"}) = \text{"OK"}$$

## 7.7 Verifiche Fondazioni tipo 2

Per il calcolo del Qlim viene utilizzata la formula di Terzaghi-Vesic. La verifica per il dimensionamento della fondazione viene svolta con l'Approccio n. 2 indicato dalle NTC2008 al cap. 6. Vengono pertanto utilizzati i coefficienti:

A1+M1+R3

I coefficienti amplificativi dei carichi risultano:

Carichi propri:  $\gamma = 1,3$

Carichi permanenti:  $\gamma = 1,5$

Carichi variabili:  $\gamma = 1,5$

Il coefficiente di sicurezza da adottare risulta:

$R_3 = 2,3$

### 7.7.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica

Capogruppo/mandataria:



Mandanti:


**STUDIO CARRARA**  
 ARCHITETTURA ED ARQUITECTURA  
*team builder*

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE  
DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E  
VERDELLINO**

**-PROGETTO DEFINITIVO-**

7.0 Opere Civili

Relazione di calcolo strutturale

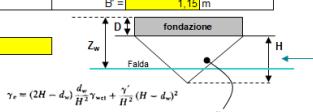
 COMMESMA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO  
 B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      91 di 118

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE																																																																																			
>> INPUT    INTERMEDI    OUTPUT <<																																																																																			
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 30%;">Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU</th> <th colspan="2" style="width: 30%;">Azioni</th> <th colspan="2" style="width: 30%;">Proprietà del terreno</th> <th rowspan="2" style="width: 10%;">TR</th> </tr> <tr> <th>Permanenti</th> <th>Temporanee Variabili</th> <th><math>\tan \phi'</math></th> <th><math>c'</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,30</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,50</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> </tr> <tr> <td>[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,30</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,25</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,25</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,80</td> </tr> <tr> <td>[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,30</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,50</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">2,30</td> </tr> <tr> <td>[4] Definiti dall'utente</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,30</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,50</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,80</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </tbody> </table>						Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		TR	Permanenti	Temporanee Variabili	$\tan \phi'$	$c'$	[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	[4] Definiti dall'utente	1,30	1,50	1,00	1,00	1,80	3																																											
Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		TR																																																																														
	Permanenti	Temporanee Variabili	$\tan \phi'$	$c'$																																																																															
[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00																																																																														
[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80																																																																														
[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30																																																																														
[4] Definiti dall'utente	1,30	1,50	1,00	1,00	1,80																																																																														
3																																																																																			
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno umido (apparente)</td> <td><math>\gamma_{wet}</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">18</td> <td style="background-color: #ffff00;">18</td> <td colspan="2" style="text-align: right;"><math>kN/m^3</math></td> </tr> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno satura</td> <td><math>\gamma_{sat}</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">18</td> <td style="background-color: #ffff00;">18</td> <td colspan="2" style="text-align: right;"><math>kN/m^3</math></td> </tr> <tr> <td>Coesione</td> <td><math>c'_k</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,0</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,0</td> <td colspan="2" style="text-align: right;"><math>kN/m^2</math></td> </tr> <tr> <td>Angolo di attrito interno</td> <td><math>\phi'_k</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">26,0</td> <td style="background-color: #ffff00;">26,0</td> <td colspan="2" style="text-align: right;"><math>^{\circ}</math></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)</td> <td><math>k_h</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,000</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,000</td> <td colspan="2" style="text-align: right;"><i>Assenza sisma</i></td> </tr> </tbody> </table>						Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet}$ =	18	18	$kN/m^3$		Peso per unità di volume terreno satura	$\gamma_{sat}$ =	18	18	$kN/m^3$		Coesione	$c'_k$ =	0,0	0,0	$kN/m^2$		Angolo di attrito interno	$\phi'_k$ =	26,0	26,0	$^{\circ}$		Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_h$ =	0,000	0,000	<i>Assenza sisma</i>																																																	
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet}$ =	18	18	$kN/m^3$																																																																															
Peso per unità di volume terreno satura	$\gamma_{sat}$ =	18	18	$kN/m^3$																																																																															
Coesione	$c'_k$ =	0,0	0,0	$kN/m^2$																																																																															
Angolo di attrito interno	$\phi'_k$ =	26,0	26,0	$^{\circ}$																																																																															
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_h$ =	0,000	0,000	<i>Assenza sisma</i>																																																																															
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE E DI CALCOLO AGENTI																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2" style="width: 30%;">Valori caratteristici</th> <th rowspan="2" style="width: 10%;">Valori di calcolo</th> </tr> <tr> <th>Permanenti</th> <th>Temporanee</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forza verticale</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>V_k</math> [kN] =</td> <td style="background-color: #ffff00;">745,4</td> <td style="background-color: #ffff00;">969,0 = <math>V_d</math></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo B</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>MB_k</math> [kN·m] =</td> <td style="background-color: #ffff00;">72,3</td> <td style="background-color: #ffff00;">94,0 = <math>MB_d</math></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo L</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>ML_k</math> [kN·m] =</td> <td style="background-color: #ffff00;">290,5</td> <td style="background-color: #ffff00;">377,7 = <math>ML_d</math></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo B</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>HB_k</math> [kN] =</td> <td style="background-color: #ffff00;">40,0</td> <td style="background-color: #ffff00;">92,7 = <math>Hd</math></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo L</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>HL_k</math> [kN] =</td> <td style="background-color: #ffff00;">59,0</td> <td style="background-color: #ffff00;"></td> </tr> </tbody> </table>							Valori caratteristici		Valori di calcolo	Permanenti	Temporanee	Forza verticale	$V_k$ [kN] =	745,4	969,0 = $V_d$	Momento flettente lungo B	$MB_k$ [kN·m] =	72,3	94,0 = $MB_d$	Momento flettente lungo L	$ML_k$ [kN·m] =	290,5	377,7 = $ML_d$	Forza orizzontale lungo B	$HB_k$ [kN] =	40,0	92,7 = $Hd$	Forza orizzontale lungo L	$HL_k$ [kN] =	59,0																																																					
	Valori caratteristici		Valori di calcolo																																																																																
	Permanenti	Temporanee																																																																																	
Forza verticale	$V_k$ [kN] =	745,4	969,0 = $V_d$																																																																																
Momento flettente lungo B	$MB_k$ [kN·m] =	72,3	94,0 = $MB_d$																																																																																
Momento flettente lungo L	$ML_k$ [kN·m] =	290,5	377,7 = $ML_d$																																																																																
Forza orizzontale lungo B	$HB_k$ [kN] =	40,0	92,7 = $Hd$																																																																																
Forza orizzontale lungo L	$HL_k$ [kN] =	59,0																																																																																	
PARAMETRI GEOMETRICI																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Profondità piano di posa della fondazione da p.c.</td> <td><math>D</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">1,5</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Profondità della falda da p.c.</td> <td><math>Z_w</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">20,0</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)</td> <td><math>L</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">4,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Larghezza fondazione</td> <td><math>B</math> (<math>B &lt; L</math>) =</td> <td style="background-color: #ffff00;">3,00</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione base</td> <td><math>\eta</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0</td> <td style="background-color: #ffff00;">°</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione piano campagna</td> <td><math>\beta</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0</td> <td style="background-color: #ffff00;">°</td> </tr> </tbody> </table>						Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D$ =	1,5	m	Profondità della falda da p.c.	$Z_w$ =	20,0	m	Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L$ =	4,00	m	Larghezza fondazione	$B$ ( $B < L$ ) =	3,00	m	Inclinazione base	$\eta$ =	0	°	Inclinazione piano campagna	$\beta$ =	0	°																																																						
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D$ =	1,5	m																																																																																
Profondità della falda da p.c.	$Z_w$ =	20,0	m																																																																																
Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L$ =	4,00	m																																																																																
Larghezza fondazione	$B$ ( $B < L$ ) =	3,00	m																																																																																
Inclinazione base	$\eta$ =	0	°																																																																																
Inclinazione piano campagna	$\beta$ =	0	°																																																																																
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>H=0,5 B tan(45+<math>\sqrt{2}</math>)</td> <td><math>H</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">2,4</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione</td> <td><math>\gamma_e</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">18,0</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>kN/m^3</math></td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione B</td> <td><math>e_B</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,10</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione L</td> <td><math>e_L</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">0,39</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Carico alla base della fondazione</td> <td><math>q</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">27</td> <td style="background-color: #ffff00;"><math>kN/m^2</math></td> </tr> <tr> <td>Lunghezza efficace</td> <td><math>L'</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">3,22</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> <tr> <td>Larghezza efficace</td> <td><math>B'</math> =</td> <td style="background-color: #ffff00;">2,81</td> <td style="background-color: #ffff00;">m</td> </tr> </tbody> </table>						H=0,5 B tan(45+ $\sqrt{2}$ )	$H$ =	2,4	m	Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e$ =	18,0	$kN/m^3$	Eccentricità in direzione B	$e_B$ =	0,10	m	Eccentricità in direzione L	$e_L$ =	0,39	m	Carico alla base della fondazione	$q$ =	27	$kN/m^2$	Lunghezza efficace	$L'$ =	3,22	m	Larghezza efficace	$B'$ =	2,81	m																																																		
H=0,5 B tan(45+ $\sqrt{2}$ )	$H$ =	2,4	m																																																																																
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e$ =	18,0	$kN/m^3$																																																																																
Eccentricità in direzione B	$e_B$ =	0,10	m																																																																																
Eccentricità in direzione L	$e_L$ =	0,39	m																																																																																
Carico alla base della fondazione	$q$ =	27	$kN/m^2$																																																																																
Lunghezza efficace	$L'$ =	3,22	m																																																																																
Larghezza efficace	$B'$ =	2,81	m																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Fattori di capacità portante</td> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;"> </td> <td colspan="2" style="text-align: right; padding: 10px;">Fond.rettangolare</td> </tr> <tr> <td><math>N_z = 22,25</math></td> <td><math>m = 1,57</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>N_q = 11,85</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>N_c = 12,54</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fattori correttivi</td> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;"> </td> <td colspan="2" style="text-align: right; padding: 10px;">Coefficiente di correzione sismici</td> </tr> <tr> <td><math>s_c = 1,46</math></td> <td><math>s_c = 1,42</math></td> <td><math>s_c = 0,65</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>i_c = 0,76</math></td> <td><math>i_c = 0,78</math></td> <td><math>i_c = 0,71</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>b_c = 1,00</math></td> <td><math>b_c = 1,00</math></td> <td><math>b_c = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>g_c = 1,00</math></td> <td><math>g_c = 1,00</math></td> <td><math>g_c = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>d_c = 1,20</math></td> <td><math>d_c = 1,15</math></td> <td><math>d_c = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>z_c = 1,00</math></td> <td><math>z_c = 1,00</math></td> <td><math>z_c = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>k = 0,50</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Fattori di capacità portante				Fond.rettangolare		$N_z = 22,25$	$m = 1,57$					$N_q = 11,85$						$N_c = 12,54$						Fattori correttivi				Coefficiente di correzione sismici		$s_c = 1,46$	$s_c = 1,42$	$s_c = 0,65$				$i_c = 0,76$	$i_c = 0,78$	$i_c = 0,71$				$b_c = 1,00$	$b_c = 1,00$	$b_c = 1,00$				$g_c = 1,00$	$g_c = 1,00$	$g_c = 1,00$				$d_c = 1,20$	$d_c = 1,15$	$d_c = 1,00$				$z_c = 1,00$	$z_c = 1,00$	$z_c = 1,00$				$k = 0,50$											
Fattori di capacità portante				Fond.rettangolare																																																																															
$N_z = 22,25$	$m = 1,57$																																																																																		
$N_q = 11,85$																																																																																			
$N_c = 12,54$																																																																																			
Fattori correttivi				Coefficiente di correzione sismici																																																																															
$s_c = 1,46$	$s_c = 1,42$	$s_c = 0,65$																																																																																	
$i_c = 0,76$	$i_c = 0,78$	$i_c = 0,71$																																																																																	
$b_c = 1,00$	$b_c = 1,00$	$b_c = 1,00$																																																																																	
$g_c = 1,00$	$g_c = 1,00$	$g_c = 1,00$																																																																																	
$d_c = 1,20$	$d_c = 1,15$	$d_c = 1,00$																																																																																	
$z_c = 1,00$	$z_c = 1,00$	$z_c = 1,00$																																																																																	
$k = 0,50$																																																																																			
CALCOLO DELLA $Q_k$ E VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; padding: 10px;"> <math display="block">Q_k = 0,5 \times \gamma \times B \times N_c \times r_f \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + c' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + q' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w</math> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> <math>Q_k</math> (kPa)         </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> <math>Q_d</math> (kPa)         </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> <math>&gt;</math> </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> <math>Q_k</math> (kPa)         </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> <math>OK</math> </td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;">551,4</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">255,0</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">&gt;</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">107,2</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;">OK</td> <td style="text-align: center; padding: 10px;"></td> </tr> </tbody> </table>						$Q_k = 0,5 \times \gamma \times B \times N_c \times r_f \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + c' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + q' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w$						$Q_k$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)	$>$	$Q_k$ (kPa)	$OK$		551,4	255,0	>	107,2	OK																																																													
$Q_k = 0,5 \times \gamma \times B \times N_c \times r_f \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + c' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w + q' \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times Z_w$																																																																																			
$Q_k$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)	$>$	$Q_k$ (kPa)	$OK$																																																																															
551,4	255,0	>	107,2	OK																																																																															

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>92 di 118</b>	

## 7.7.2 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica

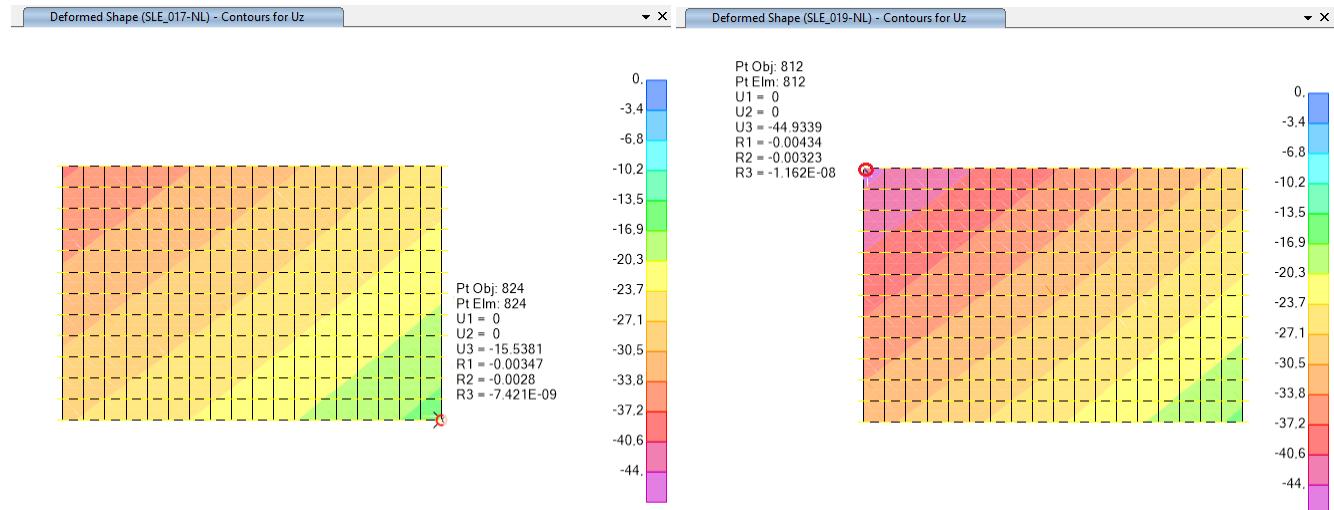
La capacità del complesso fondazione-terreno viene verificata con riferimento allo stato limite ultimo (SLV):

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE					
>> <b>INPUT</b> <b>INTERMEDI</b> <b>OUTPUT</b> <<					
					
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO					
Approcci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni	Proprietà del terreno	γᵣ		
[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80
[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30
[4] Definiti dall'utente	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30
4					
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO					
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{\text{a}} = 18$	18	18	kN/m³	
Peso per unità di volume terreno satturo	$\gamma_{\text{sat}} = 18$	18	18	kN/m³	
Cohesione	$c'_k = 0,0$	0,0	0,0	kN/m²	
Angolo di attrito interno	$\phi'_k = 26,0$	26,0	26,0	°	
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_s = 0,032$	0,032	0,032	Presenza Sisma	
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE E DI CALCOLO AGENTI					
<small>Nota: per fondazioni nostriformi (<math>L=100m</math>) le sollecitazioni sono a metro [kN/m]</small>					
Valori caratteristici	Valori di calcolo				
Permanenti	Temporanee				
Forza verticale $V_k$ [kN/m] = 379,0	379,0	$= V_d$			
Momento flettente lungo B $M_{B,k}$ [kN·m] = 350,2	350,2	$= M_d$			
Momento flettente lungo L $M_{L,k}$ [kN·m] = 99,7	99,7	$= M_d$			
Forza orizzontale lungo B $H_{B,k}$ [kN] = 98,5	98,5	$= H_d$			
Forza orizzontale lungo L $H_{L,k}$ [kN] = 16,1	16,1				
PARAMETRI GEOMETRICI					
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D = 1,0$ m				
Profondità della falda da p.c.	$Z_w = 20,0$ m				
Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre $L=100m$ )	$L = 4,0$ m				Fond.rettangolare
Larghezza fondazione	$B (B < L) = 3,0$ m				
Inclinazione piano campagna	$\beta = 0$	0	0		
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI					
<small><math>H=0,5B\tan(45+\beta/2)</math></small>					
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$H = 2,4$ m				
Eccentricità in direzione B	$\epsilon_B = 18,0$ kN/m³				
Eccentricità in direzione L	$\epsilon_L = 0,92$ m				
Carico alla base della fondazione	$e_i = 0,26$ m				
Lunghezza efficace	$q = 21$ kN/m²				
largahezza efficace	$L' = 3,47$ m				
largahezza efficace	$B' = 1,15$ m				
Fattori di capacità portante	$N_n = 22,25$ $N_u = 11,85$ $N_c = 12,54$		$m = 1,57$ 		
Fattori correttivi	$s_s = 1,18$ $i_s = 0,45$ $b_s = 1,00$ $g_s = 1,00$ $d_s = 1,20$ $z_s = 0,99$ $k = 0,50$		$s_q = 1,16$ $i_q = 0,49$ $b_q = 1,00$ $g_q = 1,00$ $d_q = 1,15$ $z_q = 0,98$ $r = 0,96$		
$\gamma_r = (2H - d_s) \frac{d_s}{H^2} \gamma_{\text{sat}} + \frac{\gamma'}{H^2} (H - d_s)^2$ <span style="color: red; font-size: small;">Coefficiente di correzione sismici</span>					
CALCOLO DELLA Q₄ E VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE					
$Q_k = 0,5 \gamma' B N_u \times r_s \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s + c' \times N_u \times s_s \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s + q' \times N_u \times s_s \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s$					
<b>Q₄ (kPa)</b> <b>244,8</b>	<b>Q₄ (kPa)</b> <b>121,7</b>	<b>&gt;</b>	<b>Q₀ (kPa)</b> <b>94,7</b>	<b>OK</b>	

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
	B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A	93 di 118	

### 7.7.3 Verifica di stabilità

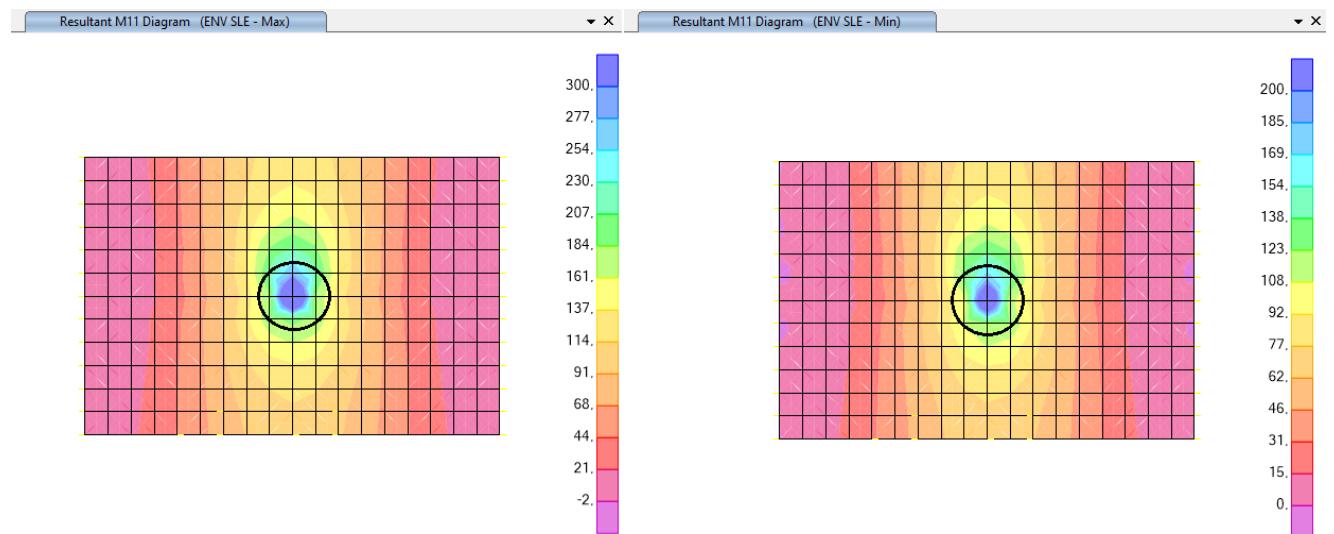
Di seguito si riportano le verifiche di stabilità per le combinazioni più sfavorevoli:



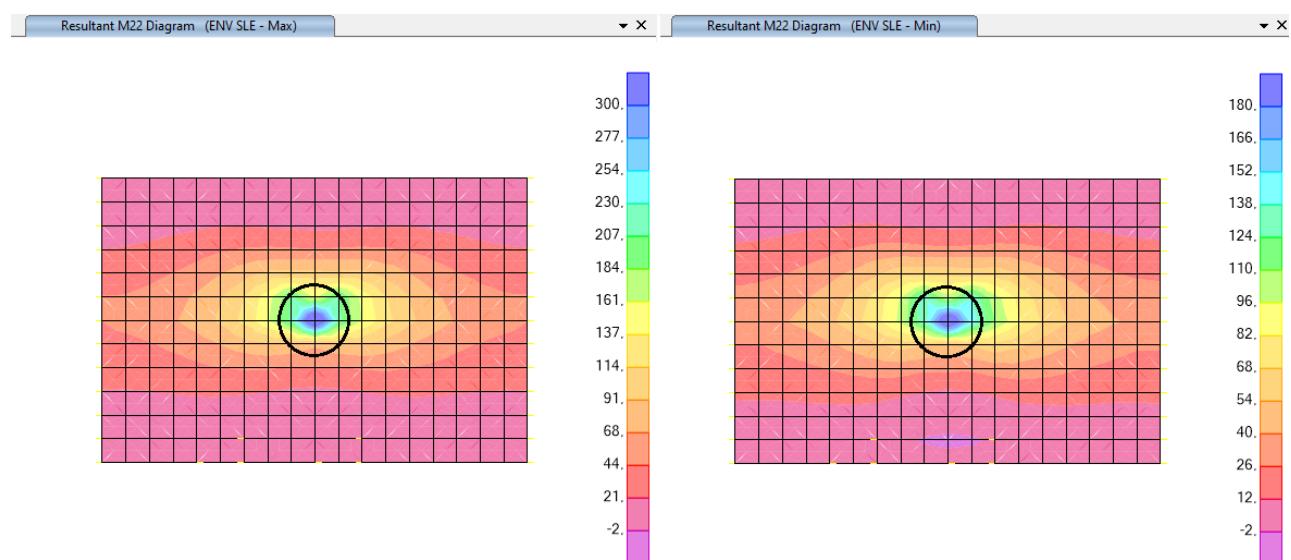
La fondazione è stabile con un'area di compressione del 100%.

### 7.7.4 Verifica strutturale per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

Viene svolta la verifica di resistenza a flessione:



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>							
<b>7.0 Opere Civili</b>		<b>COMMESSE</b> <b>LOTTO</b> <b>CODIFICA</b> <b>DOCUMENTO</b> <b>REV.</b> <b>B23D</b> <b>00 D 00</b> <b>RH</b> <b>FVD000 001</b> <b>A</b> <b>FOGLIO</b> <b>Relazione di calcolo strutturale</b>								



**Figura 7.4 Momenti M11 y M22 – ENV SLE [kN-m]**

Dati:

Dimensione = sp.50cm

Armadura inf =  $\phi 28 @ 20 \text{ cm}$

Armadura sup =  $\phi 28 @ 20\text{cm}$

Med=  $244 \text{ kN} \cdot \text{m} \times 1,5 = 366 \text{ kN-m}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fund\_02

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :**

**N° figure elementari**  **Zoom**    **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	30,79	7,4
2	30,79	42,6

**Tipo Sezione**

- Rettangolare
- Trapezio
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF

**Sollecitazioni**

**S.L.U.**    **Metodo n**

<b>N<sub>Ed</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>M<sub>xEd</sub></b> <input type="text" value="366"/>	<b>M<sub>yEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>
<b>M<sub>xEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>N<sub>Ed</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>M<sub>yEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>

**Punto applicazione N**

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm] **xN**  **yN**

**Tipo rottura** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**

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

**Materiali**

B450C	C32/40
<b>ε<sub>su</sub></b> <input type="text" value="67,5"/>	<b>ε<sub>c2</sub></b> <input type="text" value="2"/>
<b>f<sub>yd</sub></b> <input type="text" value="391,3"/>	<b>ε<sub>cu</sub></b> <input type="text" value="3,5"/>
<b>E<sub>s</sub></b> <input type="text" value="200.000"/>	<b>f<sub>cd</sub></b> <input type="text" value="18,01"/>
<b>E<sub>s</sub> / E<sub>c</sub></b> <input type="text" value="15"/>	<b>f<sub>cc</sub> / f<sub>cd</sub></b> <input type="text" value="0,8"/>
<b>ε<sub>syd</sub></b> <input type="text" value="1,957"/>	<b>σ<sub>c,adm</sub></b> <input type="text" value="12,25"/>
<b>σ<sub>s,adm</sub></b> <input type="text" value="255"/>	<b>t<sub>co</sub></b> <input type="text" value="0,7333"/>
	<b>t<sub>c1</sub></b> <input type="text" value="2,114"/>

**M<sub>xRd</sub>**  kN m

**σ<sub>c</sub>**  N/mm<sup>2</sup>

**σ<sub>s</sub>**  N/mm<sup>2</sup>

**ε<sub>c</sub>**  %

**ε<sub>s</sub>**  %

**d**  cm

**x**  x/d

**δ**

**Calcola MRd**  **Dominio M-N**   
**L<sub>0</sub>**  cm **Col. modello**   
**M-curvatura**   
**Precompresso**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>
							FOGLIO <b>95 di 118</b>

La verifica risulta soddisfatta.

#### VERIFICA AL PUNZONAMENTO DELLA FONDAZIONE

$$V_{Ed} := 1241.7 \text{ kN} \quad \text{armatura in entrambe le direzioni:}$$

$$f_{ck} := 33.20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$As_{\text{prop}} = \phi 28/20$$

$$\phi := 28 \text{ mm}$$

$$f_{cd} := 18.81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$esp := 20 \text{ cm} \quad A_s := \pi \cdot \frac{\phi}{4}^2 = 6.16 \text{ cm}^2$$

Area caricata:

$$b := 80 \text{ cm} \quad l := 400 \text{ cm}$$

$$d := 43.6 \text{ cm} \quad \text{altezza utile}$$

$$\mu_1 := 1308.8 \text{ m}$$

$$\beta := 1.15$$

$$v := 0.5$$

$$V_{Rd,\max} := 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4702.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$V_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{\mu_1 \cdot d} = 250.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{if}(V_{Rd,\max} > V_{Ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$$

$$k := \min \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{\frac{d}{\text{cm}}}}, 2 \right) = 2$$

$$\rho_x := \frac{A_s}{esp \cdot d} = 0.00706 \quad \rho_y := \frac{A_s}{esp \cdot d} = 0.00706$$

$$\rho_1 := \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = 0.00706$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>96 di 118</b>

$$V_{Rd,c} := C_{Rd,c} \cdot k \cdot \frac{N}{mm^2} \left( 100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\frac{N}{mm^2}} \right)^{\frac{1}{3}} = 686.9 \frac{kN}{m^2}$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{N}{mm^2} \left( \frac{f_{ck}}{\frac{N}{mm^2}} \right)^{\frac{1}{2}} = 320.128 \frac{kN}{m^2}$$

if  $(V_{Rd,c} > V_{Ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$

## 7.8 Verifiche Fondazioni tipo 3

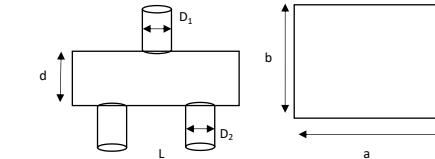
### 7.8.1 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione statica

Si riporta la verifica della capacità portante ai carichi assiali dei pali di 0.30m di diametro e lunghezza pari a 15m:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>97 di 118</b>

**SCHEMA DELLA PALIFICATA DI FONDAZIONE**

D <sub>1</sub>	<b>0,70</b>	m
D <sub>2</sub>	<b>0,30</b>	m
L	<b>1,35</b>	m
d	<b>0,30</b>	m
a	<b>2,10</b>	m
b	<b>4,80</b>	m
θ	<b>17,45</b>	°
n	<b>8</b>	



**Geometria palificata rispetto al baricentro palificata**

N°	X (m)	Y (m)	D <sub>1</sub> (m)	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> X <sub>1</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	A <sub>1</sub> Y <sub>1</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
1	-0,68	2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
2	-0,68	0,675	0,45	0,159	0,072	0,072
3	0,675	-0,68	0,45	0,159	0,072	0,072
4	-0,68	-2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
5	0,675	2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
6	0,675	0,675	0,45	0,159	0,072	0,072
7	0,675	-0,68	0,45	0,159	0,072	0,072
8	0,675	-2,03	0,45	0,159	0,072	0,655

**CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI**

**Sollecitazioni dalla colonna per combinazione di carico**

(Azioni applicate nel baricentro della palificata)

N°	Combinazione	Tipo	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	A1+M1+R3	LU_01	0,24	107,8	-642	-188	0,481
2	A1+M1+R3	LU_01	-7,54	90,01	-546	-157	-524
3	A1+M1+R3	LU_00	0,21	114,4	-598	-211	0,514

Legenda

- Fx = Azione orizzontale lungo X
- Fy = Azione orizzontale lungo Y
- Fz = Azione verticale lungo Z (positiva se di trazione)
- Mx = Momento flettente attorno all'asse X
- My = Momento flettente attorno all'asse Y

**Sollecitazioni plinto e terreno ritombamento**

(Azioni applicate nel baricentro della palificata)

Peso plinto	75,6 kN	yg1	1,3
Peso terreno ritombamento	254 kN	yg1	1,3

**Azioni sui pali per combinazione di carico più gravosa**

N°	N (kN)	Vx (kN)	Vy (kN)
1	-155	0,06	26,94
2	-141	0,06	26,94
3	-127	0,06	26,94
4	-113	0,06	26,94
5	-155	0,06	26,94
6	-141	0,06	26,94
7	-127	0,06	26,94
8	-113	0,06	26,94

**PARAMETRI GEOTECNICI**

**Stratigrafia di calcolo con parametri geotecnici ridotti dei coefficienti ygM**

N°	Unita Geot.	Descrizione	γ	ϕ	Zf	c'
2	B	Limi argilloso-sabbioso	18	26	1	12

**CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE**

**Coefficienti parziali di sicurezza per resistenze**

Resistenza	Simbolo	Pali Trivellati
γR	(R3)	
Base	γb	1,35
Laterale in comp	γs	1,15
Laterale in trazione	γst	1,25

**Fattori di corr. ξ per il calcolo resistenza caratt. in funzione # verticali indagate**

n	1	2	3	4	5	7	≥10
f3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
f4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Valore scelto di ξ **1,70**

**Calcolo della resistenza laterale del palo**

**METODO DI BURLAND**

$$Q_s = A_{lat} * P_{ef} * K * f_w * \tan \delta$$

402,7 kN

**Calcolo della resistenza di base del palo**

**METODO DI BEREZANTEV**

$$Q_b = A_{base} * P_{ef} * N_q$$

0 kN

**Calcolo della resistenza caratteristica**

$$Q_{Ra} = \frac{1}{\xi} \left( \frac{Q_s}{R_i^2} + \frac{Q_b}{R_i^b} \right) - W_k$$

173,8 kN

> 154,7

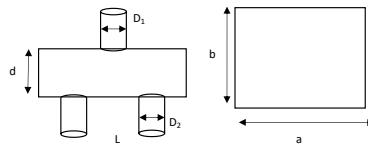
Verifica soddisfatta

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A
							FOGLIO 98 di 118

## 7.8.2 Verifica della capacità portante a carichi assiali (SLU-GEO) condizione sismica

SCHEMA DELLA PALIFATA DI FONDAMENTO

D <sub>1</sub>	0,70	m
D <sub>2</sub>	0,30	m
L	1,35	m
d	0,30	m
a	2,10	m
b	4,80	m
θ	17,45	°
n	8	



Geometria palifata rispetto al baricentro palificata

N°	X <sub>i</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	D <sub>i</sub> (m)	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>i</sub> X <sub>i</sub> <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )	A <sub>i</sub> Y <sub>i</sub> <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )
1	-0,68	2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
2	-0,68	0,675	0,45	0,159	0,072	0,072
3	0,675	-0,68	0,45	0,159	0,072	0,072
4	-0,68	-2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
5	0,675	2,03	0,45	0,159	0,072	0,655
6	0,675	0,675	0,45	0,159	0,072	0,072
7	0,675	-0,68	0,45	0,159	0,072	0,072
8	0,675	-2,03	0,45	0,159	0,072	0,655

### CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

#### Sollecitazioni dalla colonna per combinazione di carico

(Azioni applicate nel baricentro della palificata)

N°	Combinazione	Tipo	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)
1	A1+M1+R3	CENTR	-16,4	-88,7	-310	-366	-91
2							
3							

Legenda

F<sub>x</sub> = Azione orizzontale lungo X

F<sub>y</sub> = Azione orizzontale lungo Y

F<sub>z</sub> = Azione verticale lungo Z (positiva se di trazione)

M<sub>x</sub> = Momento flettente attorno all'asse X

M<sub>y</sub> = Momento flettente attorno all'asse Y

#### Sollecitazioni pilone e terreno ritombamento

(Azioni applicate nel baricentro della palificata)

Peso pilone	75,6 kN	vg1	1,0
Peso terreno ritombamento	254 kN	vg1	1,0

#### Azioni sui pali per combinazione di carico più gravosa

N°	N (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)
1	-137	-4,09	-22,2
2	-110	-4,09	-22,2
3	-49,6	-4,09	-22,2
4	-56,2	-4,09	-22,2
5	-104	-4,09	-22,2
6	-76,6	-4,09	-22,2
7	-49,6	-4,09	-22,2
8	-22,5	-4,09	-22,2

PARAMETRI GEOTECNICI

#### Stratigrafia di calcolo con parametri geotecnici ridotti dei coefficienti yM

N°	Unità Geot.	Descrizione	γ	ϕ	Z <sub>i</sub>	Z <sub>f</sub>	c'
2	B	Limì argilloso-sabbioso	18	26	1	12	0

### CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE

#### Coefficienti parziali di sicurezza per resistenze

Resistenza	Simbolo	Pali Trivellati
	yR (R3)	
Base	y <sub>b</sub>	1,35
Laterale in comp	y <sub>s</sub>	1,15
Laterale in trazione	y <sub>st</sub>	1,25

#### Fattori di corr. ξ per il calcolo resistenza caratt. in funzione # verticali indagate

n	1	2	3	4	5	7	≥10
f3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
f4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Valore scelto di ξ

1,70

#### Calcolo della resistenza laterale del palo

##### METODO DI BURLAND

$$Q_s = A_{lat} * P_{ef} * K * f_w * \tan\delta$$

402,7 kN

#### Calcolo della resistenza di base del palo

##### METODO DI BEREZANTEV

$$Q_b = A_{base} * P_{ef} * N_q$$

0 kN

#### Calcolo della resistenza caratteristica

$$Q_{rd} = \frac{1}{ξ} \left( \frac{Q_s}{R_i^2} + \frac{Q_b}{R_i^b} \right) - W_k$$

173,8 kN > 137,3  
Verifica soddisfatta

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSE</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>99 di 118</b>

### 7.8.3 Verifica della capacità portante a carichi trasversali (SLU-GEO)

Si riporta la verifica della capacità portante ai carichi trasversali dei pali di 0.45m di diametro e lunghezza pari a 12m:

TEORIA DI BASE  
(Broms, 1964)

H	carico limite orizzontale	-22,18 kN
L	lunghezza del palo	15 m
D	diametro del palo	0,45 m
M <sub>y</sub>	momento di plasticizzazione della sezione	284,4 kN m
F <sub>s</sub>	coefficiente di sicurezza	2,21
φ'	angolo di attrito del terreno	26 °
k <sub>p</sub>	coefficiente di spinta passiva	2,56
γ	peso unità di volume del terreno	18 kN/m <sup>3</sup>

Palo corto

$$H_1 = 1,5 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Palo intermedio

$$H_2 = 0,5 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo

$$H_3 = k_p \cdot \gamma \cdot d^3 \cdot \sqrt{\left(3,676 \cdot \frac{M_y}{k_p \cdot \gamma \cdot d^4}\right)^2}$$

CALCOU

H1	6998,4 kN	3166,7
----	-----------	--------

Palo intermedio

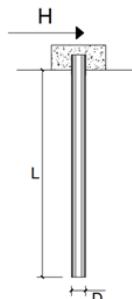
H2	2351,76 kN	1064,14
----	------------	---------

Palo lungo

H3	282,99 kN	128,05
----	-----------	--------

$$R_{tr,d} = \frac{\min(H_1; H_2; H_3)}{\gamma_T \cdot \xi} = 128,05 \text{ kN}$$

Verifica soddisfatta



n	1	2	3	4	5	7	10
ξ3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Resistenza Caratteristica R		R1	R2	R3
Resistenza Laterale		1,00		1,60

ξ	1,70
R	1,30

### 7.8.4 Verifica strutturale dei micropali per sollecitazioni assiali, flessionali e di taglio (SLU-STR)

La verifica strutturale del micropalo condotta a partire dalla combinazione più gravosa delle sollecitazioni ottenute in testa al palo.

La sezione risulta armata con un tubo di 168.3mm di diametro esterno e uno spessore di 4.5mm.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>100 di 118</b>

### VERIFICHE STRUTTURALI S.L.U.

#### Sollecitazioni

Sforzo Normale di calcolo	$N_{sd}$	[kN]	155,0
Momento di calcolo	$M_{sd}$	[kNm]	0,0
Taglio di calcolo	$V_{sd}$	[kN]	27,0

#### Definizione classe

$f_y$	275	[N/mm <sup>2</sup> ]	Limite Classe1	42,73
$\varepsilon$	0,924	-	Limite Classe2	59,82
d/t	37,4	-	Limite Classe3	76,91

Classe di appartenenza del profilato utilizzato

1

#### Coefficienti di calcolo

resist.sez.trasv.classi 1,2,3	$\gamma_M$	-	1,05
-------------------------------	------------	---	------

#### Verifica compressione

Resist. plastica sezione linda	$N_{pl,Rd}$	[kN]	607,6
Resist.compress. di progetto	$N_{c,Rd}$	[kN]	607,6
$N_{sd}$	<	$N_{N,Rd}$	Sezione Verificata

#### Verifica taglio

Area resistente a taglio	$A_V$	[mm <sup>2</sup> ]	1477,0
Resist. a taglio di progetto	$V_{pl,Rd}$	[kN]	223,3
$V_{sd}$	<	$V_{pl,Rd}$	Sezione Verificata
$V_{sd}$	<	$V_{pl,Rd}/2$	1-p [-] 1

#### Verifica flessione

Momento Statico	$S_x$	[mm <sup>3</sup> ]	60383,7
Modulo resistente plastico	$W_{pl}$	[mm <sup>3</sup> ]	120767
Modulo resistente plastico	n	-	0,255
Mom. plastico resist. max	$M_{pl,Rd}$	[kNm]	31,6295
Mom. resist. max	$M_{N,R}$	[kNm]	29,6698
Mom. resist. max di progetto	$M_{N,Rd}$	[kNm]	29,6698
$M_{sd}$	<	$M_{N,Rd}$	Sezione Verificata

La verifica risulta soddisfatta.

#### 7.8.5      Verifica strutturale del plinto per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

La verifica strutturale del plinto viene condotta a partire dalla combinazione più gravosa delle sollecitazioni trasmesse dalla colonna. A favore di sicurezza, non si è tenuto in conto le sollecitazioni equilibranti della spinta del terreno.

Per il dimensionamento strutturale della fondazione si rimanda alla fondazione tipo 2, essendo quest'ultima più sollecitata della fondazione tipo 3. Per tanto si assume:

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>		COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      101 di 118				

Dimensione = sp.60cm

Armadura inf =  $\phi 28 @ 20 \text{ cm}$

Armadura sup =  $\phi 28 @ 20\text{cm}$

Med=  $244 \text{ kN} \cdot \text{m} \times 1,5 = 366 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :** [ ]

N° strati barre [2] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	30,79	7,4
2	30,79	52,6

**Sollecitazioni**

S.L.U. → Metodo n

N Ed [0]	[0] kN
M xEd [366]	[0] kNm
M yEd [0]	[0]

P.tto applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN [0] yN [0]

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C	C32/40
$\varepsilon_{su}$ 67,5 %	$\varepsilon_{c2}$ 2 %
$f_yd$ 391,3 N/mm²	$\varepsilon_{cu}$ 3,5
$E_s$ 200.000 N/mm²	$f_{cd}$ 18,81
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0,8
$\varepsilon_{syd}$ 1,957 %	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0,7333
	$\tau_{c1}$ 2,114

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

**Calcoli**

M xRd [593,6] kNm

$\sigma_c$  [-18,81] N/mm²

$\sigma_s$  [391,3] N/mm²

$\varepsilon_c$  3,5 %

$\varepsilon_s$  20,8 %

d 52,6 cm

x 7,576 x/d 0,144

$\delta$  0,7

L<sub>0</sub> [0] cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

La verifica risulta soddisfatta.

## 8. FONDAZIONI – DEPOSITO VIA PER LEVATE

### 8.1 Introduzione

La fondazione proposta corrisponde ad una fondazione di tipo superficiale, costituita da plinti di 1.5mx1.5m.0.5m che vengono uniti tramite travi di collegamento di sezione 0.65mx0.60m.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO -PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>102 di 118</b>

## 8.2 Verifiche geotecniche

Viene svolto il dimensionamento e la verifica delle fondazioni con il metodo degli stati limite. Vengono considerati i valori geotecnici del terreno indicati dalla relazione geologica sopra indicata:

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 26^\circ$$

$$k_w = 0.032 \text{ ( } \underline{\text{https://geoapp.eu/parametrismici2018/}}$$

Per il calcolo del Qlim viene utilizzata la formula di Terzaghi-Vesic. La verifica per il dimensionamento della fondazione viene svolta con l'Approccio n. 2 indicato dalle NTC2008 al cap. 6. Vengono pertanto utilizzati i coefficienti:

$$A1+M1+R3$$

I coefficienti amplificativi dei carichi risultano:

$$\text{Carichi propri: } \gamma = 1,3$$

$$\text{Carichi permanenti: } \gamma = 1,5$$

$$\text{Carichi variabili: } \gamma = 1,5$$

Il coefficiente di sicurezza da adottare risulta:

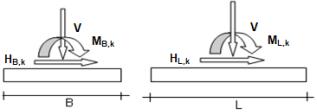
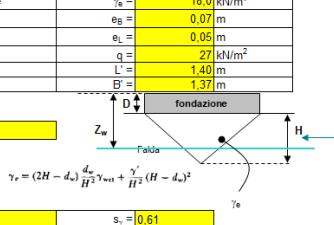
$$R_3 = 2,3$$

Viene svolto il calcolo del Qlimite:

### 8.2.1 Verifica della capacità portante (SLU-GEO) condizione statica

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>
			FOGLIO	103 di 118			

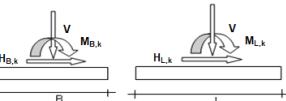
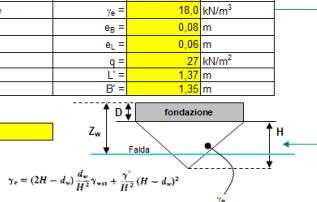
La capacità del complesso fondazione-terreno viene verificata con riferimento allo stato limite di equilibrio.

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE																																															
>> INPUT      INTERMEDI      OUTPUT <<																																															
																																															
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Appross per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU</th> <th colspan="2">Azioni</th> <th colspan="2">Proprietà del terreno</th> <th rowspan="2"><math>\gamma_R</math></th> </tr> <tr> <th>Permanent</th> <th>Temporanee Variabili</th> <th><math>\tan \phi'</math></th> <th><math>c'</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[1] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td>1,30</td> <td>1,50</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>[2] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td>1,00</td> <td>1,30</td> <td>1,25</td> <td>1,25</td> <td>1,80</td> </tr> <tr> <td>[3] Stato limite ultimo - Approssio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1</td> <td>1,30</td> <td>1,50</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>2,30</td> </tr> <tr> <td>[4] Definiti dall'utente</td> <td>1,30</td> <td>1,50</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,80</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ffffcc;">3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Appross per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		$\gamma_R$	Permanent	Temporanee Variabili	$\tan \phi'$	$c'$	[1] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	[2] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	[3] Stato limite ultimo - Approssio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	[4] Definiti dall'utente	1,30	1,50	1,00	1,00	1,80	3							
Appross per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		$\gamma_R$																																										
	Permanent	Temporanee Variabili	$\tan \phi'$	$c'$																																											
[1] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00																																										
[2] Stato limite ultimo - Approssio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 §6.4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80																																										
[3] Stato limite ultimo - Approssio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 §6.4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30																																										
[4] Definiti dall'utente	1,30	1,50	1,00	1,00	1,80																																										
3																																															
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno umido (apparente)</td> <td><math>\gamma_{wet} =</math></td> <td>18</td> <td>18</td> <td><math>kN/m^3</math></td> </tr> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno sastro</td> <td><math>\gamma_{sat} =</math></td> <td>18</td> <td>18</td> <td><math>kN/m^3</math></td> </tr> <tr> <td>Coesione</td> <td><math>c_k =</math></td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> <td><math>kN/m^2</math></td> </tr> <tr> <td>Angolo di attrito interno</td> <td><math>\phi'_k =</math></td> <td>26,0</td> <td>26,0</td> <td><math>^{\circ}</math></td> </tr> <tr> <td>Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)</td> <td><math>k_h =</math></td> <td>0,000</td> <td>0,000</td> <td><i>Assenza sisma</i></td> </tr> </tbody> </table>						Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet} =$	18	18	$kN/m^3$	Peso per unità di volume terreno sastro	$\gamma_{sat} =$	18	18	$kN/m^3$	Coesione	$c_k =$	0,0	0,0	$kN/m^2$	Angolo di attrito interno	$\phi'_k =$	26,0	26,0	$^{\circ}$	Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_h =$	0,000	0,000	<i>Assenza sisma</i>																	
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet} =$	18	18	$kN/m^3$																																											
Peso per unità di volume terreno sastro	$\gamma_{sat} =$	18	18	$kN/m^3$																																											
Coesione	$c_k =$	0,0	0,0	$kN/m^2$																																											
Angolo di attrito interno	$\phi'_k =$	26,0	26,0	$^{\circ}$																																											
Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_h =$	0,000	0,000	<i>Assenza sisma</i>																																											
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE E DI CALCOLO AGENTI																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nota per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]</th> <th colspan="2">Valori caratteristici</th> <th colspan="2">Valori di calcolo</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Permanent</th> <th>Temporanee</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forza verticale</td> <td><math>V_k [kN] =</math></td> <td>225,8</td> <td>293,5</td> <td><math>= V_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo B</td> <td><math>MB_k [kN\cdot m] =</math></td> <td>15,1</td> <td>19,7</td> <td><math>= MB_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo L</td> <td><math>ML_k [kN\cdot m] =</math></td> <td>11,1</td> <td>14,5</td> <td><math>= ML_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo B</td> <td><math>HB_k [kN] =</math></td> <td>6,9</td> <td>10,2</td> <td><math>= Hd</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo L</td> <td><math>HL_k [kN] =</math></td> <td>3,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Nota per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]	Valori caratteristici		Valori di calcolo			Permanent	Temporanee			Forza verticale	$V_k [kN] =$	225,8	293,5	$= V_d$		Momento flettente lungo B	$MB_k [kN\cdot m] =$	15,1	19,7	$= MB_d$		Momento flettente lungo L	$ML_k [kN\cdot m] =$	11,1	14,5	$= ML_d$		Forza orizzontale lungo B	$HB_k [kN] =$	6,9	10,2	$= Hd$		Forza orizzontale lungo L	$HL_k [kN] =$	3,8					
Nota per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]	Valori caratteristici		Valori di calcolo																																												
	Permanent	Temporanee																																													
Forza verticale	$V_k [kN] =$	225,8	293,5	$= V_d$																																											
Momento flettente lungo B	$MB_k [kN\cdot m] =$	15,1	19,7	$= MB_d$																																											
Momento flettente lungo L	$ML_k [kN\cdot m] =$	11,1	14,5	$= ML_d$																																											
Forza orizzontale lungo B	$HB_k [kN] =$	6,9	10,2	$= Hd$																																											
Forza orizzontale lungo L	$HL_k [kN] =$	3,8																																													
PARAMETRI GEOMETRICI																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Profondità piano di posa della fondazione da p.c.</td> <td><math>D =</math></td> <td>1,5 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Profondità della falda da p.c.</td> <td><math>Z_w =</math></td> <td>20,0 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)</td> <td><math>L =</math></td> <td>1,50 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Larghezza fondazione</td> <td><math>B (B &lt; L) =</math></td> <td>1,50 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inclinazione base</td> <td><math>\eta =</math></td> <td>0 <math>^{\circ}</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inclinazione piano campagna</td> <td><math>\beta =</math></td> <td>0 <math>^{\circ}</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D =$	1,5 m				Profondità della falda da p.c.	$Z_w =$	20,0 m				Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L =$	1,50 m				Larghezza fondazione	$B (B < L) =$	1,50 m				Inclinazione base	$\eta =$	0 $^{\circ}$				Inclinazione piano campagna	$\beta =$	0 $^{\circ}$									
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D =$	1,5 m																																													
Profondità della falda da p.c.	$Z_w =$	20,0 m																																													
Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L =$	1,50 m																																													
Larghezza fondazione	$B (B < L) =$	1,50 m																																													
Inclinazione base	$\eta =$	0 $^{\circ}$																																													
Inclinazione piano campagna	$\beta =$	0 $^{\circ}$																																													
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td><math>H=0,5 B \tan(45+\eta/2)</math></td> <td><math>H =</math></td> <td>1,2 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione</td> <td><math>\gamma_e =</math></td> <td>18,0 <math>kN/m^3</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione B</td> <td><math>e_B =</math></td> <td>0,07 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione L</td> <td><math>e_L =</math></td> <td>0,05 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carico alla base della fondazione</td> <td><math>q =</math></td> <td>27 <math>kN/m^2</math></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lunghezza efficace</td> <td><math>L_e =</math></td> <td>1,40 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Larghezza efficace</td> <td><math>B_e =</math></td> <td>1,37 m</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						$H=0,5 B \tan(45+\eta/2)$	$H =$	1,2 m				Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e =$	18,0 $kN/m^3$				Eccentricità in direzione B	$e_B =$	0,07 m				Eccentricità in direzione L	$e_L =$	0,05 m				Carico alla base della fondazione	$q =$	27 $kN/m^2$				Lunghezza efficace	$L_e =$	1,40 m				Larghezza efficace	$B_e =$	1,37 m			
$H=0,5 B \tan(45+\eta/2)$	$H =$	1,2 m																																													
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma_e =$	18,0 $kN/m^3$																																													
Eccentricità in direzione B	$e_B =$	0,07 m																																													
Eccentricità in direzione L	$e_L =$	0,05 m																																													
Carico alla base della fondazione	$q =$	27 $kN/m^2$																																													
Lunghezza efficace	$L_e =$	1,40 m																																													
Larghezza efficace	$B_e =$	1,37 m																																													
																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Fattori di capacità portante</th> </tr> <tr> <td><math>N_c = 22,25</math></td> <td><math>m = 1,50</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>N_q = 11,85</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>N_u = 12,54</math></td> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>Z_w = 20,00</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>d_w = 1,50</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>d_s = 1,20</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>d_a = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>z_a = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>k = 1,00</math></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Fattori di capacità portante			$N_c = 22,25$	$m = 1,50$		$N_q = 11,85$			$N_u = 12,54$			$Z_w = 20,00$			$d_w = 1,50$			$d_s = 1,20$			$d_a = 1,00$			$z_a = 1,00$			$k = 1,00$														
Fattori di capacità portante																																															
$N_c = 22,25$	$m = 1,50$																																														
$N_q = 11,85$																																															
$N_u = 12,54$																																															
$Z_w = 20,00$																																															
$d_w = 1,50$																																															
$d_s = 1,20$																																															
$d_a = 1,00$																																															
$z_a = 1,00$																																															
$k = 1,00$																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Fattori correttivi</th> </tr> <tr> <td><math>s_q = 1,52</math></td> <td><math>s_u = 1,48</math></td> <td><math>s_c = 0,61</math></td> </tr> <tr> <td><math>i_c = 0,91</math></td> <td><math>i_q = 0,92</math></td> <td><math>i_u = 0,88</math></td> </tr> <tr> <td><math>b_c = 1,00</math></td> <td><math>b_u = 1,00</math></td> <td><math>b_c = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>g_c = 1,00</math></td> <td><math>g_u = 1,00</math></td> <td><math>g_c = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>d_c = 1,40</math></td> <td><math>d_u = 1,31</math></td> <td><math>d_c = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>z_c = 1,00</math></td> <td><math>z_u = 1,00</math></td> <td><math>z_c = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>k = 1,00</math></td> <td></td> <td><math>t_c = 1,03</math></td> </tr> </thead> </table>						Fattori correttivi			$s_q = 1,52$	$s_u = 1,48$	$s_c = 0,61$	$i_c = 0,91$	$i_q = 0,92$	$i_u = 0,88$	$b_c = 1,00$	$b_u = 1,00$	$b_c = 1,00$	$g_c = 1,00$	$g_u = 1,00$	$g_c = 1,00$	$d_c = 1,40$	$d_u = 1,31$	$d_c = 1,00$	$z_c = 1,00$	$z_u = 1,00$	$z_c = 1,00$	$k = 1,00$		$t_c = 1,03$																		
Fattori correttivi																																															
$s_q = 1,52$	$s_u = 1,48$	$s_c = 0,61$																																													
$i_c = 0,91$	$i_q = 0,92$	$i_u = 0,88$																																													
$b_c = 1,00$	$b_u = 1,00$	$b_c = 1,00$																																													
$g_c = 1,00$	$g_u = 1,00$	$g_c = 1,00$																																													
$d_c = 1,40$	$d_u = 1,31$	$d_c = 1,00$																																													
$z_c = 1,00$	$z_u = 1,00$	$z_c = 1,00$																																													
$k = 1,00$		$t_c = 1,03$																																													
<b>CALCOLO DELLA <math>Q_k</math> E VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE</b>																																															
$Q_k = 0,5 \times \gamma \times B \times N_c \times r_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c \times z_c + c' \times N_u \times s_u \times d_u \times i_u \times b_u \times g_u \times z_u + q' \times N_u \times s_u \times d_u \times i_u \times b_u \times g_u \times z_u$																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><math>Q_k</math> (kPa)</th> <th><math>Q_d</math> (kPa)</th> <th></th> <th><math>Q_b</math> (kPa)</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>651,1</td> <td>298,4</td> <td>&gt;</td> <td>153,3</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						$Q_k$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)		$Q_b$ (kPa)			651,1	298,4	>	153,3	OK																															
$Q_k$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)		$Q_b$ (kPa)																																												
651,1	298,4	>	153,3	OK																																											

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESMA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>104 di 118</b>

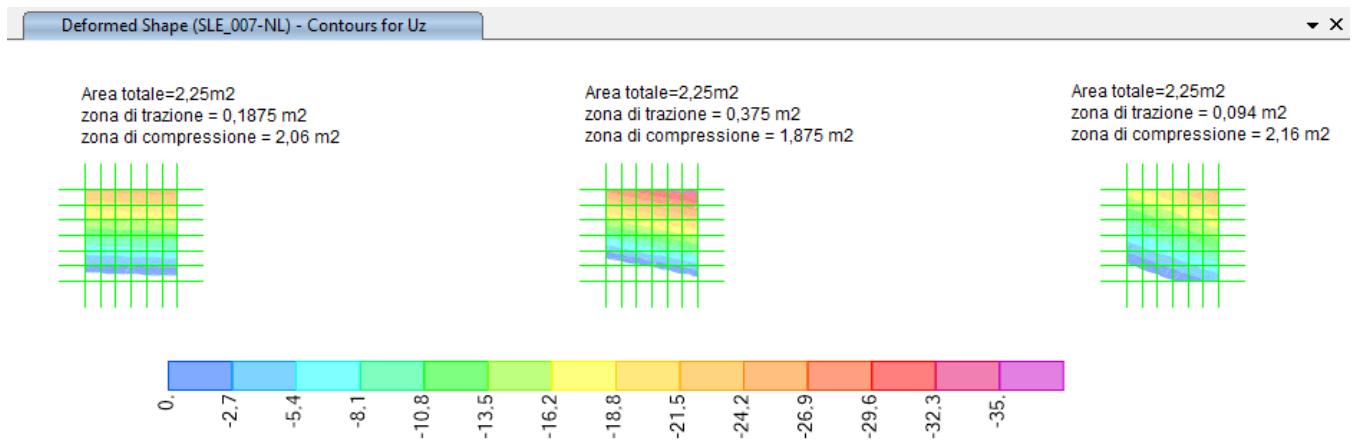
## 8.2.1 Verifica della capacità portante (SLU-GEO) condizione sismica

La capacità del complesso fondazione-terreno viene verificata con riferimento allo stato limite ultimo (SLV):

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI (BRINCH-HANSEN et al, 1970) TERRENI NON COESIVI - CONDIZIONI DRENATE																																													
<b>&gt;&gt; INPUT    INTERMEDI    OUTPUT &lt;&lt;</b>																																													
																																													
COEFFICIENTI PARZIALI PER ANALISI ALLO STATO LIMITE ULTIMO																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Approci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU</th> <th colspan="2">Azioni</th> <th colspan="2">Proprietà del terreno</th> <th rowspan="2">TR</th> </tr> <tr> <th>Permanenti</th> <th>Temporanee</th> <th><math>\tan \phi'</math></th> <th><math>c'</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 § 4.2.1</td> <td>1,30</td> <td>1,50</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 § 4.2.1</td> <td>1,00</td> <td>1,30</td> <td>1,25</td> <td>1,25</td> <td>1,80</td> </tr> <tr> <td>[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 § 4.2.1</td> <td>1,30</td> <td>1,50</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>2,30</td> </tr> <tr> <td>[4] Definiti dall'utente</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>2,30</td> </tr> </tbody> </table>						Approci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		TR	Permanenti	Temporanee	$\tan \phi'$	$c'$	[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 § 4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 § 4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 § 4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	[4] Definiti dall'utente	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30						
Approci per l'applicazione dei coeff.parziali allo SLU	Azioni		Proprietà del terreno		TR																																								
	Permanenti	Temporanee	$\tan \phi'$	$c'$																																									
[1] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1) - DM2018 § 4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00																																								
[2] Stato limite ultimo - Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) - DM2018 § 4.2.1	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80																																								
[3] Stato limite ultimo - Approccio 2 (A1+M1+R3) - DM2018 § 4.2.1	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30																																								
[4] Definiti dall'utente	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30																																								
4																																													
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno umido (apparente)</td> <td><math>\gamma_{wet} = 19</math></td> <td>18 kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Peso per unità di volume terreno siccato</td> <td><math>\gamma_{sat} = 18</math></td> <td>18 kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Cohesione</td> <td><math>c'_s = 0,0</math></td> <td>0,0 kN/m²</td> </tr> <tr> <td>Angolo di attrito interno</td> <td><math>\phi'_k = 26,0</math></td> <td>26,0 °</td> </tr> <tr> <td>Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)</td> <td><math>k_0 = 0,019</math></td> <td>0,018 Presenza Sisma</td> </tr> </tbody> </table>						Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet} = 19$	18 kN/m³	Peso per unità di volume terreno siccato	$\gamma_{sat} = 18$	18 kN/m³	Cohesione	$c'_s = 0,0$	0,0 kN/m²	Angolo di attrito interno	$\phi'_k = 26,0$	26,0 °	Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_0 = 0,019$	0,018 Presenza Sisma																									
Peso per unità di volume terreno umido (apparente)	$\gamma_{wet} = 19$	18 kN/m³																																											
Peso per unità di volume terreno siccato	$\gamma_{sat} = 18$	18 kN/m³																																											
Cohesione	$c'_s = 0,0$	0,0 kN/m²																																											
Angolo di attrito interno	$\phi'_k = 26,0$	26,0 °																																											
Coeficiente di intensità sismica orizzontale (da assegnare solo in caso sismico)	$k_0 = 0,019$	0,018 Presenza Sisma																																											
SOLLECITAZIONI CARATTERISTICHE E DI CALCOLO AGENTI																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Valori caratteristici</th> <th colspan="2">Valori di calcolo</th> <th rowspan="2">Nota: per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]</th> </tr> <tr> <th>Permanenti</th> <th>Temporanee</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Forza verticale</td> <td><math>V_k</math> [kN] = 110,8</td> <td></td> <td>110,8</td> <td>= <math>V_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo B</td> <td><math>MB_k</math> [kNm] = 8,4</td> <td></td> <td>8,4</td> <td>= <math>MB_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Momento flettente lungo L</td> <td><math>ML_k</math> [kNm] = 7,0</td> <td></td> <td>7,0</td> <td>= <math>ML_d</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo B</td> <td><math>HB_k</math> [kN] = 2,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forza orizzontale lungo L</td> <td><math>HL_k</math> [kN] = 2,0</td> <td></td> <td>3,5</td> <td>= <math>Hd</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Valori caratteristici		Valori di calcolo		Nota: per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]	Permanenti	Temporanee			Forza verticale	$V_k$ [kN] = 110,8		110,8	= $V_d$		Momento flettente lungo B	$MB_k$ [kNm] = 8,4		8,4	= $MB_d$		Momento flettente lungo L	$ML_k$ [kNm] = 7,0		7,0	= $ML_d$		Forza orizzontale lungo B	$HB_k$ [kN] = 2,8					Forza orizzontale lungo L	$HL_k$ [kN] = 2,0		3,5	= $Hd$	
	Valori caratteristici		Valori di calcolo		Nota: per fondazioni nostriformi (L=100m) le sollecitazioni sono a metro [kNm]																																								
	Permanenti	Temporanee																																											
Forza verticale	$V_k$ [kN] = 110,8		110,8	= $V_d$																																									
Momento flettente lungo B	$MB_k$ [kNm] = 8,4		8,4	= $MB_d$																																									
Momento flettente lungo L	$ML_k$ [kNm] = 7,0		7,0	= $ML_d$																																									
Forza orizzontale lungo B	$HB_k$ [kN] = 2,8																																												
Forza orizzontale lungo L	$HL_k$ [kN] = 2,0		3,5	= $Hd$																																									
PARAMETRI GEOMETRICI																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Profondità piano di posa della fondazione da p.c.</td> <td><math>D = 1,3</math> m</td> </tr> <tr> <td>Profondità della falda da p.c.</td> <td><math>Z_w = 20,0</math> m</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)</td> <td><math>L = 1,50</math> m</td> </tr> <tr> <td>Larghezza fondazione</td> <td><math>B</math> (<math>B &lt; L</math>) = 1,50 m</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione base</td> <td><math>\alpha = 0</math> °</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione piano campagna</td> <td><math>\beta = 0</math> °</td> </tr> </tbody> </table>						Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D = 1,3$ m	Profondità della falda da p.c.	$Z_w = 20,0$ m	Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L = 1,50$ m	Larghezza fondazione	$B$ ( $B < L$ ) = 1,50 m	Inclinazione base	$\alpha = 0$ °	Inclinazione piano campagna	$\beta = 0$ °																												
Profondità piano di posa della fondazione da p.c.	$D = 1,3$ m																																												
Profondità della falda da p.c.	$Z_w = 20,0$ m																																												
Lunghezza fondazione (per fondazione nostriforme porre L=100m)	$L = 1,50$ m																																												
Larghezza fondazione	$B$ ( $B < L$ ) = 1,50 m																																												
Inclinazione base	$\alpha = 0$ °																																												
Inclinazione piano campagna	$\beta = 0$ °																																												
Fond quadrata																																													
VALORI DI CALCOLO INTERMEDI																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td><math>H = 0,5 B \tan(45 + \phi'/2)</math></td> <td><math>H = 1,2</math> m</td> </tr> <tr> <td>Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione</td> <td><math>\gamma'_e = 18,0</math> kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione B</td> <td><math>e_B = 0,08</math> m</td> </tr> <tr> <td>Eccentricità in direzione L</td> <td><math>e_L = 0,06</math> m</td> </tr> <tr> <td>Carico alla base della fondazione</td> <td><math>q = 27</math> kN/m²</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza efficace</td> <td><math>L' = 1,37</math> m</td> </tr> <tr> <td>Larghezza efficace</td> <td><math>B' = 1,35</math> m</td> </tr> </tbody> </table>						$H = 0,5 B \tan(45 + \phi'/2)$	$H = 1,2$ m	Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma'_e = 18,0$ kN/m³	Eccentricità in direzione B	$e_B = 0,08$ m	Eccentricità in direzione L	$e_L = 0,06$ m	Carico alla base della fondazione	$q = 27$ kN/m²	Lunghezza efficace	$L' = 1,37$ m	Larghezza efficace	$B' = 1,35$ m																										
$H = 0,5 B \tan(45 + \phi'/2)$	$H = 1,2$ m																																												
Peso di volume medio efficace del terreno nel cuneo sotto la fondazione	$\gamma'_e = 18,0$ kN/m³																																												
Eccentricità in direzione B	$e_B = 0,08$ m																																												
Eccentricità in direzione L	$e_L = 0,06$ m																																												
Carico alla base della fondazione	$q = 27$ kN/m²																																												
Lunghezza efficace	$L' = 1,37$ m																																												
Larghezza efficace	$B' = 1,35$ m																																												
																																													
$\gamma'_s = (2H - d_w) \frac{d_w}{H^2} \gamma_{wet} + \frac{\gamma'_e}{H^2} (H - d_w)^2$																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fattori di capacità portante</th> </tr> <tr> <td><math>N_c = 22,25</math></td> <td><math>m = 1,50</math></td> </tr> <tr> <td><math>N_q = 11,85</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>N_u = 12,54</math></td> <td></td> </tr> </thead> </table>						Fattori di capacità portante		$N_c = 22,25$	$m = 1,50$	$N_q = 11,85$		$N_u = 12,54$																																	
Fattori di capacità portante																																													
$N_c = 22,25$	$m = 1,50$																																												
$N_q = 11,85$																																													
$N_u = 12,54$																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Fattori correttivi</th> </tr> <tr> <td><math>s_i = 1,52</math></td> <td><math>s_i = 1,48</math></td> </tr> <tr> <td><math>i_s = 0,92</math></td> <td><math>i_s = 0,92</math></td> </tr> <tr> <td><math>b_s = 1,00</math></td> <td><math>b_s = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>g_s = 1,00</math></td> <td><math>g_s = 1,00</math></td> </tr> <tr> <td><math>d_s = 1,40</math></td> <td><math>d_s = 1,31</math></td> </tr> <tr> <td><math>z_s = 0,99</math></td> <td><math>z_s = 0,99</math></td> </tr> <tr> <td><math>k = 1,00</math></td> <td><math>r_s = 1,03</math></td> </tr> </thead> </table>						Fattori correttivi		$s_i = 1,52$	$s_i = 1,48$	$i_s = 0,92$	$i_s = 0,92$	$b_s = 1,00$	$b_s = 1,00$	$g_s = 1,00$	$g_s = 1,00$	$d_s = 1,40$	$d_s = 1,31$	$z_s = 0,99$	$z_s = 0,99$	$k = 1,00$	$r_s = 1,03$																								
Fattori correttivi																																													
$s_i = 1,52$	$s_i = 1,48$																																												
$i_s = 0,92$	$i_s = 0,92$																																												
$b_s = 1,00$	$b_s = 1,00$																																												
$g_s = 1,00$	$g_s = 1,00$																																												
$d_s = 1,40$	$d_s = 1,31$																																												
$z_s = 0,99$	$z_s = 0,99$																																												
$k = 1,00$	$r_s = 1,03$																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Coefficiente di correzione sismici</th> </tr> <tr> <td><math>s_i = 0,61</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>i_s = 0,90</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>b_s = 1,00</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>g_s = 1,00</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>d_s = 1,00</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>z_s = 0,99</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>r_s = 1,03</math></td> <td></td> </tr> </thead> </table>						Coefficiente di correzione sismici		$s_i = 0,61$		$i_s = 0,90$		$b_s = 1,00$		$g_s = 1,00$		$d_s = 1,00$		$z_s = 0,99$		$r_s = 1,03$																									
Coefficiente di correzione sismici																																													
$s_i = 0,61$																																													
$i_s = 0,90$																																													
$b_s = 1,00$																																													
$g_s = 1,00$																																													
$d_s = 1,00$																																													
$z_s = 0,99$																																													
$r_s = 1,03$																																													
CALCOLO DELLA $Q_h$ E VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td colspan="2"><math>Q_h = 0,5 \times \gamma'_s \times B \times N_c \times r_s \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times x_s \times c' \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s \times q \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s</math></td> </tr> <tr> <td><math>Q_h</math> (kPa)</td> <td><math>Q_d</math> (kPa)</td> </tr> <tr> <td>648,8</td> <td>297,3</td> </tr> </tbody> </table>						$Q_h = 0,5 \times \gamma'_s \times B \times N_c \times r_s \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times x_s \times c' \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s \times q \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s$		$Q_h$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)	648,8	297,3																																		
$Q_h = 0,5 \times \gamma'_s \times B \times N_c \times r_s \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times x_s \times c' \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s \times q \times N_u \times s_i \times d_s \times i_s \times b_s \times g_s \times z_s$																																													
$Q_h$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)																																												
648,8	297,3																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td><math>Q_h</math> (kPa)</td> <td><math>Q_d</math> (kPa)</td> <td style="background-color: #FFCCBC;">OK</td> </tr> <tr> <td>648,8</td> <td>297,3</td> <td style="background-color: #FFCCBC;">&gt;</td> </tr> <tr> <td>59,8</td> <td></td> <td style="background-color: #FFCCBC;">OK</td> </tr> </tbody> </table>						$Q_h$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)	OK	648,8	297,3	>	59,8		OK																															
$Q_h$ (kPa)	$Q_d$ (kPa)	OK																																											
648,8	297,3	>																																											
59,8		OK																																											

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>105 di 118</b>

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità per le combinazioni più sfavorevoli senza considerare il contributo delle travi:



La fondazione è stabile con un'area di compressione del 83%.

### 8.3 Verifiche strutturali

Vengono svolte le verifiche strutturali delle fondazioni, utilizzando l'Approccio 2 indicato dal cap.6 delle NTC2018. Vengono pertanto utilizzati i coefficienti:

A1+M1+R3

I coefficienti amplificativi dei carichi risultano:

Carichi propri:  $\gamma = 1.3$

Carichi permaenti:  $\gamma = 1.5$

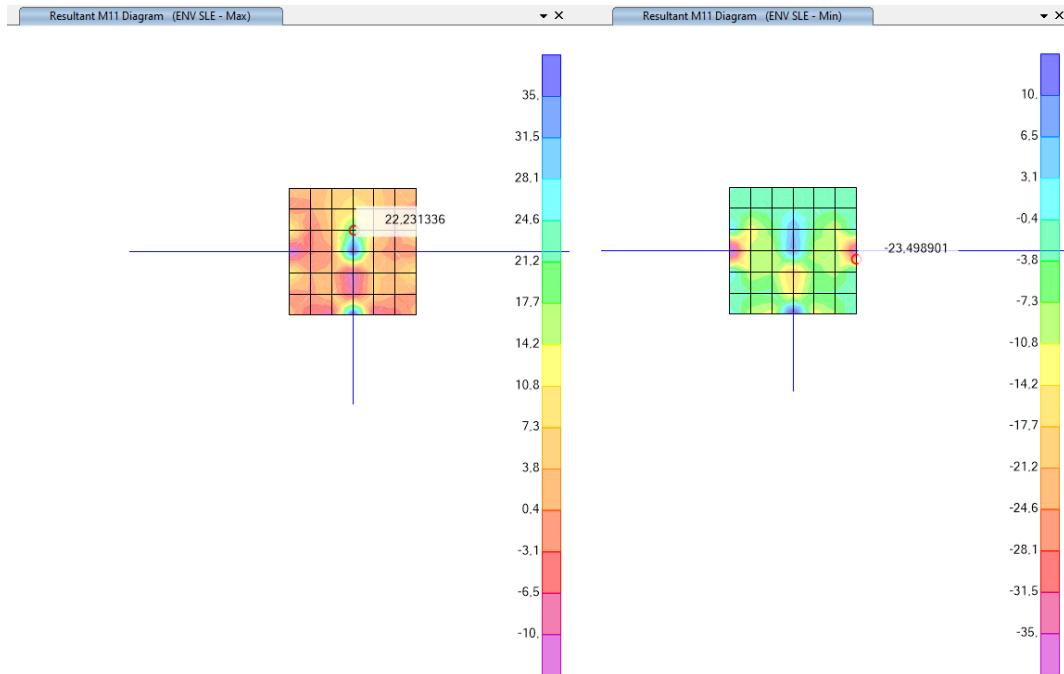
Carichi variabili:  $\gamma = 1.5$

Di seguito si riportano pertanto le verifiche di resistenza svolte con il metodo degli stati limite.

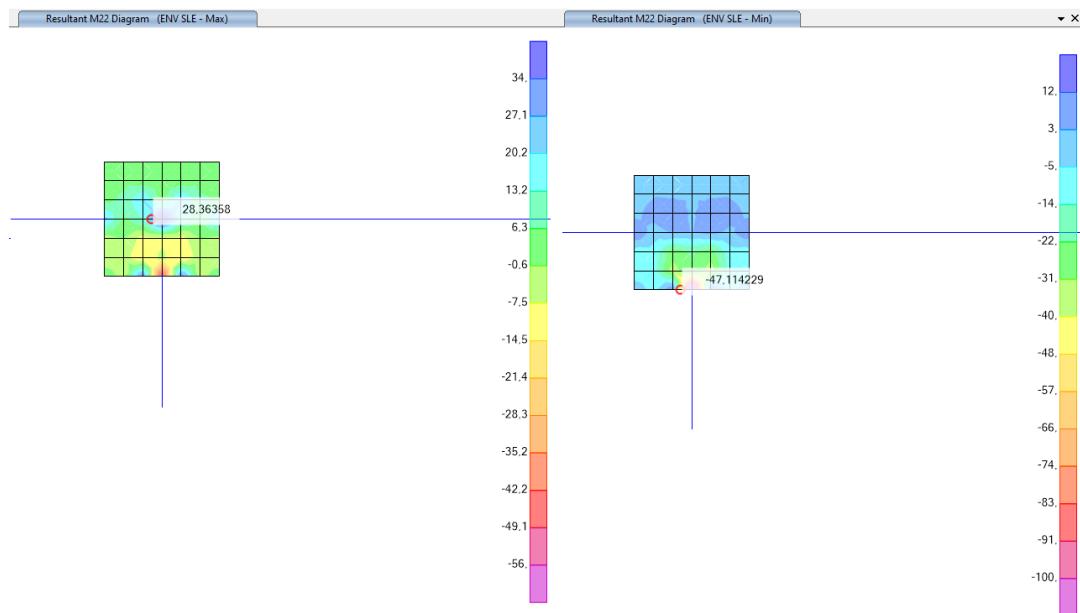
#### 8.3.1 Verifica strutturale della fondazione per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESMA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>106 di 118</b>

Viene svolta la verifica di resistenza a flessione:



**Figura 8.1 Momenti M11 – ENV SLE [kN-m]**



**Figura 8.2 Momenti M22 – ENV SLE [kN-m]**

Dati:

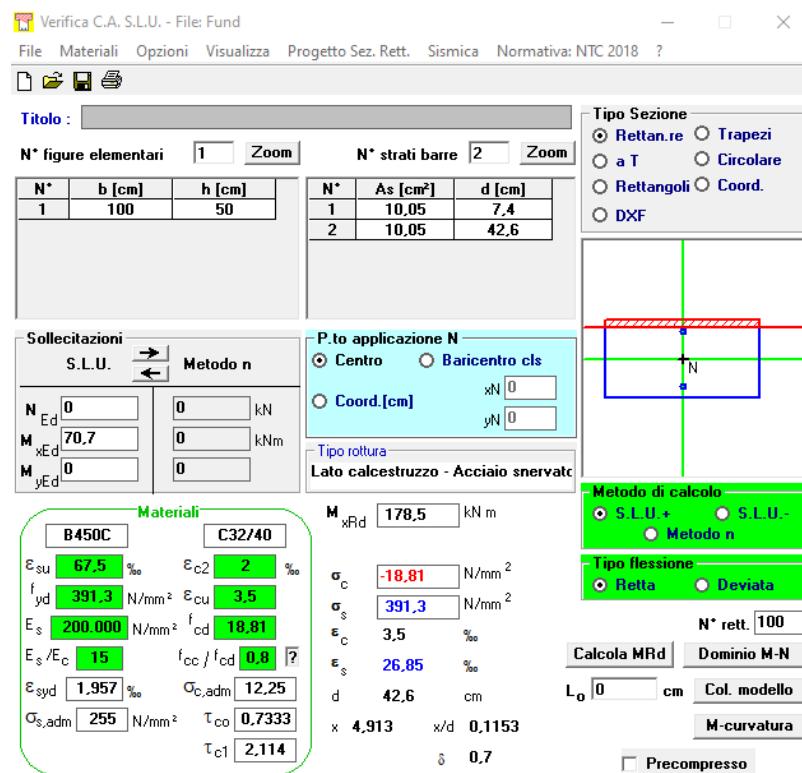
Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>
7.0 Opere Civili	Relazione di calcolo strutturale	COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO B23D      00 D 00      RH      FVD000 001      A      107 di 118

Dimensione = sp.50cm

Armadura inf =  $\phi 16 @ 20 \text{ cm}$

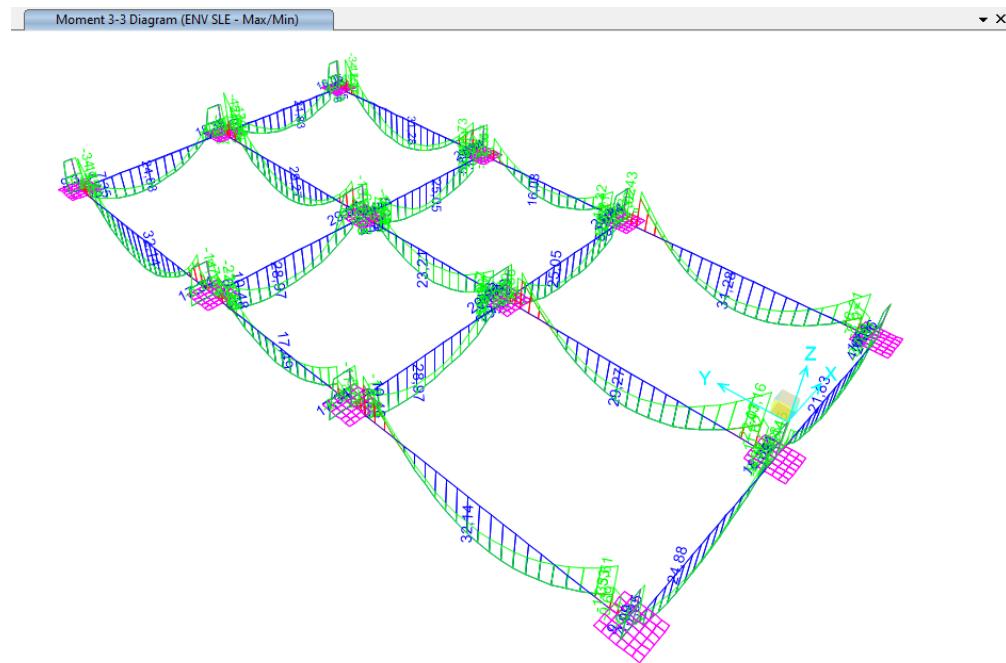
Armadura sup =  $\phi 16 @ 20\text{cm}$

Med=47,1 kN -m x 1,5 = 70,7 kN-m

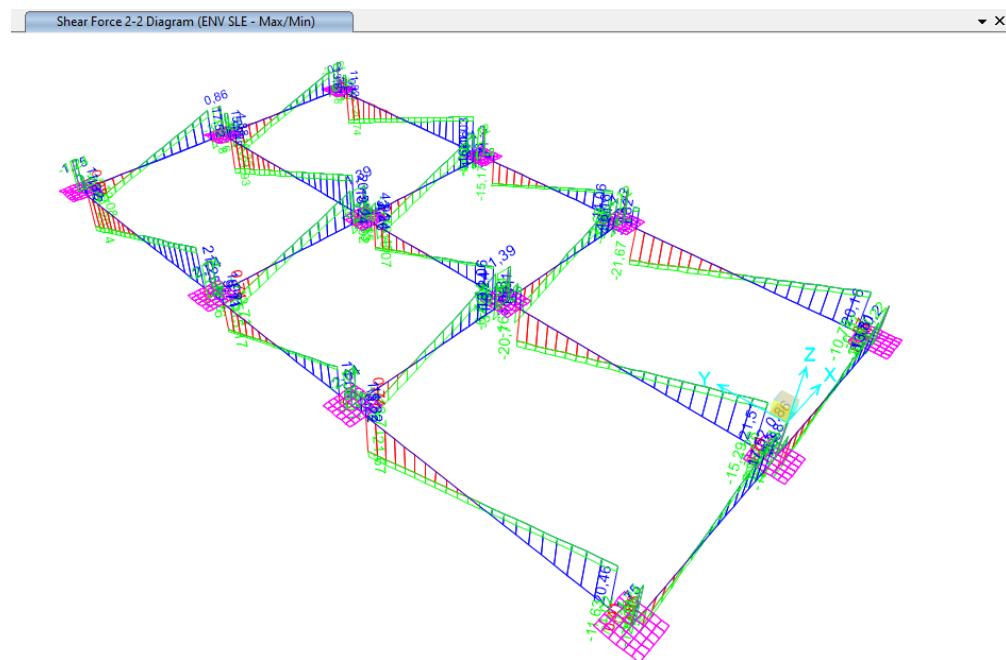


Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>108 di 118</b>

### 8.3.1 Verifica strutturale della trave di collegamento per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)



**Figura 8.3 Momenti M33 – ENV SLE [kN-m]**



**Figura 8.4 Taglio V22 – ENV SLE [kN]**

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>109 di 118</b>	

Dati:

Dimensione = 50cm x 30 cm

Armadura inf = 3 φ16

Armadura sup = 3 φ16@

Staffe = φ12@20cm

Med= 33,60 kN -m x 1,5 = 50,4 kN-m

Verifica C.A. S.L.U. - File: viga fund

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :** [ ]

**N° figure elementari** 1 **Zoom**    **N° strati barre** 2 **Zoom**

N*	b [cm]	h [cm]
1	30	50

N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	6,032	7,6
2	6,032	42,4

**Tipo Sezione**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub> 0	0 kN
M <sub>xEd</sub> 50,4	0 kNm
M <sub>yEd</sub> 0	0

P.to applicazione N

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN 0    yN 0

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**

**Materiali**

B450C	C28/35
ε <sub>su</sub> 67,5 %	ε <sub>c2</sub> 2 %
f <sub>yd</sub> 391,3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> 3,5
E <sub>s</sub> 200.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> 15,87
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> 0,8
ε <sub>syd</sub> 1,957 %	σ <sub>c,adm</sub> 11
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> 0,6667
	τ <sub>c1</sub> 1,971

M<sub>xRd</sub> 94,8 kN m

σ<sub>c</sub> -15,87 N/mm<sup>2</sup>

σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup>

ε<sub>c</sub> 3,5 %

ε<sub>s</sub> 17,64 %

d 42,4 cm

x 7,021    x/d 0,1656

δ 0,7

**Tipo flessione**

- Retta
- Deviata

**Metodo di calcolo**

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

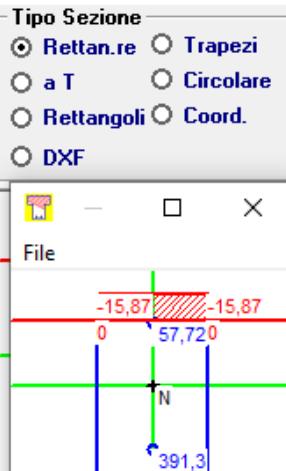
**Calcola MRd** **Calcolo M-N**

N° rett. 100

L<sub>0</sub> 0 cm **Col. modello**

**M-curvatura**

Precompresso



La verifica risulta soddisfatta.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale	COMMESA  B23D	LOTTO  00 D 00	CODIFICA  RH	DOCUMENTO  FVD000 001	REV.  A	FOGLIO  110 di 118

TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
11	SLU_010	Combination	0,00	22,00	171,29	<b>-48,13</b>	0,00
23	SLU_009	Combination	0,00	-22,23	162,67	<b>50,79</b>	0,00
41	SLU_010	Combination	0,00	-10,04	327,33	22,03	0,00

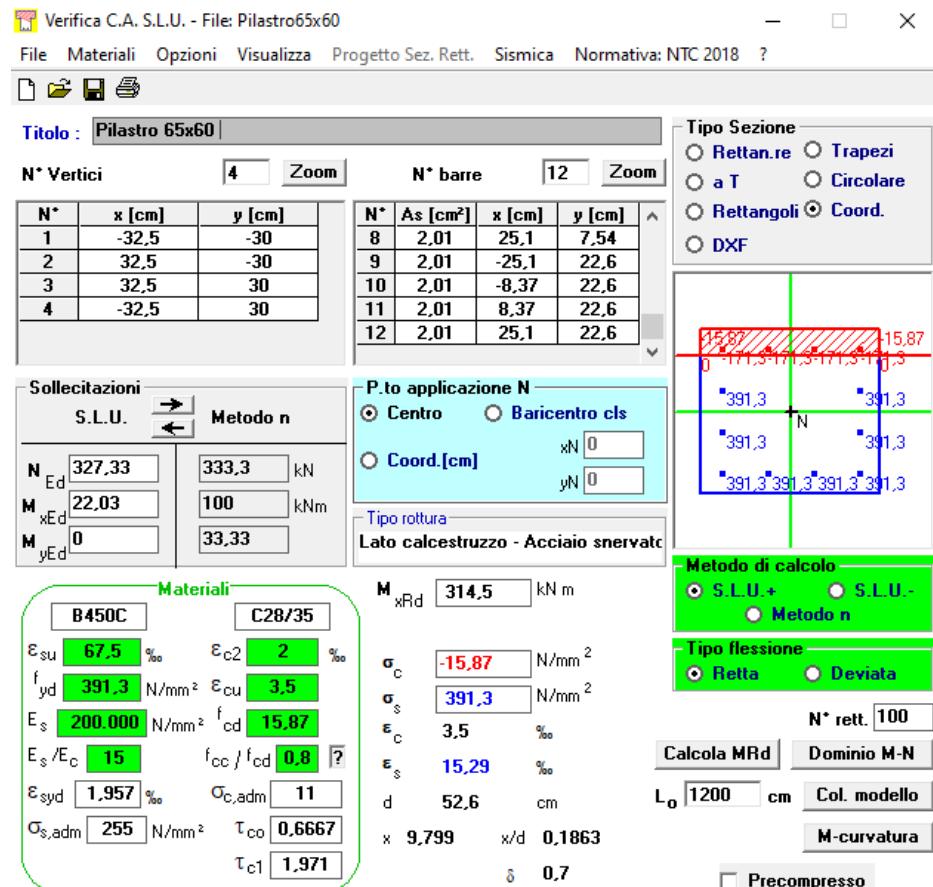
### 8.3.1 Verifica strutturale dei pilastri per sollecitazioni assiali e flessionali (SLU-STR)

Dati:

Dimensione = 65cm x60 cm

Armadura long = 12 φ16

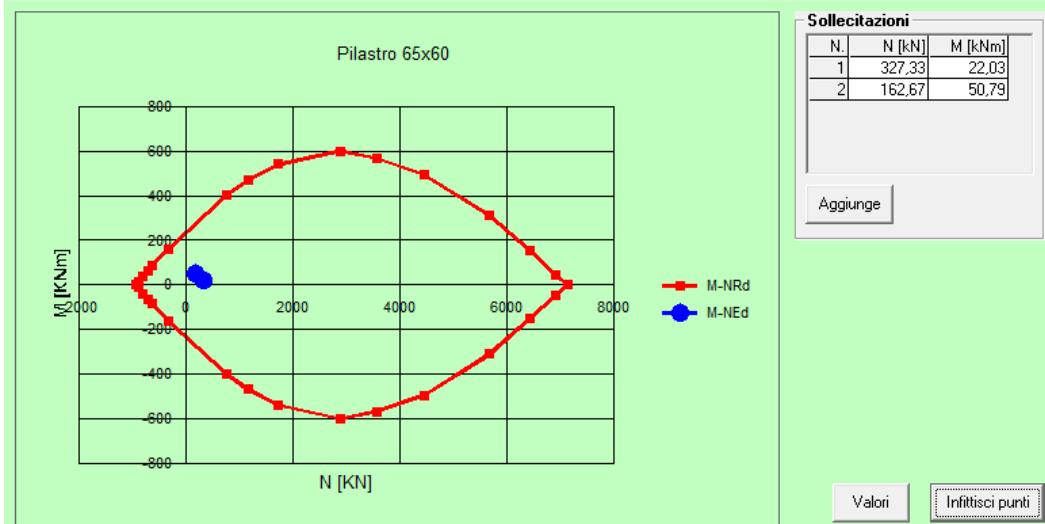
Staffe = φ12@20cm



Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  Relazione di calcolo strutturale			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>
							FOGLIO <b>111 di 118</b>

 Dominio M-N

File



La verifica risulta soddisfatta.

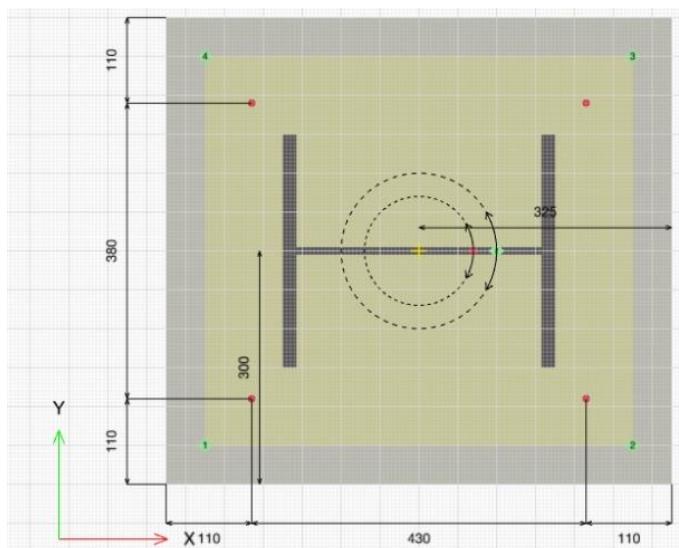
### 8.3.2 Verifica del collegamento Colonna – Plinto

Il collegamento colonna-plinto è realizzato mediante una piastra in acciaio.

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili			COMMESA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo strutturale			B23D	00 D 00	RH	FVD000 001	A
							FOGLIO 112 di 118

## Base di colonna in acciaio

Verifica di resistenza piastra di base:



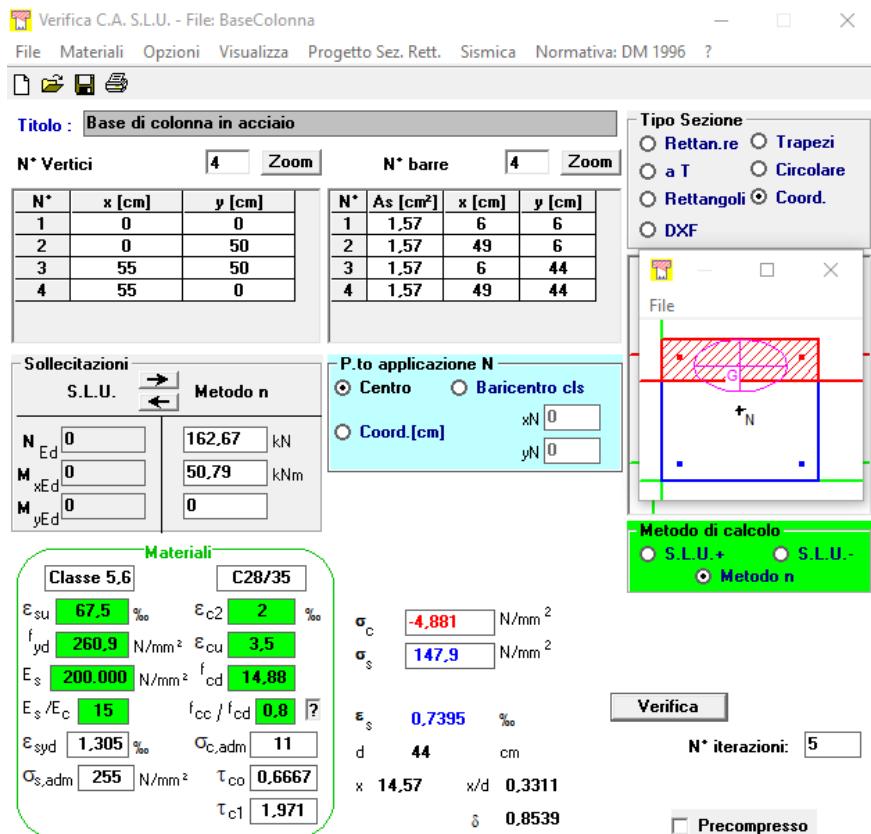
$h_{\text{piastra}}$ [mm]	550	$f_yk$ [N/mm <sup>2</sup> ]	355
$b_{\text{piastra}}$ [mm]	500	$\gamma M_0$	1,05
$e_{\text{piastra}}$ [mm]	25	$\phi_t$ [mm]	16
$\phi_{\text{foro}}$ [mm]	17		
$A_{st}$ [mm <sup>2</sup> ]	157		

TABLE: Joint Reactions			
Joint	F3	M1	M2
Text	KN	KN-m	KN-m
23	-171,29	48,13	0,00
24	-162,67	-50,79	0,00

$\sigma_c$ max	$\sigma_s$	y	Vcompr	Mcompr	Vteso	Mteso
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN-m	kN	kN-m
4,479	119	158,8	195,60	9,21	37,37	1,49
4,881	147,9	145,7	195,57	10,06	46,44	1,86

$\epsilon_{MAX}$	$W_{pl}$	$M_{pl}$	$M_{ED,MAX}/M_{pl}$	$V_{ED,MAX}$	$A_v$	$V_{pl}$	$V_{ED,MAX}/V_{pl}$
kN-m	mm <sup>3</sup>	kN-m	%	kN	mm <sup>2</sup>	kN	%
9,21	78125	26,41	34,9	195,60	12900	2518,07	7,8
10,06	78125	26,41	38,1	195,57	12900	2518,07	7,8

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	COMMESSA <b>B23D</b>	LOTTO <b>00 D 00</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>FVD000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>113 di 118</b>



### Verifica dei tirafondi:

#### ANCHORING TO CONCRETE EN 1992-4

##### Concrete properties:

$$f_{ck} := 29,05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad E_c := 32588,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{ykre} := 450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad h := 1250\text{mm} \quad \text{alto pedestal}$$

##### Anchors properties:

M16 class 5.6

$f_{yk} := 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$n_p := 4$	Number of anchors	$L_a := 192\text{mm}$	Anchor length
$E_s := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$	$d_a := 16\text{mm}$	Anchor diameter M16		
$f_{uk} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$d_h := 24\text{mm}$	Nut diameter		
	$A_0 := 157\text{mm}^2$	Anchoring area		

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATIVI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale		COMMESSA      LOTTO      CODIFICA      DOCUMENTO      REV.      FOGLIO <b>B23D</b> <b>00 D 00</b> <b>RH</b> <b>FVD000 001</b> <b>A</b> <b>114 di 118</b>					

**Solicitation:**

Most requested anchor:

Anchor group:

$$N_{Ed} := 20.295\text{kN}$$

$$N_{Edg} := 40.590\text{kN}$$

$$V_{Ed} := 5.558\text{kN}$$

$$V_{Edg} := 22.232\text{kN}$$

Design requirements for tensile loading

$$\gamma_{M.s} := 1.50 \quad \gamma_{M.p} := 1.50$$

$$\gamma_{M.c} := 1.50 \quad \gamma_{M.sp} := 1.50$$

**Steel failure of fastener - Most requested anchor:**

$$N_{Rk.s} := A_0 \cdot f_{uk} = 78.5 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Rd.s} := \frac{N_{Rk.s}}{\gamma_{M.s}} = 52.33 \cdot \text{kN} \quad \beta_{Ns} := \frac{N_{Ed}}{N_{Rd.s}} = 0.39 \quad \text{if}(N_{Rd.s} > N_{Ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$$

**Pull-out failure of fastener - Most requested anchor:**

$$\Psi_c := 1$$

$k_2 := 7.5$  for fasteners in cracked concrete

$$A_h := \frac{\pi}{4} \cdot (d_h^2 - d_a^2) = 251 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{Rk.p} := k_2 \cdot A_h \cdot f_{ck} = 54.758 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Rd.p} := \frac{\Psi_c \cdot N_{Rk.p}}{\gamma_{M.p}} = 36.51 \cdot \text{kN} \quad \beta_{Np} := \frac{N_{Ed}}{N_{Rd.p}} = 0.56 \quad \text{if}(N_{Rd.p} > N_{Ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$$

**Concrete cone failure - Anchor group:**

$k_1 := 7.7$  for cracked concrete

$$c_1 := 110\text{mm} \quad s_1 := 380\text{mm} \quad c_2 := 110\text{mm} \quad s_2 := 430\text{mm}$$

$$h_{ef} := \max\left(\frac{c_{max}}{1.5}, \frac{s_{max}}{3}\right) = 143.3 \cdot \text{mm}$$

$$c_{max} := \max(c_1, c_2) = 110 \cdot \text{mm} \quad s_{max} := \max(s_1, s_2) = 430 \cdot \text{mm}$$

$$c_{min} := \min(c_1, c_2) = 110 \cdot \text{mm} \quad s_{min} := \min(s_1, s_2) = 380 \cdot \text{mm}$$

$$c_{crN} := \frac{3}{2} \cdot h_{ef} = 215 \cdot \text{mm}$$

$$s_{crN} := 3 \cdot h_{ef} = 430 \cdot \text{mm}$$

$$A_{cNo} := 9 \cdot h_{ef}^2 = 184900 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{cN} := 211217.5 \cdot \text{mm}^2$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZIO INTEGRATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
7.0 Opere Civili  Relazione di calcolo strutturale			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>
					A	115 di 118

$$N_{Rk.c.o} := k_1 \cdot N \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{N} \cdot \left( \frac{h_{ef}}{mm} \right)^{1.5}} = 71.217 \cdot kN$$

$$\Psi_{sN} := 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_{min}}{c_{crN}} = 0.853$$

$$\Psi_{reN} := 1 \quad \text{According to 7.5}$$

$$e_{c1N} := 0 \text{ mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$\Psi_{ecN1} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c1N}}{S_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$e_{c2N} := 0 \text{ mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$\Psi_{ecN2} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c2N}}{S_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$\Psi_{MN} := 1 \quad \text{According to 7.7}$$

$$N_{Rk.c} := N_{Rk.c.o} \cdot \frac{A_{cN}}{A_{cNo}} \Psi_{sN} \cdot \Psi_{reN} \cdot \Psi_{ecN1} \cdot \Psi_{ecN2} \cdot \Psi_{MN} = 69.43 \cdot kN$$

$$N_{Rd.c} := \frac{N_{Rk.c}}{\gamma_{M.c}} = 46.29 \cdot kN \quad \beta_{Nc} := \frac{N_{Edg}}{N_{Rd.c}} = 0.88$$

if( $(N_{Rd.c} > N_{Edg}, "OK", "No OK") = "OK"$

#### Concrete splitting failure - Anchor group:

$$\Psi_{sN1} := 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_{min}}{c_{crN}} = 0.853$$

$$\Psi_{ec1N1} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c1N}}{S_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$\Psi_{ec2N1} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c2N}}{S_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$\Psi_{hsp} := 1.143$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>					
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>116 di 118</b>

$$N_{Rk.sp.o} := k_1 \cdot N \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{N} \cdot \left( \frac{h_{ef}}{mm} \right)^{1.5}} = 71.22 \cdot kN$$

$$N_{Rk.sp} := N_{Rk.sp.o} \cdot \frac{A_{cN}}{A_{cNo}} \Psi_{sN1} \cdot \Psi_{reN} \cdot \Psi_{ec1N1} \cdot \Psi_{ec2N1} \cdot \Psi_{hsp} = 79.364 \cdot kN$$

$$N_{Rd.sp} := \frac{N_{Rk.sp}}{\gamma_{M.sp}} = 52.91 \cdot kN \quad \beta_{Nsp} := \frac{N_{Edg}}{N_{Rd.sp}} = 0.77$$

if  $(N_{Rk.sp} > N_{Edg}, "OK", "No Ok") = "OK"$

Design requirements for tensile loading

Design requirements for shear loading

$$\gamma_{M.s} := 1.25 \quad \gamma_{M.c} := 1.50$$

$$\gamma_{M.cp} := 1.50$$

#### Steel failure of fastener without lever arm - Most requested anchor:

$$k_6 := 0.6 \quad \text{para } f_{uk} < 500 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rks} := k_6 \cdot A_0 \cdot f_{uk} = 47.1 \cdot kN$$

$$V_{Rds} := \frac{V_{Rks}}{\gamma_{M.s}} = 37.68 \cdot kN \quad \beta_{Vs} := \frac{V_{Ed}}{V_{Rds}} = 0.15$$

if  $(V_{Rds} > V_{Ed}, "OK", "No Ok") = "OK"$

#### Concrete pry-out failure - Anchor group:

$$k_8 := 2.56$$

$$e_{c1v} := 0 \text{mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$A_{cN} = 211217.5 \cdot mm^2$$

$$A_{cNo} := s_{crN}^2 = 184900 \cdot mm^2$$

$$\Psi_{ec1N} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c1v}}{s_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

$$e_{c2v} := 0 \text{mm} \quad \text{Eccentricity}$$

$$\Psi_{ec2N} := \min \left[ \frac{1}{1 + 2 \cdot \left( \frac{e_{c2v}}{s_{crN}} \right)}, 1 \right] = 1$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>				
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>			COMMESMA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
			<b>B23D</b>	<b>00 D 00</b>	<b>RH</b>	<b>FVD000 001</b>	<b>A</b>
							FOGLIO <b>117 di 118</b>

$$N_{Rk.c1} := N_{Rk.sp.o} \cdot \frac{A_{cN}}{A_{cNo}} \psi_{sN1} \cdot \psi_{reN} \cdot \psi_{ec1N} \cdot \psi_{ec2N} \cdot \psi_{MN} = 69.434 \cdot kN$$

$$V_{Rk.cp} := k_8 \cdot N_{Rk.c1} = 177.752 \cdot kN$$

$$V_{Rd.cp} := \frac{V_{Rk.cp}}{\gamma_{M.cp}} = 118.5 \cdot kN \quad \beta_{Vcp} := \frac{V_{Edg}}{V_{Rd.cp}} = 0.19$$

if( $(V_{Rd.cp} > V_{Edg}, "OK", "No Ok") = "OK"$

#### Concrete edge failure in Y direction - Anchor group:

$k_9 := 1.7$  cracked concrete

$$\alpha := 0.1 \cdot \left( \frac{L_a}{c_1} \right)^{0.5} = 0.132 \quad \beta := 0.1 \cdot \left( \frac{d_a}{c_1} \right)^{0.2} = 0.068$$

$$A_{cv0} := 4.5 \cdot c_1^2 = 54450 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{cv} := 90750 \text{mm}^2$$

$$\psi_{sv} := \min \left( 1, 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5 \cdot c_1} \right) = 0.9$$

$$\psi_{hv} := \max \left[ 1, \left( \frac{1.5 \cdot c_1}{h} \right)^{0.5} \right] = 1$$

$\alpha_v := 0^\circ$  Shear rotation angle

$$\psi_{av} := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{1}{(\cos(\alpha_v))^2 + (0.5 \cdot \sin(\alpha_v))^2}} \right] = 1$$

$$e_v := 0 \text{mm}$$

$$\psi_{ecv} := \min \left[ 1, \frac{1}{1 + \left( \frac{2e_v}{3 \cdot c_1} \right)} \right] = 1$$

$\psi_{rev} := 1.0$  fastening in uncracked concrete and fastening in cracked concrete without edge reinforcement or stirrups

$$k_t := 1$$

$$V_{Rk.c.o} := k_9 \cdot \left( \frac{d_a}{\text{mm}} \right)^\alpha \cdot \left( \frac{L_a}{\text{mm}} \right)^\beta \cdot N \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{N}} \cdot \left( \frac{c_1}{\text{mm}} \right)^{1.5} = 21.801 \cdot kN$$

Capogruppo/mandataria:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions Italia	Mandanti:  <b>ARTELIA</b> Passion & Solutions France	 <b>ERREGI</b> SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA E-BRT TRA I COMUNI DI BERGAMO, DALMINE E VERDELLINO</b> <b>-PROGETTO DEFINITIVO-</b>			
<b>7.0 Opere Civili</b>  <b>Relazione di calcolo strutturale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>B23D</b>	<b>LOTTO</b> <b>00 D 00</b>	<b>CODIFICA</b> <b>RH</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>FVD000 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>118 di 118</b>

$$V_{Rk.c} := k_t \cdot V_{Rk.c.o} \cdot \frac{A_{cv}}{A_{cvo}} \Psi_{sv} \cdot \Psi_{hv} \cdot \Psi_{av} \cdot \Psi_{ecv} \cdot \Psi_{rev} = 32.701 \cdot \text{kN} \quad V_{Edg} = 22.232 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd.c} := \frac{V_{Rk.c}}{\gamma_{M.c}} = 21.8 \cdot \text{kN} \quad \beta_{Vkc} := \frac{V_{Edg}}{V_{Rd.c}} = 1.02$$

if( $V_{Rd.c} > V_{Edg}$ , "OK", "Reinforcement") = "Reinforcement"

#### Supplementary reinforcement:

$$\phi_v := 16\text{mm} \quad \gamma_{Msre} := 1.15 \quad n := 2$$

$$l_1 := 200\text{mm} \quad \eta_1 := 1 \quad \eta_2 := 1$$

$$f_{ctd} := \frac{2.0\text{MPa}}{1.5} = 1.333 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha_1 := 1$$

$$\alpha_2 := 1$$

$$N_{Rda} := \pi \cdot n \cdot \frac{\phi_v^2}{4} \cdot \frac{f_{ykre}}{\gamma_{Msre}} = 157.35 \cdot \text{kN} \quad \text{Condition} := \begin{cases} \text{"Ok"} & \text{if } \frac{l_1 \cdot \pi \cdot \phi_v \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} \leq N_{Rda} \\ \text{"No Ok"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Ok"}$$

if( $N_{Rda} > V_{Edg}$ , "OK", "No OK") = "OK"  $\beta_{NRda} := \frac{V_{Edg}}{N_{Rda}} = 0.14$

#### Combined tension and shear load:

Steel failure:

$$\beta_{NS} := \beta_{Ns}^2 + \beta_{Vs}^2 = 0.172 \quad \text{if}(\beta_{NS} > 1, \text{"No OK"}, \text{"OK"}) = \text{"OK"}$$

Concrete Failure:

$$\beta_{Nc1} := \max(\beta_{Np}, \beta_{Nc}, \beta_{Nsp}) = 0.877$$

$$\beta_{Vc1} := \max(\beta_{Vcp}, \beta_{NRda}) = 0.188$$

$$\beta_{NC} := \frac{(\beta_{Nc1} + \beta_{Vc1})}{1.2} = 0.887 \quad \text{if}(\beta_{NC} > 1, \text{"No OK"}, \text{"OK"}) = \text{"OK"}$$

 Design requirements for shear loading