

S.S.291 "Della Nurra"

Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero -Fertilia (bretella per l'aeroporto)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. CA29

PROGETTAZIONE: ATI: VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

RESPONSABILE D'AREA

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*

Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*

Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*

Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. MariaAntonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Campione

MANDATARIA:



MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE:



SOTTOVIA

ASSE TIPO D


RAMPA PEDONALE AL KM 1+400

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T02_ST02_STR_RE01_A			
DPCA00029	E 21	CODICE ELAB.	T02ST02STRRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	Giugno 2021	E. RICCI	G. CAPOGNA	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO


INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORME E SPECIFICHE	4
3	MATERIALI	5
	3.1 Calcestruzzo per impalcato, pile e strutture interrato.....	5
	3.2 Miscela cementizia per micropali	5
	3.3 Acciaio per barre di armatura lenta.....	6
	3.4 Acciaio per tubo di armatura dei micropali	6
	3.5 Classe di esposizione e copriferro.....	6
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	9
6	ANALISI DEI CARICHI	12
	6.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato.....	12
	6.2 Peso proprio della pavimentazione	12
	6.3 Peso proprio della barriera anticaduta	12
	6.4 Carichi accidentali da folla	12
	6.5 Ritiro della soletta	13
	6.6 Azione termica longitudinale	13
	6.7 Azione termica differenziale	13
	6.8 Azione sismica.....	14
	6.9 Azione del vento	15
	6.9.1 Impalcato.....	16
	6.9.2 Pile	16
7	COMBINAZIONI DI CARICO.....	17
	7.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU.....	17
	7.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE	18
	7.3 Combinazioni di carico sismiche	18
	7.1 Riepilogo delle combinazioni di carico.....	19
	7.1.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo.....	19
	7.1.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare.....	20
	7.1.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti	21
	7.1.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti	21
8	MODELLO DI CALCOLO	22
	8.1 Definizione del modello di calcolo	22

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Rampa pedonale al km1+400 - Relazione tecnica e di calcolo</i>	

8.1.1	Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale	23
8.1.2	Carichi permanenti dovuti al peso della barriera	23
8.1.3	Carichi accidentali da folla	23
8.1.4	Azione del ritiro sull'impalcato	23
9	VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI	24
9.1	Diagramma dell'azione assiale.....	24
9.2	Diagramma del momento flettente	24
9.3	Diagramma dell'azione tagliante	24
10	IMPALCATO - VERIFICA STRUTTURALE	25
10.1	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo	25
10.2	Verifica allo Stato Limite Ultimo per tenso-flessione	27
10.2.1	Verifica in appoggio (Momento negativo) – Sezione S1.....	27
10.2.2	Verifica in mezzzeria (Momento positivo) – Sezione S2	28
10.3	Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio	29
10.4	Verifica allo Stato Limite di fessurazione	30
10.4.1	Sollecitazioni di calcolo.....	31
10.4.2	Verifica in appoggio (Momento negativo) – Sezione S1.....	32
10.4.3	Verifica in mezzzeria (Momento positivo) – Sezione S2	34
11	PILE - VERIFICA STRUTTURALE.....	36
11.1	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo delle pile quadrate	36
11.1.1	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione	37
11.1.1.1	Verifica Sezione di Testa (P1)	38
11.1.1.2	Verifica Sezione di Base (P2)	40
11.1.1.3	Riepilogo degli esiti delle verifiche	42
11.1.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio.....	43
11.1.2.1	Verifica Sezione di Testa (P1)	43
11.1.2.2	Verifica Sezione di Base (P3)	44
11.1.3	Verifiche allo Stato Limite di fessurazione	45
11.1.3.1	Sollecitazioni di calcolo	46
11.1.3.2	Verifica sezione di testa (P1) – M_{MAX}	47
11.1.3.3	Verifica sezione di testa (P1) - N_{MIN}	49
11.1.3.4	Verifica sezione di base (P2) - M_{MAX}	50
11.1.3.5	Verifica sezione di base (P2) - N_{MIN}	52
11.2	Sezioni di verifica ed armatura di calcolo delle pile rettangolari.....	54
11.2.1	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione	55

11.2.1.1	Verifica Sezione di Testa (P1)	56
11.2.1.2	Verifica Sezione di Base (P2)	58
11.2.1.3	Riepilogo degli esiti delle verifiche	60
11.2.2	Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio	61
11.2.2.1	Verifica Sezione di Testa (P1)	61
11.2.2.2	Verifica Sezione di Base (P3)	62
11.2.3	Verifiche allo Stato Limite di fessurazione	63
11.2.3.1	Sollecitazioni di calcolo	64
11.2.3.2	Verifica sezione di testa (P1) – M_{MAX}	65
11.2.3.3	Verifica sezione di testa (P1) - N_{MIN}	67
11.2.3.4	Verifica sezione di base (P2) - M_{MAX}	69
11.2.3.5	Verifica sezione di base (P2) - N_{MIN}	71
12	PLINTI DI FONDAZIONE – VERIFICHE STRUTTURALI	74
12.1	Plinto quadrato 1.80 m x 1.80 m	74
12.1.1	Verifica “tirante-puntone”	75
12.1.2	Verifica a taglio	77
12.2	Plinto rettangolare 2.40 m x 1.80 m	78
12.2.1	Verifica “tirante-puntone”	79
12.2.2	Verifica a taglio	81
12.3	Plinto rettangolare 1.50 m x 1.80 m	82
12.3.1	Verifica “tirante-puntone”	83
12.3.2	Verifica a taglio	85
13	VERIFICA DEI MICROPALI DI FONDAZIONE	86
13.1	Individuazione della stratigrafia di riferimento	86
13.2	Verifiche geotecniche e strutturali	87
13.2.1	Verifica a carico limite	87
13.2.2	Capacità portante per instabilità dell’equilibrio elastico	89
13.2.3	Verifiche alle forze orizzontali e verifica strutturale del micropalo	90
13.2.4	Verifica geotecnica per forze orizzontali	92

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	


1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche delle strutture in cemento armato della rampa pedonale al km 1+400 nell'ambito del progetto esecutivo "S.S. 291 "Della Nurra" - Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero a Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero-Fertilia (bretella per l'aeroporto)".

2 NORME E SPECIFICHE

La redazione dei calcoli avverrà secondo le prescrizioni della seguente normativa ed in particolare:

- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M del 14.1.2008;
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" approvate con D.M del 14.1.2008" - Circolare 02.2.2009;
- UNI EN 1992-1-1:2005, Eurocodice 2: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici";
- Norma UNI EN 206-1:2006 "Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- UNI EN 1998-2:2006, "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti";
- UNI EN 1997-1, "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali"
- Legge 5.11.71 n.1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzo per impalcato, pile e strutture interrato


Per le strutture interrato è stato considerato un calcestruzzo con classe di resistenza **C32/40** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	C32/40	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	40 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	32 N/mm ²
Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg	f_{cm}	40.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.13 N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	3.02 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	2.12 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.41 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	33345.8 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.2 -
Coefficiente di dilatazione termica	α	1.00E-05 °C ⁻¹

3.2 Miscela cementizia per micropali

Per la miscela cementizia dei micropali è stato considerata una classe di resistenza **C25/30** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	C25/30	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	30 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	25 N/mm ²
Resistenza cilindrica media a compressione a 28 gg	f_{cm}	33.0 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	14.17 N/mm ²
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	2.56 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk}	1.80 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.20 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	31475.8 N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν	0.2 -
Coefficiente di dilatazione termica	α	1.00E-05 °C ⁻¹

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

3.3 Acciaio per barre di armatura lenta

Per le armature lente delle strutture in cemento armato è stato considerato un acciaio tipo **B450C** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tipologia di acciaio	B450C	
Resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	540 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 N/mm ²
Tensione di svervamento di calcolo ($\gamma_c = 1.15$)	f_{yd}	391.3 N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_s	210000.00 N/mm ²

3.4 Acciaio per tubo di armatura dei micropali

Acciaio in profili a sezione cava	EN 10210-1 S355 JOH+N	
Resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	510 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	355 N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_s	210000.00 N/mm ²

3.5 Classe di esposizione e copriferro

Per le parti d'opera contro terra (bordo esterno della struttura) si assume una classe di esposizione XA1, corrispondente a condizioni ambientali "aggressive".

Per le parti d'opera fuori terra (bordo interno della struttura), si assume una classe di esposizione XC3, corrispondente a condizioni ambientali "ordinarie". Si adotta un valore del copriferro pari a 45 mm.

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La rampa oggetto della presente relazione è la prosecuzione del camminamento pedonale lungo l'asse D (sopra la galleria ferroviaria B) e della soletta a sbalzo lungo il sottovia al km 0+124.

La struttura è composta da una trave continua in cemento armato gettato in opera appoggiata su delle pile, anche esse in cemento armato gettato in opera. La lunghezza totale dell'opera è di circa 62 m e presenta 5 campate da circa 11.50 m più i tratti iniziali e finali di 1.25m e, rispettivamente, 3.30m. La sezione della trave è costante lungo la rampa, mentre le pile presentano due tipologie di sezione (0.50x0.50 m e 0.50x0.30 m).. Le pile sono fondate su plinti su micropali di lunghezza 14 m.

Si riportano di seguito alcune immagini per illustrare la geometria dell'opera.

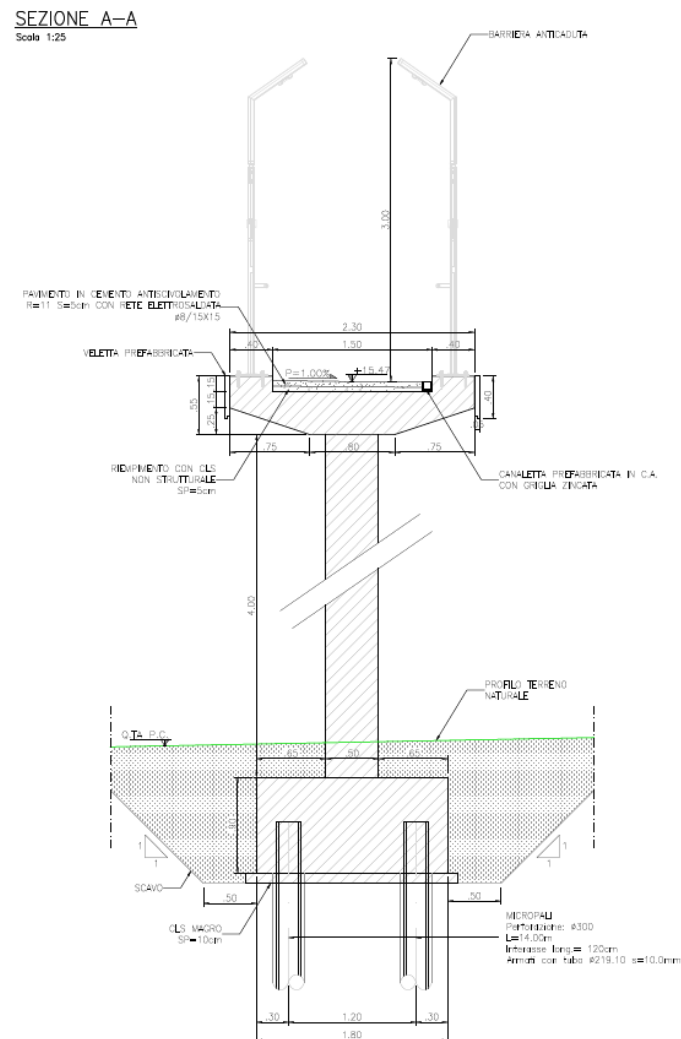


Figura 4-1: Sezione trasversale tipo

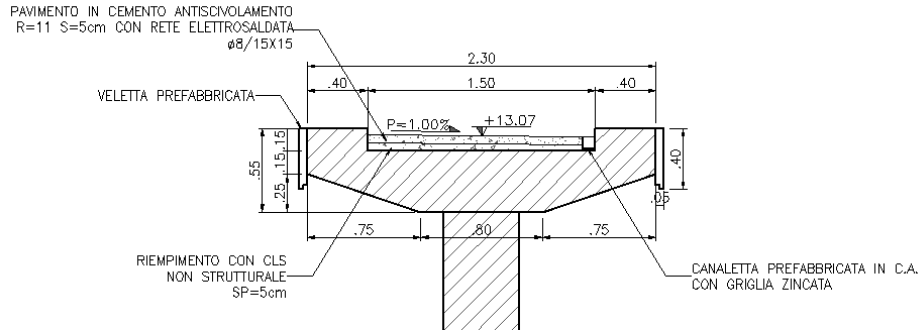


Figura 4-2: Sezione trasversale trave

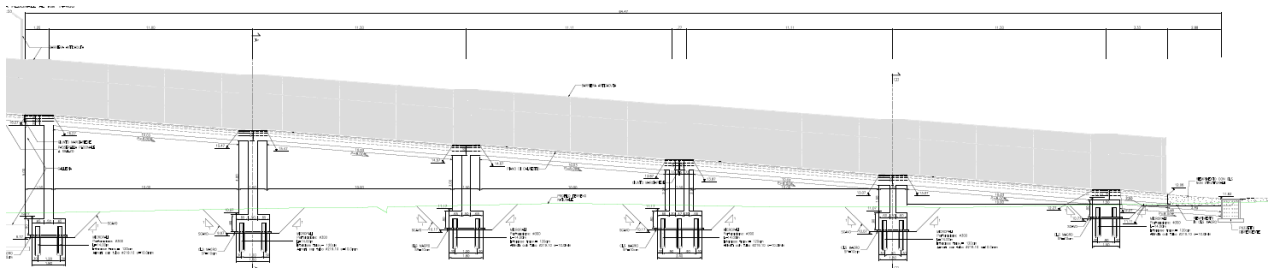


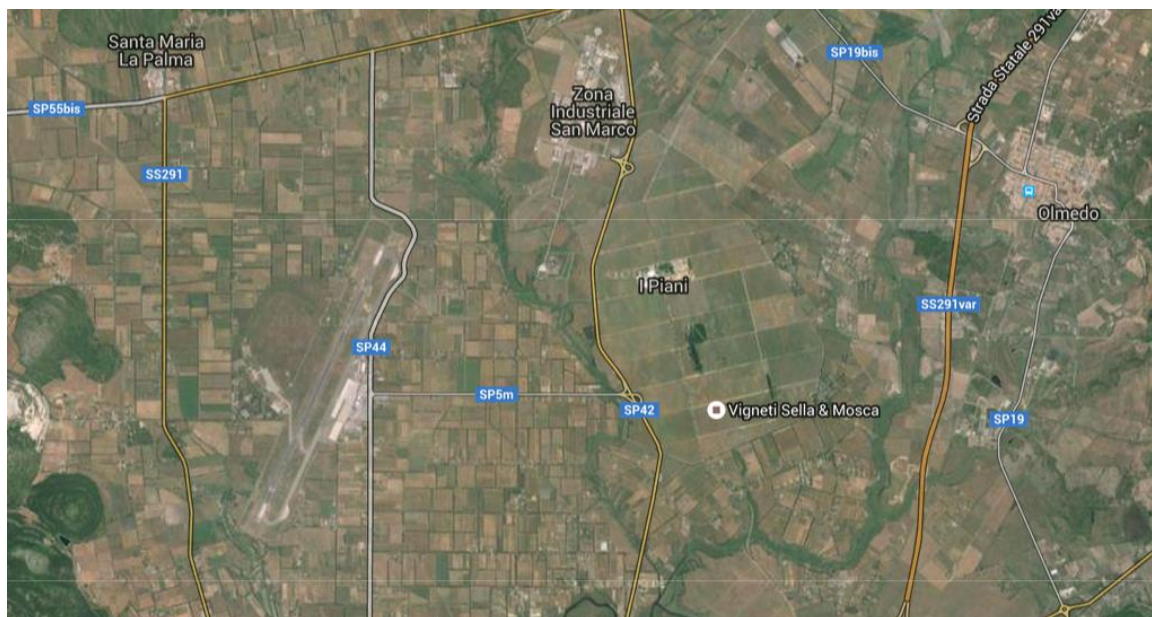
Figura 4-3: Sezione longitudinale



Figura 4-4: Planimetria rampa


5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'area oggetto del presente intervento ricade all'interno del territorio del Comune di Alghero.



Secondo quanto riportato nel D.M. 14.01.2008 “Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 2.4, sono stati definiti i seguenti parametri sismici della struttura:

- Vita nominale della struttura: $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso della struttura: **IV**
- Coefficiente d'uso della struttura: $C_U = 2,00$
- Periodo di ritorno per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2,00 = 100$ anni

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Di seguito sono riportati i valori dei principali parametri sismici caratteristici del sito in oggetto e del periodo di ritorno dell'evento sismico:

PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA				
Stato limite	T_r	a_g/g	F_o	T_c^*
	[anni]	[-]	[-]	[s]
Operatività	60	0.025	2.67	0.299
Danno	101	0.031	2.73	0.307
Salvaguardia Vita	949	0.060	2.98	0.371
Prevenzione Collasso	1950	0.071	3.06	0.393


Sulla base della relazione geologica il terreno di fondazione è stato classificato come di **classe B**, cui corrisponde un coefficiente stratigrafico **$S_s = 1.20$** .


Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Dal punto di vista topografico il sito rientra nella categoria topografica **T1**, cui corrisponde un coefficiente topografico **$S_T = 1,00$** .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Si ipotizza un comportamento elastico della struttura, cioè un comportamento non dissipativo, che non richiede i particolari costruttivi di cui al capitolo 7 delle NTC 2008; per le verifiche strutturali vengono, di conseguenza, utilizzate le regole espresse nel capitolo 4 delle NTC 2008.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia</p>		
<p>CA-029</p>	<p><i>Relazione tecnica e di calcolo</i></p>	

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1 Peso proprio delle strutture in cemento armato

Il peso per unità di volume delle strutture in cemento armato è assunto pari a $\gamma_{ca} = 25.0 \text{ kN/m}^3$.

Il peso proprio degli elementi strutturali è assegnato automaticamente dal programma di calcolo agli elementi finiti sulla base delle reali caratteristiche geometriche.

6.2 Peso proprio della pavimentazione

Il peso per unità di superficie della pavimentazione è stato preso pari a 2 kN/m^2


6.3 Peso proprio della barriera anticaduta

Nel cordolo sono installate le barriere anticaduta alte 3.00 m e il loro peso per unità di superficie è stato preso pari a 4 kN/m^2 .

6.4 Carichi accidentali da folla

Sulla soletta è stato previsto un carico accidentale dovuto alla folla compatta assunto come da D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” pari a 5.0 kN/m^2 .

Il valore di combinazione è invece 2.5 kN/m^2 .

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

6.5 Ritiro della soletta

Si riporta il calcolo della deformazione da ritiro della soletta di copertura.

Valutazione del ritiro differenziale trave-soletta

Ambiente

RH = umidità relativa % 75

Materiale

f_{ck} = resistenza caratteristica cilindrica soletta MPa 32
 E = modulo elastico calcestruzzo MPa 33346
 tipo di cemento N

Geometria

L =	larghezza dell'impalcato	m	2.3
s =	spessore medio della soletta	m	0.55
A_c =	area della sezione trasversale del getto di cls	m ²	1.27
u =	perimetro della soletta a contatto con l'atmosfera	m	5.58
h_0 =	dimensione fittizia dell'elemento	mm	453
k_h =	coefficiente di influenza di h_0		0.69

Ritiro

$\epsilon_{cd,0}$ =	deformazione da ritiro per essiccamento	0.000311
β_{RH} =	coefficiente di influenza dell'umidità relativa	0.90
α_{ds1} =	coefficiente 1 di influenza del tipo di cemento	4
α_{ds2} =	coefficiente 2 di influenza del tipo di cemento	0.12
ϵ_{cd} =	deformazione da ritiro per essiccamento della soletta	0.00022
ϵ_{ca} =	deformazione da ritiro autogeno	0.00006
ϵ_{cs} =	deformazione da ritiro	0.00027

6.6 Azione termica longitudinale

Viene considerata un'azione termica uniforme agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a **+/- 15°C**.

6.7 Azione termica differenziale

Si considera un'azione termica differenziale agente sulla soletta di copertura del sottovia pari a **+/-5°C**.

6.8 Azione sismica

Le sollecitazioni agenti sulla struttura in fase sismica vengono determinate attraverso un'analisi dinamica lineare, secondo quanto riportato nel DM 14.01.2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

La modalità di combinazione delle forme modali usata per la definizione della risposta è quella della regola della CQC (Complete Quadratic Combination).

Le sollecitazioni di verifica sono state dedotte applicando la regola della direzione prevalente del moto sismico, sommando cioè le sollecitazioni dalle altre due componenti scalate al 30% del loro valore nominale, nel modo seguente:

$$E_1 = E_T \pm 0.3 E_L \pm 0.30 E_V$$

$$E_2 = E_L \pm 0.3 E_T \pm 0.30 E_V$$

$$E_3 = E_V \pm 0.3 E_L \pm 0.30 E_T$$

Lo spettro di risposta viene definito dalla funzione delle accelerazioni (normalizzate rispetto l'accelerazione di gravità g) in funzione del periodo $T(s)$, ottenuta in base alla posizione geografica del sito in esame, alla topografia e alla tipologia di suolo. Nel caso di analisi allo Stato Limite Salvaguardia della Vita è necessario definire anche il fattore di struttura q .

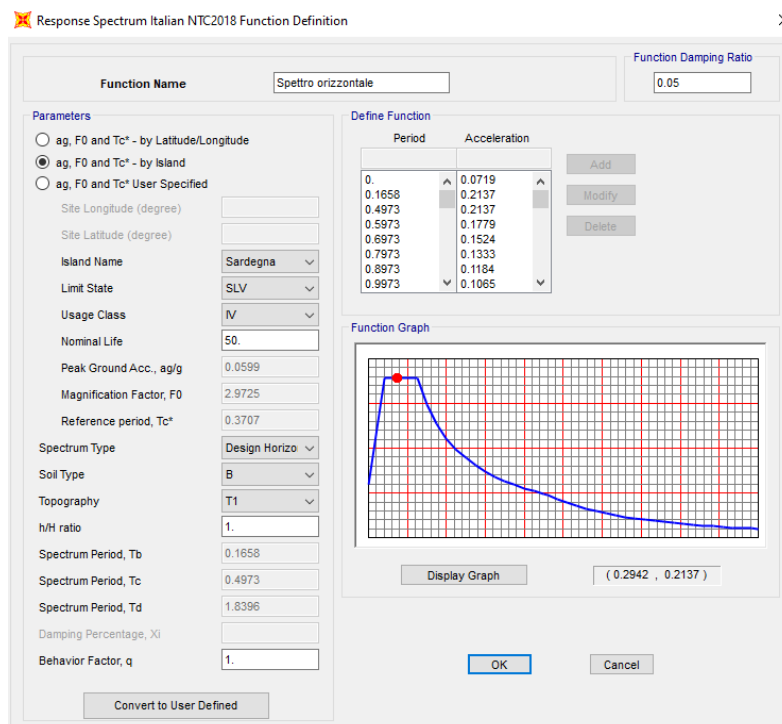



Figura 6-1: Spettro di risposta SAP2000

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

6.9 Azione del vento

Azione Vento (§3.3 NTC18)

Tab. 3.3.I.

Zona		6	
	$v_{b,0}$	28	[m/s]
	a_0	500	[m]
	k_s	0	[]
Altitudine sul livello del mare	a_s	15	[m]
Coefficiente di altitudine	c_a	1.00	[]
Tempo di ritorno	T_r	50	[anni]
Coefficiente di ritorno	c_r	1	[]
Densità dell'aria	ρ	1.25	[kg/m ³]
Velocità di riferimento	v_b	28.00	[m/s]
Velocità di riferimento	v_r	28.00	[m/s]
Pressione cinetica di riferimento	q_r	490.00	[N/m ²]

Tab. 3.3.III.

Classe di rugosità	C
Esposizione del sito	10 km
Cat. di esposizione	*

Tab. 3.3.II.

Cat. di esposizione	Cat	II	
	K_r	0.19	
	z_0	0.05	[m]
	z_{min}	0	[m]


6.9.1 Impalcato

Azione Vento (§3.3 NTC18)			VENTO SULLA BARRIERA					
			1	2	3	4	5	6
Pressione cinetica di riferimento	q_r	[N/m ²]	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
Coefficiente di esposizione	$C_e(z_{max})$	[-]	1.99	1.87	1.73	1.592	1.436	1.26
Coefficiente dinamico	C_d	[-]	1	1	1	1	1	1
b		[m]	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
d tot		[m]	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
b/d tot		[-]	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18
Coefficiente di pressione	C_p	[-]	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Pressione	P	[kN/m²]	1.46	1.38	1.27	1.17	1.06	0.93
Inclinazione longitudinale	θ	[°]	68.56	68.56	68.56	68.56	68.56	68.56
Coefficiente di pressione amplificato del 25%	C_p	[-]	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

6.9.2 Pile

Azione Vento (§3.3 NTC18)			VENTO LONGITUDINALE					
			1	2	3	4	5	6
Pressione cinetica di riferimento q_r	q_r	[N/m ²]	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
Coefficiente di esposizione	$C_e(z_{max})$	[-]	1.93	1.80	1.64	1	1.277	1.032
Coefficiente dinamico	C_d	[-]	1	1	1	1	1	1
Coefficiente di forza	$C_{f,0}$	[-]	2.1	2.1	2.1	2.35	2.35	2.34
Fattore di riduzione per spigoli arrotondati	Ψ_r	[-]	1	1	1	1	1	1
Fattore di riduzione per snellezza	Ψ_λ	[-]	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Coefficiente di pressione C_f	C_f	[-]	1.93	1.93	1.93	2.16	2.16	2.15
Pressione	P	[kN/m²]	1.83	1.70	1.55	1.56	1.35	1.09

Azione Vento (§3.3 NTC18)			VENTO TRASVERSALE					
			1	2	3	4	5	6
Pressione cinetica di riferimento	q_r	[N/m ²]	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
Coefficiente di esposizione	$C_e(z_{max})$	[-]	1.93	1.80	1.64	1.473	1.277	1.032
Coefficiente dinamico	C_d	[-]	1	1	1	1	1	1
Coefficiente di forza	$C_{f,0}$	[-]	2.1	2.1	2.1	1.72	1.72	2
Fattore di riduzione per spigoli arrotondati	Ψ_r	[-]	1	1	1	1	1	1
Fattore di riduzione per snellezza	Ψ_λ	[-]	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Coefficiente di pressione	C_f	[-]	1.93	1.93	1.93	1.58	1.58	1.84
Pressione	P	[kN/m²]	1.83	1.70	1.55	1.14	0.99	0.93

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

7 COMBINAZIONI DI CARICO

7.1 Combinazioni di carico statiche allo SLU

Per le combinazioni di carico statiche relative alla struttura in oggetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo 6 nel D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”. Sulla base di ciò sono state individuate due combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo, ottenute tramite la relazione generale:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (\gamma_{Gj} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

I coefficienti di amplificazione dei carichi e di riduzione dei parametri geotecnici per le combinazioni di carico A1-M1 (usate per le verifiche strutturali), secondo il D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, capitolo 5 e 6, punti 5.1.3.12 e 6.2.II, sono riepilogati nelle seguenti tabelle:

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio 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 validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequentissimi)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

7.2 Combinazioni di carico statiche allo SLE

Per le combinazioni di carico statiche relative allo stato limite di esercizio si è fatto riferimento a quanto riportato dal D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme tecniche per le Costruzioni" al paragrafo 2.5.3.


7.3 Combinazioni di carico sismiche

In fase sismica è stata ipotizzata un'unica combinazione di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, ottenuta tramite la relazione generale:

$$F_d = \gamma_E \cdot E + \sum_{j=1}^m (\gamma_{G_j} \cdot G_{kj}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qi} \cdot Q_{ki})$$

dove:

- γ_E rappresenta il coefficiente parziale di amplificazione del carico sismico (posto pari a 1);
- E rappresenta il carico sismico;
- γ_G e γ_Q rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi;
- G_{kj} rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente;

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- Ψ_{0i} rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici.

In condizioni sismiche, i coefficienti parziali sui parametri geotecnici del terreno sono unitari.

7.1 Riepilogo delle combinazioni di carico


7.1.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo

COMBINAZIONI	G1 - PESO PROPRIO	G2 - PERMANENTI	E2 - RITIRO	Q7 - TERMICA	Q1 - FOLLA	Q2 - VENTO X	Q2 - VENTO -X	Q2 - VENTO Y	Q2 - VENTO -Y
SLU 1	1.35	1.50	1.20	0.90	1.35	0.90			
SLU 2	1.35	1.50	1.20	0.90	1.35			0.90	
SLU 3	1.35	1.50	1.20	0.90	-	1.50			
SLU 4	1.35	1.50	1.20	0.90	-			1.50	
SLU 5	1.35	1.5	1.20	1.50	-	0.90			
SLU 6	1.35	1.5	1.20	1.50	-			1.50	
SLU 7	1.35	1.5	1.20	0.90	1.35		0.90		
SLU 8	1.35	1.5	1.20	0.90	1.35				0.90
SLU 9	1.35	1.5	1.20	0.90	-		1.50		
SLU 10	1.35	1.5	1.20	0.90	-				1.50
SLU 11	1.35	1.5	1.20	1.50	-		0.90		
SLU 12	1.35	1.5	1.20	1.50	-				0.90

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

7.1.2 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Rare

COMBINAZIONI	G1 - PESO PROPRIO	G2 - PERMANENTI	E2 - RITIRO	Q7 - TERMICA	Q1 - FOLLA	Q2 - VENTO X	Q2 - VENTO -X	Q2 - VENTO Y	Q2 - VENTO -Y
SLE RARA 1	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	0.60			
SLE RARA 2	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00			0.60	
SLE RARA 3	1.00	1.00	1.00	0.60	-	1.00			
SLE RARA 4	1.00	1.00	1.00	0.60	-			1.00	
SLE RARA 5	1.00	1.00	1.00	1.00	-	0.60			
SLE RARA 6	1.00	1.00	1.00	1.00	-			0.60	
SLE RARA 7	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00		0.60		
SLE RARA 8	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00				0.60
SLE RARA 9	1.00	1.00	1.00	0.60	-		1.00		
SLE RARA 10	1.00	1.00	1.00	0.60	-				1.00
SLE RARA 11	1.00	1.00	1.00	1.00	-		0.60		
SLE RARA 12	1.00	1.00	1.00	1.00	-				0.60


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

7.1.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Frequenti

COMBINAZIONI	G1 - PESO PROPRIO	G2 - PERMANENTI	E2 - RITIRO	Q7 - TERMICA	Q1 - FOLLA	Q2 - VENTO X	Q2 - VENTO -X	Q2 - VENTO Y	Q2 - VENTO -Y
SLE FQ 1	1.00	1.00	1.00	0.50	0.75				
SLE FQ 2	1.00	1.00	1.00	0.60					

7.1.4 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio - Quasi Permanenti

COMBINAZIONI	G1 - PESO PROPRIO	G2 - PERMANENTI	E2 - RITIRO	Q7 - TERMICA	Q1 - FOLLA	Q2 - VENTO X	Q2 - VENTO -X	Q2 - VENTO Y	Q2 - VENTO -Y
SLE QP 1	1.00	1.00	1.00	0.50					

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

8 MODELLO DI CALCOLO

8.1 Definizione del modello di calcolo

Per la valutazione delle sollecitazioni agenti sui vari elementi, viene realizzato un apposito modello di calcolo agli elementi finiti completo di tutte le campate dell'opera e delle sottostrutture, in cui:

- Impalcato: elemento monodimensionale tipo “beam”
- Pile: elemento monodimensionale tipo “beam”

La modellazione è stata realizzata mediante il software SAP2000 v.21.2.0 (Computers & Structures, Inc.).

Il sistema di riferimento adottato è di tipo cartesiano ortogonale destro, con l'asse X in direzione longitudinale del manufatto, l'asse Y in direzione trasversale e l'asse verticale Z orientato positivo verso l'alto.

Si riportano di seguito alcune viste del modello.

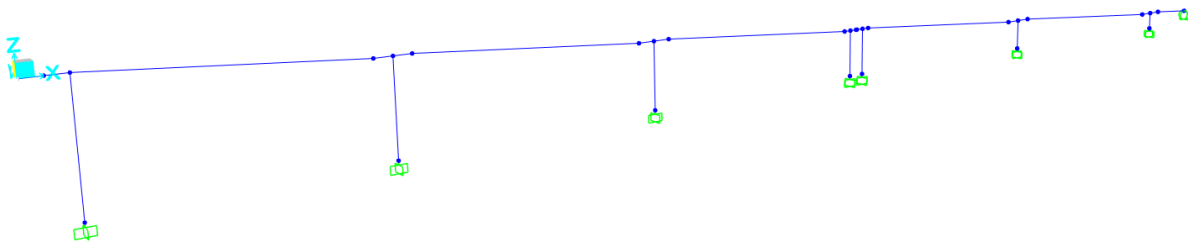


Figura 8-1: Modello di calcolo agli elementi finiti – Vista 3D

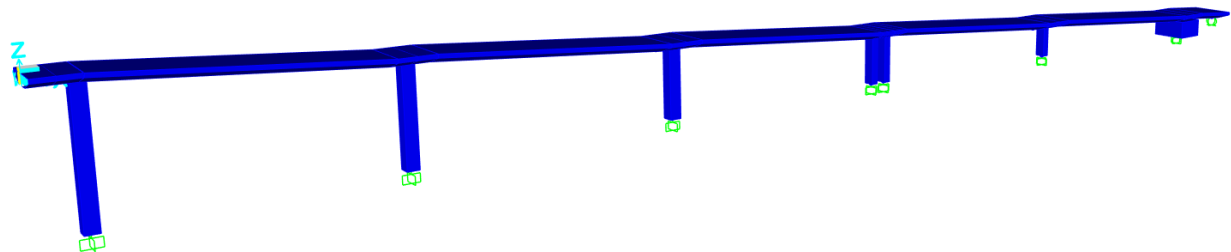
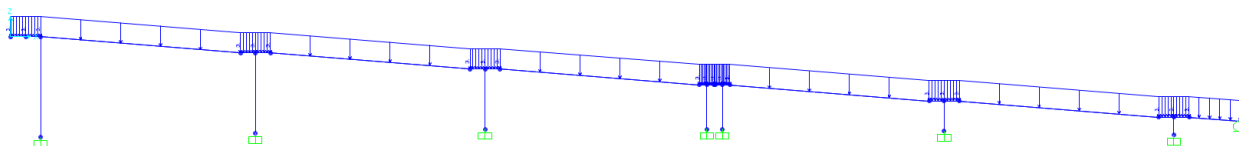


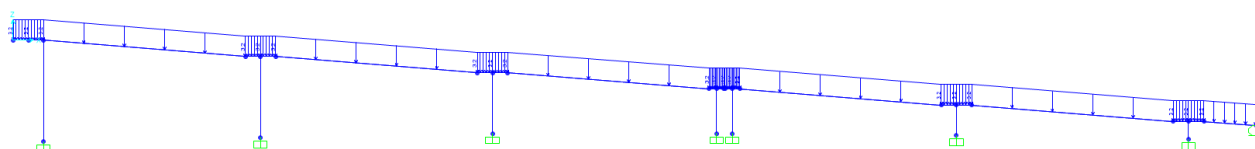
Figura 8-2: Modello di calcolo agli elementi finiti – Vista estrusa 3D

Applicazione dei carichi

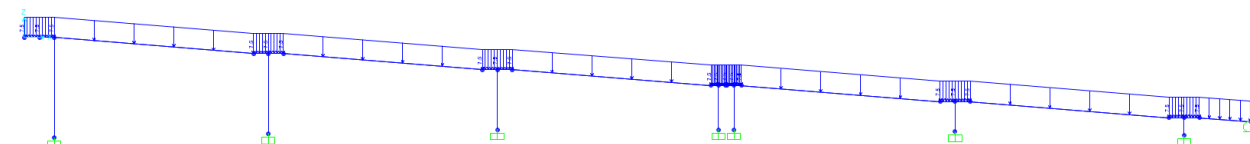
8.1.1 Carichi permanenti dovuti al peso della pavimentazione stradale



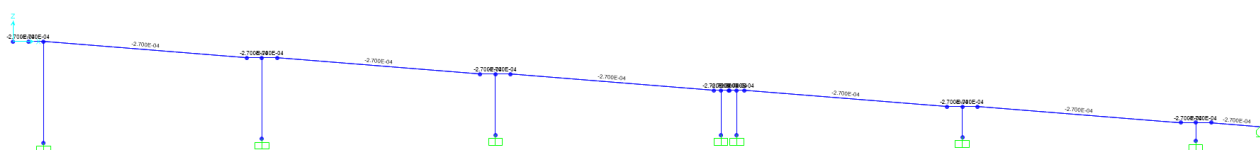
8.1.2 Carichi permanenti dovuti al peso della barriera



8.1.3 Carichi accidentali da folla



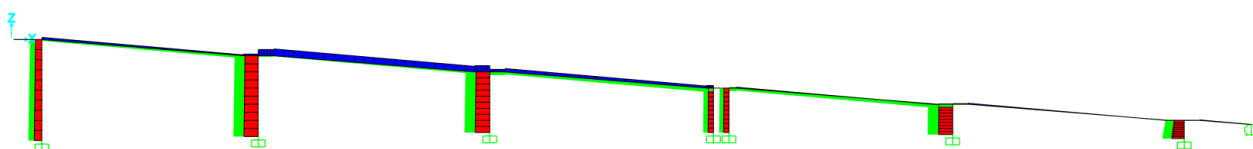
8.1.4 Azione del ritiro sull'impalcato



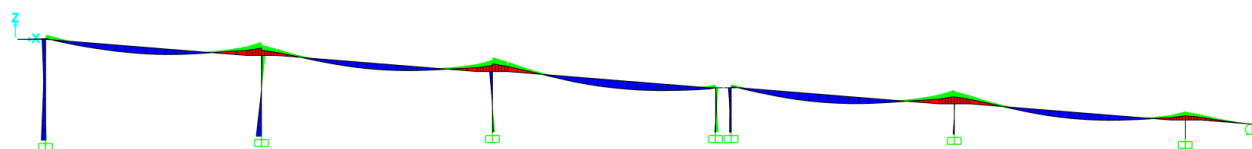
9 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI

Di seguito sono riportati i diagrammi delle sollecitazioni riferite alla combinazione involuppo delle combinazioni allo stato limite ultimo statiche (SLU) e sismiche (SLV).

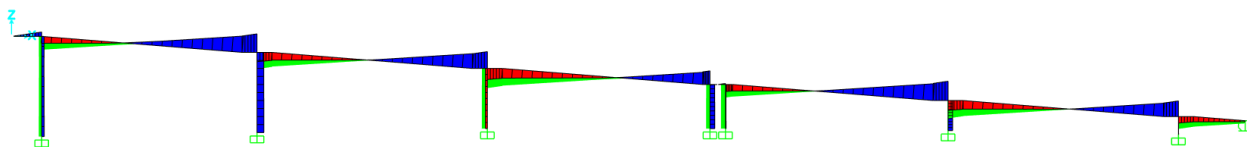
9.1 Diagramma dell'azione assiale




9.2 Diagramma del momento flettente



9.3 Diagramma dell'azione tagliante



Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

10 IMPALCATO - VERIFICA STRUTTURALE

La soletta di copertura è realizzata con travi prefabbricate a “T” e completata con un getto di cemento armato in opera per realizzare la sezione finale. Si è considerata una sezione totalmente in c32/40, trascurando a favore di sicurezza la superiore resistenza del calcestruzzo prefabbricato delle travi.

10.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 100 cm ed altezza pari a 110 cm.
Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

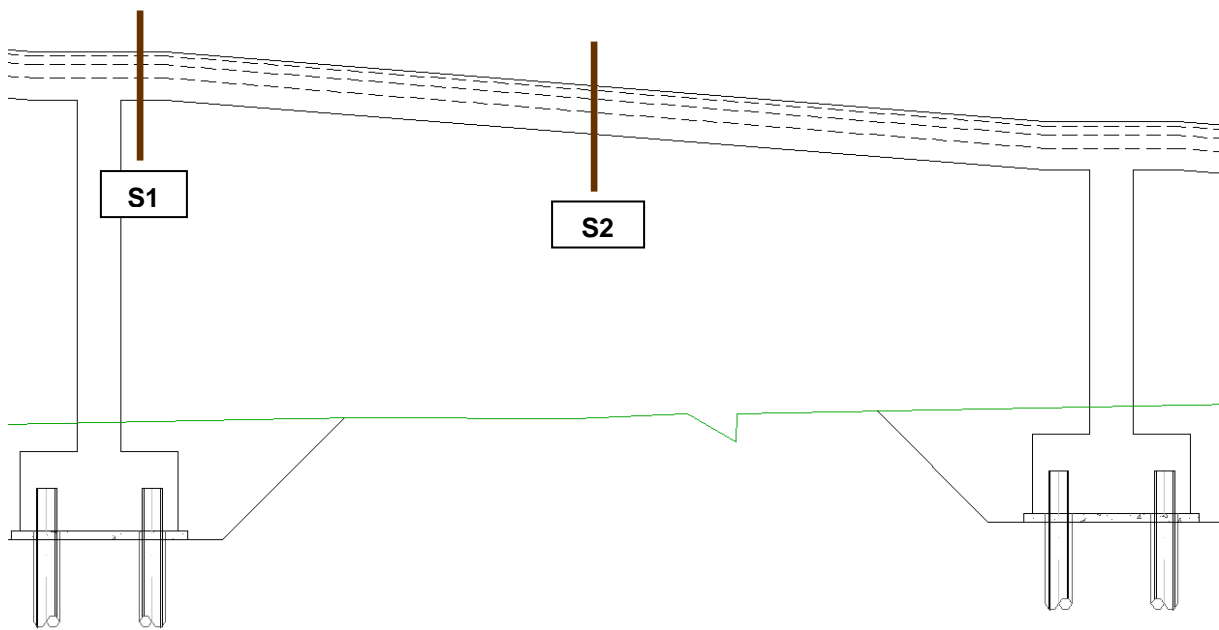



Figura 10-1: Sezioni di verifica

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione e i momenti sollecitanti. Per la verifica nella sezione S1 a momento positivo, si considera come armatura tesa inferiore i soli ferri posizionati nel getto di completamento della soletta al di sopra delle ali inferiori della trave prefabbricata a T.

Sezione	Posizione	M_{max} (INV_SLU+SLV) [kNm]	Armatura superiore	Armatura inferiore
S1	APPOGGIO (M-)	-636.2	12 ϕ 22	12 ϕ 26*
S2	MEZZERIA (M+)	395.2	12 ϕ 22	12 ϕ 26*

Tabella 10-1: Sezioni di verifica - Momenti sollecitanti ed armatura di calcolo

10.2 Verifica allo Stato Limite Ultimo per tenso-flessione

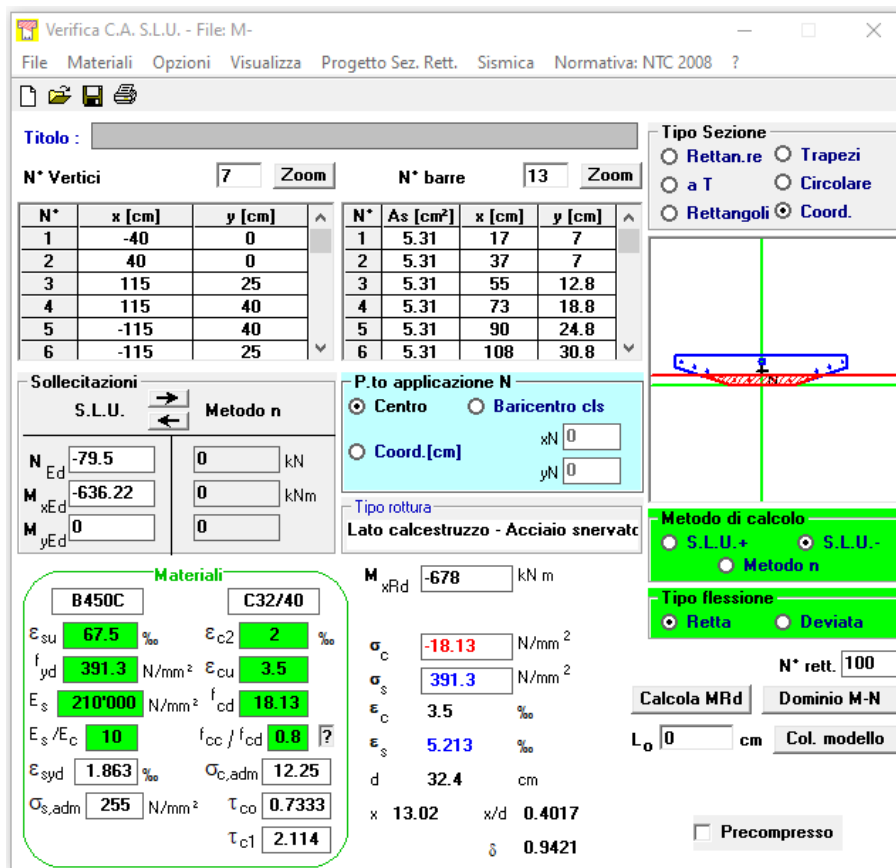
Le verifiche vengono svolte considerando il contributo negativo dello sforzo normale di trazione.
Gli sforzi normali di trazione hanno segno positivo.

Per lo svolgimento delle verifiche è stato utilizzato il software VCASLU.

10.2.1 Verifica in appoggio (Momento negativo) – Sezione S1

Lo sforzo normale di trazione di calcolo è assunto pari a $N_{sd} = 79.5$ kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = -636.2$ kN*m.



The screenshot shows the VCASLU software interface with the following data and settings:

- Titolo:** [Empty]
- N° Vertici:** 7
- N° barre:** 13
- Tipo Sezione:** Rettan.re, a T, Rettangoli, Coord. (Coord. selected)
- Table 1 (Vertices):**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-40	0
2	40	0
3	115	25
4	115	40
5	-115	40
6	-115	25
- Table 2 (Reinforcement Bars):**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5.31	17	7
2	5.31	37	7
3	5.31	55	12.8
4	5.31	73	18.8
5	5.31	90	24.8
6	5.31	108	30.8
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n
- Input Values:**
 - N_{Ed} : -79.5 kN
 - M_{xEd} : -636.22 kNm
 - M_{yEd} : 0
- P.to applicazione N:** Centro
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
- Metodo di calcolo:** S.L.U.-
- Tipo flessione:** Retta
- Calcoli:**
 - M_{xRd} : -678 kNm
 - σ_c : -18.13 N/mm²
 - σ_s : 391.3 N/mm²
 - ϵ_s : 5.213 ‰
 - d : 32.4 cm
 - x : 13.02, x/d : 0.4017
 - δ : 0.9421
- Materiali:**
 - B450C: ϵ_{su} 67.5 ‰, f_{yd} 391.3 N/mm², E_s 210'000 N/mm², E_s/E_c 10, ϵ_{syd} 1.863 ‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C32/40: ϵ_{c2} 2 ‰, ϵ_{cu} 3.5 ‰, f_{cd} 18.13, f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 12.25, τ_{co} 0.7333, τ_{c1} 2.114
- Other Settings:** N° rett. 100, L₀ 0 cm, Col. modello, Precompresso (unchecked)

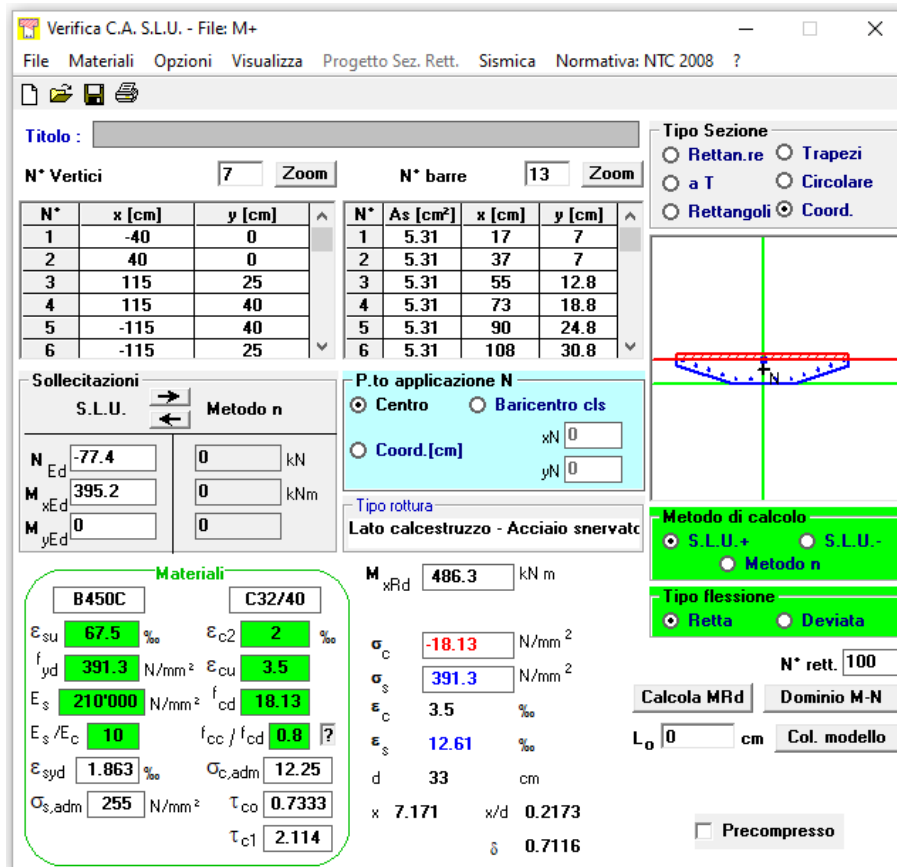
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = -678$ kNm

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.1 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

10.2.2 Verifica in mezzeria (Momento positivo) – Sezione S2

Lo sforzo normale di trazione di calcolo è assunto pari a $N_{sd} = 77.4$ kN.

Il momento flettente di calcolo è assunto pari a $M_{sd} = 395.23$ kNm.



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input parameters and calculation results for a reinforced concrete section.

Titolo: [Empty field]

N° Vertici: 7 **Zoom:** [Slider] **N° barre:** 13 **Zoom:** [Slider]

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-40	0	1	5.31	17	7
2	40	0	2	5.31	37	7
3	115	25	3	5.31	55	12.8
4	115	40	4	5.31	73	18.8
5	-115	40	5	5.31	90	24.8
6	-115	25	6	5.31	108	30.8

Sollecitazioni: S.L.U. / Metodo n

N_{Ed}: -77.4 kN
M_{xEd}: 395.2 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro / Baricentro cls / Coord. [cm] (xN: 0, yN: 0)

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta / Deviata

Materiali: B450C / C32/40

σ_c: -18.13 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 12.61 ‰
d: 33 cm
x: 7.171 **x/d:** 0.2173
δ: 0.7116

M_{xRd}: 486.3 kNm


N° rett.: 100

Calcola MRd **Dominio M-N** **L₀:** 0 cm **Col. modello**

Precompresso

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd} = 486.3$ kNm/m.

Essendo $M_{rd}/M_{sd} = 1.23 > 1$, la verifica risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

10.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

La verifica a taglio verrà eseguita, a favore di sicurezza, senza tener conto dell'effetto positivo dell'azione normale di compressione.

La sezione resistente è rettangolare con base pari a 800 mm (larghezza minima della sezione) e altezza pari a 400 mm.

L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{s,d} = 326.7 \text{ kN/m}$ e si ha in corrispondenza dell'appoggio(S1).


Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	800
altezza sezione	h	[mm]	400
altezza utile sezione	d	[mm]	330
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		4.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	12
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	452
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	657
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	743
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	657
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	326.7

verificato

L'armatura a taglio che si sceglie di adottare è costituita da 2 staffe $\emptyset 12/20$ a 2 bracci.

La verifica risulta soddisfatta, con rapporto $V_{Rd}/V_{Ed} = 2.01 > 1$.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

10.4 Verifica allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.


Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.

Per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il foglio di calcolo Excel ed è stata eseguita su una sezione di area equivalente a quella effettiva.


Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

10.4.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano nella tabella seguente le sollecitazioni allo SLE in combinazione frequente e quasi permanente usate nelle verifiche a fessurazione.

SEZIONE	SLE QP	
	M_{max} [kNm]	N [KN]
S1	236.8	10.2
S2	-376.7	11

SEZIONE	SLE FQ	
	M_{max} [kNm]	N [KN]
S1	275.7	24
S2	-441.2	26.0

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

10.4.2 Verifica in appoggio (Momento negativo) – Sezione S1

Stato limite di apertura delle fessure – SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	-11.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	376.7 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	271 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	153 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0374
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	6371 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	170416 [mm ²]
b =	1830 [mm]
$h_{c,eff}$ =	93 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00095
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00069
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	236.2 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.26 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	-26.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	441.2 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	271 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	153 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0374
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	6371 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	170416 [mm ²]
b =	1830 [mm]
$h_{c,eff}$ =	93 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00115
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00081
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	277.8 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.31 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

10.4.3 Verifica in mezzzeria (Momento positivo) – Sezione S2

Stato limite di apertura delle fessure – SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	-10.2 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	236.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	271 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	153 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0374
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	6371 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	170416 [mm ²]
b =	1830 [mm]
$h_{c,eff}$ =	93 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\varepsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00052
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00043
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	148.8 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \varepsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.14 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	-24.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	275.7 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	271 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	153 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0374
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	6371 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	170416 [mm ²]
b =	1830 [mm]
$h_{c,eff}$ =	93 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00065
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00051
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	174.3 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.18 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

11 PILE - VERIFICA STRUTTURALE

11.1 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo delle pile quadrate

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 50 cm ed altezza pari a 50 cm.
 Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

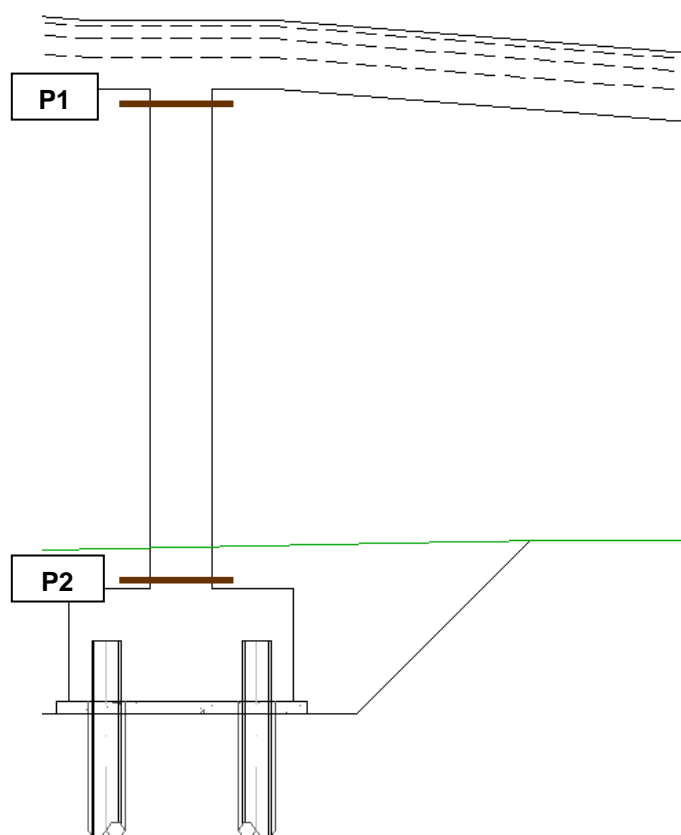



Figura 11-1: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione.

Sezione	Posizione	Armatura superiore	Armatura inferiore
P1	A filo intradosso impalcato	4 ϕ 20	4 ϕ 20
P2	A filo estradosso plinto	4 ϕ 20	4 ϕ 20

Tabella 11-1: Sezioni di verifica - Armature di calcolo

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

11.1.1 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione

Le verifiche vengono eseguite in ognuna delle sezioni precedentemente individuate prendendo in esame le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $M_{max_x} + M_y + N$;
- $M_x + M_y + N_{min}$;

I momenti che tendono le fibre superiori sono assunti negativi, mentre quelli che tendono le fibre inferiori sono assunti positivi.

Gli sforzi normali di compressione hanno segno negativo.

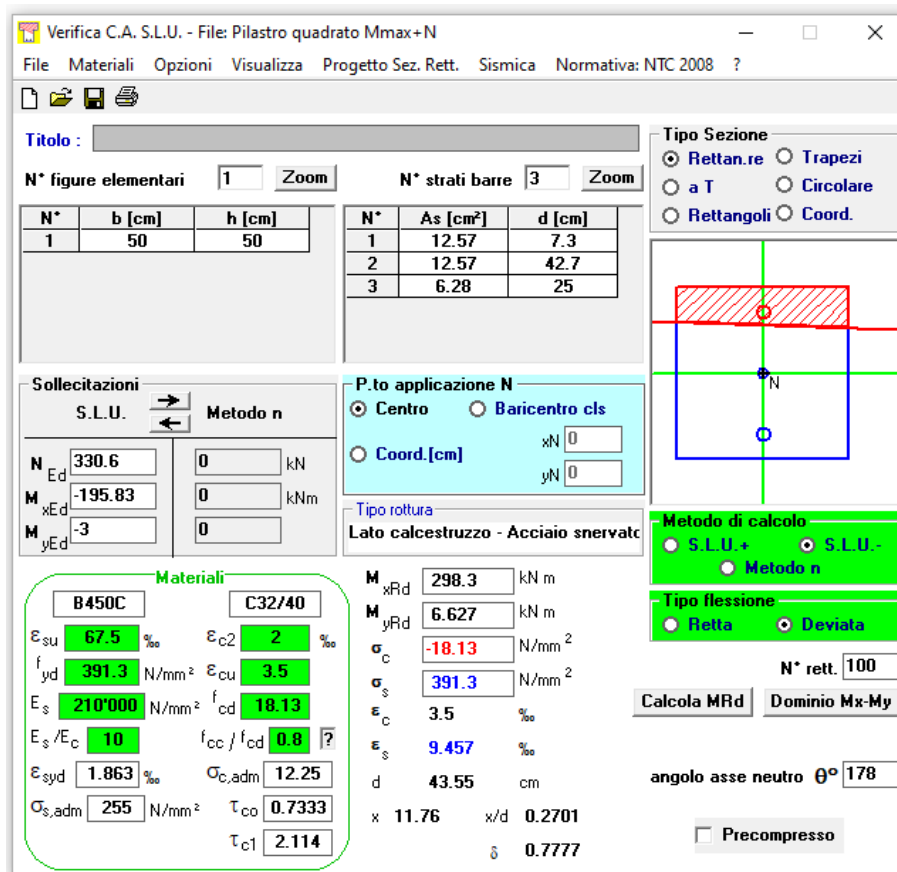
Le verifiche vengono svolte mediante il software VCASLU.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

11.1.1.1 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -330.6$ kN.

I momenti flettenti di calcolo sono assunto pari a $M_{sd,x} = -195.83$ kNm e a $M_{sd,y} = -3$ kNm.



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following data:

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	12.57	7.3
			2	12.57	42.7
			3	6.28	25

Input data for the section:

- $N_{Ed} = 330.6$ kN
- $M_{xEd} = -195.83$ kNm
- $M_{yEd} = -3$ kNm
- Material: B450C (steel), C32/40 (concrete)
- Method: S.L.U. +
- Calculation method: Metodo n
- Flexion type: Retta
- Number of reinforcement: 100
- Angle of neutral axis: $\theta^\circ = 178$
- Precompressed:

Material properties and design values:

- $\epsilon_{su} = 67.5$ ‰
- $f_{yd} = 391.3$ N/mm²
- $E_s = 210'000$ N/mm²
- $E_s/E_c = 10$
- $\epsilon_{syd} = 1.863$ ‰
- $\sigma_{s,adm} = 255$ N/mm²
- $\epsilon_{c2} = 2$ ‰
- $\epsilon_{cu} = 3.5$ ‰
- $f_{cd} = 18.13$ N/mm²
- $f_{cc}/f_{cd} = 0.8$
- $\sigma_{c,adm} = 12.25$ N/mm²
- $\tau_{co} = 0.7333$ N/mm²
- $\tau_{c1} = 2.114$ N/mm²
- $M_{xRd} = 298.3$ kNm
- $M_{yRd} = 6.627$ kNm
- $\sigma_c = -18.13$ N/mm²
- $\sigma_s = 391.3$ N/mm²
- $\epsilon_c = 3.5$ ‰
- $\epsilon_s = 9.457$ ‰
- $d = 43.55$ cm
- $x = 11.76$ cm, $x/d = 0.2701$
- $\delta = 0.7777$

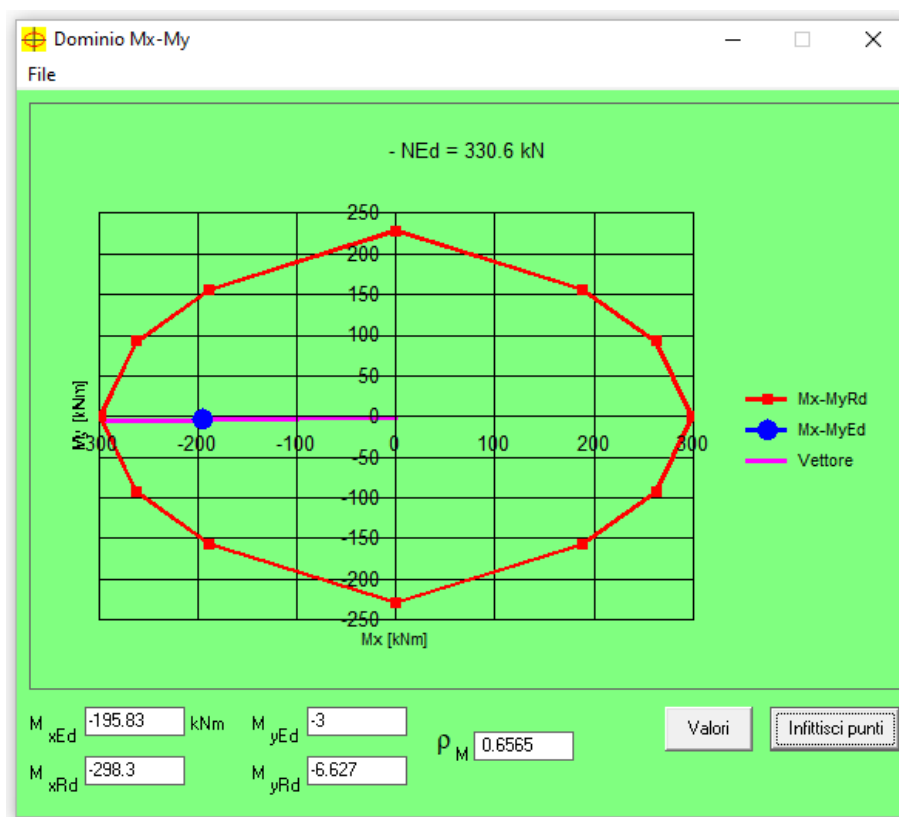
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd,x} = 298.3$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd,x}/M_{sd,x} = 1.52$.

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd,y} = 69.03$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd,y}/M_{sd,y} = 2.2$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:

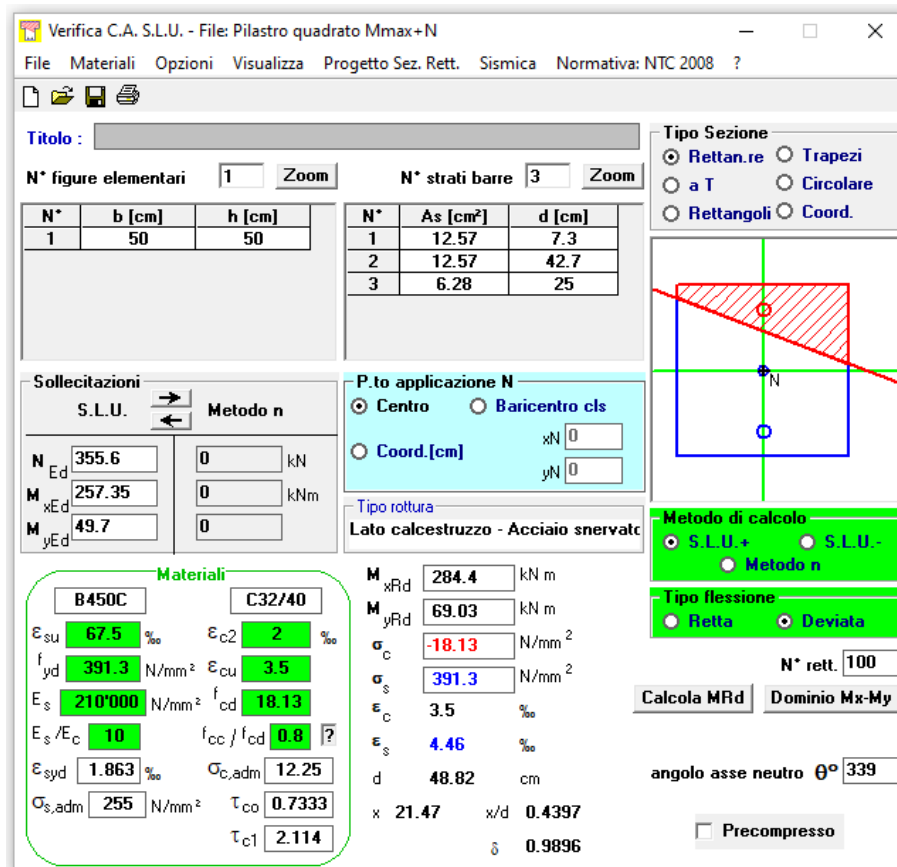


La verifica risulta pertanto soddisfatta.

11.1.1.2 Verifica Sezione di Base (P2)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -355.6$ kN.

I momenti flettenti di calcolo sono assunto pari a $M_{sd,x} = 257.35$ kNm e a $M_{sd,y} = 49.7$ kNm.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pilastro quadrato Mmax+N

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	12.57	7.3
			2	12.57	42.7
			3	6.28	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 355.6 0 kN
M_{xEd} 257.35 0 kNm
M_{yEd} 49.7 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° 339

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 210'000 N/mm² f_{cd} 18.13
E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.863 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 284.4 kNm
M_{yRd} 69.03 kNm
σ_c -18.13 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 4.46 ‰
d 48.82 cm
x 21.47 x/d 0.4397
δ 0.9896

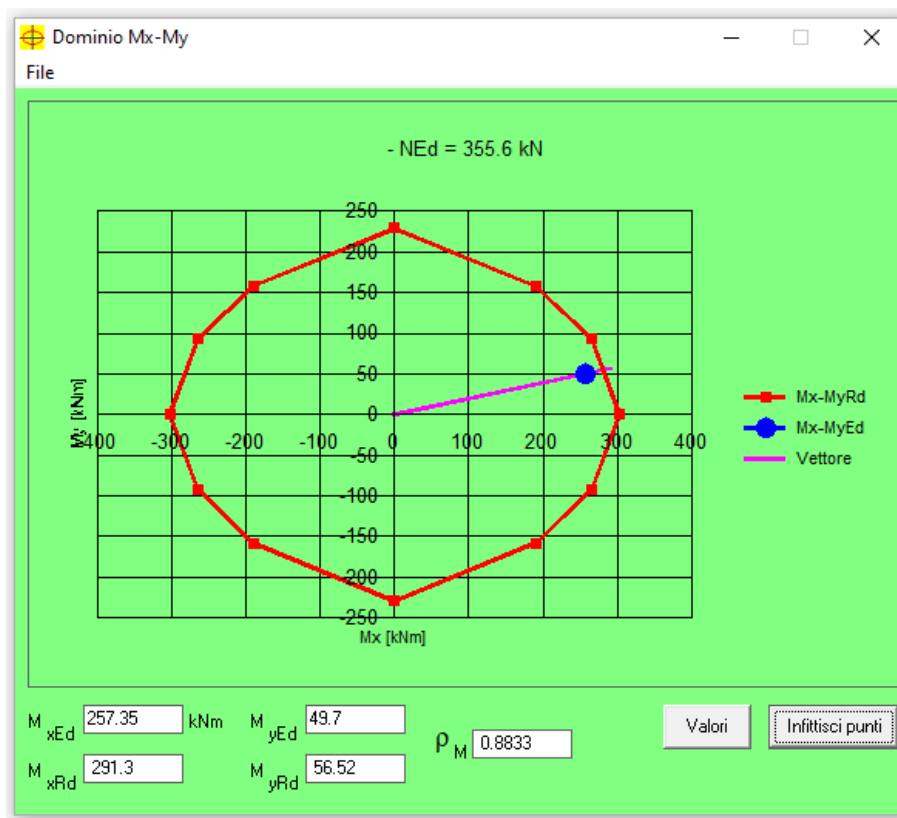
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd,x} = 284.4$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd,x}/M_{sd,x} = 1.10$.


Il momento resistente della sezione vale $M_{rd,y} = 69.03$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd,y}/M_{sd,y} = 1.38$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


11.1.1.3 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 13.2.

Sezione	Posizione	M_{MAX} [kN*m]	N [kN]	FS
P1	A filo intradosso impalcato	-195.8	330.6	1.52
P2	A filo estradosso plinto	257.4	355.6	1.10

Sezione	Posizione	M [kN*m]	N_{MIN} [kN]	FS
P1	A filo intradosso impalcato	173.7	157.2	1.54
P2	A filo estradosso plinto	212.3	188.5	1.22

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.1.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio

Le verifiche vengono svolte senza considerando il contributo positivo dello sforzo normale di compressione a vantaggio di sicurezza.

L'armatura a taglio che si sceglie di adottare è costituita da 1 staffe Ø10/20 a 2 bracci.

11.1.2.1 Verifica Sezione di Testa (P1)


L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 114.8$ kN.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	500
altezza sezione	h	[mm]	500
altezza utile sezione	d	[mm]	427
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	10
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	157
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	295
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	601
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	295
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	114.8

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 2.57 > 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.1.2.2 Verifica Sezione di Base (P3)


L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 112.5$ kN.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	500
altezza sezione	h	[mm]	500
altezza utile sezione	d	[mm]	427
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	10
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	157
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$ctg \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	295
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	601
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	295
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	112.5

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 1.74 > 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.1.3 Verifiche allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.


Per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il foglio di calcolo Excel.

11.1.3.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano nella tabella seguente le sollecitazioni allo SLE in combinazione frequente e quasi permanente usate nelle verifiche a fessurazione.

SEZIONE	SLE QP			
	M_{max} [kNm]	N [KN]	M [kNm]	N_{min} [KN]
P1	122.0	329.0	12.5	155.2
P2	363.9	159.1	128.0	186

SEZIONE	SLE FQ			
	M_{max} [kNm]	N [KN]	M [kNm]	N_{min} [KN]
P1	127.6	329	9	154.5
P2	353.0	166.0	137.0	185.7

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.1.3.2 Verifica sezione di testa (P1) – M_{MAX}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	329.0 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	122.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	315 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0210
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	1257 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	59817 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	120 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00040
0.6 σ_s / E_s =	0.00040
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	137.6 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.13 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	329.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	127.6 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	315 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0210
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1257 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	59945 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	120 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00043
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00043
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	149.0 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure


$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.14 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

11.1.3.3 Verifica sezione di testa (P1) - N_{MIN}

La sezione in oggetto risulta essere completamente compressa e per questo motivo la verifica a fessurazione è automaticamente verificata.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

11.1.3.4 Verifica sezione di base (P2) - M_{MAX}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	363.9 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	159.1 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	316 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0209
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	1257 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	60228 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	120 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00065
0.6 σ_s / E_s =	0.00059
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	201.4 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.21 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

Stato limite di apertura delle fessure – SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	353.0 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	166.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	316 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0208
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1257 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	60366 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	121 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00074
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00064
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	219.2 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.23 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.1.3.5 Verifica sezione di base (P2) - N_{MIN}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	186.0 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	128.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	318 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0207
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	1257 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	60819 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	122 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00064
0.6 $\sigma_s / E_s =$	0.00058
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	199.7 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.20 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	185.7 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	137.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	318 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	20 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0206
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	1257 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	60868 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	122 [mm]

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00073
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00064
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	218.7 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.23 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

11.2 Sezioni di verifica ed armatura di calcolo delle pile rettangolari

La sezione di verifica è rettangolare con base pari a 50 cm ed altezza pari a 30 cm.
 Le sezioni di verifica sono riportate nella figura seguente.

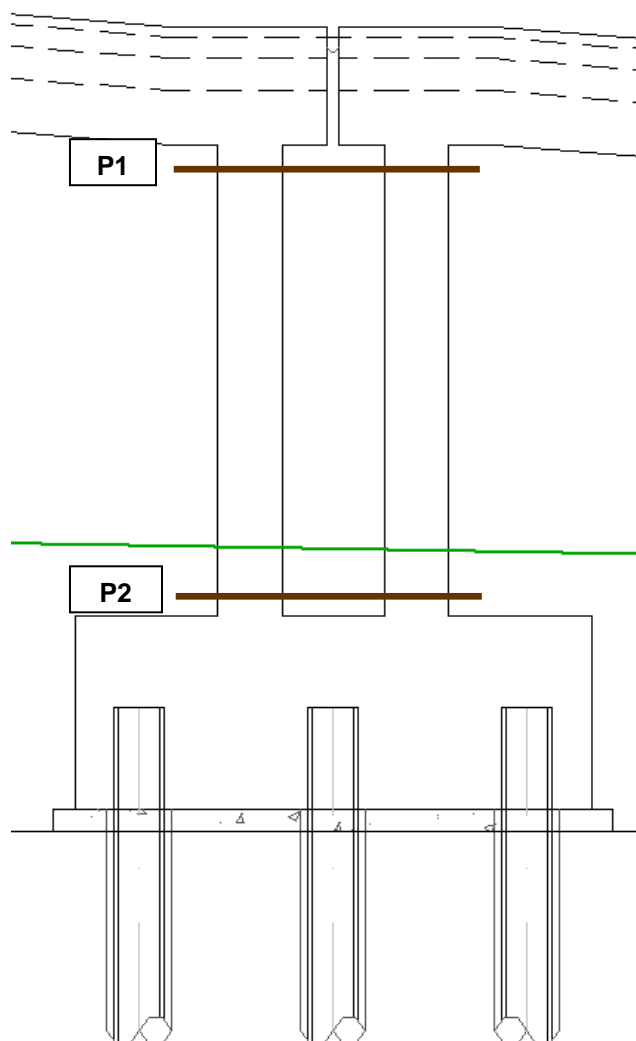



Figura 11-2: Sezioni di verifica

Nella tabella seguente si riportano le armature di calcolo assunte per ogni sezione.

Sezione	Posizione	Armatura superiore	Armatura inferiore
P1	A filo intradosso impalcato	4 ϕ 26	4 ϕ 26
P2	A filo estradosso plinto	4 ϕ 26	4 ϕ 26

Tabella 11-2: Sezioni di verifica - Armature di calcolo

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

11.2.1 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per presso-flessione

Le verifiche vengono eseguite in ognuna delle sezioni precedentemente individuate prendendo in esame le seguenti combinazioni delle azioni sollecitanti:

- $M_{max_x} + M_y + N$;
- $M_x + M_y + N_{min}$;

I momenti che tendono le fibre superiori sono assunti negativi, mentre quelli che tendono le fibre inferiori sono assunti positivi. Gli sforzi normali di compressione hanno segno negativo.

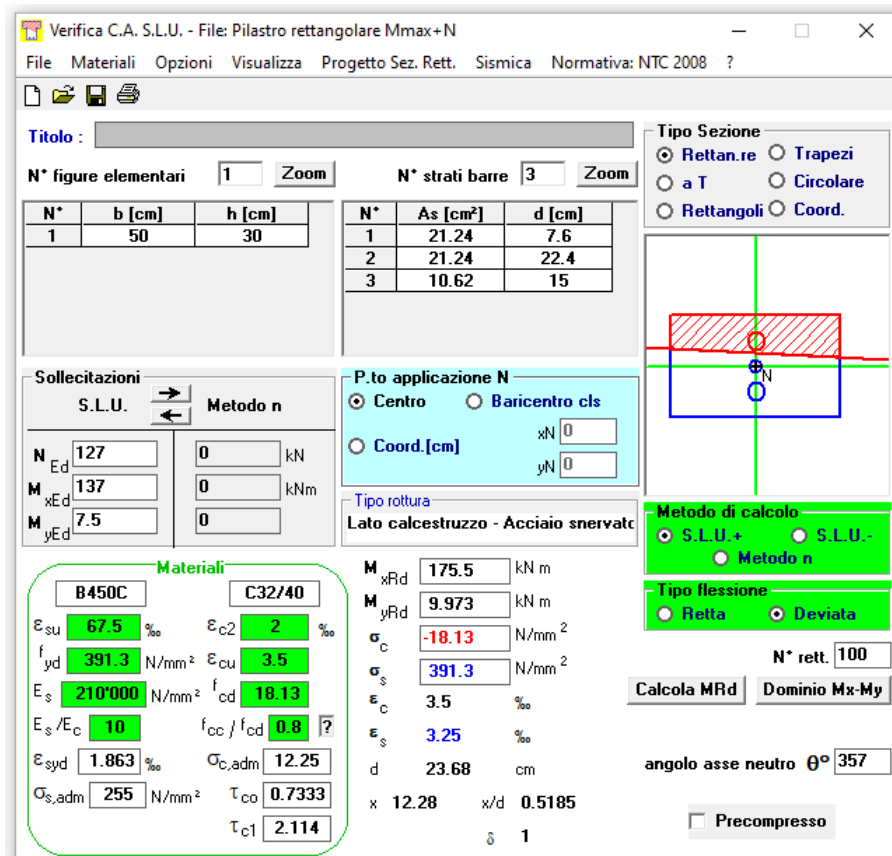
Le verifiche vengono svolte mediante il software VCASLU.

Si riportano in modo esplicito le verifiche svolte per la combinazione peggiore tra le precedenti elencate (minore coefficiente di sicurezza), sebbene la verifica sia stata comunque eseguita per tutte le combinazioni.

11.2.1.1 Verifica Sezione di Testa (P1)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -127$ kN.

I momenti flettenti di calcolo sono assunto pari a $M_{sd_X} = 137$ kNm e a $M_{sd_Y} = 7.5$ kNm.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pilastro rettangolare Mmax+N

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

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	30	1	21.24	7.6
			2	21.24	22.4
			3	10.62	15

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 127 0 kN
 M_{xEd} 137 0 kNm
 M_{yEd} 7.5 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali
B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 % ϵ_{c2} 2 %
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 %
 E_s 210'000 N/mm² f_{cd} 18.13
 E_s/E_c 10 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.863 % $\sigma_{c,adm}$ 12.25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

Calcolo
 M_{xRd} 175.5 kN m
 M_{yRd} 9.973 kN m
 σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 %
 ϵ_s 3.25 %
d 23.68 cm
x 12.28 w/d 0.5185
 δ 1

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio Mx-My
angolo asse neutro θ° 357
 Precompresso

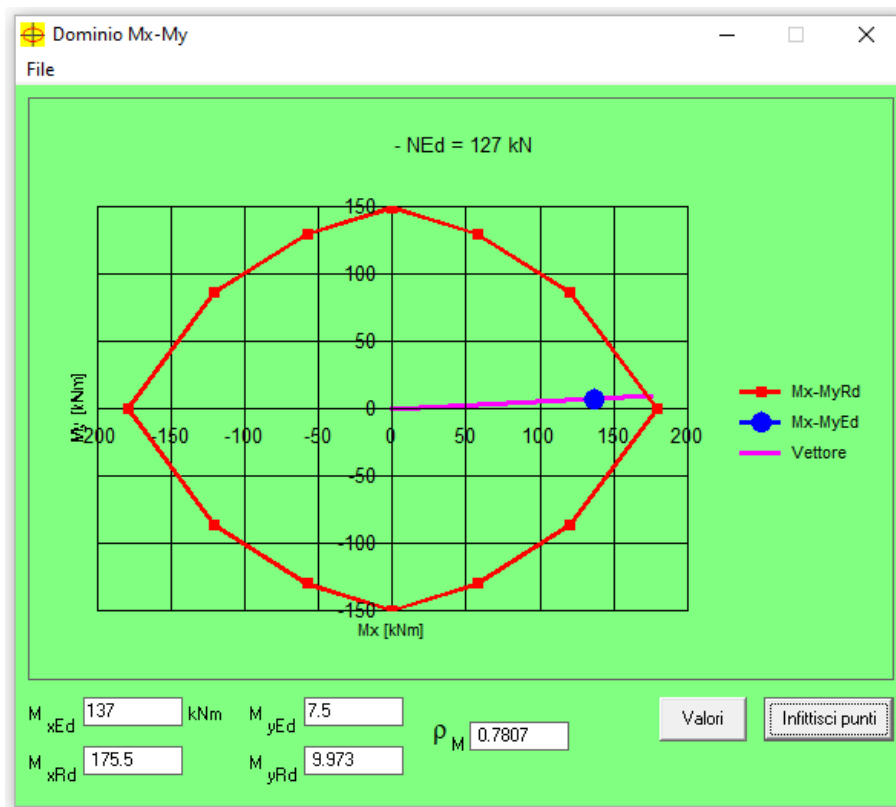
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd_X} = 175.5$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd_X}/M_{sd_X} = 1.28$.

Il momento resistente della sezione vale $M_{rd_Y} = 16.55$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd_Y}/M_{sd_Y} = 1.32$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

11.2.1.2 Verifica Sezione di Base (P2)

L'azione normale di calcolo è assunta pari a $N_{sd} = -132$ kN.

I momenti flettenti di calcolo sono assunto pari a $M_{sd_x} = -143.7$ kNm e a $M_{sd_y} = -13$ kNm.

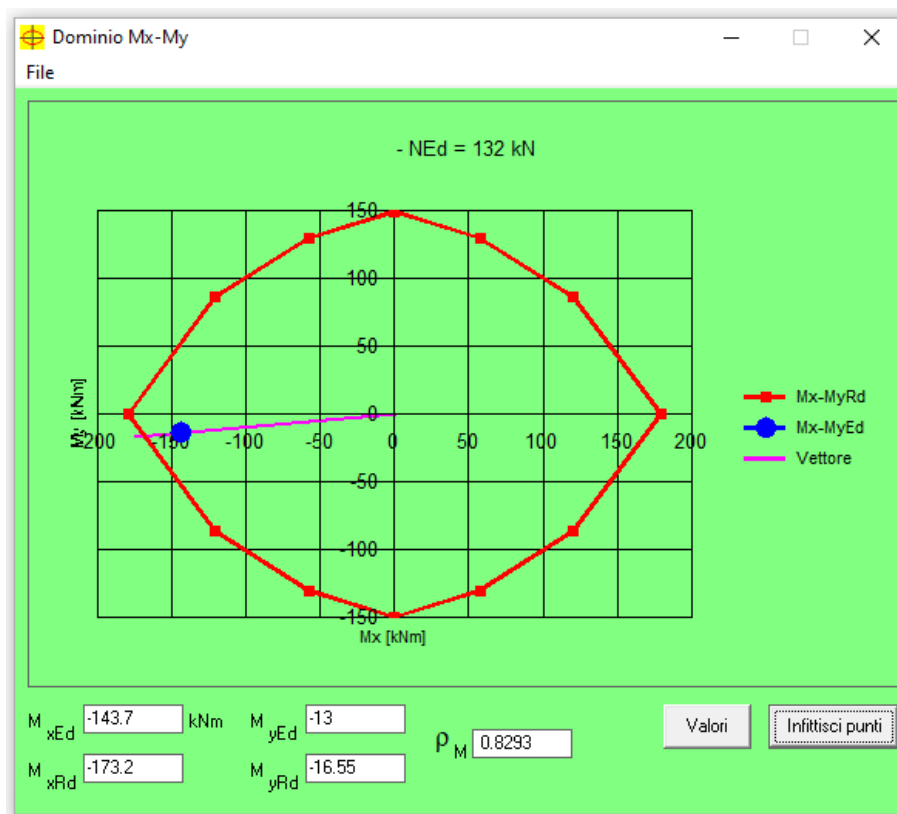
Il momento resistente della sezione vale $M_{rd_x} = -173.2$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd_x}/M_{sd_x} = 1.20$.


Il momento resistente della sezione vale $M_{rd_y} = -16.55$ kNm/m.

Il rapporto $M_{rd_y}/M_{sd_y} = 1.27$.

Nell'immagine successiva è riportato il dominio di resistenza della sezione:



La verifica risulta pertanto soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


11.2.1.3 Riepilogo degli esiti delle verifiche

Si riporta nella tabella seguente l'esito delle verifiche eseguite per tutte le combinazioni elencate all'inizio del paragrafo 13.2.

Sezione	Posizione	M_{MAX} [kN*m]	N [kN]	FS
P1	A filo intradosso impalcato	137	127.0	1.28
P2	A filo estradosso plinto	-143.7	132	1.21

Sezione	Posizione	M [kN*m]	N_{MIN} [kN]	FS
P1	A filo intradosso impalcato	-135	125	1.28
P2	A filo estradosso plinto	-143.7	132	1.21

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.2 Verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio

Le verifiche vengono svolte senza considerando il contributo positivo dello sforzo normale di compressione a vantaggio di sicurezza.

L'armatura a taglio che si sceglie di adottare è costituita da 1 staffe Ø10/20 a 2 bracci.

11.2.2.1 Verifica Sezione di Testa (P1)


L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 62.0 \text{ kN}$.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	500
altezza sezione	h	[mm]	300
altezza utile sezione	d	[mm]	224
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	10
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	157
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$\text{ctg } \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	155
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	315
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	155
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	62.0

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 2.5 > 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.2.2 Verifica Sezione di Base (P3)


L'azione tagliante di calcolo è assunta pari a $V_{sd} = 81.0$ kN.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

larghezza sezione	b_w	[mm]	500
altezza sezione	h	[mm]	300
altezza utile sezione	d	[mm]	224
numero armature trasversali	$n^\circ \emptyset$		2.00
diametro armature trasversali	\emptyset	[mm]	10
interasse armature trasversali	s	[mm]	200
area dell'armatura trasversale a taglio	A_{sw}	[mm ²]	157
resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391
resistenza a compressione del cls	f_{cd}	[MPa]	18.1
angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	[DEG]	90
	$ctg \theta$		2.5
	θ	[DEG]	22
tensione di compressione calcestruzzo	σ_{cp}	[MPa]	0.00
coefficiente maggiorativo in elementi compressi	α_c		1.00
resistenza a taglio trazione	V_{Rsd}	[kN]	155
resistenza a compressione del cls ridotta	f_{cd}'	[MPa]	9.1
resistenza a taglio compressione	V_{Rcd}	[kN]	315
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	155
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	81.0

verificato

La verifica con armature trasversali resistenti a taglio risulta soddisfatta ($V_{Rd}/V_{Ed} = 1.91 > 1$).

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.3 Verifiche allo Stato Limite di fessurazione

Per la verifica di fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie ed armatura poco sensibile (armatura lenta).

La scelta dello stato limite di fessurazione è stata effettuata sulla base di quanto indicato nella Tab. 2.1.IV delle NTC08, di seguito riportata.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

I valori limite di apertura delle fessure sono i seguenti:

- $w_1 = 0.2$ mm;
- $w_2 = 0.3$ mm;
- $w_3 = 0.4$ mm.


Per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il foglio di calcolo Excel.

11.2.3.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano nella tabella seguente le sollecitazioni allo SLE in combinazione frequente e quasi permanente usate nelle verifiche a fessurazione.

SEZIONE	SLE QP			
	M_{max} [kNm]	N [KN]	M [kNm]	N_{min} [KN]
P1	64.5	131	50.9	122.0
P2	86.8	130.3	86.8	130.3

SEZIONE	SLE FQ			
	M_{max} [kNm]	N [KN]	M [kNm]	N_{min} [KN]
P1	84.0	130.7	72.9	120.9
P2	92.8	129.2	92.8	129.2

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.3.2 Verifica sezione di testa (P1) – M_{MAX}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	131.0 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	64.5 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0658
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	2124 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	32289 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00054
0.6 σ_s / E_s =	0.00040
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	138.7 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.12 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	130.7 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	84.0 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2124 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	32311 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00079
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00055
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	190.1 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.17 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

11.2.3.3 Verifica sezione di testa (P1) - N_{MIN}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	122.0 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	50.9 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0658
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	2124 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	32267 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00038
0.6 σ_s / E_s =	0.00031
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	105.0 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.08 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	120.9 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	72.9 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2124 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	32304 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00065
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00047
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	160.2 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.14 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.3.4 Verifica sezione di base (P2) - M_{MAX}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	130.3 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	86.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	2124 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	32311 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00081
0.6 $\sigma_s / E_s =$	0.00057
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	194.0 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.18 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	129.2 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	92.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2124 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	32315 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00089
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00061
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	209.8 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.20 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

11.2.3.5 Verifica sezione di base (P2) - N_{MIN}

Stato limite di apertura delle fessure SLE QP

Sollecitazioni di verifica

N _{Ed} = sforzo normale	130.3 [kN]
M _{Ed} = momento flettente	86.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff} =$ distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k ₁ = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k ₂ = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k ₃ =	3.4
k ₄ =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A _s = area della sezione di acciaio nell'area A _{c,eff}	2124 [mm ²]
A _{c,eff} = b h _{c,eff}	32311 [mm ²]
b =	500 [mm]
h _{c,eff} =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00081
0.6 $\sigma_s / E_s =$	0.00057
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	194.0 [MPa]
f _{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E _s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E _{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
$\alpha_e =$ rapporto E _s /E _{cm}	6.1
k _t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

w _d = $\epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.18 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.30 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

Stato limite di apertura delle fessure SLE FQ

Sollecitazioni di verifica

N_{Ed} = sforzo normale	129.2 [kN]
M_{Ed} = momento flettente	92.8 [kNm]

Calcolo della distanza massima tra le fessure

$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{eff}$ = distanza massima tra le fessure	220 [mm]
c = copriferro	45 [mm]
s = interasse barre tese	125 [mm]
ϕ = diametro della barra	26 [mm]
k_1 = coefficiente di aderenza del cls alla barra	0.8
k_2 = coefficiente di forma del diagramma delle tensioni	0.5
k_3 =	3.4
k_4 =	0.425
$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff}$	0.0657
A_s = area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$	2124 [mm ²]
$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$	32315 [mm ²]
b =	500 [mm]
$h_{c,eff}$ =	65 [mm]


Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura

$\epsilon_{sm} = [\sigma_s - k_t f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{eff}) / \rho_{eff}] / E_s$ ($\geq 0.6 \sigma_s / E_s$)	0.00089
$0.6 \sigma_s / E_s =$	0.00061
σ_s = tensione nell'acciaio nella sezione fessurata	209.8 [MPa]
f_{ctm} = resistenza media a trazione	3.10 [MPa]
E_s = modulo di elasticità normale dell'acciaio	206000 [MPa]
E_{cm} = modulo di elasticità normale del calcestruzzo	33643 [MPa]
α_e = rapporto E_s / E_{cm}	6.1
k_t = coefficiente di sollecitazione	0.4

Verifica dell'apertura delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$ = valore di calcolo dell'apertura delle fessure	0.20 [mm]
w = valore limite di apertura delle fessure	0.40 [mm]

verificato

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-029	<i>Relazione tecnica e di calcolo</i>	

12 PLINTI DI FONDAZIONE – VERIFICHE STRUTTURALI

12.1 Plinto quadrato 1.80 m x 1.80 m

La fondazione è realizzata su un plinto con micropali di diametro $\phi=300\text{mm}$.
Le dimensioni del plinto e l'interasse dei pali è riportato nella figura seguente:

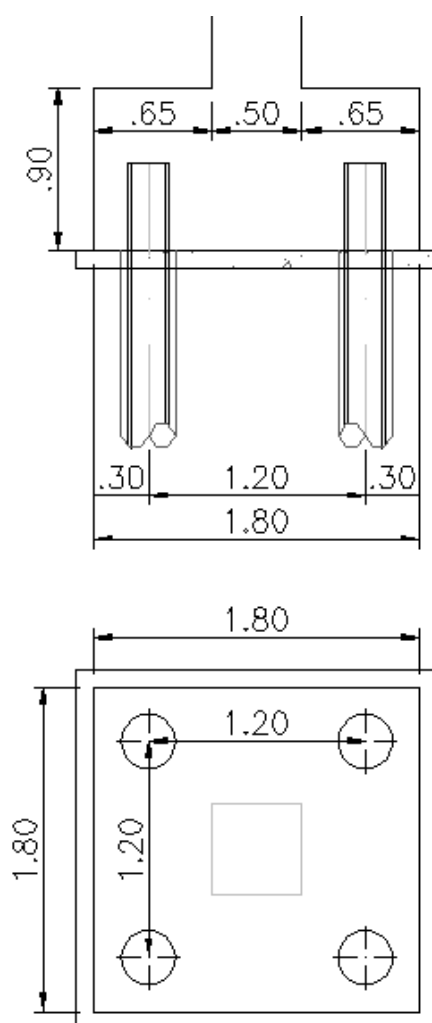


Figura 12-1: Pianta e sezione plinto quadrato

L'armatura di calcolo è assunta come segue:

- 3*1Ø20/20 inferiori e 3*1Ø16/20 superiori che vanno a costituire la gabbia;
- 16 Ø18 i quali rappresentano l'infittimento in corrispondenza dei pali.

12.1.1 Verifica “tirante-puntone”

La verifica del plinto di fondazione è stata condotta con il metodo degli stati limite, calcolando la capacità ultima di resistenza dell'elemento strutturale rispetto ai principali meccanismi di collasso individuabili. È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – aggetto dal muro, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto si adotta una schematizzazione a traliccio basata sull'ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all'interno dei materiali costituenti l'elemento.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di Ψ che riporta il carico P_{ed} entro il bordo del muro.

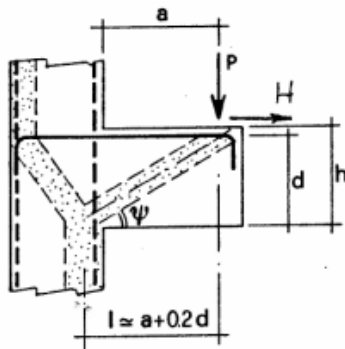
La reazione normale massima trasmessa dal singolo micropalo di fondazione vale:

- **$N_{SLU, max} = 345.9 \text{ kN}$.**

La massima azione orizzontale in testa al singolo micropalo di fondazione vale:

- **$H_{Ed} = 28.8 \text{ kN}$.**


Detta $d = 0.786 \text{ m}$ la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo $a = 0.350 \text{ m}$ quale braccio della mensola tozza,



si procede assumendo:

- $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo dell'acciaio)
- $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo del calcestruzzo)

Con riferimento al paragrafo C4.1.2.1.5 della “Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.” delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008”:

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

La resistenza massima del tirante in acciaio allo Stato Limite Ultimo vale:

$$P_{Rs} = (A_s \cdot f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda} = 517.2 \text{ kN} > N_{SLU,max} = 345.9 \text{ kN}$$

con:

$$\lambda = 0.72$$

$$l = 0.507 \text{ m}$$

$$A_s = 10.18 \text{ cm}^2 (4\emptyset 18)$$

La resistenza massima sul puntone compresso allo Stato Limite Ultimo vale:


$$P_{Rc} = 0,40 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{c}{1 + \lambda^2} = 1138.1 \text{ kN} \geq P_{Rs} = 515.4 \text{ kN}$$

con:

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$c = 1.00$$

La verifica secondo il meccanismo “tirante-puntone” risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

12.1.2 Verifica a taglio

L'azione di taglio massima è assunta, relativamente al singolo palo, come la massima reazione allo Stato Limite Ultimo trasmessa dal palo stesso alla zattera.

L'azione tagliante massima viene quindi assunta pari a $V_{Sd} = 345.9 \text{ kN}$.

La sezione resistente è rettangolare con base pari a 1800 mm e altezza pari a 900 mm.

La verifica a taglio è soddisfatta senza aver bisogno di armatura trasversale che comunque sia è costituita da **4 cavalotti Ø20**, uno per lato

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1800
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	786
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5177
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.504
	v_{min}	[MPa]	0.365
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	580.0
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	345.9

verificato

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

12.2 Plinto rettangolare 2.40 m x 1.80 m

La fondazione è realizzata su un plinto con micropali di diametro $\phi=300\text{mm}$.
 Le dimensioni del plinto e l'interasse dei pali è riportato nella figura seguente:

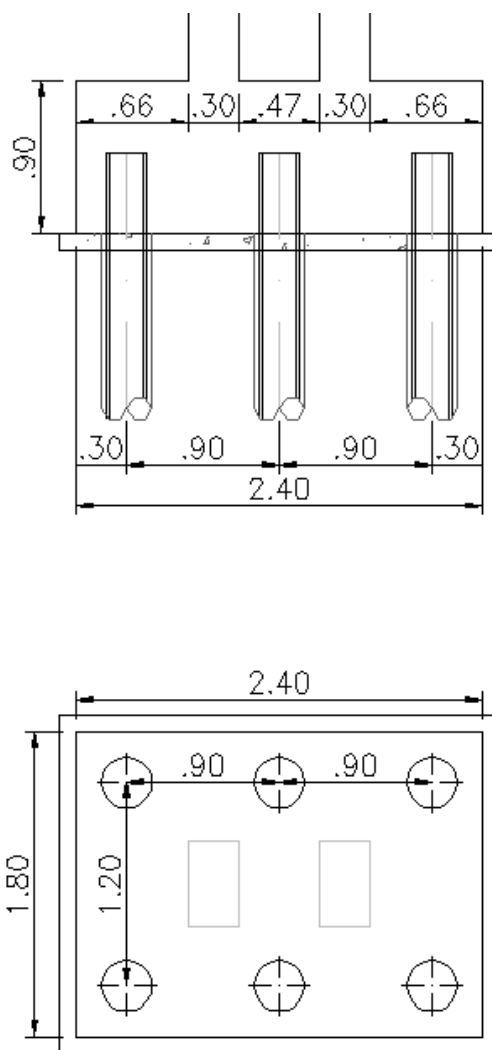


Figura 12-2: Pianta e sezione plinto rettangolare

L'armatura di calcolo è assunta come segue:

- 3*1Ø20/20 inferiori e 3*1Ø16/20 superiori che vanno a costituire la gabbia;
- 16 Ø18 i quali rappresentano l'infittimento in corrispondenza dei pali.

12.2.1 Verifica “tirante-puntone”

La verifica del plinto di fondazione è stata condotta con il metodo degli stati limite, calcolando la capacità ultima di resistenza dell'elemento strutturale rispetto ai principali meccanismi di collasso individuabili. È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – aggetto dal muro, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto si adotta una schematizzazione a traliccio basata sull'ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all'interno dei materiali costituenti l'elemento.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di Ψ che riporta il carico P_{ed} entro il bordo del muro.

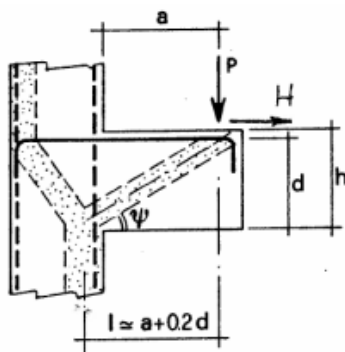
La reazione normale massima trasmessa dal singolo micropalo di fondazione vale:

– $N_{SLU, max} = 241 \text{ kN}$.

La massima azione orizzontale in testa al singolo micropalo di fondazione vale:

– $H_{Ed} = 27.2 \text{ kN}$.


Detta $d = 0.786 \text{ m}$ la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo $a = 0.362 \text{ m}$ quale braccio della mensola tozza,



si procede assumendo:

- $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo dell'acciaio)
- $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo del calcestruzzo)

Con riferimento al paragrafo C4.1.2.1.5 della “Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.” delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008”:

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

La resistenza massima del tirante in acciaio allo Stato Limite Ultimo vale:

$$P_{Rs} = (A_s \cdot f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda} = 504.2 \text{ kN} > N_{SLU,max} = 241.02 \text{ kN}$$

con:

$$\lambda = 0.73$$

$$l = 0.520 \text{ m}$$

$$A_s = 10.18 \text{ cm}^2 (4\varnothing 18)$$

La resistenza massima sul puntone compresso allo Stato Limite Ultimo vale:


$$P_{Rc} = 0,40 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{c}{1 + \lambda^2} = 1110.8 \text{ kN} \geq P_{Rs} = 504.2 \text{ kN}$$

con:

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$c = 1.00$$

La verifica secondo il meccanismo “tirante-puntone” risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

12.2.2 Verifica a taglio

L'azione di taglio massima è assunta, relativamente al singolo palo, come la massima reazione allo Stato Limite Ultimo trasmessa dal palo stesso alla zattera.

L'azione tagliante massima viene quindi assunta pari a $V_{Sd} = 241.02 \text{ kN}$.

La sezione resistente è rettangolare con base pari a 1800 mm e altezza pari a 900 mm.

La verifica a taglio è soddisfatta senza aver bisogno di armatura trasversale che comunque sia è costituita da **4 cavalotti Ø20**, uno per lato

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1800
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	786
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5177
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.504
	v_{min}	[MPa]	0.365
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	580.0
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	241.0

verificato

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

12.3 Plinto rettangolare 1.50 m x 1.80 m

La fondazione è realizzata su un plinto con micropali di diametro $\phi=300\text{mm}$.

Le dimensioni del plinto e l'interasse dei pali è riportato nella figura seguente:

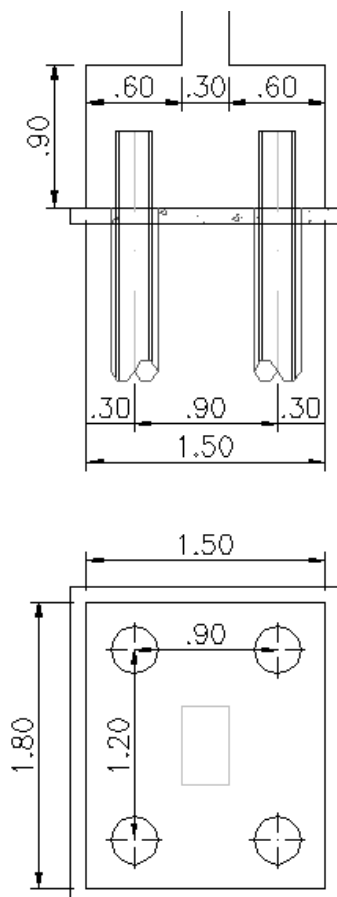


Figura 12-3: Pianta e sezione plinto rettangolare

L'armatura di calcolo è assunta come segue:

- 3* $\phi 20/20$ inferiori e 3* $\phi 16/20$ superiori che vanno a costituire la gabbia;
- 16 $\phi 18$ i quali rappresentano l'infittimento in corrispondenza dei pali.

12.3.1 Verifica “tirante-puntone”

La verifica del plinto di fondazione è stata condotta con il metodo degli stati limite, calcolando la capacità ultima di resistenza dell'elemento strutturale rispetto ai principali meccanismi di collasso individuabili. È necessario osservare che, dato il valore dei rapporti altezza – aggetto dal muro, le mensole da verificare sono di tipo “tozzo”. Pertanto si adotta una schematizzazione a traliccio basata sull'ipotesi di un meccanismo di trasferimento degli sforzi a “tirante di acciaio” – “puntone di cls” che meglio rappresenta il reale andamento delle tensioni all'interno dei materiali costituenti l'elemento.

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di Ψ che riporta il carico P_{ed} entro il bordo del muro.

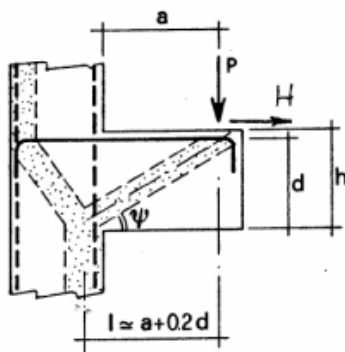
La reazione normale massima trasmessa dal singolo micropalo di fondazione vale:

– $N_{SLU, max} = 262.5 \text{ kN}$.

La massima azione orizzontale in testa al singolo micropalo di fondazione vale:

– $H_{Ed} = 19.41 \text{ kN}$.


Detta $d = 0.786 \text{ m}$ la distanza del baricentro del tirante inferiore dal lembo compresso superiore ed assumendo $a = 0.301 \text{ m}$ quale braccio della mensola tozza,



si procede assumendo:

- $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo dell'acciaio)
- $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$ (resistenza di calcolo del calcestruzzo)

Con riferimento al paragrafo C4.1.2.1.5 della “Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.” delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008”:

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

La resistenza massima del tirante in acciaio allo Stato Limite Ultimo vale:

$$P_{Rs} = (A_s \cdot f_{yd} - H_{Ed}) \frac{1}{\lambda} = 569.8 \text{ kN} > N_{SLU,max} = 262.5 \text{ kN}$$

con:

$$\lambda = 0.65$$

$$l = 0.458 \text{ m}$$

$$A_s = 10.18 \text{ cm}^2 (4\text{Ø}18)$$

La resistenza massima sul puntone compresso allo Stato Limite Ultimo vale:


$$P_{Rc} = 0,40 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{c}{1 + \lambda^2} = 1204.8 \text{ kN} \geq P_{Rs} = 569.8 \text{ kN}$$

con:

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$c = 1.00$$

La verifica secondo il meccanismo “tirante-puntone” risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

12.3.2 Verifica a taglio

L'azione di taglio massima è assunta, relativamente al singolo palo, come la massima reazione allo Stato Limite Ultimo trasmessa dal palo stesso alla zattera.

L'azione tagliante massima viene quindi assunta pari a $V_{Sd} = 262.5 \text{ kN}$.

La sezione resistente è rettangolare con base pari a 1500 mm e altezza pari a 900 mm.

La verifica a taglio è soddisfatta senza aver bisogno di armatura trasversale che comunque sia è costituita da **4 cavalotti Ø20**, uno per lato


Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

larghezza sezione	b_w	[mm]	1500
altezza sezione	h	[mm]	900
altezza utile sezione	d	[mm]	786
armatura longitudinale	A_{sl}	[mm ²]	5177
rapporto geometrico di armatura longitudinale (<0.02)	ρ_l		0.004
	k		1.504
	v_{min}	[MPa]	0.365
tensione media di compressione nella sezione (<0.2 f_{cd})	σ_{cp}	[MPa]	0.00
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	[MPa]	32.0
resistenza a taglio	V_{Rd}	[kN]	513.6
sforzo di taglio massimo	V_{Ed}	[kN]	262.5

verificato

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	


13 VERIFICA DEI MICROPALI DI FONDAZIONE

Tutte le fondazioni sono realizzate su micropali (*IRS*), $\varnothing 300$ di lunghezza 14 m con armatura tubolare $\varnothing 219.1$ mm di spessore 10 mm. La verifica verrà effettuata considerando la reazione normale massima trasmessa dal singolo micropalo.

13.1 Individuazione della stratigrafia di riferimento

Per la struttura di fondazione delle opere in oggetto è stata individuata la seguente stratigrafia di progetto con i relativi parametri meccanici e fisici.

Stratigrafia da testa palo	Litotipo	γ	φ	c'	E'	τ_{lim_minimo}	τ_{lim_medio}	α
		[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
Da 0 a -5.0 m	Ug1	18-19	32	0	20	0	0	0
Da -5.0 m	Ug1	18-19	32	0	20	0.080	0.080	1.10

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

13.2 Verifiche geotecniche e strutturali

13.2.1 Verifica a carico limite

Il valore caratteristico di calcolo ($R_{k,cal}$) della capacità portante dei micropali nei confronti dei carichi assiali è stato determinato considerando cautelativamente la sola resistenza mobilitata lateralmente lungo il fusto del palo (Q_L) ed utilizzando il metodo di Bustamante e Doix (1985).

$$Q_L = R_{c,k} = \sum_i (\alpha \times D_{si} \times q_{lat,i} \times L_i)$$

dove, con riferimento ad ogni tratto i-esimo del micropalo:

- $D_{si} = \alpha_i \times D_p$ = il diametro del bulbo di fondazione in corrispondenza dello strato i-esimo;
- D_p = diametro del micropalo (*diametro del foro*);
- α_i = il coefficiente di espansione del bulbo, funzione del tipo di terreno e della modalità realizzativa dei micropali;
- L_i = lunghezza del tratto i-esimo di micropalo;
- $q_{lat,i}$ = resistenza laterale unitaria tra micropalo e terreno in corrispondenza dello strato i-esimo, funzione della natura del terreno e delle modalità realizzative dei micropali.

Ai fini della verifica di sicurezza nei riguardi delle azioni assiali, si è deciso di adottare l'approccio 2 (A1+M1+R3) del NTC08. Le azioni di progetto (E_d) sono state ricavate dal calcolo strutturale con riferimento alle combinazioni statiche SLU-STR e sismiche SLV.

CA-029

Relazione tecnica e di calcolo

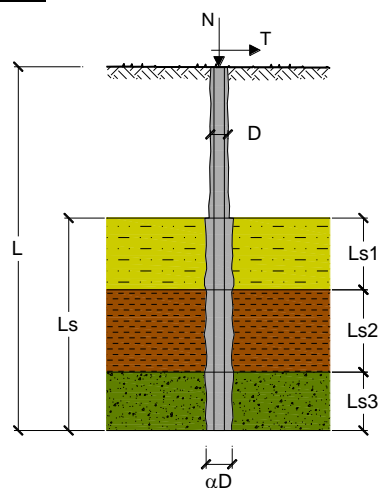
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: Plinto di fondazione

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	345.00		345.00
T (kN)	28.80		28.80



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s \text{ traz}}$	
		γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.15	1.25

n	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> ≥ 10	DM88	prog.
ξ_s	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_d	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.3 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 14.00 (m)

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\phi 219,1 \times 10,0$

$\phi 219,1 \times 10,0$

Area dell'armatura (A_{arm}): 6569 (mm²)

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): 3.598E+07 (mm⁴)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): 328'475 (mm³)

Tipo di acciaio S 355 (Fe 510)

Tensione di snervamento dell'acciaio (f_y): 355 (N/mm²)

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{im}): 338 (N/mm²)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210'000 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 18.0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	S_i media (MPa)	S_i minima (MPa)	S_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
	4.00	0.00	0.00			0.000	0.00
	10.00	1.10	0.33	0.08	0.08	0.043	450.22
			0.00			0.000	0.00

$Ls = 14.00$ (m) $Ql = 450.22$ (kN)

Capacità portante di punta

$$Qp = \%Punta \cdot Ql \quad (\text{consigliato } 10-15\%)$$

$\% Punta = 10\%$ $Qp = 45.02$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$$Qlim = Qb + Ql$$

$Qlim = 495.24$ (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Fs = 1.44$

13.2.2 Capacità portante per instabilità dell'equilibrio elastico

Per quanto riguarda il carico critico relativo ad instabilità di tipo elastico del micropalo, questo può essere espresso attraverso la relazione:

$$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$$

In cui $\beta = k \cdot D$ esprime la reazione laterale per unità di lunghezza e spostamento.

Il valore del coefficiente di sicurezza viene assunto, per questa tipologia di fenomenologia, pari a:

$$\eta = Pk / N \quad \text{con } \eta > 10$$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 3,49 (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5} \quad \eta = Pk / N \quad (\text{consigliato } \eta > 10)$$


$Pk = 9118,82$ (MN) $\eta = 16,88$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 3.94 (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5} \quad \eta = Pk / N \quad (\text{consigliato } \eta > 10)$$

$Pk = 10918.28$ (MN) $\eta = 31.65$

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas – Alghero e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA-029	Relazione tecnica e di calcolo	

13.2.3 Verifiche alle forze orizzontali e verifica strutturale del micropalo

La verifica alle forze orizzontali del micropalo viene svolta considerando il valore del momento agente in testa, ipotizzando la testa del palo impedita di ruotare:

$$M = T \cdot l / (2b)$$

Con

$$b = (k \cdot D/4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{1/4}$$

in modo da poter determinare

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

e

$$\tau = 2 T/A_{arm}$$

Con tali sollecitazioni è possibile ricavare la tensione ideale (o equivalente) del criterio di rottura di Von Mises:

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

che deve risultare:

$$\sigma_{id} < \sigma_{adm}$$

σ_{adm} ricavata in funzione della tipologia dell'acciaio fornita della normativa vigente.

Ai fini della durabilità le verifiche delle armature tubolari sono state ripetute considerando uno spessore sacrificale di 1.2 mm legato alla perdita per corrosione, in accordo alla tabella 4-1 della norma EC3-5. Le verifiche sono mostrate nel seguito.

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$
$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

b = 0.691 (1/m)

Momento Massimo (M):

M = 20.85 (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = T/A_{taglio}$$

$\sigma_{max} = 149.12 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{min} = -12.49 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\tau = 5.70 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

$\sigma_{id} = 149.45 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ **verifica soddisfatta**

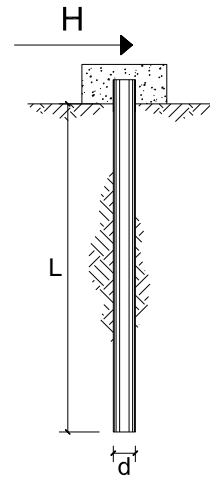
13.2.4 Verifica geotecnica per forze orizzontali

CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

OPERA: Plinto di fondazione

TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)



coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_{ϕ}	γ_T
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30

n	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	T.A.	prog.
ξ_s	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00	1.00
ξ_t	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00	1.00

Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$

Calcolo del momento di plasticizzazione di un micropalo

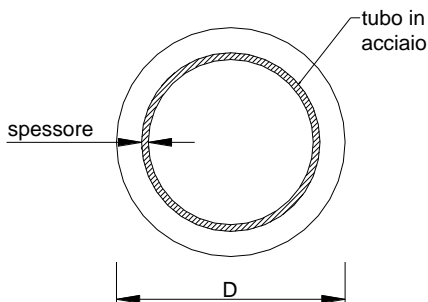
Diametro = 300 (mm)

Tubo

Diametro esterno = 219.1 (mm)

Spessore = 10.0 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)



Caratteristiche dei Materiali

malta

Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)

Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 355 (Mpa)

γ_m = 1.15

$f_{y,d} = f_{yk} / \gamma_m / \gamma_{E,d} = 308.7$ (Mpa)

E_s = 210000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.147%

ϵ_{uk} = 1.000%

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

M_y = 151.3 (kN m)

Inserisci