

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

"PASSANTE DI BOLOGNA"

PROGETTO DEFINITIVO

AUTOSTRADA A14 / TANGENZIALE

OPERE COMPLEMENTARI

SEGNALETICA FISSA

RELAZIONE DI CALCOLO PORTALE MONOPALO BORDO OPERA

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

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

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

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

IL DIRETTORE TECNICO

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

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

ORDINATORE

RIFERIMENTO PROGETTO

RIFERIMENTO DIRETTORIO

RIFERIMENTO ELABORATO

--

Codice Commessa
111465

Lotto, Sub-Prog.
Cod. Appalto
0000

Fase
PD

Capitolo
AU

Paragrafo
OPC

W B S
SS000

Parte d'opera
00000

Tip.
R

Disciplina
S T R

Progressivo
0151

Rev.
- 0

SCALA
-



PROJECT MANAGER:

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

SUPPORTO SPECIALISTICO:

REVISIONE

n.	data
0	SETTEMBRE 2020
1	-
2	-
3	-
4	-

REDATTO:

VERIFICATO:

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Fabio Visintin

VISTO DEL CONCEDENTE



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

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	GENERALITÀ	3
1.2	CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO.....	3
1.2.1	Configurazione di base (pannelli tipo A1, A2, A3).....	3
1.3	CAMPO DI UTILIZZO	5
1.4	RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	7
1.5	MATERIALI IMPIEGATI	8
1.5.1	Strutture in carpenteria metallica	8
1.5.2	Unioni	8
1.5.3	Tasselli ancoraggio.....	8
1.6	SOFTWARE DI CALCOLO	9
1.7	CONVENZIONI	9
2	ANALISI DEI CARICHI	11
2.1	PESI PROPRI (G_{k1} - G_{k2}).....	11
2.2	AZIONI DEL VENTO (F_w).....	11
2.3	AZIONI SISMICHE	13
2.4	COMBINAZIONI DI CARICO	13
3	ANALISI STRUTTURALE.....	14
3.1	GENERALITÀ MODELLI	14
3.2	AZIONI TRASMESSE DAL CARTELLO SGN	15
3.3	PRINCIPALI RISULTATI.....	17
3.3.1	Deformazioni.....	17
3.3.2	Azioni interne nella struttura di base.....	17
4	VERIFICHE STRUTTURA DI BASE (MENSOLA)	22
4.1	VALUTAZIONE FRECCHE	22
4.2	VERIFICA MEMBRATURE HEB240.....	22
4.3	VERIFICA CONNESSIONI BULLONATE	24
4.4	VERIFICA CONNESSIONI SALDATE	26
4.5	VERIFICA CONNESSIONI LATO CORDOLO	29
4.5.1	Connessione monopali tipo A3 (senza sistema aggiuntivo di supporto).....	30
4.5.1.1	Verifica connessioni piastra verticale	30
4.5.1.2	Verifica connessioni piastra orizzontale	34
4.5.2	Connessione monopali tipo A6 (con sistema aggiuntivo di supporto).....	36
4.5.2.1	Verifica connessioni piastra verticale	36
4.5.2.2	Verifica connessioni piastra orizzontale	39

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1-1 - SEZIONE TRASVERSALE.....	3
FIGURA 1-2 VISTA IN PIANTA	4
FIGURA 1-3 SEZIONI LG LATO CORDOLO E LATO MONOPALO	4
TABELLA 1-1 - DIMENSIONI AMMESSE MONOPALI	5
FIGURA 1-5 VISTA FRONTALE MONOPALI TIPO A.....	5
TABELLA 2-1 AZIONE DEL VENTO - ZONE AMMESSE.....	11
TABELLA 2-2 CALCOLO PRESSIONE DEL VENTO	12
FIGURA 3-1 MODELLO E.F. – DISPOSITIVO BASE	14
FIGURA 3-3 CALCOLO SOLLECITAZIONI MONOPALO A3.....	15
TABELLA 3-1 CALCOLO AZIONI BASE MONOPALO A6.....	16
TABELLA 3-2 AZIONE TESTA MP.....	16
FIGURA 3-4 DEFORMATA S.L.E. MONOPALO A3.....	17
FIGURA 3-6 - SFORZO ASSIALE – Fx – MONOPALO A3.....	18
FIGURA 3-7 - TAGLIO VERTICALE – Fz – MONOPALO A3.....	18
FIGURA 3-8 - TAGLIO ORIZZONTALE – Fy – MONOPALO A3.....	19
FIGURA 3-9 - MOMENTO FLETTENTE VERTICALE – My – MONOPALO A3.....	19
FIGURA 3-10 - MOMENTO FLETTENTE ORIZZONTALE – Mz – MONOPALO A3.....	20
FIGURA 3-11 - MOMENTO TORCENTE – Mx – MONOPALO A3.....	20
FIGURA 3-12 TENSIONI NORMALI MASSIME - MONOPALO A3.....	21
TABELLA 4-1 VERIFICA PLASTICA TRAVI HEB - MONOPALO A3.....	22
TABELLA 4-2 VERIFICA PLASTICA TRAVI HEB - MONOPALO A6.....	23
FIGURA 4-1 UNIONE BULLONATA LATO MONOPALO.....	24
FIGURA 4-2 UNIONE BULLONATA LATO MONOPALO.....	24
TABELLA 4-3 SOLLECITAZIONI BULLONATURA CONNESSIONE PIASTRA	24
FIGURA 4-3 CALCOLO TENSIONI NORMALI NEI GAMBI	25
TABELLA 4-4 SOLLECITAZIONI TAGLIANTI NELL'UNIONE BULLONATA	25
FIGURA 4-4 SALDATURE TRAVE/PIASTRA	26
TABELLA 4-5 GRANDEZZE RESISTENTI, RIFERITE ALLE DIMENSIONI GOLA.....	27
TABELLA 4-6 SOLLECITAZIONI TRAVE 1 E TRAVE 2, LATO MONTANTE E LATO CORDOLO – MONOPALO A3.....	27
TABELLA 4-7 VERIFICA SALDATURE MONOPALO A3.....	27
TABELLA 4-8 SOLLECITAZIONI SALDATURE TRAVE 1 E TRAVE 2, LATO MONTANTE E LATO CORDOLO – MONOPALO A6.....	28
TABELLA 4-9 VERIFICA SALDATURE LATO CORDOLO MONPALO A6.....	28
FIGURA 4-5 CONNESSIONE LATO CORDOLO - PIANTA	29
FIGURA 4-6 CONNESSIONE LATO CORDOLO - SEZIONE	29
TABELLA 4-10 SOLLECITAZIONI CONNESSIONI.....	30
TABELLA 4-11 TENSIONI NORMALI CONNESSIONE	32
TABELLA 4-12 TENSIONI NORMALI CONNESSIONE 2.....	33
TABELLA 4-13 TENSIONI NORMALI CONNESSIONE	36
TABELLA 4-14 TENSIONI NORMALI CONNESSIONE 2.....	38

1 INTRODUZIONE

1.1 GENERALITÀ

La presente relazione riporta i calcoli statici relativi al dispositivo di sostegno da bordo opera per cartelli di segnaletica monopalo tipo “A”, con pannelli di dimensioni A1-A2-A3 e per pannelli di dimensioni A4-A5-A6 (con struttura di ausiliaria di supporto).

Trattandosi di un’installazione tipologica, per il suo utilizzo è necessario tenere conto delle limitazioni/esclusioni dettagliate ai capitoli seguenti.

1.2 CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO

Nel complesso, la struttura è formata da una mensola metallica, che costituisce il dispositivo di base, e da un sistema di rinforzo ausiliario, installato allo scopo di supportare l’opera sotto le più elevate pressioni indotte dall’azione del vento per i pannelli di grandi dimensioni.

1.2.1 Configurazione di base (pannelli tipo A1, A2, A3)

Il dispositivo di supporto è costituito, nella configurazione di base, di una mensola formata da una coppia di profilati metallici tipo HEB240, convergenti nell’asse del sostegno del cartello, ed ancorati al cordolo impalcato su piastre di ancoraggio separate, poste a distanza longitudinale pari a 1.10 m.

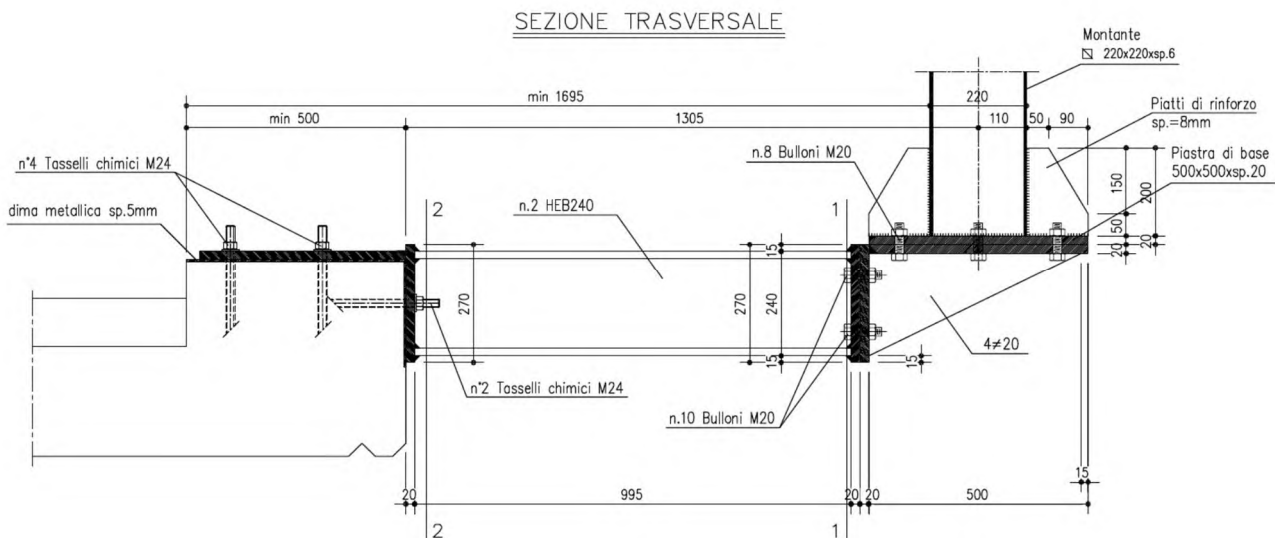


Figura 1-1 - Sezione trasversale

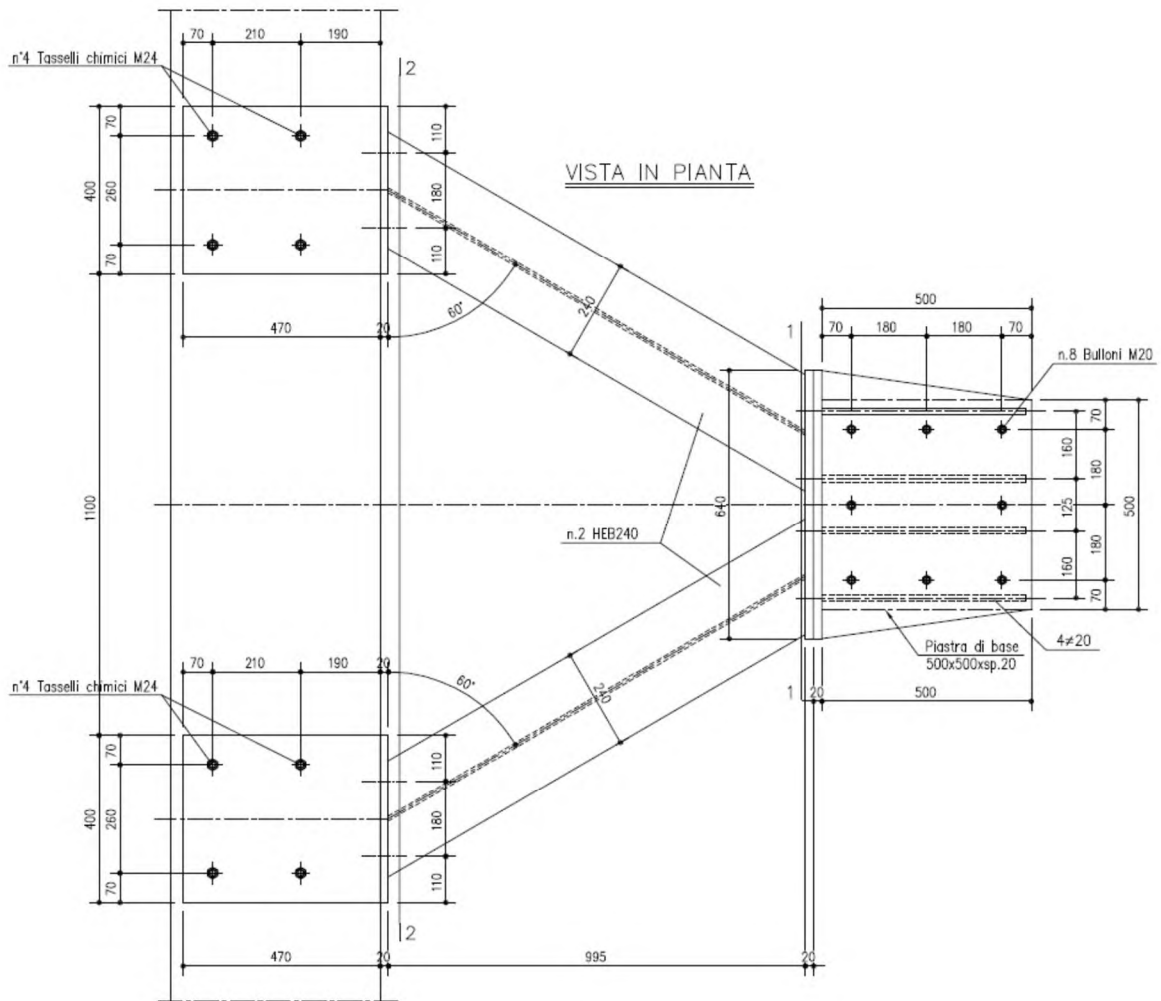


Figura 1-2 Vista in pianta

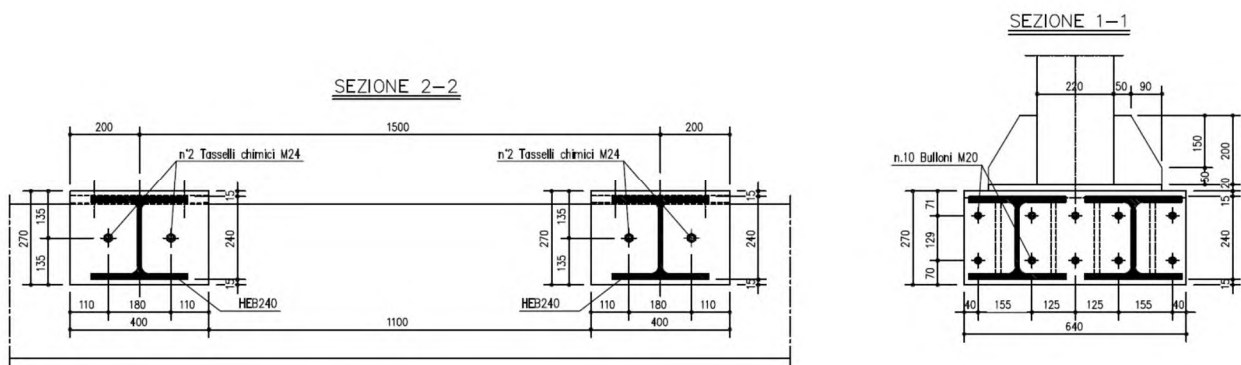


Figura 1-3 Sezioni lg lato cordolo e lato monopalo

L'ancoraggio della struttura al cordolo avviene tramite tasselli M24 post-installati, disposti rispettivamente in numero di 4 e 2 sulla faccia orizzontale e verticale della piastra di aggancio.

1.3 CAMPO DI UTILIZZO

Come accennato in premessa, il dispositivo è progettato per l'ancoraggio di strutture monopalo TIPO A con montante principale formato rispettivamente da scatolare quadro 220x220x6 mm.

Per le strutture tipologiche in questione, le dimensioni ammissibili per i cartelli larghezza x altezza (A x B) sono richiamate nella tabella seguente, indicando oltre alla metratura complessiva, le tipologie che necessitano della struttura integrativa di supporto.

Tabella 1-1 - Dimensioni ammesse monopali

Monopali tipo A			
	tipo	mq	tipologia mensola
A 1	2.5 x 2	5.00	configurazione base
A 2	3 x 2	6.00	configurazione base
A 3	3 x 2.25	6.75	configurazione base
A 4	3 x 2.75	8.25	con supporto integrativo
A 5	3.5 x 2.75	9.63	con supporto integrativo
A 6	4 x 2.5	10.00	con supporto integrativo

Il fissaggio di monopali tipo “B” e tipo “C” non è consentito.

Di seguito si riporta la configurazione tipologica dei monopali A.

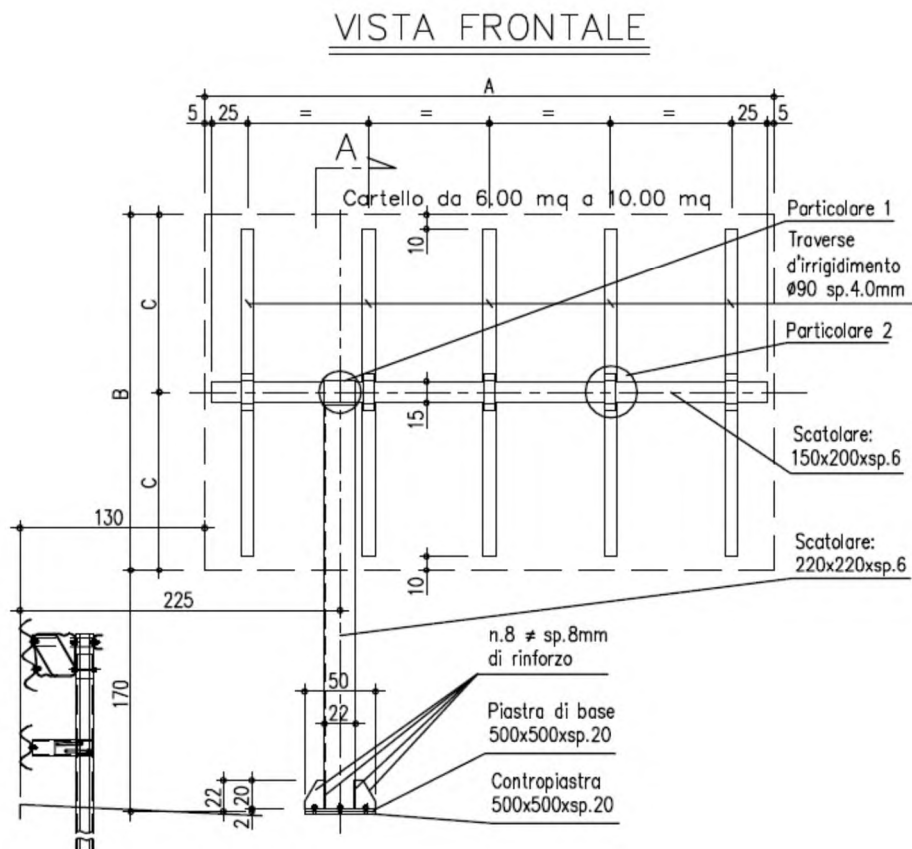


Figura 1-4 Vista frontale monopali tipo A

Le verifiche statiche del dispositivo base e del dispositivo integrativo sono state effettuate seguendo i medesimi criteri guida che hanno portato al dimensionamento dei portali stessi.

Si è assunta pertanto una pressione del vento che costituisce sostanzialmente l'involuppo delle possibili occorrenze riscontrabili sulla rete.

Fanno ECCEZIONE le seguenti installazioni, per le quali è richiesta una specifica verifica:

- installazioni in zona 7 (Liguria), limitatamente ai siti di classe I e II;
- installazioni in zona 8 (Provincia di Trieste);
- installazioni su viadotto con altezza dal suolo maggiore di 50 m, con sviluppo tracciato a mezza costa.

Inoltre, le caratteristiche del supporto su cui viene ancorato il dispositivo dovranno essere le seguenti:

- cordolo di larghezza non inferiore a 500 mm;
- cordolo di spessore complessivo non inferiore a 400 mm;
- presenza quantitativo di armatura minima da c.a. nel cordolo (nella misura indicativa di staffe Ø12/20, ferri longitudinali correnti Ø12 e armatura di soletta trasversale Ø12/20);
- classe del calcestruzzo di supporto non /minore di 28/35.

Per i motivi sopra esposti, l'installazione su cordoli di opere esistenti potrà essere effettuata **solamente a valle del rilievo in situ delle caratteristiche del calcestruzzo e delle effettive armature presenti.**

1.4 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

Il progetto è stato redatto in conformità alla Normativa vigente ed, in particolare alle norme e prescrizioni di seguito elencate.

Normative e prescrizioni emesse dallo Stato Italiano:

- I. **Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018:** “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- II. **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7** - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- III. **CNR-DT 207/08** contenente le istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni (17.01.2008)
- IV. **ETAG 001 - Allegato C** contenente le linee guida per il benessere tecnico europeo di metodi di progettazione degli ancoranti (Aggiornamento 10.2001)

Normativa Europea ed estera:

- V. **EN 1991-1-4 (04/2005) Azioni sulle strutture, azioni del vento** contenente indicazioni riguardo il calcolo delle azioni del vento ed il loro effetto sulle strutture
- VI. **EN 1993-1-1 (08/2005) Progettazione delle strutture in acciaio, regole generali e regole per gli edifici** contenente indicazioni riguardo la verifica delle strutture in acciaio
- VII. **EN 1993-1-5 (10/2006) Progettazione delle strutture in acciaio, elementi strutturali a piastra** contenente indicazioni riguardo la verifica delle strutture in acciaio
- VIII. **EN 1993-1-8 (05/2005) Progettazione delle strutture in acciaio, nodi di connessione** contenente indicazioni riguardo la verifica dei nodi di connessione di strutture in acciaio
- IX. **EN 1993-1-9 (05/2005) Progettazione delle strutture in acciaio, fatica** contenente indicazioni riguardo la verifica alla fatica di strutture in acciaio
- X. **British standards Part 1 (BD94/07) Highway structures: Design of minor structures (Special Structures)**
- XI. **British standards Part 4 (BD51/98) structures: Design of portal and cantilever signs/signal gantries (Special Structures)**

Articoli e pubblicazioni:

- XII. **Setrà** - Sign bridges: improvement of their wind resistance - Engineering Structures Techniques Centre (CTOA). J. Berthelley
- XIII. **Designers' Guide to EN 1993-2.** C.R. Hendy and C.J. Murphy (Thomas Telford Publishing)
- XIV. **International Journal of Mechanical Engineering Education 33/4:** Theoretical analysis of preloaded bolted joints subjected to cyclic loading - Josè Maria Minguéz and Jeffrey Vogwell

1.5 MATERIALI IMPIEGATI

1.5.1 Strutture in carpenteria metallica

Per la realizzazione delle membrature metalliche si prevede l'impiego di profilati in acciaio di classe **S355**, zincato a caldo.

La **classe di esecuzione** prescelta per la realizzazione delle strutture metalliche è **EXC2**, secondo EN 1090.

Per le caratteristiche delle membrature relative alla struttura di sostegno del pannello, si rimanda agli elaborati relativi al dispositivo stesso.

1.5.2 Unioni

Le saldature di tutte le membrature vengono effettuate interamente in officina.

Le saldature verranno realizzate a cordone d'angolo, ad eccezione della saldatura di assemblaggio del piatto orizzontale e verticale della piastra di ancoraggio, che sarà a piena penetrazione. Salvo diversamente specificato, le saldature a cordoni simmetrici avranno dimensione di gola minima pari a 0.7 volte lo spessore del piatto saldato.

Le unioni bullonate sono realizzate mediante bulloni zincati di classe 8.8.

Le unioni vengono dimensionate a taglio, ma per esse è richiesto il serraggio tipico delle unioni di classe “B” in modo da evitare lo svitamento in esercizio.

1.5.3 Tasselli ancoraggio

Si prevede l'adozione di tasselli di ancoraggio in acciaio zincato, classe 8.8.

Gli ancoranti previsti per l'installazione tipologica sono dimensionati con riferimento a una resina che presenti le seguenti caratteristiche:

- adatta per calcestruzzo fessurato e non fessurato;
- possibilità di utilizzo con distanze dal bordo e interassi ridotti;
- applicazioni anche con grandi diametri;
- certificata per carichi sismici;
- certificata per carichi a shock.
- Caratterizzata da $t_{,RK} > 16$ MPa

1.6 SOFTWARE DI CALCOLO

Per eseguire i calcoli riportati nel prosieguo della presente relazione sono stati impiegati i seguenti software.

Programmi di calcolo agli elementi finiti

L'analisi della struttura nelle varie fasi è condotta applicando il metodo degli elementi finiti; a tale fine, si adotta il pacchetto software denominato "**LUSAS – rel. 15.2**", fornito da F.E.A. Ltd (U.K.) su piattaforma Windows XP Professional; il pacchetto software comprende pre-post processore grafico interattivo destinato all'input della geometria di base ed all'interpretazione dei risultati di output, ed un risolutore ad elementi finiti in campo lineare e non lineare. Lo stesso solutore è impiegato per le analisi effettuate con riferimento allo studio della fase sismica.

Verifiche sezionali

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si ricorre, invece, al programma "**VCA SLU**" (versione 7.7 – 30 agosto 2011, realizzato dal prof. Piero Gelfi), in grado di effettuare verifiche a presso-flessione, sia tensionali che a rottura.

Elaborazioni numeriche

Per l'elaborazione dei dati di input/output in generale e la creazione di tabelle riepilogative, si adottano procedure opportunamente implementate in fogli elettronici "**Microsoft® Office Excel 2010**".

1.7 CONVENZIONI

Nel prosieguo del presente elaborato si adotteranno le notazioni contemplate dalle varie norme EN di riferimento.

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze: m
 forze - coppie: kN
 tensioni: MPa

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le trazioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Si farà riferimento, di norma, a sistemi di tipo cartesiano ortogonale, in cui, in generale, si ha piano x-y orizzontale, con x posto tangente al tracciato nel punto in esame ed asse z verticale.

In generale, per quanto riguarda le azioni interne nelle membrature, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

F_x azione assiale
 F_y azione tagliante agente nel piano orizzontale
 F_z azione tagliante agente nel piano verticale
 M_x momento torcente
 M_y momento flettente agente nel piano verticale
 M_z momento flettente agente nel piano orizzontale

In particolare, per le sollecitazioni verrà impiegata anche la seguente notazione alternativa:

M (M_r) in luogo di M_y

V in luogo di F_z

T in luogo di M_x

Nell'ambito dell'adozione del sistema di riferimento elementare, si precisa che le azioni flettenti di trave sono da intendersi:

- POSITIVE: se le fibre tese sono rivolte all'estradosso
- NEGATIVE: se le fibre tese sono rivolte all'intradosso

2 ANALISI DEI CARICHI

2.1 PESI PROPRI (G_{K1} - G_{K2})

I contributi del peso proprio delle membrature metalliche componenti la mensola viene valutato con riferimento alle effettive caratteristiche “nette” delle membrature. Per il calcolo del peso della targa di segnalazione, si considera il peso di un elemento a lastra di alluminio ($\rho_s = 27 \text{ kN/m}^3$) dello spessore di 3 mm, ed il peso degli elementi di sostegno per i quali si assume la presenza di profili tubolari $\varnothing 90 \times 8 \text{ mm}$, alti quanto la targa e trasversalmente spaziate di 500 mm.

Per conteggiare forfaitariamente il peso del piastrame di connessione si è tenuto conto di un incremento di perso pari al 5% nel conteggio del contributo di competenza agli elementi del pannello.

2.2 AZIONI DEL VENTO (FW)

Le azioni del vento sono valutate in base alle indicazioni riportate in UNI EN 1991-1-4 (Appendici nazionali 24.09.2010), specializzate per le strutture in progetto ed in dettaglio relative alla determinazione delle azioni del vento su strutture allungate a sezione quadrata/rettangolare (montante del portale e mensola) e su insegne.

In merito ai parametri che caratterizzano il valore della pressione del vento in relazione alla posizione geografica, alla classe di rugosità ed all'esposizione del sito, si è operato in termini di inviluppo, coerentemente con la natura tipologica delle strutture.

In dettaglio, le aree geografiche del territorio italiano interessate da progetti di potenziamento/rinnovo della struttura autostradale e, quindi, potenziali siti di impiego delle strutture di segnaletica, sono riconducibili alle “zone” della EN 1991-1-4 evidenziate in tabella:

Zonazione secondo NAD EN 1991-1-4 - tab. N.A.1				
Zona	v_{b0}	a_0	k_0	Regione
1	25	1000	0.010	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della prov. Di Trieste)
2	25	750	0.015	Emilia Romagna
3	27	500	0.020	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa la prov. di Reggio Calabria)
4	28	500	0.020	Sicilia e prov. di Reggio Calabria
5	28	750	0.015	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)
6	28	500	0.020	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)
7	28	1000	0.015	Liguria
8	30	1500	0.010	Provincia di Trieste
9	31	500	0.020	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto

Tabella 2-1 Azione del vento - zone ammesse

Per il calcolo della pressione del vento, si è fatto pertanto riferimento univoco ai seguenti parametri che, come può essere dimostrato, costituiscono inviluppo di tutte le possibili occorrenze (considerando le esclusioni indicate al punto precedente):

Zona	3
Classe di rugosità	D
Distanza dalla costa	entro i 10 km
Categoria del sito	II
Quota sito	500 m
Periodo di ritorno	50 anni

L'azione del vento, è stata specializzata in relazione alle parti di struttura investigate ed in dettaglio secondo quanto esplicitato EN 1991-1-4; 7.4.3.

Ai fini del calcolo delle pressioni di progetto, si evidenzia che una specifica analisi ha mostrato la presenza di un coefficiente c_{sCd} generalmente inferiore all'unità (valore medio pari a 0.9). A favore di sicurezza, si porrà pertanto tale coefficiente pari a 1.

Come suggerito da EN 1991-1-4, specificatamente per questo tipo di strutture, si considererà un'eccentricità dell'azione della risultante del vento pari ad 0.25 della dimensione trasversale del cartello.

La tabella seguente riporta i vari parametri e lo sviluppo del calcolo della pressione effettivamente insistente sul pannello della generica sottotipologia (il valore della pressione non varia, per le dimensioni in gioco, nell'ambito delle varie sottotipologie (A1-A6)).

Calcolo parametri di base		
Categoria sito	II	I-II-III-IV-V (categorie secondo NAD EN 1991-1-4)
Zona	3	1-2-3-4-5-6-7-8-9
a_s	500	m - quota sito
v_{b0}	27	4.1.(1) P
a_0	500	m (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
k_a	0.02	1/s (cfr. tab. N.A. 1 parametri nazionali)
v_{b0}	27	4.1.(1) P
v_b	27.0	velocità di base del vento
c_{dir}	1.00	4.2.(2) P - nota 2
c_{season}	1.00	4.2.(2) P - nota 3
$c_r(z)$	0.83	Coeff. Rugosità terreno (E
k_1	1.00	fattore di turbolenza (valore raccomandato da N.A.D.)
c_o	1.00	coeff. orografia EN 1991-1-4 §4.3.1 e Annex A3
T_r	50.00	periodo di ritorno
k_1	0.14	
n	1	
α_r	1.00	
z_0	0.05	EN 1991-1-4 §4.3.2
z_{0II}	0.05	EN 1991-1-4 §4.3.2 prosp. 4.1
z_{min}	4.00	EN 1991-1-4 §4.3.2
z_{max}	200	EN 1991-1-4 §4.3.2
k_r	0.19	fattore di terreno EN 1991-1-4 §4.3.2 (4.5)
$v_m(z)$	22.5	Velocità media del vento
σ_v	5.13	scarto comp. turbolenta vel. vento EN 1991-1-4 §4.4 (4.6)
ρ	1.25	densità aria (4.5 nota 2 e N.A.D.)
$l_v(z)$	0.23	
$c_e(z)$	1.8005	
$q_p(z)$	820.37	
z_e	2.83	(m) Quota baricentro pannello
A_{ref}	6.75	Area di riferimento
c_f	1.8	coefficiente di forza (EN 1991-1-4 - 7.4.3(1) - (7.7))
c_{sCd}	1	c_{sCd} valore cautelativo

$f_{w,calc}$	1476.66
$f_{w,k}$	1500.00

Tabella 2-2 Calcolo pressione del vento

Come può notarsi dalla tabella, il valore calcolato di 1467.66 N/m² viene arrotondato al valore di progetto 1500 N/m².

Alla luce delle ipotesi conservative assunte alla base dei calcoli, la quota del baricentro medio pannello verrà valutata a partire dalla base piantana, assumendo pertanto quota “0” la quota del viadotto.

2.3 AZIONI SISMICHE

La massa complessiva dell'opera è inferiore a 900 kg (valore riferito al monopalo tipo A6, con dispositivo integrativo).

Le azioni sismiche, pertanto, possono ritenersi scarsamente significative, per intensità e direzione, rispetto alle azioni di progetto indotte dal vento, e non verranno pertanto prese in esame, per brevità.

2.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche si considerano le seguenti combinazioni di carico:

S.L.U.: $1.3 G_k + 1.5 F_w$

S.L.E.: $G_k + F_w$

3 ANALISI STRUTTURALE

Si riportano di seguito le generalità ed i principali risultati ottenuti dall'analisi strutturale, effettuata con riferimento al monopalo tipo “A3” (3x2.25m) e tipo A6 (4x2.5m), presi come riferimento rispettivamente nell'ambito delle verifiche della struttura nella configurazione di base e rinforzata.

3.1 GENERALITÀ MODELLI

L'analisi strutturale del dispositivo viene effettuata mediante un semplice modello E.F. che rappresenta le membrature nella loro effettiva geometria. Per la modellazione delle membrature si adottano elementi tipo “thick beam”, lineari a due nodi. Elementi puntuali tipo “joint”, opportunamente orientati, vengono predisposti in corrispondenza delle connessioni lato cordolo e lato piastra di supporto, per una più immediata valutazione delle sollecitazioni insistenti nelle connessioni.

I carichi di peso proprio del dispositivo vengono applicati alle membrature sotto forma di azioni distribuite.

I carichi trasmessi dal pannello SGN vengono applicati sotto forma di azioni e coppie concentrate disposte in corrispondenza della sommità del montante, che viene compreso nella modellazione.

La figura seguente riporta la configurazione del modello E.F. in forma renderizzata per il dispositivo base.

Scale: 1: 34.8777
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3

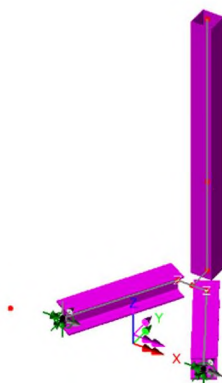


Figura 3-1 Modello E.F. – dispositivo base

3.2 AZIONI TRASMESSE DAL CARTELLO SGN

Le sollecitazioni in gioco, per effetto del peso proprio/permanente del cartello, e per effetto del vento vengono valutate, attraverso una semplice procedura implementata su foglio elettronico, per tutte le tipologie standard.

Di seguito si riporta il calcolo per esteso delle sollecitazioni A3 e A6.

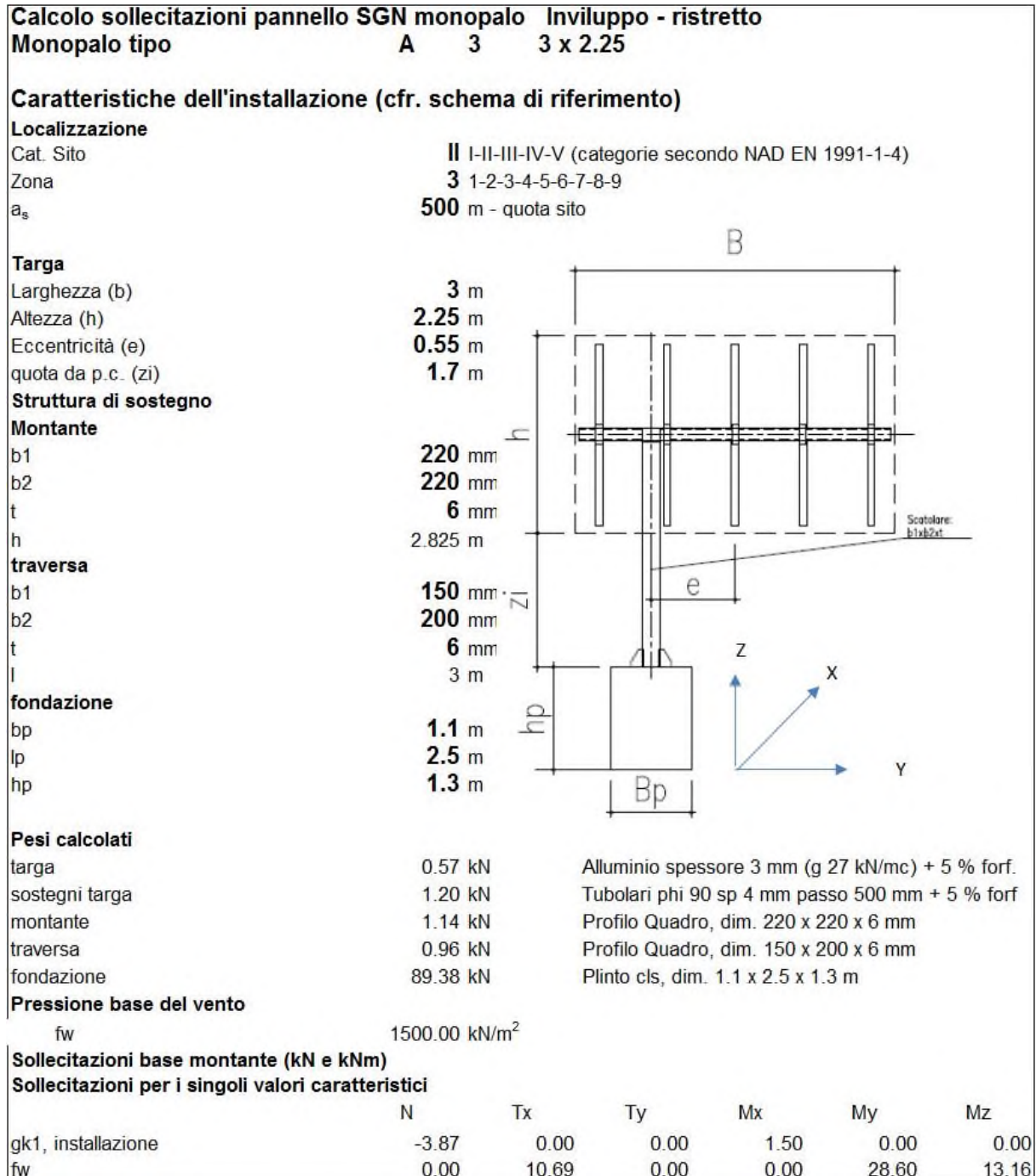


Figura 3-2 Calcolo sollecitazioni monopalo A3

Calcolo sollecitazioni pannello SGN monopalo Inviluppo - ristretto						
Monopalo tipo	A 6 4 x 2.5					
Caratteristiche dell'installazione (cfr. schema di riferimento)						
Localizzazione						
Cat. Sito	II I-II-III-IV-V (categorie secondo NAD EN 1991-1-4)					
Zona	3 1-2-3-4-5-6-7-8-9					
a_s	500 m - quota sito					
Targa						
Larghezza (b)	4 m					
Altezza (h)	2.5 m					
Eccentricità (e)	1.05 m					
quota da p.c. (zi)	1.7 m					
Struttura di sostegno						
Montante						
b1	220 mm					
b2	220 mm					
t	6 mm					
h	2.95 m					
traversa						
b1	150 mm					
b2	200 mm					
t	6 mm					
l	4 m					
fondazione						
bp	1.1 m					
lp	2.5 m					
hp	1.3 m					
Pesi calcolati						
targa	0.85 kN	Alluminio spessore 3 mm (g 27 kN/mc) + 5 % forf.				
sostegni targa	1.78 kN	Tubolari phi 90 sp 4 mm passo 500 mm + 5 % forf				
montante	1.19 kN	Profilo Quadro, dim. 220 x 220 x 6 mm				
traversa	1.27 kN	Profilo Quadro, dim. 150 x 200 x 6 mm				
fondazione	89.38 kN	Plinto cls, dim. 1.1 x 2.5 x 1.3 m				
Pressione base del vento						
f_w	1500.00 kN/m ²					
Sollecitazioni base montante (kN e kNm)						
Sollecitazioni per i singoli valori caratteristici						
	N	Tx	Ty	Mx	My	Mz
gk1, installazione	-5.09	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00
f _w	0.00	15.56	0.00	0.00	44.25	30.75

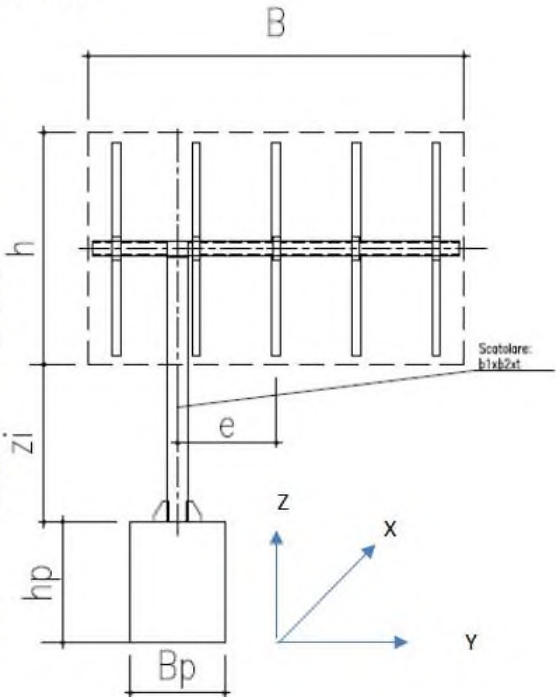


Tabella 3-1 Calcolo azioni base monopalo A6

Di seguito le sollecitazioni in testa montante per i monopali A3 e A6, implementate nel modello E.F.

Azioni testa montante monopali A3 e A6 (valori in kN e kNm)								
			N	Vx	Vy	Mx	My	Mz
A 3	3 x 2.25	gk1	-2.73	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
		Fw	0.00	10.69	0.00	0.00	0.00	13.16
A 6	4 x 2.5	gk1	-3.90	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00
		Fw	0.00	15.56	0.00	0.00	0.00	30.75

Tabella 3-2 Azione testa MP

I valori indicati tengono conto anche dell'effetto dell'eccentricità aggiuntiva di progetto delle azioni del vento.

3.3 PRINCIPALI RISULTATI

3.3.1 Deformazioni

Di seguito si riportano la deformata qualitativa rilevata allo S.L.E. (presenza di pesi propri, permanenti e variabili).

S.L.E. – monopalo A3

Scale: 1: 32,3632
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 SLS tipo A3
 Maximum displacement 0.0122688 at node 36
 Deformation exaggeration: 31.6541

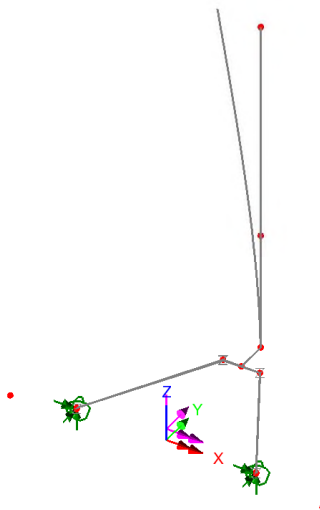


Figura 3-3 deformata S.L.E. monopalo A3

Lo spostamento risultante massimo è risultato pari a 12.27 mm.

3.3.2 Azioni interne nella struttura di base

Di seguito di riportano le azioni interne S.L.U., rilevate sui profili HEB 240 della mensola del monopalo A3 e A6

Mensola monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: Fx (Units: N)
 Diagram maximum 32.0091E3 at Gauss point 1 of element 4
 Diagram minimum -32.0091E3 at Gauss point 1 of element 3
 Diagram scale: 1: 0.312411E-3

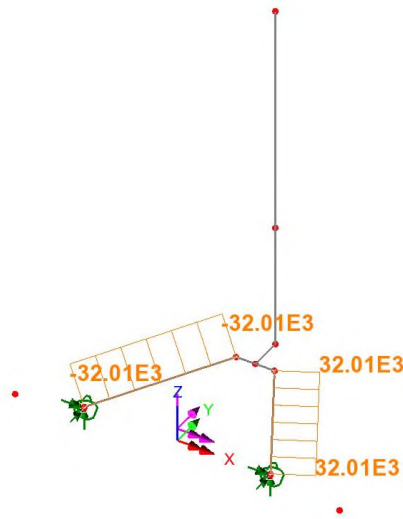


Figura 3-4 - Sforzo assiale – Fx – monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: Fz (Units: N)
 Diagram maximum 42.7369E3 at Gauss point 11 of element 3
 Diagram minimum -36.3345E3 at Gauss point 1 of element 14
 Diagram scale: 1: 0.23399E-3

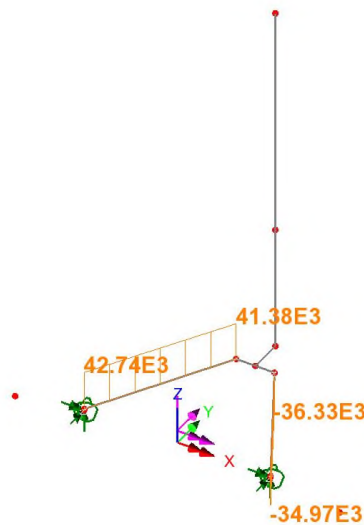


Figura 3-5 - Taglio verticale – Fz – monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: Fy (Units: N)
 Diagram maximum -9.1305E3 at Gauss point 1 of element 3
 Diagram minimum -9.1305E3 at Gauss point 1 of element 3
 Diagram scale: 1: 1.09523E-3

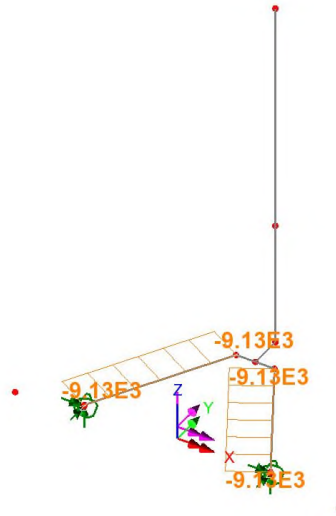


Figura 3-6 - Taglio orizzontale – Fy – monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: My (Units: N.m)
 Diagram maximum 35.6593E3 at Gauss point 1 of element 14
 Diagram minimum -31.8682E3 at Gauss point 1 of element 13
 Diagram scale: 1: 0.280432E-3

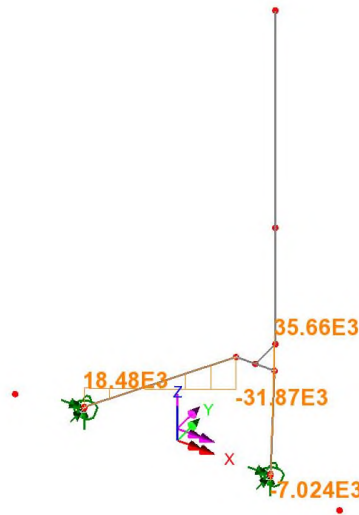


Figura 3-7 - Momento flettente verticale – My – monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3
 Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: Mz (Units: N.m)
 Diagram maximum 7.03373E3 at Gauss point 1 of element 13
 Diagram minimum -3.89655E3 at Gauss point 11 of element 3
 Diagram scale: 1: 1.42172E-3

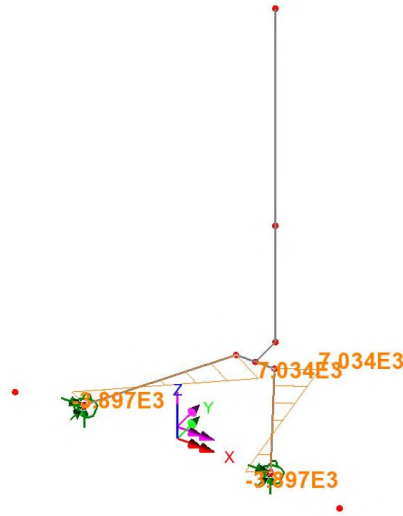


Figura 3-8 - Momento flettente orizzontale – Mz – monopalo A3

Scale: 1: 31.1526
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3
 Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
 Diagram component: Mx (Units: N.m)
 Diagram maximum 72.4187 at Gauss point 1 of element 3
 Diagram minimum 57.4447 at Gauss point 1 of element 4
 Diagram scale: 1: 0.138086

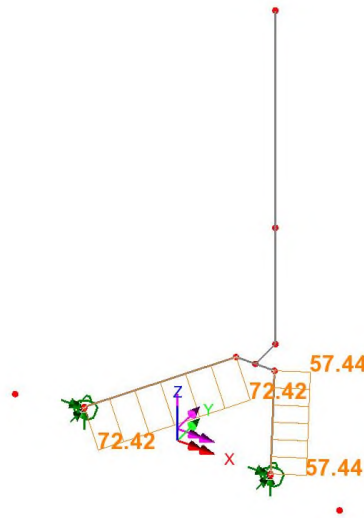


Figura 3-9 - Momento torcente – Mx – monopalo A3

Scale: 1: 31.9639
 Zoom: 100.0
 Eye: (0.416543, -0.689266, 0.592793)
 Linear/dynamic analysis
 ULS tipo A3
 Fibre: 12
 Cross Section: HEB240
 Peak/value entity: Stress - Thick 3D Beam
 Peak/value component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)
 Peak range(%): 0.0
 Peak/value maximum 62.5424E6 at Gauss point 1 of element 14
 Peak/value minimum -16.3867E6 at Gauss point 11 of element 4
 Contour entity: Stress - Thick 3D Beam
 Contour component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)
 Number of contours: 9
 Contour interval: 13.4494E6

ULS tipo A3
 Entity: Stress - Thick 3D Beam
 Component: Sx(Fx, My, Mz) (Units: N/m²)

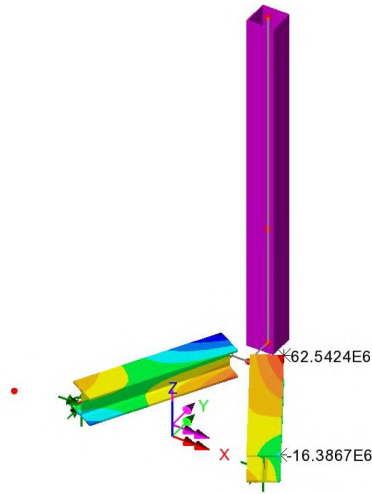
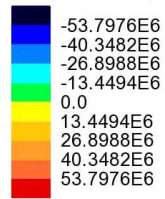


Figura 3-10 Tensioni normali massime - monopalo A3

Il valore massimo di tensione normale S.L.U. è risultato pari a 62.0 MPa

4 VERIFICHE STRUTTURA DI BASE (MENSOLA)

4.1 VALUTAZIONE FRECCE

Dall'esame delle deformate e dei valori massimi di freccia evidenziati poco sopra, con particolare riferimento alle frecce orizzontali, si può rilevare che la flessibilità dello sbalzo e del sistema sbalzo + supporto non induce amplificazioni di rilievo.

I limiti deformativi sono pertanto rispettati, sostanzialmente al pari della struttura su base rigida (fondazione diretta).

4.2 VERIFICA MEMBRATURE HEB240

Il profilo HEB240 B è in **classe 1** per qualsiasi combinazione delle sollecitazioni.

Si effettua pertanto una verifica plastica.

La tabella seguente riepiloga il calcolo dei rapporti di sfruttamento plastici:

- per tensioni normali (h_1), valutato con la formula di interazione semplificata di EN 1993-1-1, cap. 6.2.1.(7)
- per tensioni taglianti (h_3) nelle due direzioni di taglio separate (cap. 6.2.6.)

Verifica plastica travi HEB 240 - monopalo A3 (kN / kNm)

		$N_{b,minpl}$	M_{ypl}	M_{zpl}	$V_{pl,y}$	$V_{pl,z}$				
		3584.00	356.00	168.50	648.80	1593.00				
Element	Node	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	$\eta_{1,pl}$	$\eta_{3y,pl}$	$\eta_{3z,pl}$
3	7	-32.01	-9.13	42.51	0.07	9.97	-2.07	0.05	0.01	0.03
3	5	-32.01	-9.13	42.74	0.07	18.48	-3.90	0.08	0.01	0.03
4	8	32.01	-9.13	-35.20	0.06	-0.02	-2.07	0.02	0.01	0.02
4	6	32.01	-9.13	-34.97	0.06	-7.02	-3.90	0.05	0.01	0.02
5	9	-32.01	-9.13	42.28	0.07	1.52	-0.25	0.01	0.01	0.03
5	7	-32.01	-9.13	42.51	0.07	9.97	-2.07	0.05	0.01	0.03
6	10	32.01	-9.13	-35.43	0.06	7.02	-0.25	0.03	0.01	0.02
6	8	32.01	-9.13	-35.20	0.06	-0.02	-2.07	0.02	0.01	0.02
7	11	-32.01	-9.13	42.06	0.07	-6.90	1.57	0.04	0.01	0.03
7	9	-32.01	-9.13	42.28	0.07	1.52	-0.25	0.01	0.01	0.03
8	12	32.01	-9.13	-35.65	0.06	14.11	1.57	0.06	0.01	0.02
8	10	32.01	-9.13	-35.43	0.06	7.02	-0.25	0.03	0.01	0.02
9	13	-32.01	-9.13	41.83	0.07	-15.27	3.39	0.07	0.01	0.03
9	11	-32.01	-9.13	42.06	0.07	-6.90	1.57	0.04	0.01	0.03
10	14	32.01	-9.13	-35.88	0.06	21.25	3.39	0.09	0.01	0.02
10	12	32.01	-9.13	-35.65	0.06	14.11	1.57	0.06	0.01	0.02
11	15	-32.01	-9.13	41.60	0.07	-23.59	5.21	0.11	0.01	0.03
11	13	-32.01	-9.13	41.83	0.07	-15.27	3.39	0.07	0.01	0.03
12	16	32.01	-9.13	-36.11	0.06	28.43	5.21	0.12	0.01	0.02
12	14	32.01	-9.13	-35.88	0.06	21.25	3.39	0.09	0.01	0.02
13	18	-32.01	-9.13	41.38	0.07	-31.87	7.03	0.14	0.01	0.03
13	15	-32.01	-9.13	41.60	0.07	-23.59	5.21	0.11	0.01	0.03
14	20	32.01	-9.13	-36.33	0.06	35.66	7.03	0.15	0.01	0.02
14	16	32.01	-9.13	-36.11	0.06	28.43	5.21	0.12	0.01	0.02
								0.15	0.01	0.03

Tabella 4-1 Verifica plastica travi HEB - monopalo A3

Verifica plastica travi HEB 240 - monopalo A6 (kN / kNm)

		$N_{b,minpl}$	M_{ypl}	M_{zpl}	$V_{pl,y}$	$V_{pl,z}$					
		3584.00	356.00	168.50	648.80	1593.00					
Element	Node	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	$\eta_{1,pl}$	$\eta_{3y,pl}$	$\eta_{3z,pl}$	
3	7	6.28	-22.02	5.24	0.01	7.78	-5.63	0.06	0.03	0.00	
3	5	6.28	-22.02	5.47	0.01	8.85	-10.03	0.09	0.03	0.00	
4	8	-13.74	-21.91	9.58	-0.01	8.34	-5.59	0.06	0.03	0.01	
4	6	-13.74	-21.91	9.81	-0.01	10.28	-9.96	0.09	0.03	0.01	
5	9	6.28	-22.02	5.02	0.01	6.76	-1.24	0.03	0.03	0.00	
5	7	6.28	-22.02	5.24	0.01	7.78	-5.63	0.06	0.03	0.00	
6	10	-13.74	-21.91	9.35	-0.01	6.45	-1.21	0.03	0.03	0.01	
6	8	-13.74	-21.91	9.58	-0.01	8.34	-5.59	0.06	0.03	0.01	
7	11	6.28	-22.02	4.79	0.01	5.78	3.16	0.04	0.03	0.00	
7	9	6.28	-22.02	5.02	0.01	6.76	-1.24	0.03	0.03	0.00	
8	12	-13.74	-21.91	9.13	-0.01	4.61	3.16	0.04	0.03	0.01	
8	10	-13.74	-21.91	9.35	-0.01	6.45	-1.21	0.03	0.03	0.01	
9	13	6.28	-22.02	4.56	0.01	4.85	7.55	0.06	0.03	0.00	
9	11	6.28	-22.02	4.79	0.01	5.78	3.16	0.04	0.03	0.00	
10	14	-13.74	-21.91	8.90	-0.01	2.81	7.53	0.06	0.03	0.01	
10	12	-13.74	-21.91	9.13	-0.01	4.61	3.16	0.04	0.03	0.01	
11	15	6.28	-22.02	4.34	0.01	3.96	11.94	0.08	0.03	0.00	
11	13	6.28	-22.02	4.56	0.01	4.85	7.55	0.06	0.03	0.00	
12	16	-13.74	-21.91	8.67	-0.01	1.06	11.90	0.08	0.03	0.01	
12	14	-13.74	-21.91	8.90	-0.01	2.81	7.53	0.06	0.03	0.01	
13	18	6.28	-22.02	4.11	0.01	3.12	16.34	0.11	0.03	0.00	
13	15	6.28	-22.02	4.34	0.01	3.96	11.94	0.08	0.03	0.00	
14	21	-13.74	-21.91	8.45	-0.01	-0.65	16.27	0.10	0.03	0.01	
14	16	-13.74	-21.91	8.67	-0.01	1.06	11.90	0.08	0.03	0.01	
								0.11	0.03	0.01	

Tabella 4-2 Verifica plastica travi HEB - monopalo A6

Il basso valore delle tensioni normali, rilevate nella combinazione S.L.U. e riportate al punto precedente, consente di ritenere automaticamente soddisfatte le verifiche S.L.E. .

4.3 VERIFICA CONNESSIONI BULLONATE

Si effettua la verifica dell'unione bullonata che collega la piastra orizzontale del montante con la mensola a sbalzo.

Le caratteristiche dell'unione sono di seguito riportate.

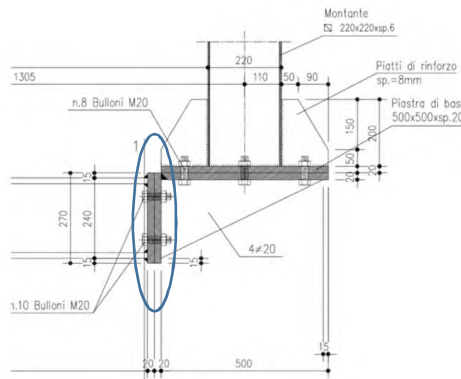


Figura 4-1 Unione bullonata lato monopalo

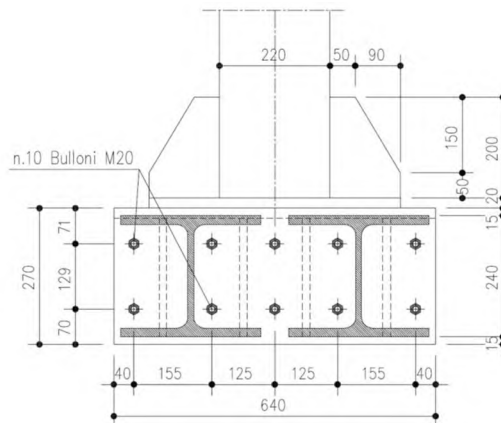


Figura 4-2 Unione bullonata lato monopalo

Le sollecitazioni di progetto che impegnano la piastra bullonata sono le seguenti, e vengono estratte direttamente dal nodo iniziale dell'elemento di connessione.

La bullonatura è realizzata mediante 10 bulloni M20 a taglio, e risulta sollecitata dal quadro di sollecitazioni riportato in tabella, rispettivamente per la connessione del monopalo A3 e A6.

Sollecitazioni di progetto (s.r. elemento, el. 19 nodo 19)

	N	Vx	Vy	Mx	My	Mz
A1-2-3	0.00	16035.00	5042.77	45699.70	3295.36	24018.00
A4-5-6	-6528.13	-48062.4	12556.2	-2549.41	2151.75	33302.4

Tabella 4-3 Sollecitazioni bullonatura connessione piastra

Come si può notare, la connessione del monopalo A3 risulta più impegnata di quella del A6, data la mancanza del sistema di supporto. Essa verrà pertanto considerata nelle verifiche a seguire.

Il calcolo delle tensioni normali nei bulloni viene effettuato considerando lo stato di pressoflessione deviata (componenti N, My e Mz), valutato attraverso la procedura VCA SLU, mentre il calcolo delle azioni taglianti viene effettuato ripartendo sui dieci gambi le componenti verticali/orizzontali Vx e Vy, e l'effetto del momento torcente My tramite il modulo di resistenza polare.

Calcolo Azioni normali nei bulloni

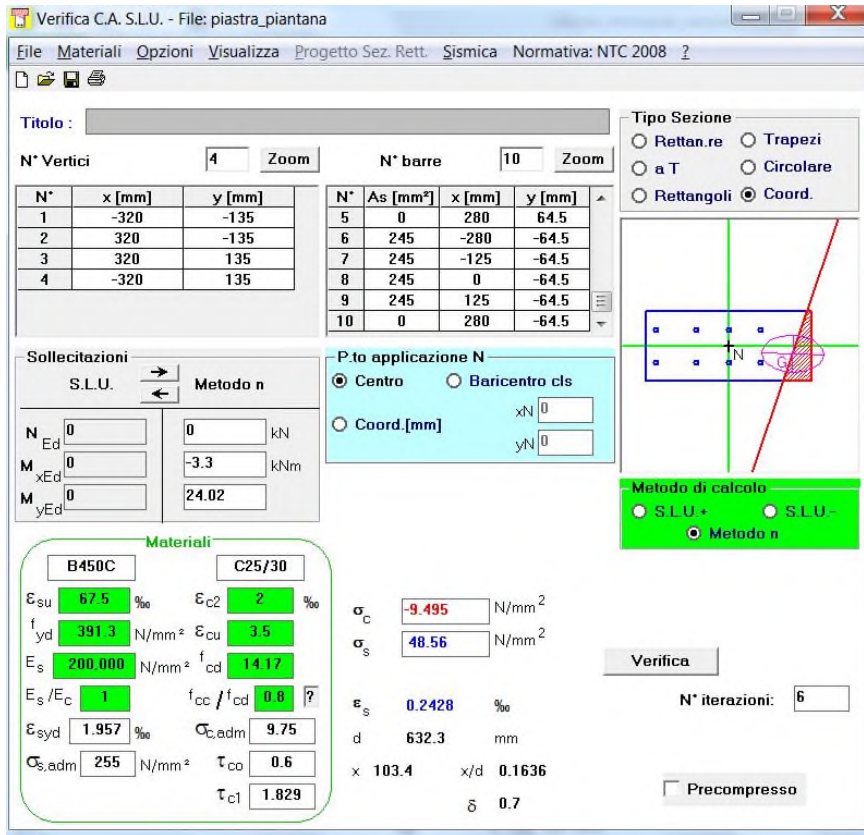


Figura 4-3 calcolo tensioni normali nei gambi

La trazione massima nei bulloni si rileva negli elementi periferici, con:

$V_{n,Ed} = 48.56 \times 245 = 11.90 \text{ kN}$

$V_{n,Rd} = 0.9 \times 245 \times 800 / 1.25 = 141.12 \text{ kN}$

$h = 11.90 / 141.12 = 0.08$

Calcolo azioni taglianti nei bulloni

Unione sbalzo - base piastra - Calcolo componenti orizzontali sui singoli gambi (kN)

nb	V _x (V _x)	V _x (M _x)	V _{x,Ed}	V _y (V _y)	V _y (M _x)	V _{y,Ed}	V _{ed} (kN)	V _{Rd}	η (V _{Ed} /V _{Rd})
1	1.60	7.06	8.66	0.50	-30.63	-30.13	31.35	94.08	0.33
2	1.60	7.06	8.66	0.50	-13.68	-13.17	15.76	94.08	0.17
3	1.60	7.06	8.66	0.50	0.00	0.50	8.67	94.08	0.09
4	1.60	7.06	8.66	0.50	13.68	14.18	16.62	94.08	0.18
5	1.60	7.06	8.66	0.50	30.63	31.14	32.32	94.08	0.34
6	1.60	-7.06	-5.45	0.50	-30.63	-30.13	30.62	94.08	0.33
7	1.60	-7.06	-5.45	0.50	-13.68	-13.17	14.26	94.08	0.15
8	1.60	-7.06	-5.45	0.50	0.00	0.50	5.48	94.08	0.06
9	1.60	-7.06	-5.45	0.50	13.68	14.18	15.19	94.08	0.16
10	1.60	-7.06	-5.45	0.50	30.63	31.14	31.61	94.08	0.34

Tabella 4-4 Sollecitazioni taglianti nell'unione bullonata

L'azione tagliante massima si rileva anche in questo caso nei bulloni periferici.

La verifica risulta soddisfatta.

La verifica combinata taglio/trazione riporta quanto segue:

$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} + V_{n,Ed} / (1.4 \times V_{n,Rd}) = 31.61 / 94.08 + 11.90 / (1.4 \times 141.12) = 0.40$

La verifica risulta soddisfatta.

4.4 VERIFICA CONNESSIONI SALDATE

La composizione delle piastre verticale/orizzontale di aggancio è realizzata mediante saldatura a piena penetrazione.

La saldatura delle membrature sulle piastre verticali è realizzata mediante cordone d'angolo simmetrico, di gola minima pari a 8 mm.

La verifica viene effettuata con riferimento alle sollecitazioni scomposte sul piano della giunzione.

Si considerano, per semplicità, i cordoni indicati a tratto spesso nello schema di riferimento seguente.

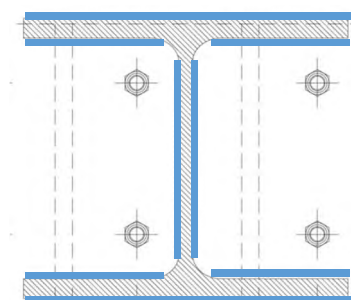


Figura 4-4 Saldature trave/piastra

Per i cordoni di piattabanda si considera una singola sezione resistente da 16 mm, di lunghezza media pari a 275 mm.

Per il cordone d'anima si considera un cordone di gola equivalente pari a 16 mm, e lunghezza pari a 164 mm.

Ai fini delle verifiche, i cordoni orizzontali di piattabanda verranno ipotizzati sollecitati da:

F _x	azione assiale trave	(tensione normale s_n)
F _z	taglio orizzontale	(tensione tangenziale $t_{//}$)
M _y	momento flettente verticale	(tensione normale s_n)
M _z	momento flettente orizzontale	(tensione normale s_n)
M _x	momento torcente	(tensione tangenziale $t_{//}$)

I cordoni di anima, verranno ipotizzati sollecitati da:

F _x	azione assiale trave	(tensione normale s_n)
F _y	taglio verticale	(tensione tangenziale $t_{//}$)
M _y	momento flettente verticale	(tensione normale s_n)

La verifica della saldatura viene effettuata con riferimento al metodo direzionale proposto da EN 1993-1-8, cap. 4.

Di seguito il calcolo delle grandezze resistenti, riferiti alla sezione di gola, e l'esito della verifica.

Calcolo caratteristiche cordoni di saldatura

	b	2a (gola)
p. sup	275	16 mm
p. inf	275	16 mm
	h	2a (gola)
web	164	16 mm
yg	111	mm

Calcolo grandezze resistenti gola

A	1.14E+04 mm ²	area resistente
Jxx	1.14E+08 mm ⁴	inerzia attorno asse lg
Jzz	5.55E+07 mm ⁴	inerzia attorno asse vert
Wxx,piatt	1.03E+06 mm ³	modulo res. piatt dir. verticale
Wzz,piatt	4.03E+05 mm ³	modulo res. piatt dir. orizzontale
Wxx,web	1.39E+06 mm ³	modulo res. anima dir. verticale
Ax	2624 mm ²	area di taglio orizzontale
Az	8800 mm ²	area di taglio dir. Verticale
bz	222 mm	braccio verticale piattabande

Tabella 4-5 grandezze resistenti, riferite alle dimensioni gola

Di seguito le sollecitazioni sulle unioni saldate del monopalo A3 ed A6, rispettivamente per la connessione lato cordolo in c.a. (lato 1) e lato montante (lato 2), unitamente al calcolo delle tensioni nelle saldature.

Sollecitazioni attacco travi/piastra nel sistema rif. Globale (valori in N e Nm)

	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
A3-trave1 - 1	-8017.50	-32305.80	-42736.90	-16062.20	9137.19	-3896.55
A3-trave2 - 1	-8017.50	32305.80	34974.80	6119.79	3446.89	-3896.55
A3-trave1 - 2	-8017.50	-32305.80	-41377.30	27601.90	-15928.60	7033.73
A3-trave2 - 2	-8017.50	32305.80	36334.50	-30897.20	-17803.10	7033.73

Tabella 4-6 Sollecitazioni trave 1 e trave 2, lato montante e lato cordolo – monopalo A3

verifica dei cordoni di saldatura - metodo direzionale EN 1993-1-8 (grandezze in MPa)

Cordoni piattabande

	$\sigma_{\perp,1}$	$\sigma_{\perp,2}$	$\tau_{\perp,1}$	$\tau_{\perp,2}$	$\tau// (Vx)$	$\tau// (My)$	$\sigma_{E,1}$	$\sigma_{E,2}$	$f_{w,Rd}$	η
A3-trave1 - 1	-19.86	15.86	-19.86	15.86	3.06	15.69	51.30	45.39	453.33	0.10
A3-trave2 - 1	-0.63	4.63	-0.63	4.63	3.06	5.92	15.59	18.09	453.33	0.04
A3-trave1 - 2	29.28	-33.28	29.28	-33.28	3.06	27.34	78.76	84.87	453.33	0.19
A3-trave2 - 2	-6.88	10.88	-6.88	10.88	3.06	30.56	59.83	62.16	453.33	0.14

Cordoni anima

	$\sigma_{\perp,1}$	$\sigma_{\perp,2}$	$\tau_{\perp,1}$	$\tau_{\perp,2}$	$\tau// (Vz)$	$\sigma_{E,1}$	$\sigma_{E,2}$	$f_{w,Rd}$	η
A3-trave1 - 1	-10.15	6.15	-10.15	6.15	-4.86	21.97	14.90	453.33	0.03
A3-trave2 - 1	5.10	-1.10	5.10	-1.10	3.97	12.31	7.23	453.33	0.02
A3-trave1 - 2	12.00	-16.00	12.00	-16.00	-4.70	25.35	33.02	453.33	0.07
A3-trave2 - 2	-13.67	17.67	-13.67	17.67	4.13	28.27	36.06	453.33	0.08

n.b.: punti 1 e 2 rispettivamente inf/sup

$f_{w,Rd} = f_t / b_w \gamma_{M2}$

Tabella 4-7 Verifica saldature monopalo A3

Sollecitazioni attacco travi/piastra nel sistema rif. Globale (valori in N e Nm)

	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
A6-trave1 - 1	22225.90	-5522.19	-5470.17	-7680.96	4401.15	-10027.40
A6-trave2 - 1	25836.50	-1005.94	-9805.40	-8918.41	-5103.17	-9956.26
A6-trave1 - 2	22225.90	-5522.19	-4110.50	-2707.59	1546.14	16339.00
A6-trave2 - 2	25836.50	-1005.94	-8445.73	555.84	335.63	16267.90

Tabella 4-8 Sollecitazioni saldature trave 1 e trave 2, lato montante e lato cordolo – monopalo A6

verifica dei cordoni di saldatura - metodo direzionale EN 1993-1-8 (grandezze in MPa)

Cordoni piattabande

	$\sigma_{\perp,1}$	$\sigma_{\perp,2}$	$\tau_{\perp,1}$	$\tau_{\perp,2}$	$\tau// (Vx)$	$\tau// (My)$	$\sigma_{E,1}$	$\sigma_{E,2}$	$f_{w,Rd}$	η
A6-trave1 - 1	-23.20	22.51	-23.20	22.51	8.47	7.56	54.06	52.89	453.33	0.12
A6-trave2 - 1	-23.64	23.52	-23.64	23.52	9.85	8.76	57.22	57.02	453.33	0.13
A6-trave1 - 2	26.44	-27.13	26.44	-27.13	8.47	2.65	56.29	57.57	453.33	0.13
A6-trave2 - 2	28.84	-28.96	28.84	-28.96	9.85	0.58	60.44	60.68	453.33	0.13

Cordoni anima

	$\sigma_{\perp,1}$	$\sigma_{\perp,2}$	$\tau_{\perp,1}$	$\tau_{\perp,2}$	$\tau// (Vz)$	$\sigma_{E,1}$	$\sigma_{E,2}$	$f_{w,Rd}$	η
A6-trave1 - 1	-4.24	3.55	-4.24	3.55	-0.62	8.54	7.19	453.33	0.02
A6-trave2 - 1	-4.59	4.46	-4.59	4.46	-1.11	9.37	9.13	453.33	0.02
A6-trave1 - 2	-1.72	1.03	-1.72	1.03	-0.47	3.52	2.22	453.33	0.00
A6-trave2 - 2	0.22	-0.34	0.22	-0.34	-0.96	1.72	1.80	453.33	0.00

n.b.: punti 1 e 2 rispettivamente inf/sup

$f_{w,Rd} = f_t / b_w \gamma_{M2}$

Tabella 4-9 Verifica saldature lato cordolo monopalo A6

4.5 VERIFICA CONNESSIONI LATO CORDOLO

La connessione delle membrature sul cordolo in calcestruzzo è realizzata mediante una piastra a forma di “L”, il cui lato orizzontale poggia sul marciapiede, ed il verticale si pone a contatto con la parete laterale del cordolo. L’ancoraggio della piastra avviene tramite tasselli M24 fissati con ancorante chimico.

Gli schemi seguenti riportano la configurazione delle piastra.

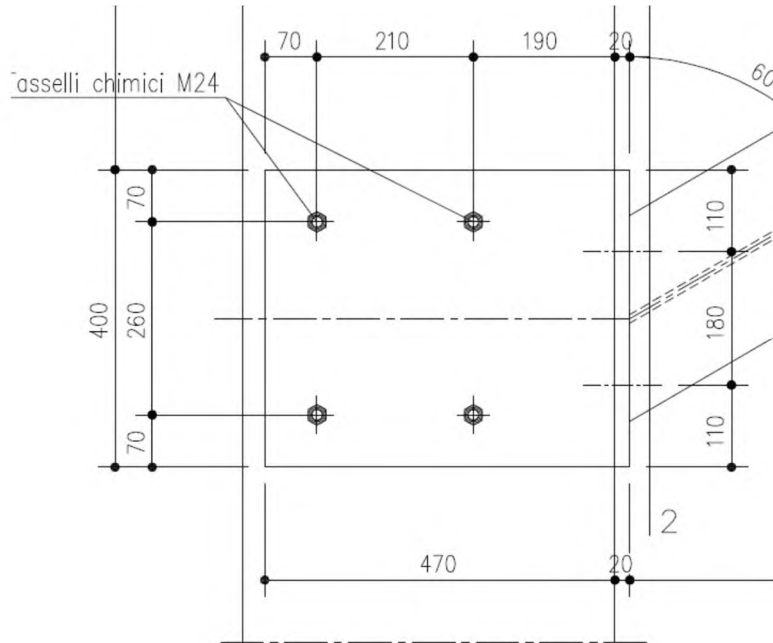


Figura 4-5 Connessione lato cordolo - pianta

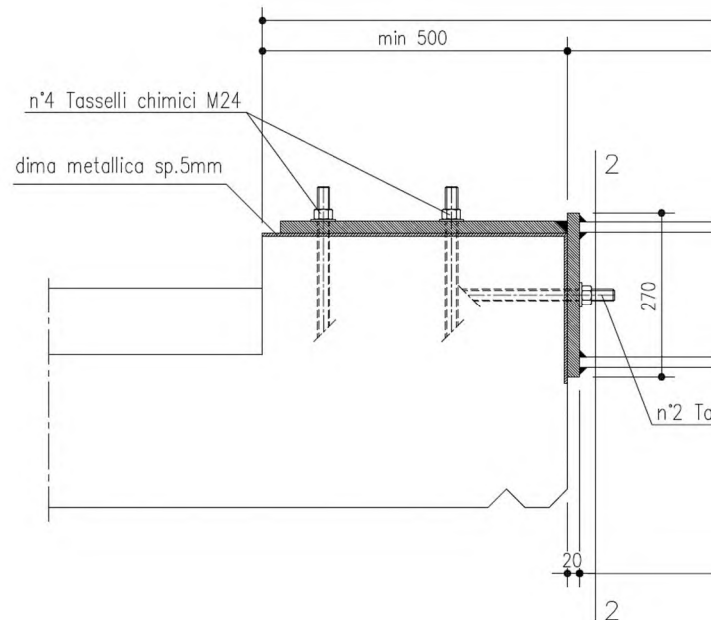


Figura 4-6 Connessione lato cordolo - sezione

L’ancoraggio viene realizzato mediante 2 tasselli che fissano la piastra verticale e 4 tasselli che fissano l’orizzontale.

Il calcolo della connessione viene sviluppato ripartendo sulla piastra orizzontale e verticale gli effetti delle varie caratteristiche di sollecitazione.

Nel prosieguo si indica con:

asse x parallelo asse cordolo

asse y ortogonale asse cordolo

asse z verticale

F_x : azione orizzontale, agente parallelamente all'asse cordolo

F_y : azione orizzontale, agente ortogonalmente all'asse cordolo

F_z : azione verticale

M_x : momento flettente, con asse momento parallelo all'asse cordolo (momento verticale)

M_y : momento flettente, con asse momento ortogonale all'asse cordolo (momento torcente)

M_z : momento flettente, con asse momento verticale (momento orizzontale)

Le verifiche vengono effettuate per le due connessioni, l'elemento “1” risulta essere quello sottovento, mentre l'elemento “2” è quello sopravvento.

Le verifiche effettuate nel prosieguo vengono riferite rispettivamente alla “connessione 1” ed alla “connessione 2”, risultano la situazione perfettamente simmetrica nel caso il vento spirante in senso opposto.

Di seguito le sollecitazioni risultanti per le due connessioni dei monopali tipo A3 e A6 (con struttura di supporto).

Mensola per monopali tipo A3

Element	Gauss point	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
1	1	-8017.50	-32305.80	-42736.90	-16062.20	9137.19	-3896.55
2	1	-8017.50	32305.80	34974.80	6119.79	3446.89	-3896.55

Mensola per monopali tipo A6

Element	Gauss point	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
1	1	22225.90	-5522.19	-5470.17	-7680.96	4401.15	-10027.40
2	1	25836.50	-1005.94	-9805.40	-8918.41	-5103.17	-9956.26

Tabella 4-10 Sollecitazioni connessioni

Ai fini delle verifiche, si fissa l'attenzione preliminarmente sulla piastra verticale, che rappresenta l'elemento di diretta trasmissione dei carichi trasmessi dalle membrature.

4.5.1 Connessione monopali tipo A3 (senza sistema aggiuntivo di supporto)

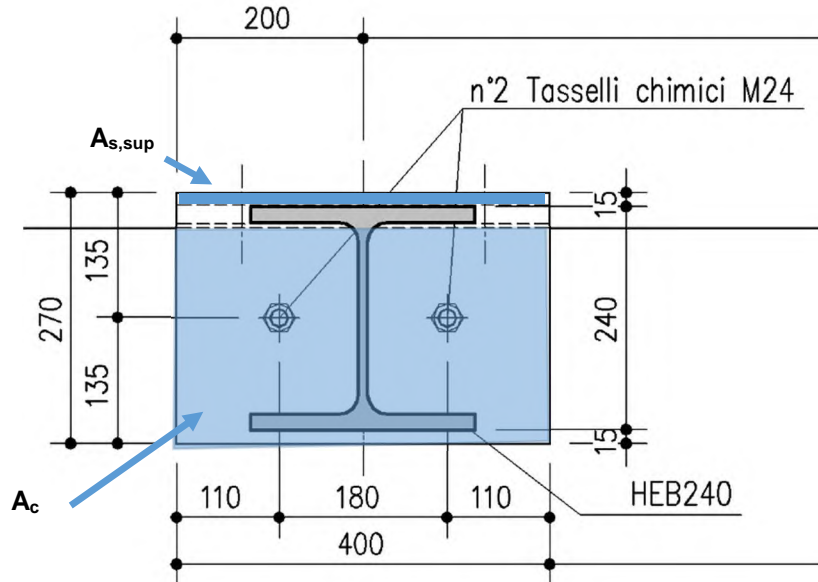
4.5.1.1 Verifica connessioni piastra verticale

Il calcolo delle tensioni normali (pressioni nel calcestruzzo ed tensioni nei tasselli e nella piastra orizzontale) viene effettuato tramite un programma di calcolo comunemente impiegato per sezioni in cemento armato.

Per tenere conto della flessibilità della piastra di connessione, si considera, cautelativamente, la sezione resistente corrispondente ad una piastra quadrata, collegata al calcestruzzo tramite la coppia di tasselli

superiore e tramite la piastra di acciaio orizzontale, schematizzata attraverso un'area equivalente di acciaio (indicata con A_s nelle figura).

In figura si riporta, tratteggiata, la sezione equivalente studiata.



Le dimensioni di base sono quindi le seguenti:

$b \times h$ (superficie di contatto) 400 x 231.5 mm

$A_{s, sup} = 400 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 8\,000 \text{ mm}^2$

$A_{s, barre}$ (area netta tasselli) 2 x 353 mm²

Per il calcolo delle azioni taglianti insistenti sui tasselli, si considera l'azione delle seguenti componenti:

- azione orizzontale F_x , parallela al cordolo, ipotizzata ripartita sui 6 tasselli che fissano la piastra,
- azione orizzontale F_z , verticale, ipotizzata insistere solamente sui due tasselli che fissano la piastra verticale (tale assunzione risulta notevolmente cautelativa).
- momento M_y , che sollecita la piastra a torsione.

Verifica connessione 1 (sottovento)

La verifica viene effettuata con riferimento alle seguenti sollecitazioni:

Azioni normali

$N = F_y = -32.31 \text{ kN}$ azione assiale (- = compressione)

$M_x = M_x = -16.06 \text{ kNm}$ momento flettente verticale (segno “-“ = fibre tese a estradosso)

$M_y = M_z = 3.89 \text{ kNm}$ momento flettente orizzontale (segno “-“ = fibre tese lato sopravvento)

Azioni taglianti

$V_x = F_x \times 2/6 = 2.67 \text{ kN}$ taglio orizzontale

$V_z = F_z = -42.74 \text{ kNm}$ taglio verticale

$M_t = M_y = 9.13 \text{ kNm}$ momento torcente

Di seguito si riporta l'andamento delle tensioni rilevato dal programma adottato, VCA SLU.

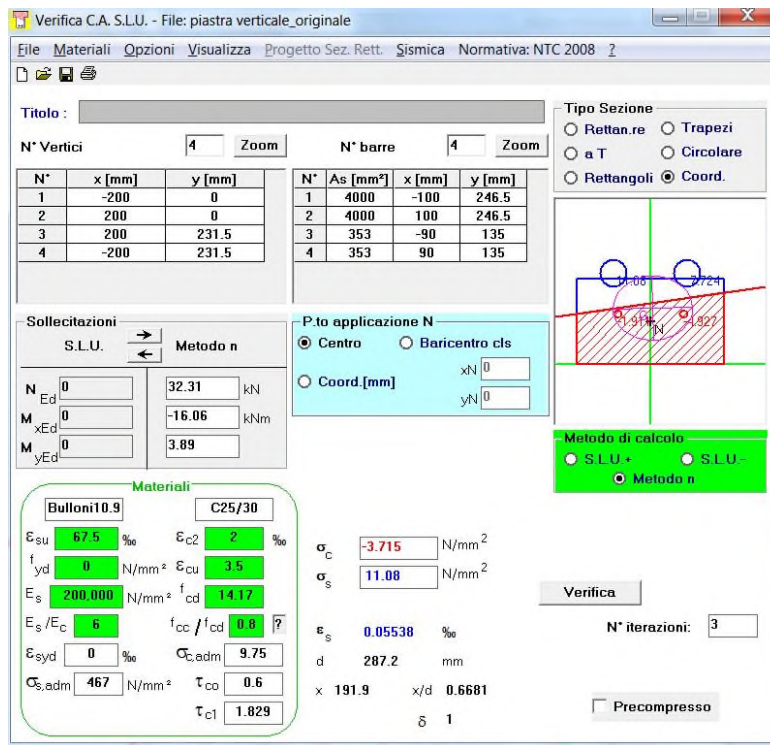


Tabella 4-11 Tensioni normali connessione

Si ottiene pertanto quanto segue:

tensioni medie sulla piastra orizzontale (trazione)

$$s_{med} = (11.08 + 7.72) / 2 = 9.4 \text{ MPa}$$

Risultante trazione sulla piastra orizzontale

$$N_{Ed} = 9.4 \times 8 = 75.2 \text{ kN}$$

Risultante sul singolo tassello della piastra verticale

$$V_{t,Ed} = 0 \text{ kN (trazione)}$$

Per quanto riguarda le azioni taglianti, si ha:

$$V_{x(Fx)} = 2.67 / 2 = 1.34 \text{ kN}$$

$$V_{z(Fz)} = 42.74 / 2 = 21.37 \text{ kN}$$

$$V_{z(Mt)} = 9.13 / 0.18 = 48.56 \text{ kN}$$

$$V_{y(tot,max)} = 21.37 + 48.56 = 69.93 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (1.34^2 + 69.93^2)^{0.5} = 69.94 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \times 353 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 69.94 / 135.55 \text{ kN} = 0.52$$

Dal momento che i tasselli non risultano in trazione, la verifica dell'acciaio dei tasselli può essere giudicata direttamente positiva.

Verifica connessione 2 (sopravento)

La verifica viene effettuata con riferimento alle seguenti sollecitazioni:

Azioni normali

$N = F_y = 32.31 \text{ kN}$ azione assiale (+ = trazione)

$M_x = M_y = 6.11 \text{ kNm}$ momento flettente verticale (segno “+” = fibre tese a intradosso)

$M_y = M_z = 3.89 \text{ kNm}$ momento flettente orizzontale (segno “-“ = fibre tese lato sopravento)

Azioni taglianti

$V_x = F_x \times 2/6 = 2.67 \text{ kN}$ taglio orizzontale

$V_z = F_z = 34.97 \text{ kN}$ taglio verticale

$M_t = M_y = 3.45 \text{ kNm}$ momento torcente

Di seguito si riporta l’andamento delle tensioni rilevato dal programma adottato, VCA SLU.

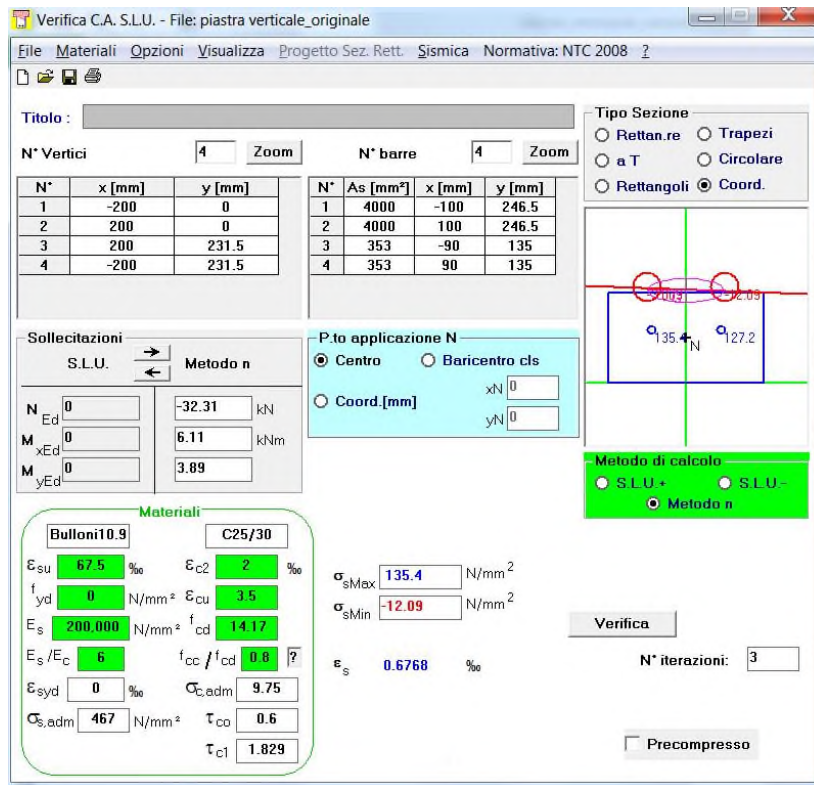


Tabella 4-12 Tensioni normali connessione 2

Si ottiene pertanto quanto segue:

tensioni medie sulla piastra orizzontale (trazione)

$s_{med} = (3+12.1)/2 = 7.55 \text{ MPa}$

Risultante compressione sulla piastra orizzontale

$N_{Ed} = 7.55 \times 8 = 60.4 \text{ kN}$

Risultante sul singolo tassello della piastra verticale

$V_{n,Ed} = 135.3 \times 353 = 47.8 \text{ kN}$

$V_{n,Rd} = 0.9 \times 800 \times 353 / 1.25 = 203.33$

$V_{n,Ed} / V_{n,Rd} = 47.8 / 203.33 = 0.24$

Per quanto riguarda le azioni taglianti, si ha:

$$V_{x(Fx)} = 2.67/2 = 1.34 \text{ kN}$$

$$V_{z(Fz)} = 34.97/2 = 17.49 \text{ kN}$$

$$V_{z(Mt)} = 3.45/0.18 = 19.17 \text{ kN}$$

$$V_{y(\text{tot,max})} = 17.49+19.17 = 36.67 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = (1.34^2+36.67^2)^{0.5} = 36.68 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 0.6 \times 800 \times 353 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 33.4/135.55 = 0.27$$

La verifica combinata trazione/taglio dei tasselli restituisce quanto segue:

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} + V_{n,Ed} / 1.4V_{n,Rd} = 36.68/135.55 + 47.8/(1.4 \times 203.33) = 0.44$$

La resistenza per aderenza del tassello viene valutata, in via semplificata con riferimento a EN 1992-1-1, cap. 7.

Azione massima sul tassello della piastra verticale:

$$V_{N,Ed} = 47.8 \text{ kN}$$

$$s_{Ed} = 135.3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1.2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2.25 \times 1 \times 1 \times 1.2 = 2.7 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = 24/4 \times 135.3/2.7 = 300.7 \text{ mm} \quad \text{profondità di ancoraggio minima}$$

Si adotta cautelativamente una profondità di ancoraggio effettiva pari a:

$$l_b = 400 \text{ mm} \quad \text{profondità di ancoraggio}$$

La diffusione delle azioni localizzate trasmesse dai tasselli è garantita dalla presenza dell'armatura trasversale presente nel cordolo.

Considerando la presenza di un minimo di 4 barre f 12 presenti nel cono formato dalla rottura del calcestruzzo attorno al gruppo dei due tasselli, si ha:

$$N_{\text{tot}} = 128 \text{ kN}$$

La resistenza fornita da 4 f 12 risulta:

$$N_{Rd} = 4 \times 113 \times 391 = 176.7 \text{ kN}$$

4.5.1.2 Verifica connessioni piastra orizzontale

Come accennato poco sopra, la piastra orizzontale è sollecitata dall'azione, trasversale al piano strada, trasmessa dalla piastra verticale, ripartita su 4 elementi, e dalla quota parte dell'azione orizzontale globale Fx.

Si ottiene pertanto quanto segue:

Verifica connessione 1 (sottovento)

$$V_{x,Ed} = 8.02 \times 4/6 = 5.35 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 75.2/4 = 18.8 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (5.35^2+18.8^2)^{0.5} = 19.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \text{ MPa} \times 353 \text{ mm}^2 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 19.55/135.55 = 0.14$$

La verifica lato acciaio risulta soddisfatta.

Verifica connessione 2 (sopravento)

$$V_{x,Ed} = 8.02 \times 4/6 = 5.35 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 60.4/4 = 15.1 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (5.35^2 + 15.1^2)^{0.5} = 16.02 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \text{ MPa} \times 353 \text{ mm}^2 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 16.02/135.55 = 0.12$$

La verifica lato acciaio risulta soddisfatta.

Per la verifica lato calcestruzzo, si ipotizza la presenza di almeno n. 5 barre orizzontali presenti sulla parte superficiale del cordolo.

L'azione orizzontale complessiva resistente offerta da queste barre risulta:

$$V_{Rd} = 5 \times 113 \times 391 = 220 \text{ kN} > V_{y,Ed}$$

4.5.2 Connessione monopali tipo A6 (con sistema aggiuntivo di supporto)

4.5.2.1 Verifica connessioni piastra verticale

Si assumono le medesime ipotesi viste poco sopra

Verifica connessione 1 (sottovento)

La verifica viene effettuata con riferimento alle seguenti sollecitazioni:

Azioni normali

$N = F_y = -55.22 \text{ kN}$ azione assiale (- = compressione)

$M_x = M_{x=} -7.68 \text{ kNm}$ momento flettente verticale (segno “-“ = fibre tese a estradosso)

$M_y = M_z = 10.02 \text{ kNm}$ momento flettente orizzontale (segno “-“ = fibre tese lato sopravvento)

Azioni taglianti

$V_x = F_x \times 2/6 = 7.4 \text{ kN}$ taglio orizzontale

$V_z = F_z = -5.47 \text{ kNm}$ taglio verticale

$M_t = M_y = 4.4 \text{ kNm}$ momento torcente

Di seguito si riporta l'andamento delle tensioni rilevato dal programma adottato, VCA SLU.

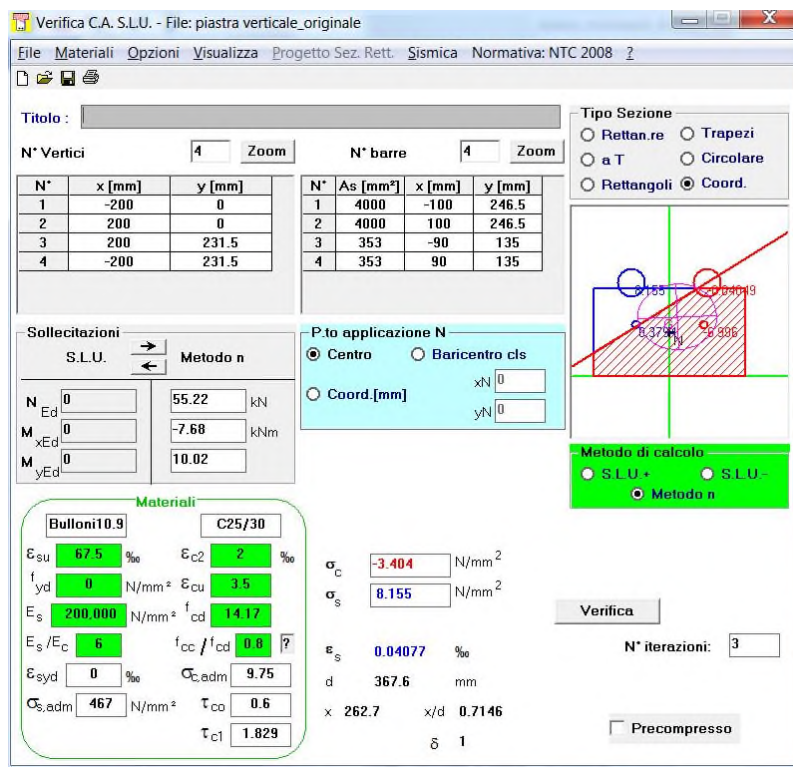


Tabella 4-13 Tensioni normali connessione

Si ottiene pertanto quanto segue:

Per la deduzione delle azioni di trazione da trasmettere alla piastra orizzontale, si considera cautelativamente una tensione pari a 8 MPa, vista la condizione di forte flessione deviata.

In questo modo si tiene conto implicitamente ed in maniera semplificata della sovratensione indotta sugli organi di ancoraggio della piastra orizzontale per effetto della deviazione. Pertanto:

Risultante trazione sulla piastra orizzontale

$$N_{Ed} = 8 \times 8 = 64.0 \text{ kN}$$

Risultante sul singolo tassello della piastra verticale

$$V_{t,Ed} = 0 \text{ kN}$$

Per quanto riguarda le azioni taglianti, si ha:

$$V_{x(Fx)} = 7.4/2 = 3.7 \text{ kN}$$

$$V_{z(Fz)} = 5.47/2 = 21.37 \text{ kN}$$

$$V_{z(Mt)} = 4.4/0.18 = 24.44 \text{ kN}$$

$$V_{y(tot,max)} = 24.44 + 21.37 = 45.81 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (3.7^2 + 45.81^2)^{0.5} = 45.96 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \times 353 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 45.96 / 135.55 \text{ kN} = 0.34$$

Dal momento che i tasselli non risultano in trazione, la verifica dell'acciaio dei tasselli può essere giudicata direttamente positiva.

Verifica connessione 2 (sopravento)

La verifica viene effettuata con riferimento alle seguenti sollecitazioni:

Azioni normali

$$N = F_y = -1.01 \text{ kN} \quad \text{azione assiale (+ = trazione)}$$

$$M_x = M_x = -8.92 \text{ kNm} \quad \text{momento flettente verticale (segno “+” = fibre tese a intradosso)}$$

$$M_y = M_z = 9.96 \text{ kNm} \quad \text{momento flettente orizzontale (segno “-” = fibre tese lato sopravvento)}$$

Azioni taglianti

$$V_x = F_x \times 2/6 = 8.61 \text{ kN} \quad \text{taglio orizzontale}$$

$$V_z = F_z = -9.81 \text{ kN} \quad \text{taglio verticale}$$

$$M_t = M_y = 5.1 \text{ kNm} \quad \text{momento torcente}$$

Di seguito si riporta l'andamento delle tensioni rilevato dal programma adottato, VCA SLU.

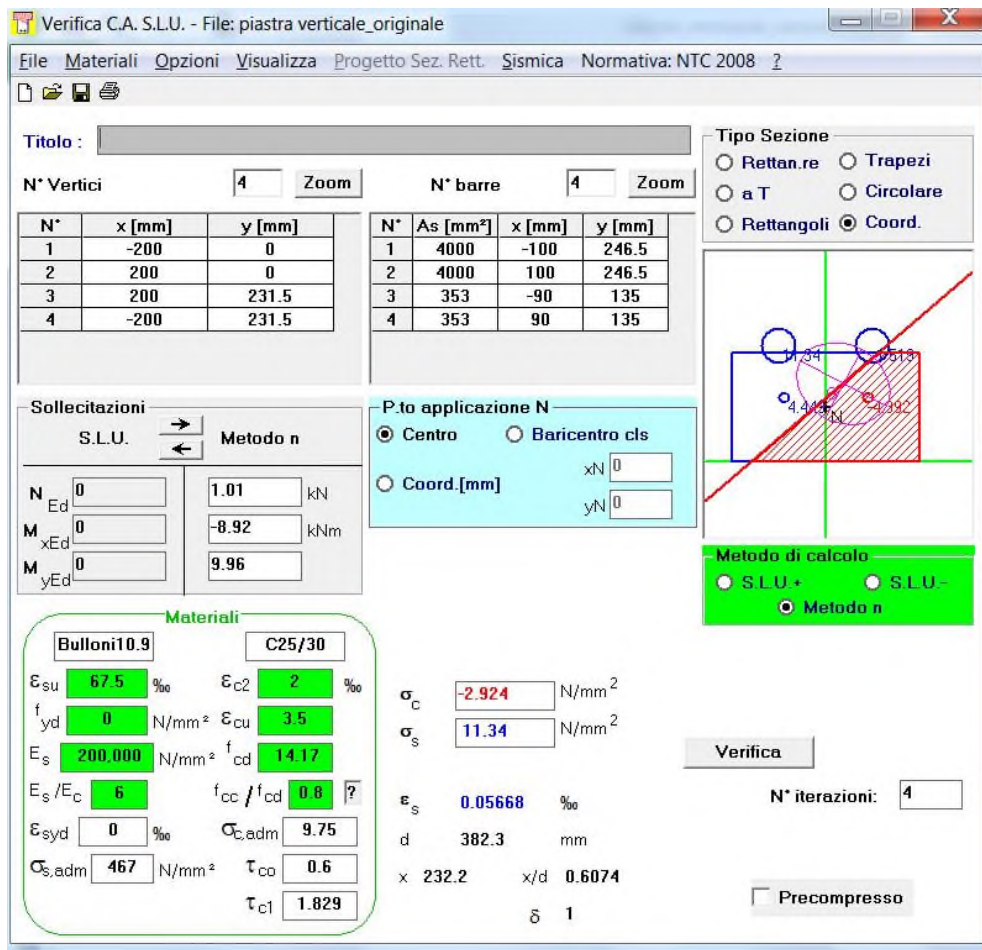


Tabella 4-14 Tensioni normali connessione 2

Per la deduzione delle azioni di trazione da trasmettere alla piastra orizzontale, si considera cautelativamente una tensione pari a 9.5 MPa, vista la condizione di forte flessione deviata.

In questo modo si tiene conto implicitamente ed in maniera semplificata della sovratensione indotta sugli organi di ancoraggio della piastra orizzontale per effetto della deviazione. Pertanto:

Risultante trazione sulla piastra orizzontale

Risultante compressione sulla piastra orizzontale

$$N_{Ed} = 9.5 \times 8 = 76 \text{ kN}$$

Risultante sul singolo tassello della piastra verticale

$$V_{n,Ed} = 4.44 \times 353 = 1.57 \text{ kN}$$

L'azione di trazione nei gambi non risulta significativa.

Per quanto riguarda le azioni taglianti, si ha:

$$V_{x(Fx)} = 8.61/2 = 4.31 \text{ kN}$$

$$V_{z(Fz)} = 9.81/2 = 4.91 \text{ kN}$$

$$V_{z(Mt)} = 5.1/0.18 = 28.3 \text{ kN}$$

$$V_{y(tot,max)} = 4.91 + 28.3 = 33.21 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = (4.31^2 + 33.21^2)^{0.5} = 33.49 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 0.6 \times 800 \times 353 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 33.49 / 135.55 = 0.25$$

Dato lo scarso valore di trazione rilevato sui tasselli, la verifica a taglio trazione viene assunta automaticamente soddisfatta.

4.5.2.2 Verifica connessioni piastra orizzontale

Come accennato poco sopra, la piastra orizzontale è sollecitata dall'azione, trasversale al piano strada, trasmessa dalla piastra verticale, ripartita su 4 elementi, e dalla quota parte dell'azione orizzontale globale F_x .

Si ottiene pertanto quanto segue:

Verifica connessione 1 (sottovento)

$$V_{x,Ed} = 22.23 \times 4 / 6 = 14.82 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 64 / 4 = 16.0 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (14.82^2 + 16^2)^{0.5} = 21.81 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \text{ MPa} \times 353 \text{ mm}^2 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 21.81 / 135.55 = 0.16$$

La verifica lato acciaio risulta soddisfatta.

Verifica connessione 2 (sopravento)

$$V_{x,Ed} = 25.84 \times 4 / 6 = 17.23 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 76 / 4 = 19 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} = (17.23^2 + 19.0^2)^{0.5} = 25.65 \text{ kN}$$

$$V_{f,Rd} = 0.6 \times 800 \text{ MPa} \times 353 \text{ mm}^2 / 1.25 = 135.55 \text{ kN}$$

$$V_{f,Ed} / V_{f,Rd} = 25.65 / 135.55 = 0.19$$

La verifica lato acciaio risulta soddisfatta.

Per la verifica lato calcestruzzo, si ipotizza la presenza di almeno n. 5 barre orizzontali presenti sulla parte superficiale del cordolo.

L'azione orizzontale complessiva resistente offerta da queste barre risulta:

$$V_{Rd} = 5 \times 113 \times 391 = 220 \text{ kN} > V_{y,Ed}$$