

ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI "VALFABBRICA", TRATTO PIANELLO -VALFABBRICA
SS. 76 "VAL D'ESINO", TRATTI FOSSATO VICO - CANCELLI E ALBACINA - SERRA SAN QUIRICO
"PEDEMONTANA DELLE MARCHE", TRATTO FABRIANO-MUCCIA-SFERCIA.

PERIZIA DI VARIANTE

CONTRAENTE GENERALE:	Il Responsabile del Contraente Generale:
 <p>DIRPA 2 s.c.a.r.l.</p>	

PROGETTAZIONE:	ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:
<p>Partecipazioni Italia S.p.A.</p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Salvatore Lieto Ordine degli Ingegneri Prov. di Mantova n.1147</p> <p>IL GEOLOGO: Geol. Amedeo Babbini Ordine dei Geologi Regione Toscana n.1032</p>	 <p>TECNOSTRUTTURE S.r.l.</p> <p>SEDE LEGALE: Piazza Regina Margherita n.27 - 00198 ROMA SEDE OPERATIVA: Via delle Querciole n. 13 - 00037 Segni (RM)</p> <p>IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Antonio Tosiani</p>

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:	
Ing. Iginio Farotti	

<p>2.1.3 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</p> <p>3° Stralcio funzionale - Castelraimondo Nord - Castelraimondo Sud 4° Stralcio funzionale - Castelraimondo Sud - Innesto SS77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: CAVALCAVIA Cavalcavia Seano - Km 2+888 <i>Relazione tecnica e di calcolo sottostrutture</i></p>	<p>SCALA: -</p> <p>DATA: Gennaio 2022</p>
---	--

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (assegnato CIPE 20.04.2015)

CODICE ELABORATO:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	n° progr	Rev.
	L O 7 0 3	2 1 3	E	1 6	O M 0 0 0 8	R E L	0 2	A

Rev.	Data	Descrizione	Redatto		Controllato	Approvato
A	Genn. 2022	Emissione Perizia di Variante	Tecn	strutture	A. Tosiani	S. Lieto

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 1 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1	OGGETTO	4
1.2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
2.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
2.1	CARATTERISTICHE DEI CALCESTRUZZI AI FINI DELLA DURABILITA'	8
2.2	MATERIALI	9
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	10
3.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	10
4.	QUADRO GEOLOGICO-GEOTECNICO-GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO	11
5.	SPALLA FISSA (S1)	12
5.1	MODELLO DI CALCOLO	12
5.1.1	Descrizione del modello di calcolo	12
5.1.2	Programma di calcolo utilizzato	16
5.1.3	Sistemi di riferimento	19
5.1.4	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo	20
5.1.5	Affidabilità dei codici di calcolo	21
5.1.6	Modalità di presentazione dei risultati	21
5.1.7	Informazioni generali sull'elaborazione	21
5.1.8	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati	21
5.2	AZIONI DI CALCOLO	22
5.2.1	Peso proprio spalla	22
5.2.2	Peso proprio rilevato	22
5.2.3	Azioni provenienti dall'impalcato	22
5.2.4	Carichi permanenti	22
5.2.5	Carichi da traffico	22
5.2.6	Carichi da vento	23
5.2.7	Ritiro (e2), variazione termiche (e3), viscosità (e4)	26
5.2.8	Cedimenti appoggi	26
5.2.9	Spinta delle terre (g3,T)	26
5.2.10	Peso sovraccarico da traffico e spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico (g3_q)	28
5.2.11	Definizione dell'azione sismica (E)	30
5.2.12	Metodo di analisi	33
5.2.13	Spinta sismica del terreno E	34
5.2.14	Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica	35
5.2.15	Resistenza parassita dei vincoli (q7)	43
5.2.16	Urto sulle barriere di sicurezza posti sui muri di risvolto (q8)	44
5.3	COMBINAZIONE DEI CARICHI	45
5.3.1	Casi di carico	48
5.3.2	Combinazioni SLU (STR)	48
5.3.3	Combinazioni ECC	53
5.3.4	Combinazioni SLE	53
5.3.5	Combinazioni SLV	55
5.4	RISULTATI DELL'ANALISI	56

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	2 di 171

5.4.1	Sezioni di calcolo	61
5.4.2	Sollecitazioni significative allo SLU	64
5.4.3	Sollecitazioni significative allo SLE	64
5.4.4	sollecitazioni massime sui pali	65
5.5	CRITERI DI VERIFICA	66
5.6	VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE	68
5.6.1	Verifiche agli stati limite	69
5.1	VERIFICA GEOTECNICA E STRUTTURALI DEI PALI	74
5.1.1	Verifica geotecnica a carico limite dei pali	74
5.1.2	Criteri di verifica delle palificate di fondazione	74
5.1.3	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi assiali	75
5.1.4	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali	79
5.1.5	Risultati verifiche strutturali dei pali	83
6.	SPALLA MOBILE (S2)	92
6.1	MODELLO DI CALCOLO	92
6.1.1	Descrizione del modello di calcolo	92
6.1.2	Programma di calcolo utilizzato	95
6.1.3	Sistemi di riferimento	98
6.1.4	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo	99
6.1.5	Affidabilità dei codici di calcolo	100
6.1.6	Modalità di presentazione dei risultati	100
6.1.7	Informazioni generali sull'elaborazione	100
6.1.8	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati	100
6.2	AZIONI DI CALCOLO	101
6.2.1	Peso proprio spalla	101
6.2.2	Azioni provenienti dall'impalcato	101
6.2.3	Carichi permanenti	101
6.2.4	Carichi da traffico	101
6.2.5	Carichi da vento	101
6.2.6	Ritiro (e2), variazione termiche (e3), viscosità (e4)	104
6.2.7	Cedimenti appoggi	104
6.2.8	Spinta delle terre (g3,T)	104
6.2.9	Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico (g3_q)	106
6.2.10	Definizione dell'azione sismica (E)	108
6.2.11	Metodo di analisi	111
6.2.12	Spinta sismica del terreno E	112
6.2.13	Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica	113
6.2.14	Resistenza parassita dei vincoli (q7)	119
6.2.15	Urto sulle barriere di sicurezza posti sui muri di risvolto (q8)	120
6.3	COMBINAZIONE DEI CARICHI	121
6.3.1	Casi di carico	124
6.3.2	Combinazioni SLU (STR)	124
6.3.3	Combinazioni ECC	129
6.3.4	Combinazioni SLE	129
6.3.5	Combinazioni SLV	131
6.4	RISULTATI DELL'ANALISI	132
6.4.1	Sezioni di calcolo	140
6.4.2	Sollecitazioni significative allo SLU	142
6.4.3	Sollecitazioni significative allo SLE	143

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	3 di 171

6.4.4	sollecitazioni massime sui pali	143
6.5	CRITERI DI VERIFICA.....	145
6.6	VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE.....	147
6.6.1	Verifiche agli stati limite	148
6.7	VERIFICA GEOTECNICA E STRUTTURALI DEI PALI.....	152
6.7.1	Verifica geotecnica a carico limite dei pali	152
6.7.2	Criteri di verifica delle palificate di fondazione.....	152
6.7.3	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi assiali.....	153
6.7.4	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali.....	158
6.7.5	Risultati verifiche strutturali dei pali.....	163
7.	VERIFICHE DEI CORDOLI MURI RISVOLTO PER AZIONI D'URTO.....	168
8.	BAGGIOLI	170

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 4 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

1. INTRODUZIONE

1.1 OGGETTO

Il presente documento rientra nell'ambito della redazione degli Elaborati tecnici di Progetto di Dettaglio della strada Pedemontana Marchigiana, che costituisce l'elemento di completamento tra le due direttrici "S.S.76" Valnerina e "S.S.77" Val di Chienti, relativamente agli stralci funzionali n°3 (Svincolo di Castelraimondo nord – Svincolo di Castelraimondo sud) e n°4 (Svincolo di Castelraimondo sud - innesto con la S.S. 77 a Muccia).

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è in particolare il dimensionamento strutturale e geotecnico delle sottostrutture del cavalcavia al km 2+888 della Pedemontana.

Il ponte in oggetto è realizzato in sistema con 3 travi prefabbricate in cap con schema statico appoggio-appoggio con campata di luce di 23.00 m in asse appoggi spalle.

I carichi agenti sulle strutture sono stati valutati con riferimento al caso di "ponti di prima categoria" secondo la normativa vigente in materia di ponti stradali.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, secondo quanto previsto dal D.M. 14-01-2008.

1.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La spalla "S1", su cui sono posizionati gli appoggi fissi dell'impalcato, è tradizionale, costituita da un plinto di fondazione di spessore pari a 2.00m, da un muro frontale di spessore pari a 2.00 m, un paraghiaia di spessore pari a 0.60÷0.40m e due muri laterali gradonati di spessore pari a 1.50÷1.00÷0.50 m di altezza variabile. Il plinto è fondato su 16 pali ϕ 1200 disposti a maglia quadrata e tutti hanno lunghezza pari a 25 m.

La spalla "S2", su cui invece sono posizionati gli appoggi mobili dell'impalcato, è pasante, costituita da una paratia di 16 pali disposti a "ferro di cavallo" sormontati da un cordolo di testa di altezza pari a 1.50m e di spessore paria 2.30m frontalmente e 1.60m lateralmente, da cui spicca il paraghiaia di spessore pari a 0.60÷0.40 m e un muro d'ala di spessore pari a 0.5m.

Per la descrizione delle opere si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto da considerarsi parte integrante della presente.

Nella relazione degli allegati, il file di input e output delle analisi svolte.

Di seguito si riportano alcuni stralci delle carpenterie delle spalle.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

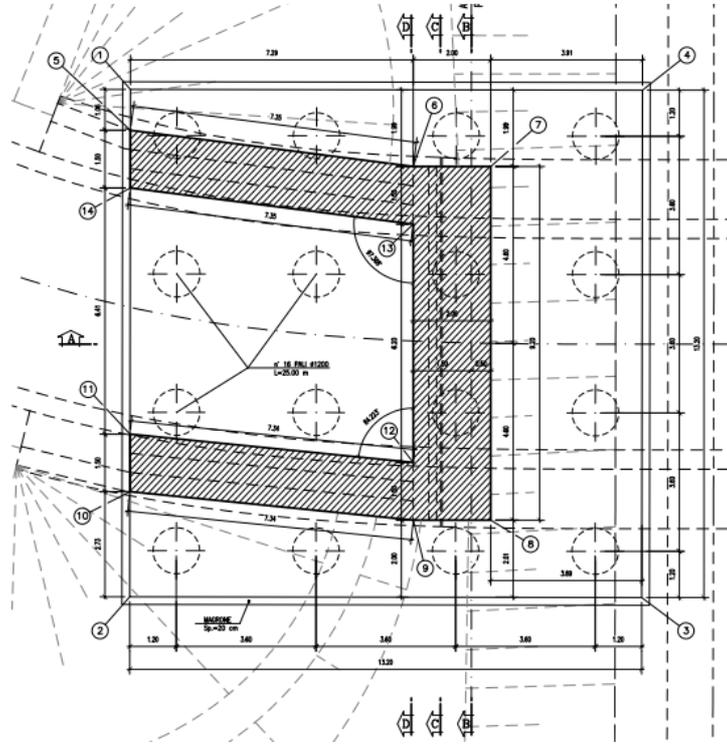
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

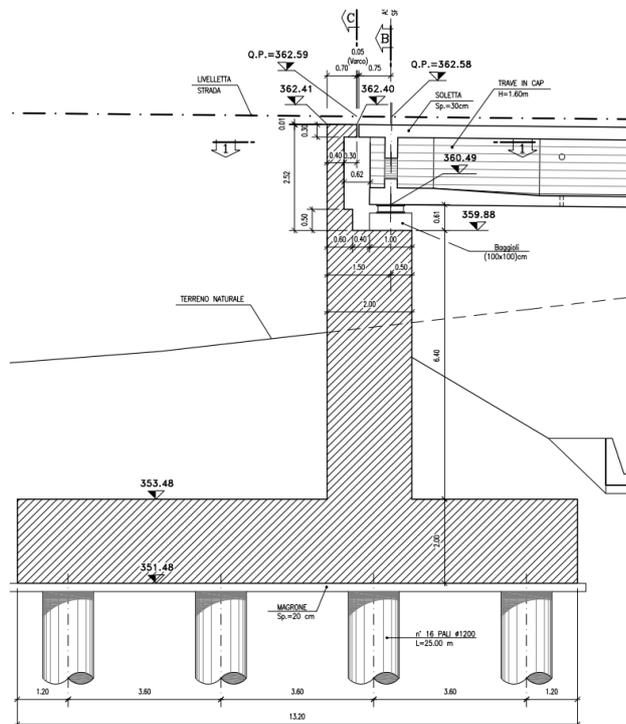
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 5 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



Pianta fondazione spalla S1



Sezione longitudinale spalla S1

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

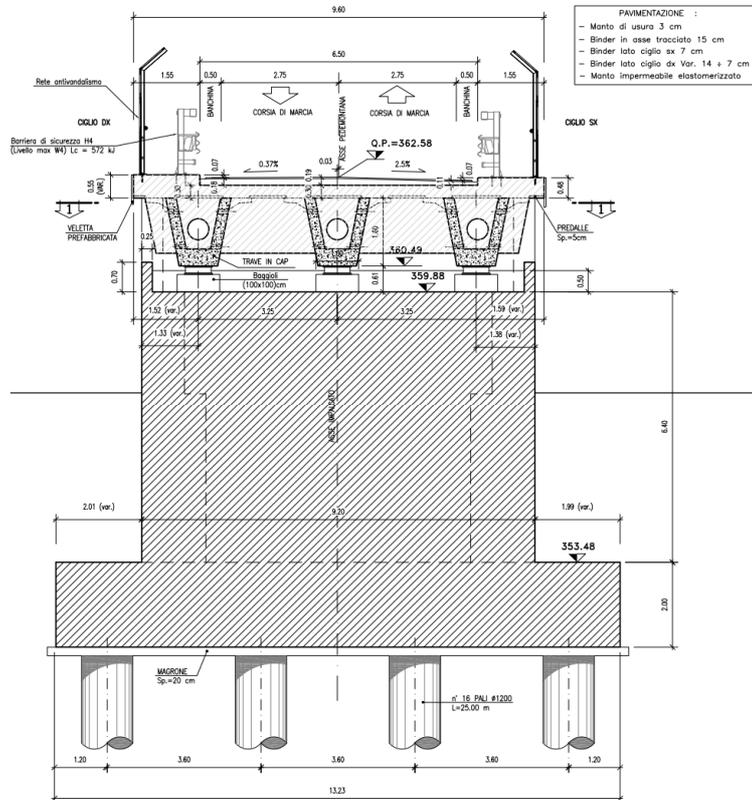
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

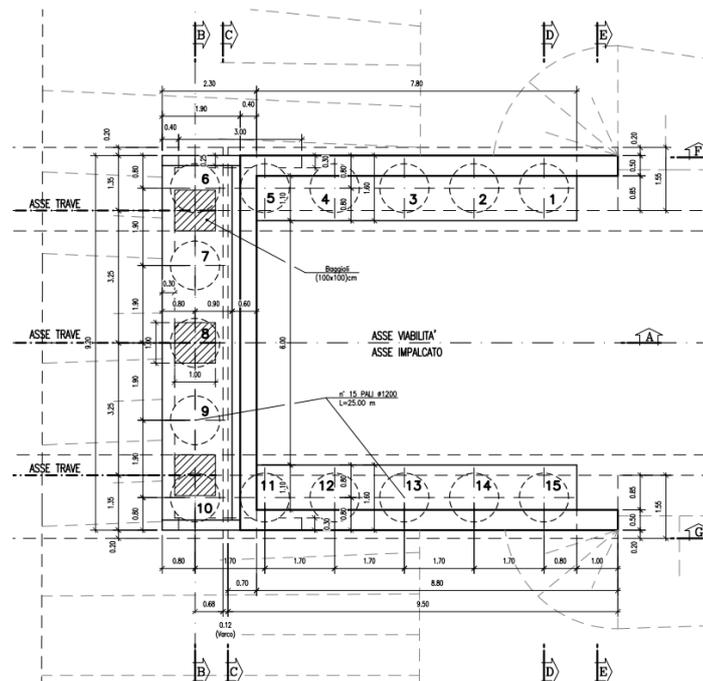
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	6 di 171



Sezione trasversale in asse appoggi spalla S1



Pianta fondazione spalla S2

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

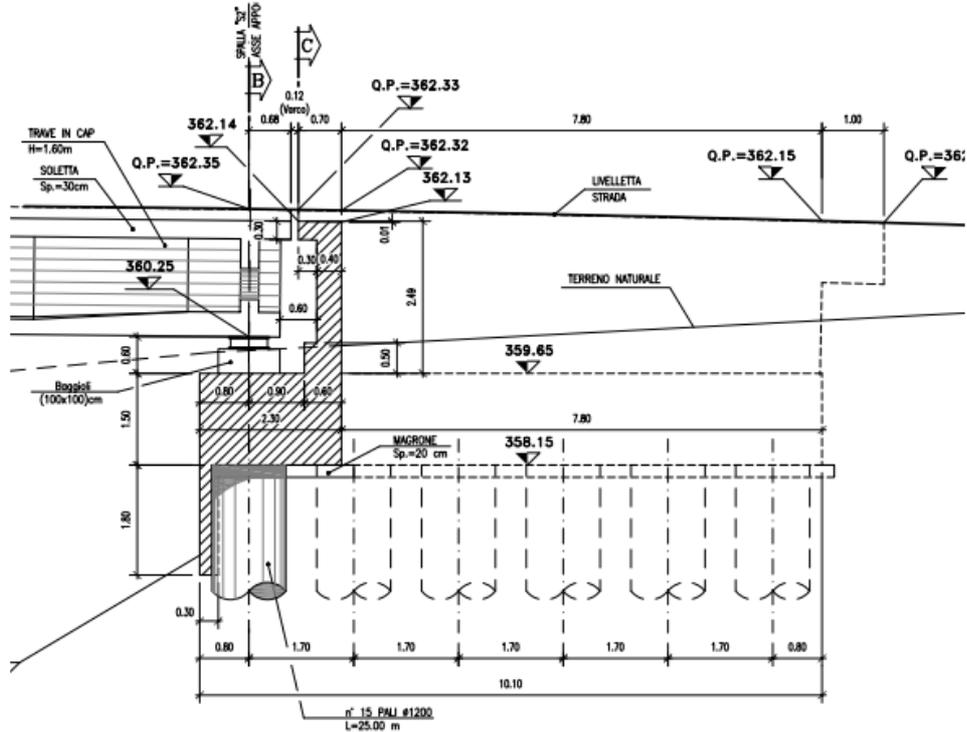
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

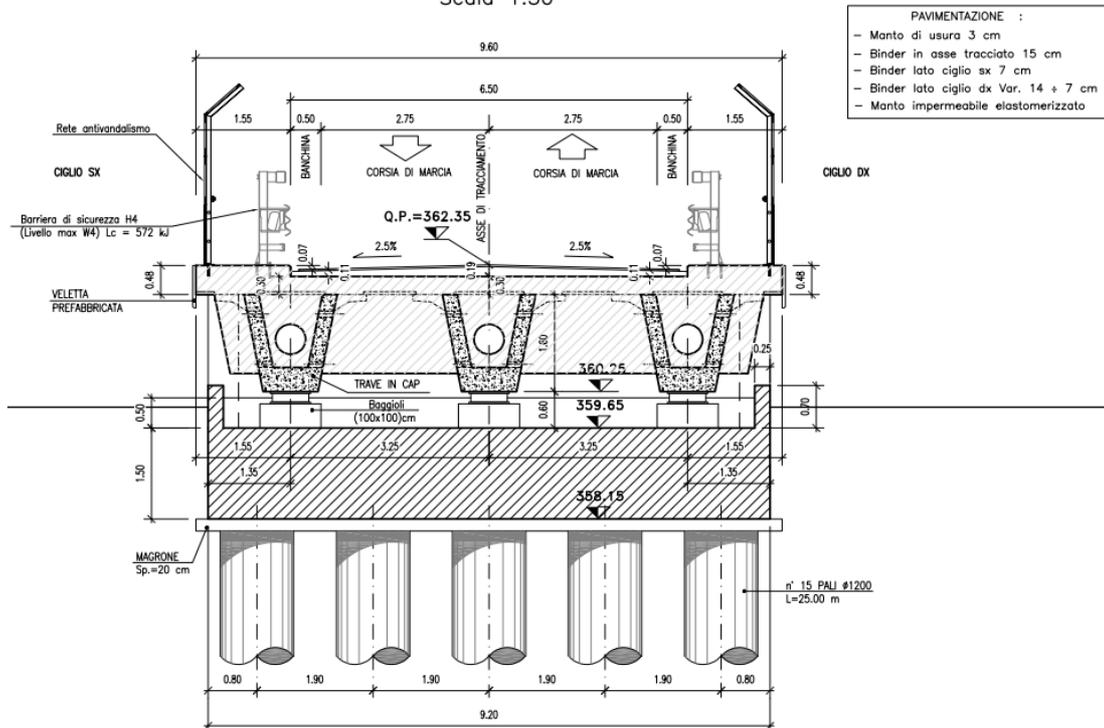
Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	7 di 171



Sezione longitudinale spalla S2

Scala 1:50



- PAVIMENTAZIONE :
- Manto di usura 3 cm
 - Binder in asse tracciato 15 cm
 - Binder lato ciglio sx 7 cm
 - Binder lato ciglio dx Var. 14 + 7 cm
 - Manto impermeabile elastomerizzato

Sezione trasversale in asse appoggi spalla S2

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 8 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda la qualità e resistenza dei materiali utilizzati per le strutture dell'impalcato si rimanda alla relazione di calcolo specifica. Per la realizzazione delle sottostrutture sono stati previsti i seguenti materiali.

Per i controlli si fa riferimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008.

Tabella 2.1 – Calcestruzzi: classi di resistenza, classi di esposizione e specifiche

Elemento	Classe	Classe di Esposizione	a/c	Tipi di cementi	Quantitativo di cemento [kg/m ³]	Classi di consistenza
Calcestruzzo per magrone di fondazione	C12/15	-	-	CEM III-IV	-	-
Calcestruzzo per pali di fondazione	C32/40	XA2	0.5	CEM III-IV	360	S4
Calcestruzzo armato per plinti di fondazione	C32/40	XA2	0.5	CEM III-IV	360	S4
Elevazione Pile e Spalle	C30/37	XC4-XF2	0.5	CEM III-IV	330	S4

Per le barre d'armatura del calcestruzzo si utilizza acciaio ad aderenza migliorata B450C.

I calcoli e le verifiche di resistenza relative alle sezioni più sollecitate sono condotte nel rispetto del metodo stati limite.

2.1 CARATTERISTICHE DEI CALCESTRUZZI AI FINI DELLA DURABILITA'

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alla normativa UNI-EN 206-1-2001 che, ha recentemente sostituito la normativa UNI-ENV 206 recepita dalla UNI 9858 ed in particolare dalle linee guida del Ministero LL.PP.

Vengono individuate due possibili cause di degrado, la prima associata alla corrosione dell'armatura causata dalla carbonatazione del calcestruzzo, la seconda associata ai cicli gelo/disgelo ed all'esposizione a sali disgelanti.

Alle due cause corrispondono rispettivamente le classi XC e XF. Nell'ambito di ciascuna classe sono definite le sottoclassi specifiche per ciascun elemento strutturale.

Di seguito, per ciascun elemento viene riportata la classe di esposizione che risulta maggiormente vincolante ai fini delle caratteristiche della miscela. Inoltre, sono riportati la classe di resistenza, il contenuto minimo di cemento, la dimensione massima degli aggregati, la classe di consistenza ed il copriferro minimo delle armature:

Calcestruzzo per pali:

Classe di esposizione	XC2
Classe di resistenza	C32/40
Contenuto minimo cemento	260 kg/mc
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo	60 mm

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 9 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	------------------------

Calcestruzzo per fondazioni spalle:

Classe di esposizione	XC2
Classe di resistenza	C32/40
Contenuto minimo cemento	360 kg/mc
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo	45 mm

Calcestruzzo per elevazioni spalle:

Classe di esposizione	XF1
Classe di resistenza	C30/37
Contenuto minimo cemento	330 kg/mc
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo	45 mm

Tutti i calcestruzzi utilizzati dovranno essere conformi alla norma UNI-EN 206-1-2001.

2.2 MATERIALI

Si riportano qui di seguito le caratteristiche dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione delle opere, secondo la normativa in vigore e con riferimento al metodo di calcolo agli stati limite.

Calcestruzzo per pali:

Resistenza cubica caratteristica $R_{ck} \geq 40$ Mpa

Calcestruzzo per fondazioni spalle e pile:

Resistenza cubica caratteristica $R_{ck} \geq 40$ Mpa

Calcestruzzo per elevazioni spalle e pile:

Resistenza cubica caratteristica $R_{ck} \geq 37$ Mpa

Acciaio ordinario per armature c.a.:

6 mm $\leq \Phi \leq$ 40 mm
 B450C
 $f_{yk} \geq 450$ Mpa
 $f_{tk} \geq 540$ Mpa
 $(f_t/f_y)_k < 1.35$
 $(f_t/f_y)_k \geq 1.15$

Acciaio ordinario per R.E.S.:

5 mm $\leq \Phi \leq$ 10 mm
 B450A
 $f_{yk} \geq 450$ Mpa
 $f_{tk} \geq 540$ Mpa
 $(f_t/f_y)_k \geq 1.05$

	2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo sottostrutture							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

- D. Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- CNR 10011/97, “Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione”;
- CNR 10016/2000, “Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni”;
- CNR 10018/1999, “Apparecchi d'appoggio per le costruzioni – Istruzioni per l'impiego”;
- CNR 10030/93, “Anime irrigidite di travi a parete piena”;
- UNI EN 1991-1-5:2004 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche”;
- UNI EN 1992-1-1:2005, “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - parte 1 - Regole generali e regole per edifici”;
- UNI EN 1993-1-1:2005, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN UNI EN 1993-1-5:2007, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra”;
- UNI EN 1994-2:2006, “Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti”;
- UNI EN 1998-2:2006, “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti”;
- Model Code 1990, CEB-FIP.
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”, Maggio 1993.
- Linee guida A.G.I. “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”, 2005.

4. QUADRO GEOLOGICO-GEOTECNICO-GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno interagente con le fondazioni delle opere oggetto di dimensionamento nel presente documento, si è fatto riferimento a quanto dettagliatamente indicato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico Generale di Progetto, da cui si evince che le formazioni più superficiali che interagiscono con le fondazioni degli scatolari, sono generalmente costituite dalle unità geotecniche Ecla, Salt e Ap, di cui nel seguito si riepilogano i parametri fisico-meccanici attribuiti sulla scorta dei risultati delle indagini effettuate:

Stratigrafia		
Unità geotecnica	Profondità [m] da p.c.	
Ecla	0.0÷11	Depositi eluvio colluviali limoso argillosi
Salt	11÷13	Substrato alterato limoso argilloso
Ap	>13	substrato arenaceo pelitico

Profondità della falda assunta a quota del piano di posa delle fonazioni.

Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio ($=\varphi'_{,medio}$)
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata ($=c'_{,medio}$)
$E_{op} = 46 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo ($=E_{0,medio}/5$)

Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio ($=\varphi'_{,medio}$)
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata ($=c'_{,medio}$)
$E_{op} = 130 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo ($=E_{0,medio}/5$)

Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 27^\circ$	angolo di resistenza al taglio ($=\varphi'_{,medio}$ per $z=20 \text{ m}$)
$c' = 55 \text{ kPa}$	coesione drenata ($=c'_{,medio}$ per $z=20 \text{ m}$)
$E'_{operativo} = 135 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo (per $z=20 \text{ m}$)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	12 di 171

5. SPALLA FISSA (S1)

5.1 MODELLO DI CALCOLO

Le strutture sono state schematizzate con un modello tridimensionale in grado di cogliere tutti i gradi di libertà significativi dell'opera, così come richiesto dal §7.9.3 delle norme vigenti e si riferisce alla schematizzazione della spalla "S1" la quale presenta appoggi fissi.

Per la modellazione della spalla sono stati utilizzati elementi bidimensionali (*shell*).

Gli elementi *shell* del paraghiaia sono costituiti da elementi *shell* di spessore circa $0,6 \div 0,4$ m, mentre gli elementi del sottostante muro frontale, hanno spessore pari a 2.00 m; quelli dei muri di risvolto laterali hanno spessore variabile da $1,50 \div 1,00 \div 0,50$ m e quelli in fondazione spessore pari a 2.00 m.

L'analisi dell'impalcato viene eseguita nell'apposita relazione e dalla quale vengono estratti gli scarichi sugli appoggi.

5.1.1 Descrizione del modello di calcolo

Come detto in precedenza, le analisi strutturali saranno effettuate sulla base di modelli F.E.M. implementati con il programma di calcolo SAP 2000; la figura che segue illustra il modello di calcolo della spalla.

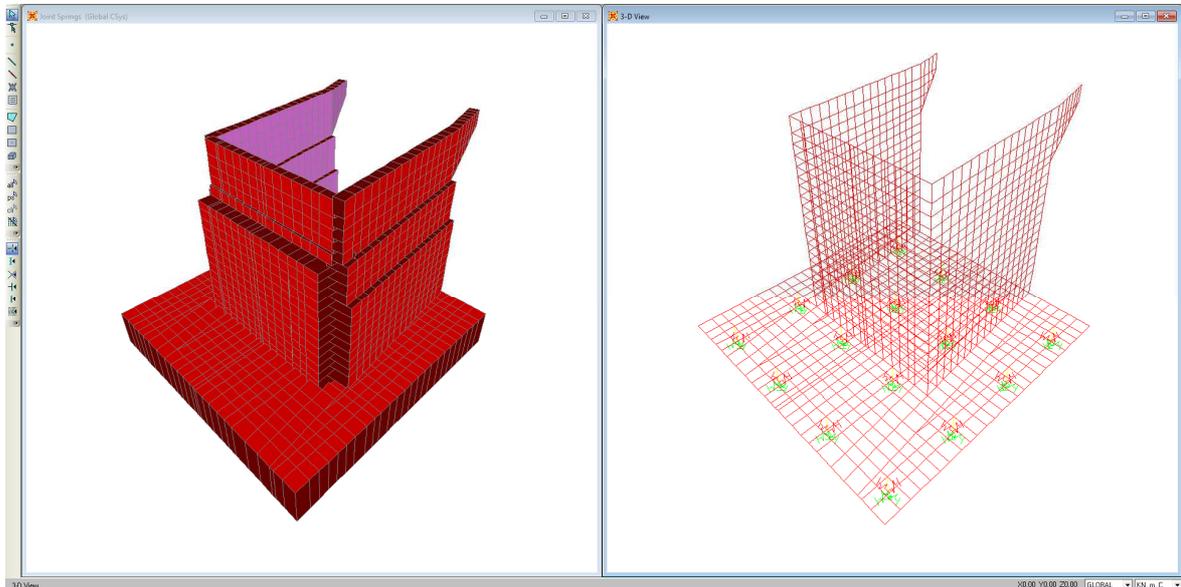


Figura 5-1: Modello di calcolo f.e.m. utilizzato per l'analisi della spalla.

Il modello ad elementi "shell" illustrato in Figura 5-1 comprende i seguenti elementi strutturali:

- ciabatta di fondazione;
- fusto verticale, ringrosso e paraghiaia;

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 13 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Gli elementi shell sono riferiti al piano medio di ciascuna delle parti strutturali sopra elencate;

Ciascun elemento shell è dotato di un proprio sistema di riferimento (nel seguito SdR) locale identificato dagli assi 1 e 2 nel piano dell'elemento e dall'asse 3 ortogonale ad esso.; in particolare, rispetto al SdR globale del modello di calcolo, gli assi locali per i diversi elementi shell utilizzati nell'analisi sono così orientati:

Tabella 5-1: Corrispondenza tra gli assi del SdR Globale del modello di calcolo ed il SdR Locale degli elementi shell.

Elemento strutturale	SdR Globale	SdR Locale
Ciabatta di fondazione	X	1
	Y	2
	Z	3
Fusto verticale, ringrosso e paraghiaia	X	-3
	Y	1
	Z	2

La seguente figura chiarisce l'orientamento del SdR globale del modello di calcolo di Figura 5-1 nello spazio.

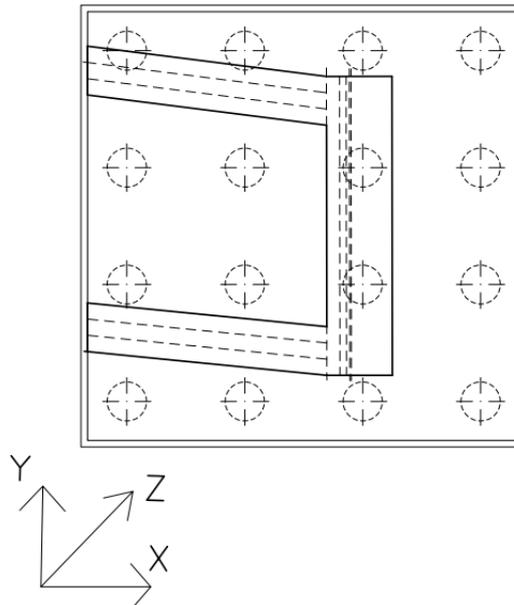


Figura 5-2: Vista in pianta della spalla: orientamento nello spazio del SdR globale del modello f.e.m.

La rigidezza di ciascun palo di fondazione è stata modellata per mezzo di un elemento tipo "springs". La matrice di rigidezza dell'elemento "springs" è definita in accordo alle indicazioni di cui alla tabella C.1, EN 1998-5 sulla base dei parametri geotecnici descritti al precedente paragrafo, assumendo che il modulo elastico del terreno (E_{cla}) sia uniforme con la profondità e pari a 46MPa, mentre il modulo elastico del palo (E_p) è assunto pari a 33'000 MPa. Le relazioni per il calcolo della rigidezza e le rigidezze assegnate a quota testa pali sono illustrate rispettivamente in Figura 5-3a e in Figura 5-3b.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 14 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Table C.1 — Expressions for static stiffness of flexible piles embedded in three soil models

Soil model	$\frac{K_{HH}}{dE_s}$	$\frac{K_{MM}}{d^3E_s}$	$\frac{K_{HM}}{d^2E_s}$
$E = E_s z/d$	$0,60 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,35}$	$0,14 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,80}$	$-0,17 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,60}$
$E = E_s \sqrt{z/d}$	$0,79 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,28}$	$0,15 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,77}$	$-0,24 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,53}$
$E = E_s$	$1,08 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,21}$	$0,16 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,75}$	$-0,22 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,50}$

(a)

Molla Accoppiata 6x6

Upper Stiffness Matrix - GLOBAL Coordinate System

	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
UX	237176	0.	0.	0	-390320	0.
UY	0.	237176	0	-390320	0.	0.
UZ	0.	0	78040	0.	0.	0.
RX	0	-390320	0.	1762944	0.	0.
RY	-390320	0.	0.	0.	1762944	0.
RZ	0.	0.	0.	0.	0.	0.

OK Annulla

(b)

Figura 5-3: a) Estratto della tabella C.1 dell'Eurocodice EN 1998-5; b) valori di rigidità assegnati nel modello f.e.m a quota testa pali (valori espressi in kN, m e rad).

In particolare, con riferimento ai valori riportati in Figura 5-3b sono state definite le seguenti rigidità concentrate in testa ai pali:

- UX-UX e UY-UY: rigidità alla traslazione orizzontale in direzione X e Y conseguenti ad un'azione orizzontale agente rispettivamente in direzione X e Y (KHH in Figura 5-3a);
- UZ-UZ: rigidità alla traslazione verticale valutata come rapporto fra la portata laterale del palo e il cedimento di 0.01 m;
- RX-RX e RY-RY: rigidità alla rotazione attorno gli assi X e Y conseguenti ad un'azione flettente avente asse vettore orientato rispettivamente in direzione X e Y (KMM in Figura 5-3a);
- RX-UY e RY-UX (termini misti): rigidità alla rotazione attorno gli assi X e Y conseguenti ad un'azione orizzontale agente rispettivamente in direzione Y e X (KHM in Figura 5-3a);



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 15 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

- UX-RY e UY-RX (termini misti): rigidezze alla traslazione orizzontale in direzione X e Y conseguenti ad un'azione flettente avente asse vettore orientato rispettivamente in direzione Y e X (KHM in Figura 5-3a).

Per il calcolo della rigidezza verticale dei pali di fondazione da introdurre nel modello di calcolo della struttura in esame è stato assunto un valore della portata laterale del palo di fondazione pari a $R_{s,cal} = 7804$ kN

In questo modello vengono inserite tutte le azioni elementari descritte in seguito, al fine di determinare le sollecitazioni in corrispondenza di ciascuna sezione di calcolo utilizzate per le opportune verifiche.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 16 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

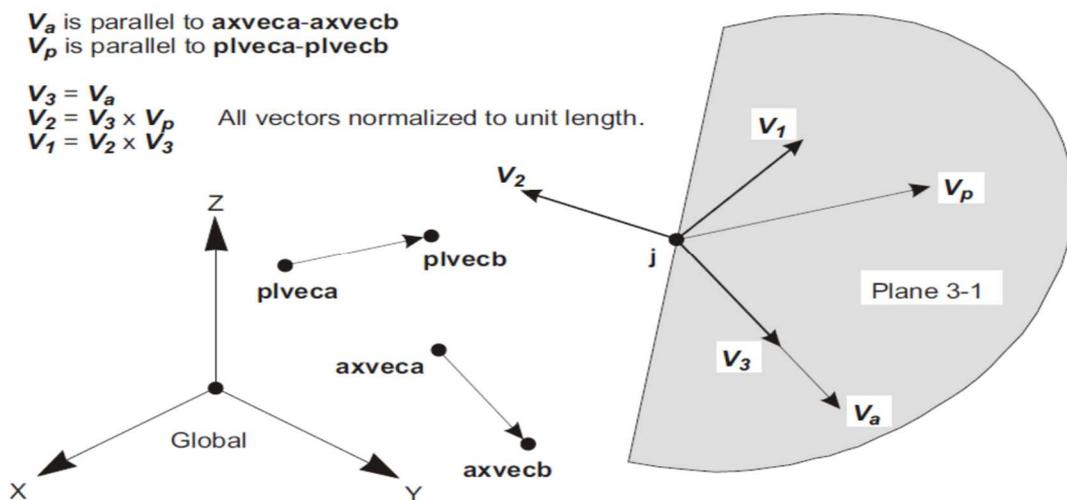
5.1.2 Programma di calcolo utilizzato

L'opera è stata analizzata mediante modelli computazionali agli elementi finiti. Tale opera viene analizzata con un modello tridimensionale rappresentativo dell'intera struttura. Il calcolo agli elementi finiti del modello è stato effettuato utilizzando il codice SAP 2000 (versione 14.2.2) prodotto dalla "CSI Computer and Structures Inc." – Berkeley (CA) - USA.

Il programma è un solutore agli E.F. (Elementi Finiti) capace di modellare strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell'ambito del comportamento lineare e non.

Sono disponibili i seguenti tipi di oggetto elencati in ordine di dimensione geometrica:

- **"Point:**
 - comune oggetti: sono automaticamente creati in angoli o estremità di tutti gli altri tipi di oggetti, e possono essere aggiunti in modo esplicito
 - collegamento a terra: sono utilizzate per modellare il comportamento di un sostegno speciale ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari
 - il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento punto è:



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

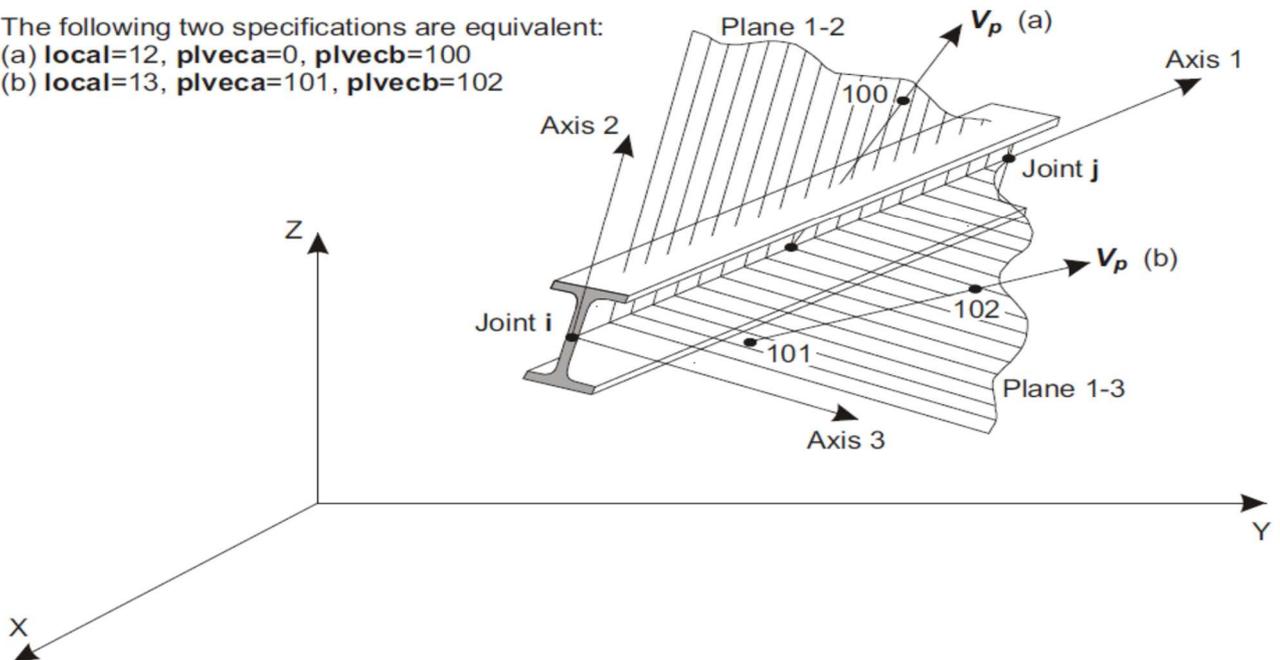
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	17 di 171

- **“Line”:**
 - frame/cable/tendon: sono utilizzate per modellare le travi, colonne, braces, trusses, cavi e tiranti
 - collegamento tra oggetti: sono utilizzate per modellare il comportamento di un membro speciali ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari. A differenza degli oggetti o frame/cable/tendon, questi oggetti possono avere lunghezza zero.
 - il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento linea è:
 -

The following two specifications are equivalent:

(a) **local=12, plveca=0, plvecb=100**

(b) **local=13, plveca=101, plvecb=102**



- **“Area”:** vengono utilizzate per modellare le pareti, pavimenti e altri membri dotati di spessore, nonché solidi bidimensionali (plane stress, plane strain, and axisymmetric solids). Il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento area è:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

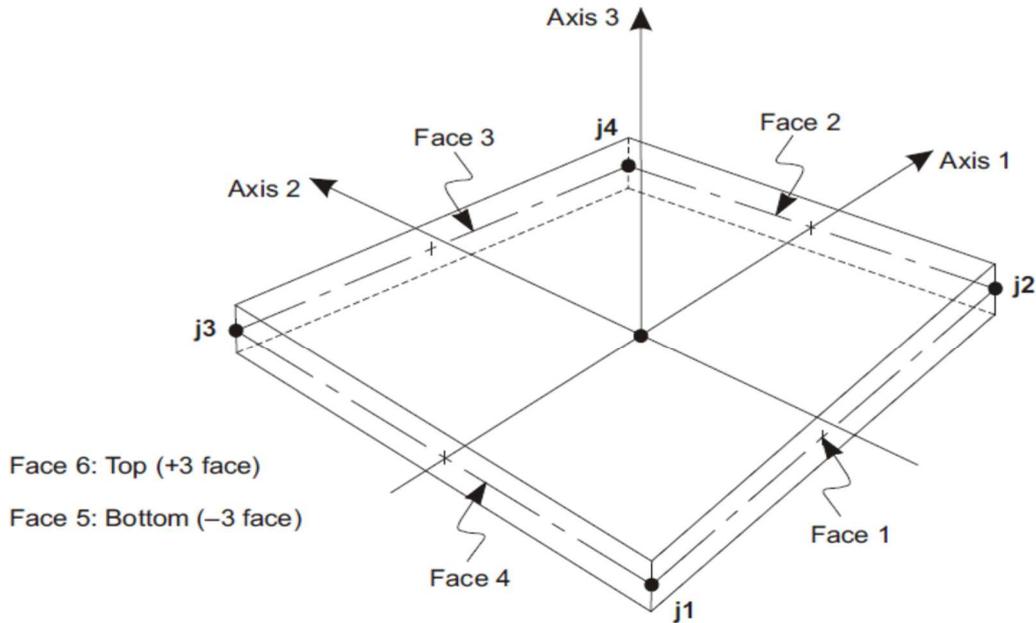
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

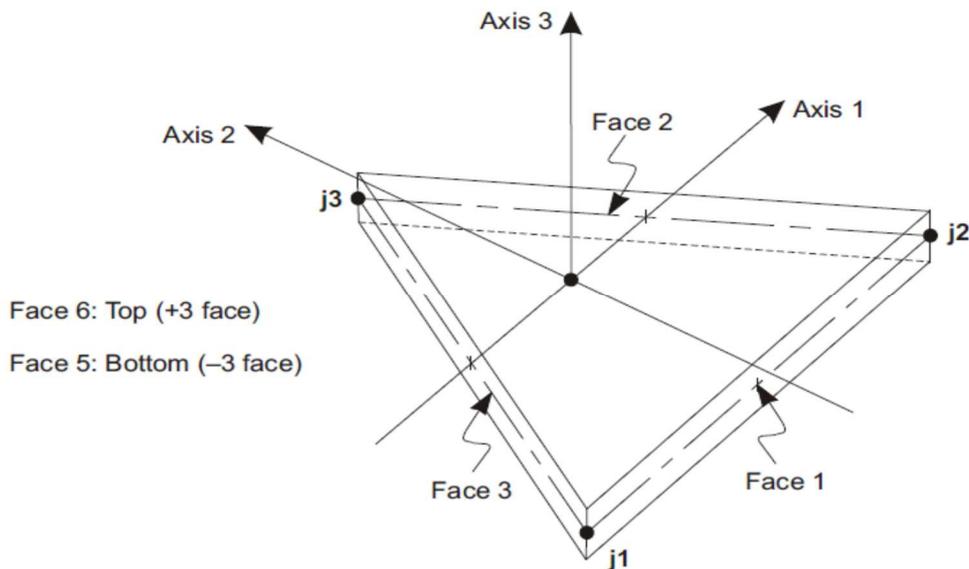
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	18 di 171



Four-node Quadrilateral Shell Element



Three-node Triangular Shell Element

- **“Solid”**: sono utilizzate per la modellazione tridimensionale solida

Il programma SAP2000 permette di svolgere analisi atte a definire la risposta in conseguenza dell'applicazione di carichi mobili, analisi del dominio di frequenza (sia steady-state che power-spectral-density), del dominio del tempo e analisi di instabilità.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 19 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Mediante il programma si possono implementare nel modello di calcolo elementi a comportamento particolare quali:

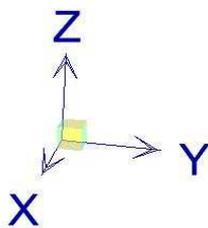
- non linear link element (gaps, hooks, isolators, dampers, and multi-linear plasticity)
- a multi-linear plastic hinge
- catenary cable element
- nonlinear shell element

Il programma SAP2000 permette inoltre di condurre analisi tipo non lineare statica , analisi tipo pushover e analisi non lineari tipo time-history mediante l'utilizzo di analisi modale o integrazione diretta. software contempla la presenza di elementi bidimensionali (piani - shell) in grado di rappresentare sia il comportamento di lastra (effetti flessionali) quanto quello di membrana (sforzi di compressione e trazione), ed elementi tipo trave (beam).

5.1.3 Sistemi di riferimento

Il sistema di riferimento nei modelli di calcolo viene assunto con origine coincidente con lo spigolo sinistro basso della struttura schematizzata.

La disposizione degli assi segue la "regola della mano destra":



l'asse X è diretto secondo l'asse longitudinale della struttura;

l'asse Y è diretto secondo l'asse trasversale della struttura;

l'asse Z è diretto verso l'alto, positivo verso l'alto.

Si definiscono positive le azioni e sollecitazioni secondo la convenzione riportata nella figura successiva.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

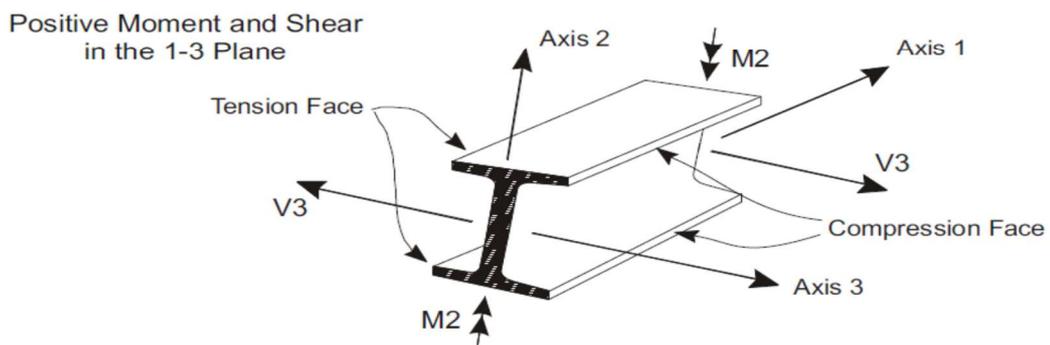
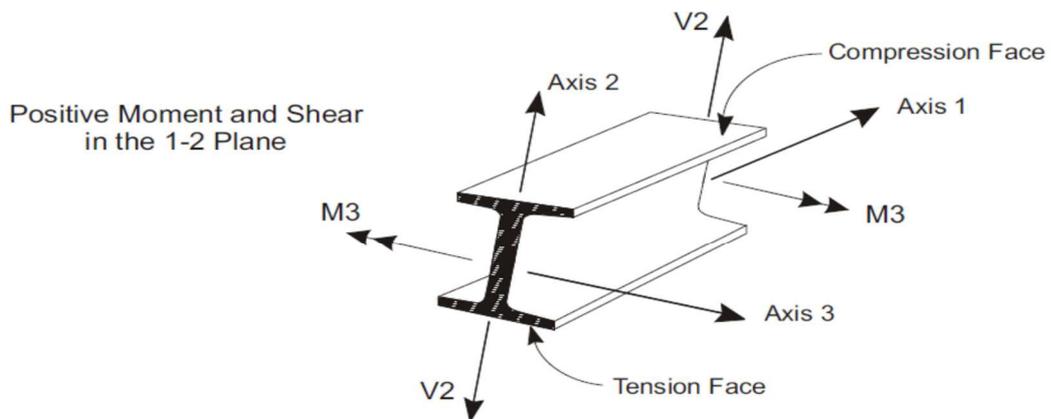
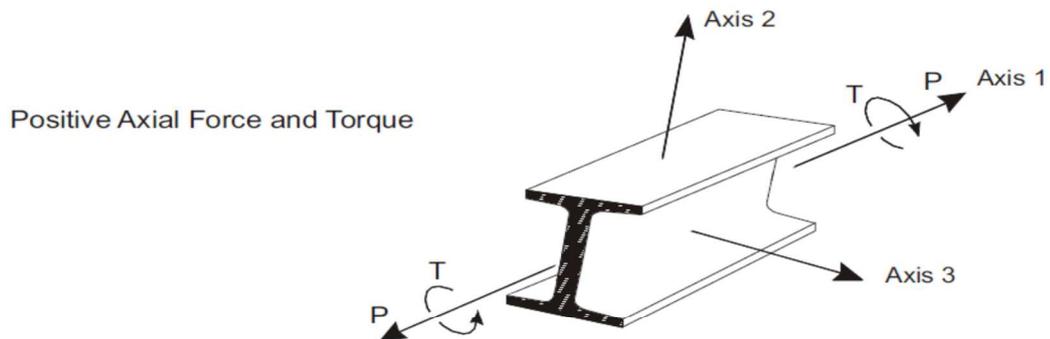
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 20 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



5.1.4 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo SAP 2000 - Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method), capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Il software è impiegato per la modellazione dell'intera opera, finalizzata all'analisi strutturale.

	2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo sottostrutture							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A

Versione 14.0

Produttore Computers and Structures Inc. 1995 University Ave. Berkeley CA

5.1.5 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

5.1.6 Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

5.1.7 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

5.1.8 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 22 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.2 AZIONI DI CALCOLO
5.2.1 Peso proprio spalla

Il peso proprio delle spalle viene calcolato in automatico dal programma di calcolo adottando per il calcestruzzo il peso di volume pari a 25 kN/m³.

5.2.2 Peso proprio rilevato

Il peso proprio del rilevato è pari a:

$$Pril = 19 \cdot 9.2 = 174.8 \text{ kN/mq}$$

5.2.3 Azioni provenienti dall'impalcato

L'analisi dei carichi dell'impalcato è riportata nella specifica relazione di calcolo. Di seguito vengono riportati gli scarichi sugli appoggi (vedi relazione impalcato):

5.2.4 Carichi permanenti

Trave	peso travi in CAP+soletta+pavimentazione+veletta+guardrail [kN] G1
1	772 kN - Reazione appoggio
2	793 kN - Reazione appoggio
3	772 kN - Reazione appoggio

5.2.5 Carichi da traffico

Trave	Carichi mobili [kN] Q1
1	593
2	780
3	227

Trave	Azione longitudinale di frenamento q3:		
1		256	[kN]
2		142	[kN]
3		29	[kN]

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 23 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.2.6 Carichi da vento

Trave	Azione trasversale dovuta al vento q5:	N	Tt	
1		41	43	[kN]
2		19	43	[kN]
3		-60	43	[kN]

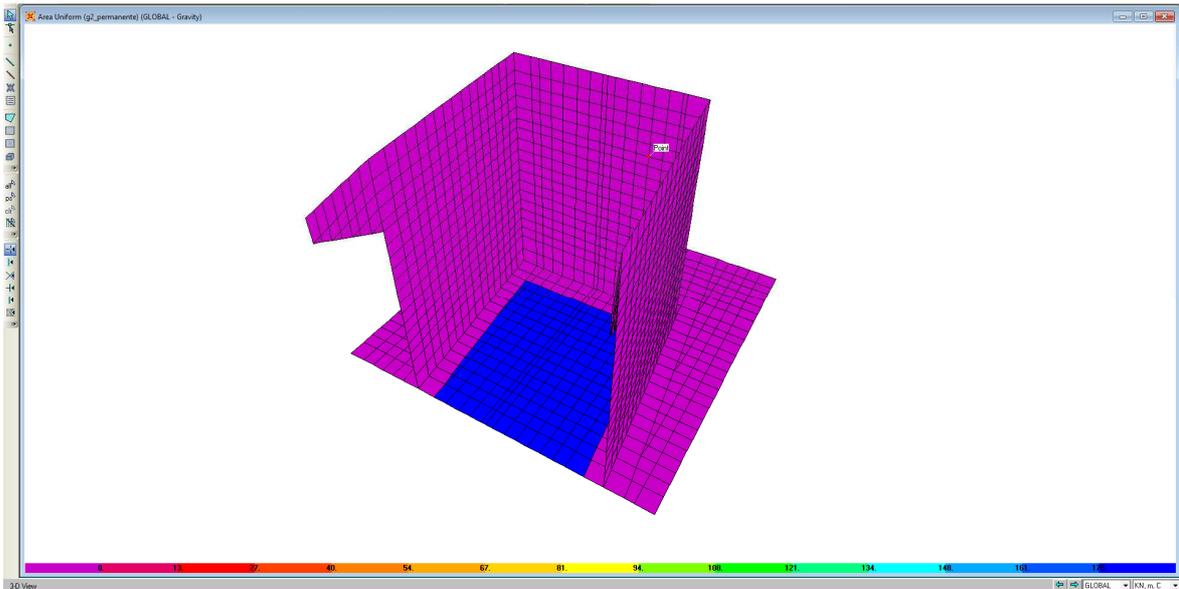


Fig. 5.4 peso del rilevato

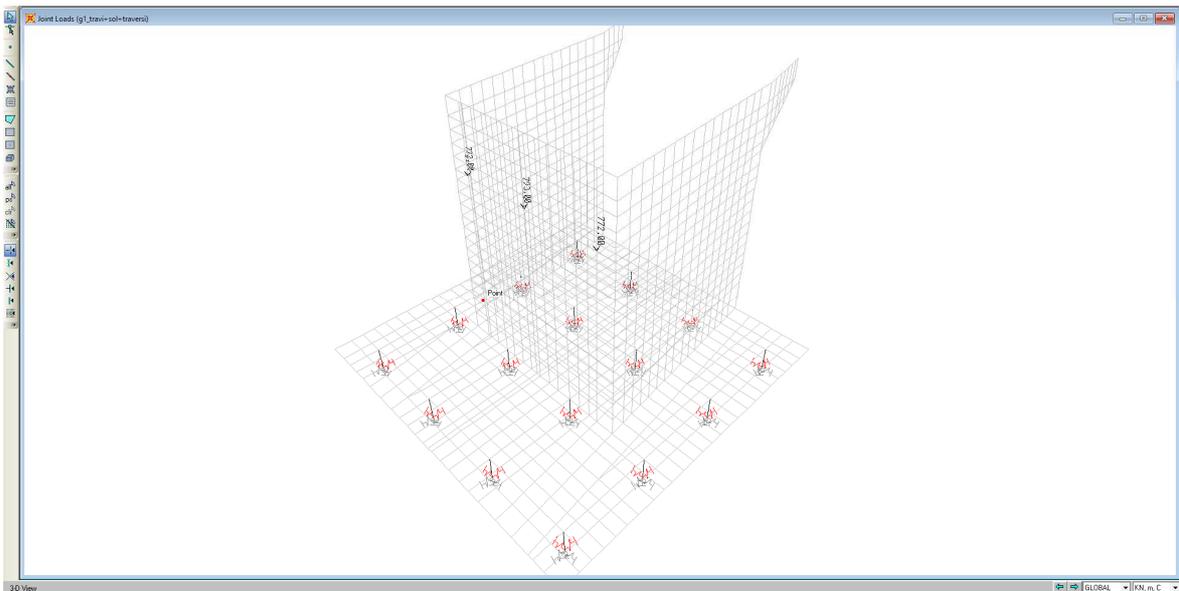


Figura 5.5 Carichi da carico permanente provenienti dall'impalcato

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostruttura

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	24 di 171

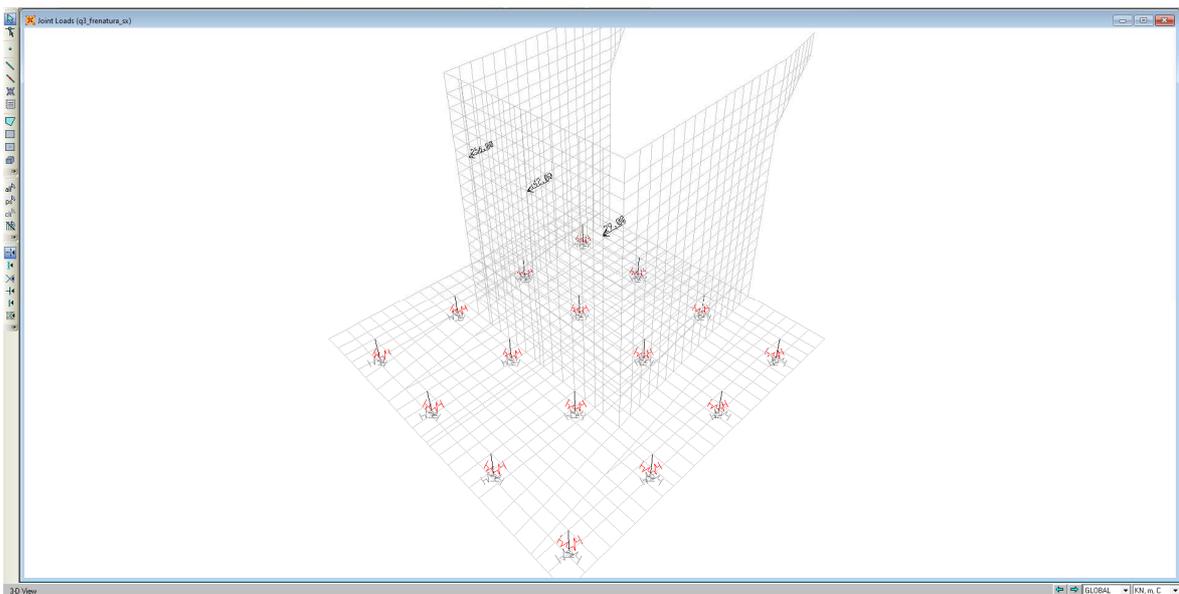
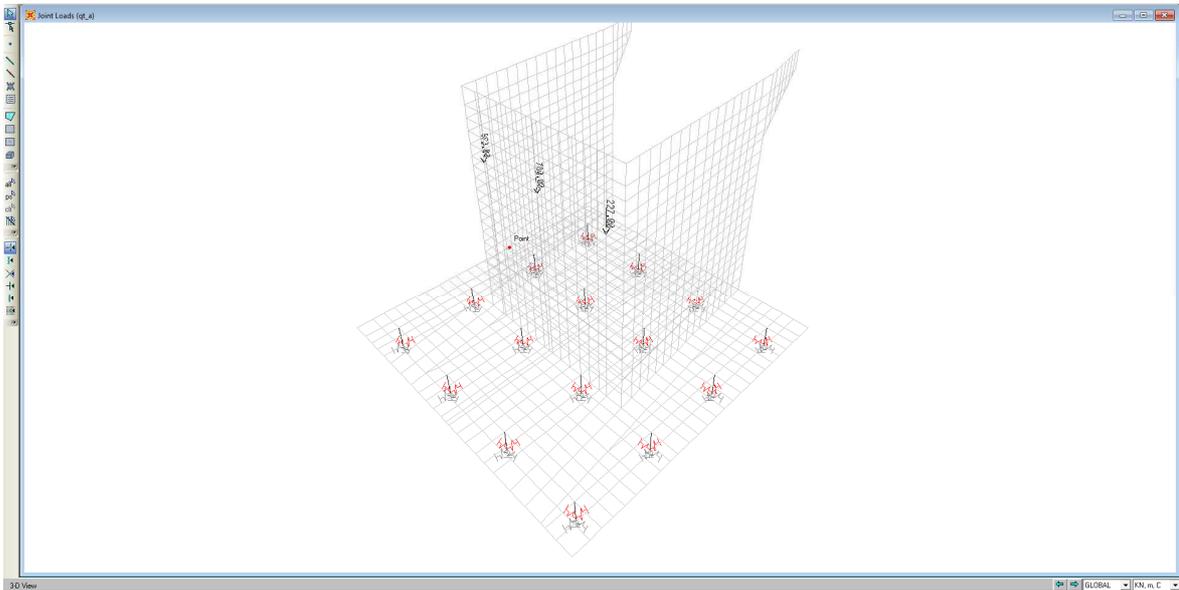


Figura 5.6 Carichi da traffico provenienti dall'impalcato

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 25 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

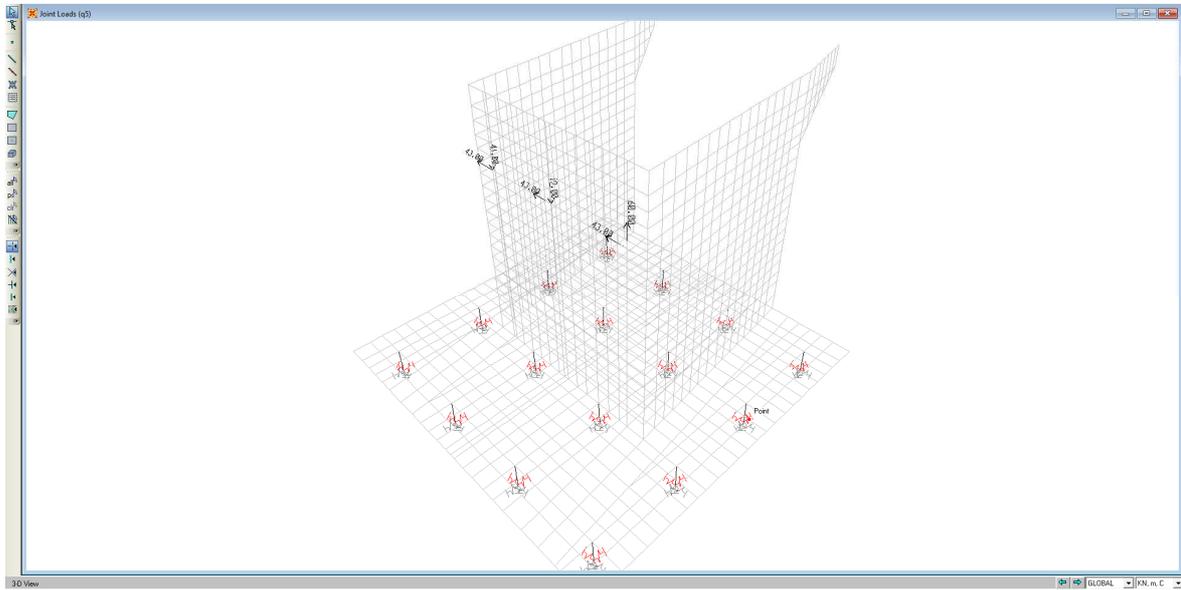


Figura 5.7 Carichi da vento provenienti dall'impalcato

 QUADRILATERO Marche Umbria S.p.A.	2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo sottostrutture							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A

5.2.7 Ritiro (ϵ_2), variazione termiche (ϵ_3), viscosità (ϵ_4)

Viste le modeste dimensioni dei manufatti oggetto di studio gli effetti del ritiro e di viscosità possono essere trascurati.

5.2.8 Cedimenti appoggi

Essendo la struttura isostatica i cedimenti non generano azioni interne ma solo deformazioni compatibili con lo schema di vincolo.

5.2.9 Spinta delle terre (g_3, T)

In corrispondenza della spalla i valori delle spinte a riposo ($\gamma=19 \text{ kN/m}^3$; $k_0=1-\text{sen}\phi'=1-\text{sen}25^\circ=0.577$) del terreno su muro frontale si ottengono per un'altezza da asse fondazione di 10.20 m ed è pari a:

$$g_{3,tt} = \sigma_{vf, \text{testa}} * K_0 = 19 * 0,00 * 0,577 = 0.00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{3,tb} = \sigma_{vf, \text{base}} * K_0 = 19 * 10.20 * 0,577 = 111.83 \text{ kN/m}^2$$

Mentre per i muri d'ala l'altezza di spinta si calcola dall'estradosso della fondazione ed è pari a 9.20m, pertanto la spinta sarà:

$$g_{3,tt} = \sigma_{vf, \text{testa}} * K_0 = 19 * 0,00 * 0,577 = 0.00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{3,tb} = \sigma_{vf, \text{base}} * K_0 = 19 * 9.20 * 0,577 = 95.56 \text{ kN/m}^2$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 27 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

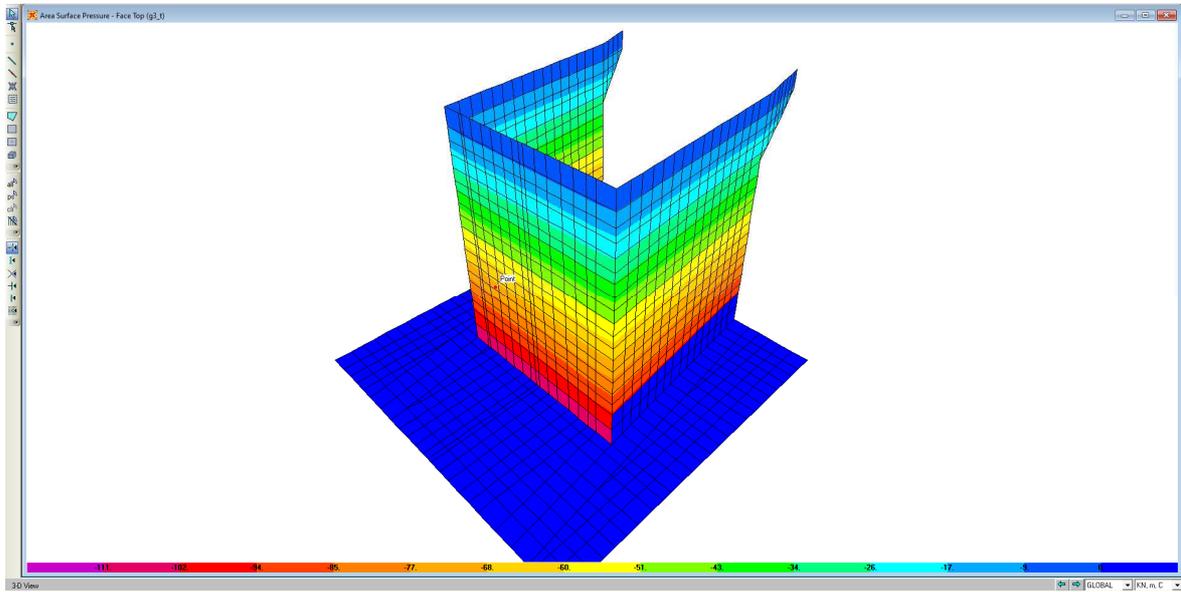


Figura 5.8 Spinte delle terre sulla spalla.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 28 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.2.10 Peso sovraccarico da traffico e spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico (g3_q)

Per la determinazione della sovraspinta del terreno a tergo dei paramenti dei manufatti si è operato come descritto in seguito.

Sul rilevato è stato considerato agente lo schema di carico 1 (cap. 5 delle NTC 2008), in cui, per semplicità, i carichi tandem sono stati sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare di lati 3,0 m x 2,2 m.

Il valore della pressione verticale agente in superficie vale quindi:

$$\sigma_{v0} = \frac{2 \times 300 \text{ kN} + 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \times 9 \text{ kN/m}^2}{3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}} = 659,4 \text{ kN/6,6 m}^2 \cong 100 \text{ kN/m}^2$$

Il valore alla base è pari a:

$$g3,qb = \sigma_{vf} = 659,4 / \{ [3 + 9.2 \cdot \tan 30^\circ] \times [2,2 + 9.2 \cdot \tan 30^\circ] \} \approx 10.57 \text{ kN/m}^2$$

Alla base dei paramenti è stato calcolato il valore di pressione verticale tenendo conto di un angolo di diffusione del carico nel terreno pari all'angolo di resistenza al taglio dello stesso.

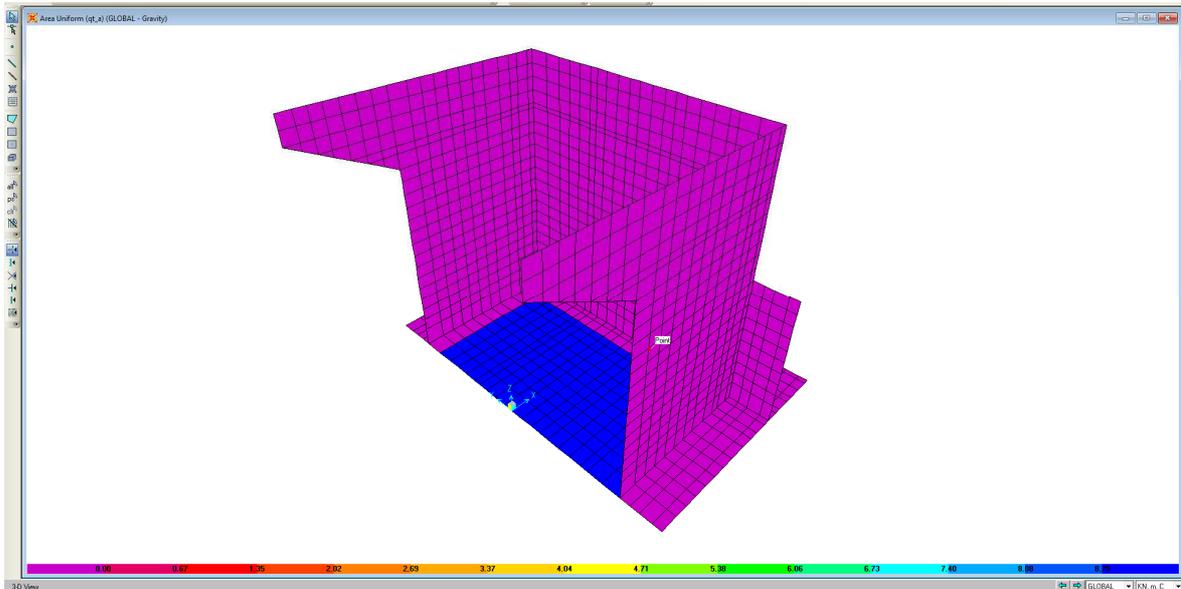


Figura 5.9 Carico verticale dovuto al sovraccarico

La sovraspinta orizzontale del terreno viene quindi determinata considerando condizioni a riposo del terreno ed ha una distribuzione decrescente con la profondità.

Il valore della spinta in superficie è pari a:

$$g3,qo = \sigma_{vo} \cdot K_o = 100 \cdot 0,577 = 57.7 \text{ kN/m}^2$$

Il valore alla base è pari a (**G3,q**):

$$g3,qb = \sigma_{vf} \cdot K_o = 10.57 \cdot 0,577 \approx 6.10 \text{ kN/m}^2$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 29 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

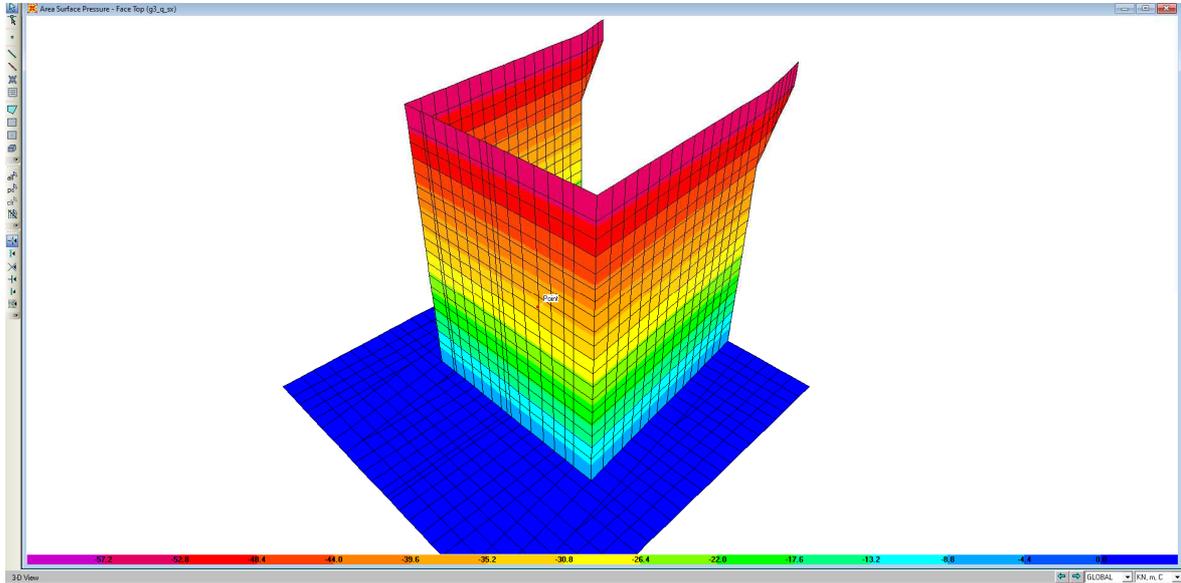


Figura 5.10 Spinta delle terre dovute al sovraccarico.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 30 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.2.11 Definizione dell'azione sismica (E)

I viadotti in oggetto sono progettati per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Il periodo di ritorno di quest'ultima - in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti) - è di 712 anni circa.

Essa, conformemente a quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche, non è definita in funzione dell'appartenenza dell'opera ad una zona sismica bensì è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste. Tale pericolosità sismica è descritta, in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno
- F_0 , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

V_N [anni]	C_U	V_R [anni]	T_R [anni]	Località	$a_{g,orizz}$ [g]	F_0	$a_{g,vert}$ [g]	F_v	T_C^* [s]
50	1.5	75	712.00	Camerino (MC)	0.220	2.544	0.140	1.613	0.333

Tabella 2: Parametri per la definizione della massima accelerazione locale

In quest'ultima V_N è la vita nominale dell'opera; C_U è il coefficiente relativo alla classe d'uso; V_R è il periodo di riferimento per l'azione sismica; T_R è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite della salvaguardia della vita; a_g è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento; F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; F_v è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale; T_C^* è il periodo, espresso in secondi, corrispondente alla fine del tratto orizzontale dello spettro su suolo di riferimento.

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	S_S	S_T	S	C_C	T_B	T_C	T_D
C	1.364	1	1.364	1.51	0.167	0.502	2.482

Tabella 3: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale

In quest'ultima S_S ed S_T sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S ; C_C è il coefficiente che modifica il valore del periodo T_C^* ; T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale; T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità; T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 31 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente verticale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	S _S	S _T	S	T _B	T _C	T _D
C	1	1	1	0.05	0.15	1

Tabella 4: Parametri per la definizione dello spettro elastico verticale

In quest'ultima S_S ed S_T, S e C_C hanno i significati prima descritti; T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro per la componente verticale; T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante; T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

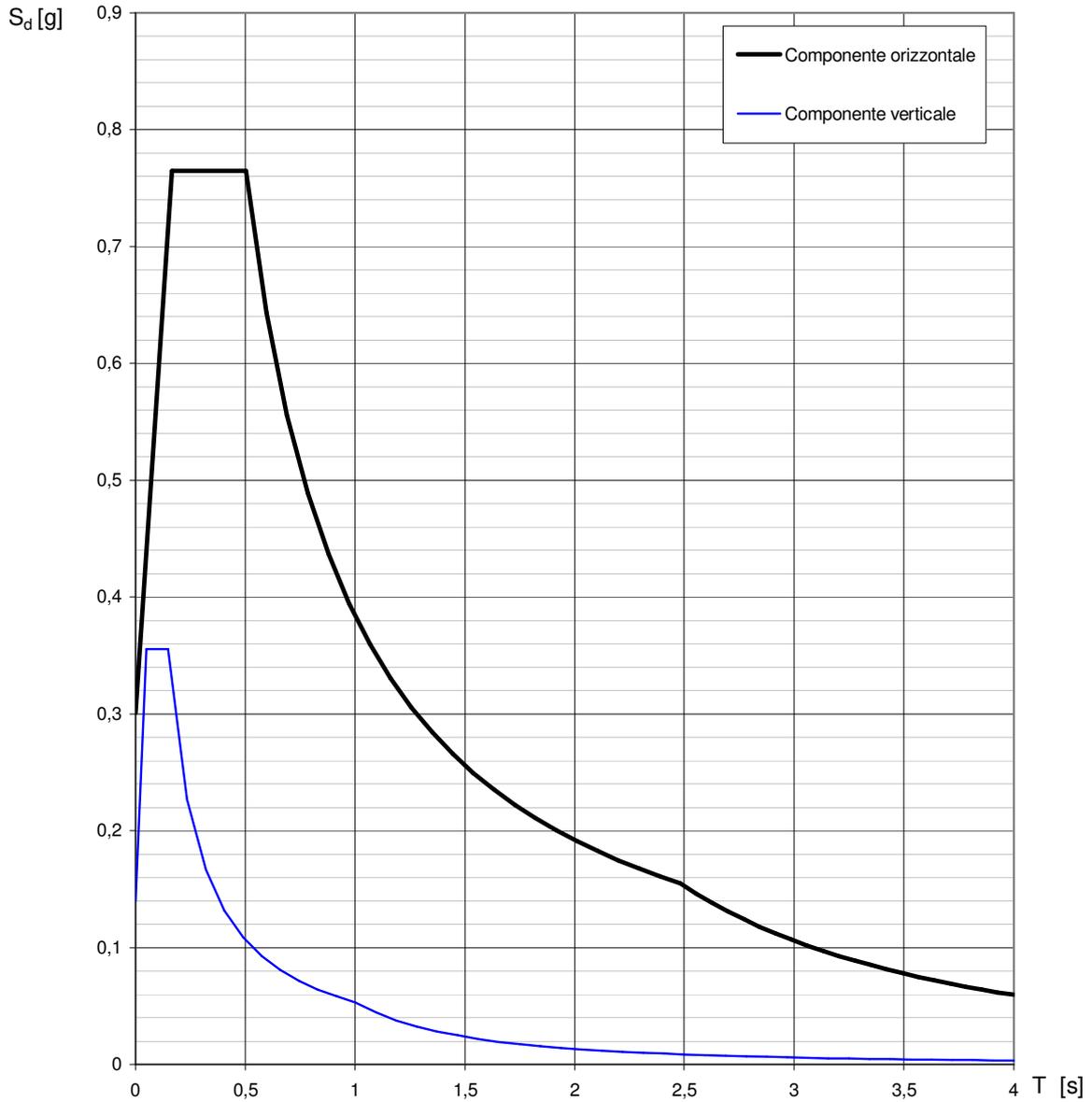
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 32 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 33 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.2.12 Metodo di analisi

Il metodo di analisi scelto per lo studio degli effetti del sisma è la analisi lineare statica.

L'analisi lineare statica consiste sostanzialmente in una analisi lineare dinamica semplificata in cui:

- 1) non si effettua l'analisi dinamica della costruzione per determinare i modi di vibrare "naturali" della costruzione e si ipotizza un modo di vibrare principale della costruzione caratterizzato da un periodo T1 calcolato in maniera approssimata. A questo modo di vibrare si associa un'aliquota di massa partecipante pari a 1,0 in tutti gli altri casi;
- 2) si calcolano gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per il solo modo di vibrare principale considerato;
- 3) non si effettua alcuna combinazione degli effetti in quanto non si considerano modi di vibrare secondari.

Per i manufatti in esame è possibile applicare l'analisi statica lineare in quanto sono soddisfatti il punto c) del D.M. 14/01/2008, che vengono riportati in calce.

Il punto a) In ponti a travata semplicemente appoggiata, per entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, purchè la massa efficace di ciascuna pila non sia superiore ad 1/5 della massa da essa portata

Il punto c) è automaticamente verificato per ponti a campata unica, privi di pile, quale quelli in esame, in quanto, essendo le pile assenti, la loro massa è nulla, e pertanto certamente non superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato. Infatti, in accordo con la terminologia tecnica comunemente adottata, alla quale certamente intende riferirsi la Normativa l'elemento strutturale che sostiene l'estremità del ponte e separa la luce libera dal terreno retrostante è da considerarsi "spalla", indipendentemente dalla sua forma e dal tipo di fondazioni.

Per quanto attiene al calcolo delle inerzie sugli elementi strutturali, allo Stato Limite Ultimo si procede come nel seguito descritto:

- Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo, si adotta l'accelerazione pari a:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,22g \cdot 1,364 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,0} = 0,30g$$

L'accelerazione verticale di progetto è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0,14g$$

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 34 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.2.13 Spinta sismica del terreno E

Le spinte delle terre, considerando la spalla su pali una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 14.01.08), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta S_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2 \quad - \text{formula di Wood}$$

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto $H_{tot}/2$, con H_{tot} l'altezza totale della spalla dall'asse della fondazione.

$$\Delta S_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2 = 0.30 \cdot 19 \cdot 10.20^2 = 593.03 \text{ kN}$$

$$\Delta s_E = 593.03 / 10.20 = 58.14 \text{ kN/m}$$

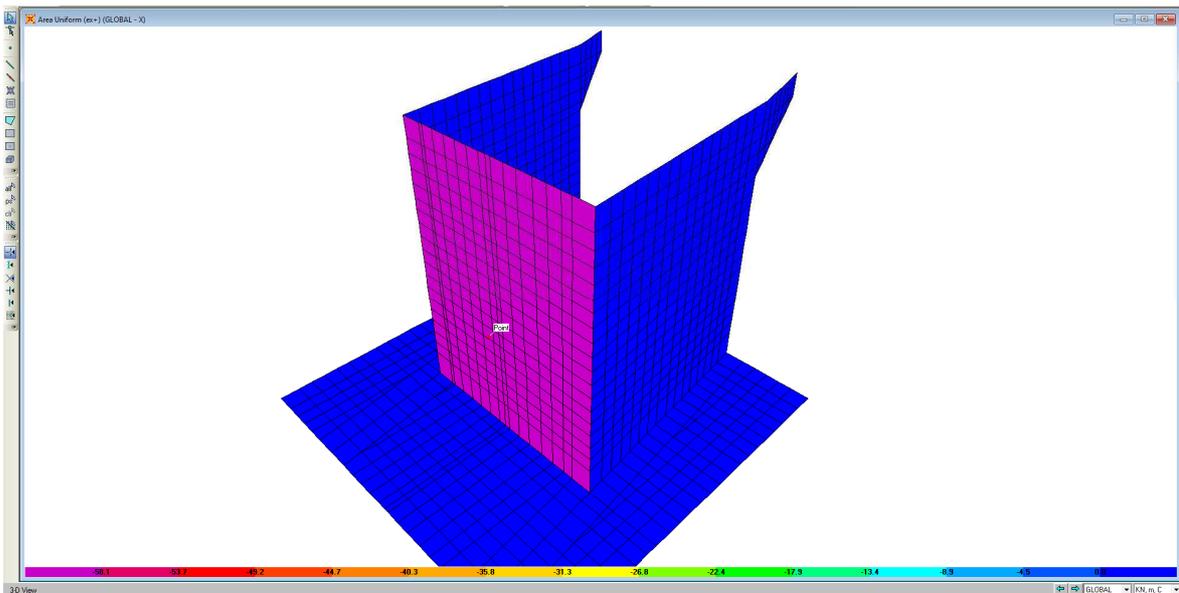


Figura 5.11 Spinta sismica delle terre

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 35 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.2.14 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

Componente orizzontale

- Impalcato: la reazione massima proviene dallo studio dell'insieme impalcato appoggi mediante l'applicazione degli spettri di risposta sismica (vedi relazione di calcolo impalcato cap. 7)

Trave	Reazioni massime trasv. [kN]	Reazioni massime long. [kN]
1	0	1200
2	1800	1200
3	0	1200

L'accelerazione di progetto da applicare alla masse strutturali della spalla e del rinterro è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,22g \cdot 1,364 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,0} = 0.30g$$

Inerzia sismica rilevato in dir. x = $0.30 \cdot 174.8 \cdot 7.29 / 9.20 = 41.55$ kN/mq

Inerzia sismica rilevato in dir. y = $0.30 \cdot 174.8 \cdot 6.20 / 9.20 = 35.34$ kN/mq

L'inerzia sismica delle masse strutturali della spalla viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo una volta inserito il moltiplicatore delle masse pari a S(T) sopra definito

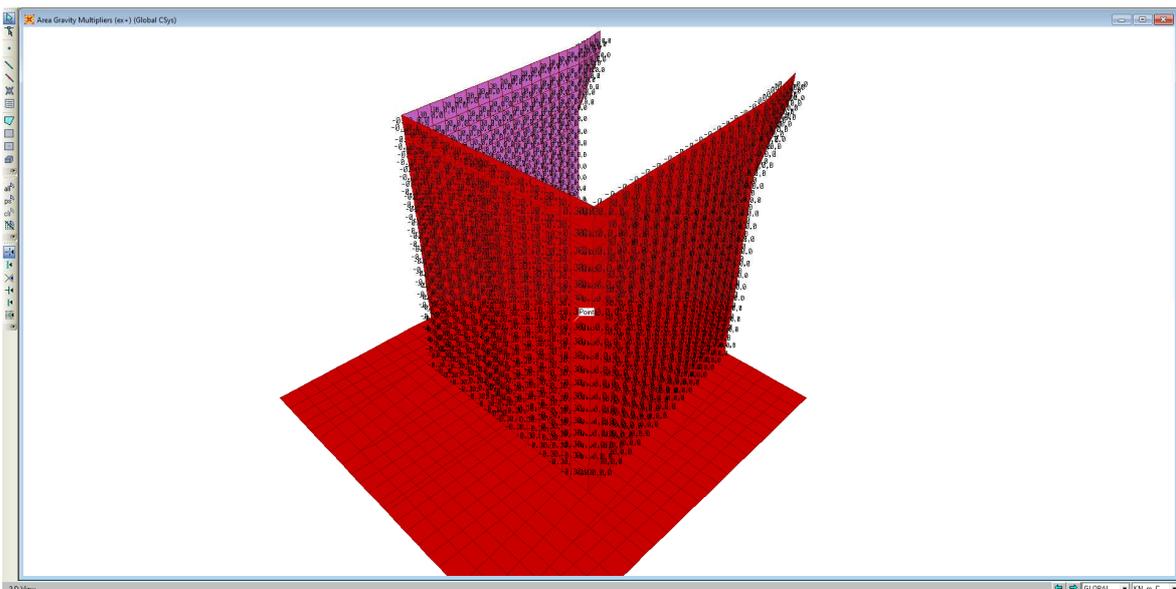


Figura 5.12 Inerzia orizzontale spalla in dir. x

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	36 di 171

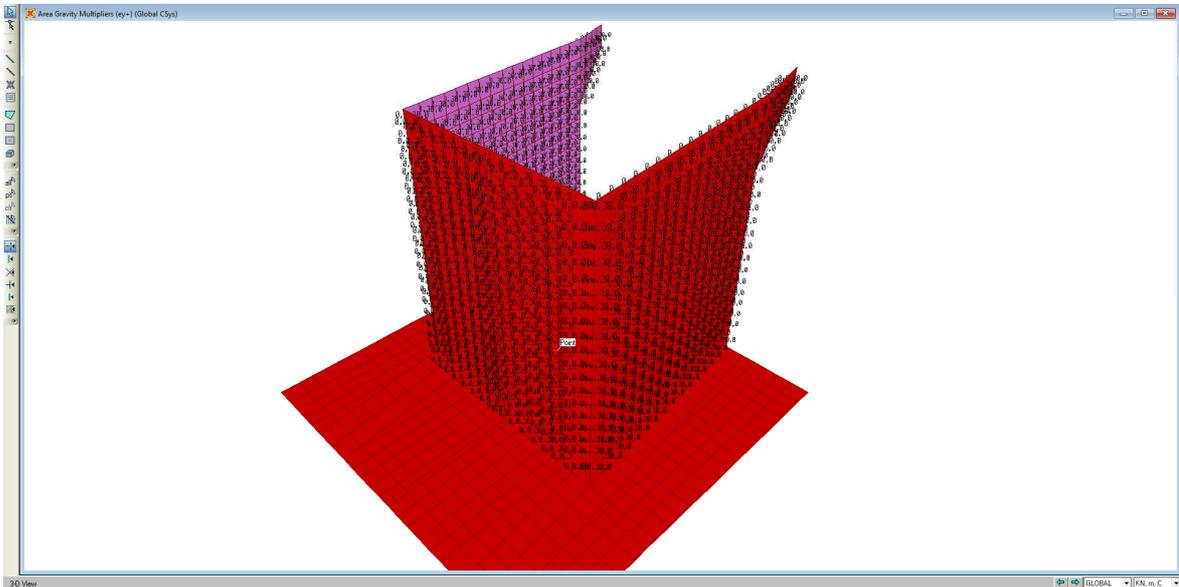


Figura 5.13 Inerzia orizzontale spalla in dir. y

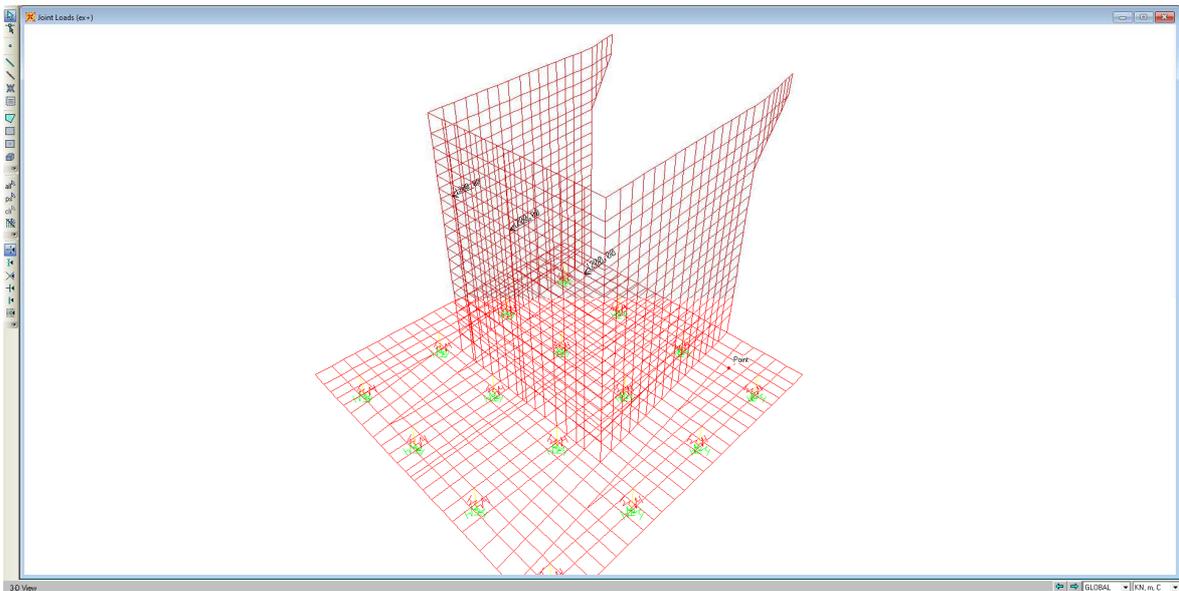


Figura 5.14 Inerzia orizzontale impalcato in dir. x

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 37 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

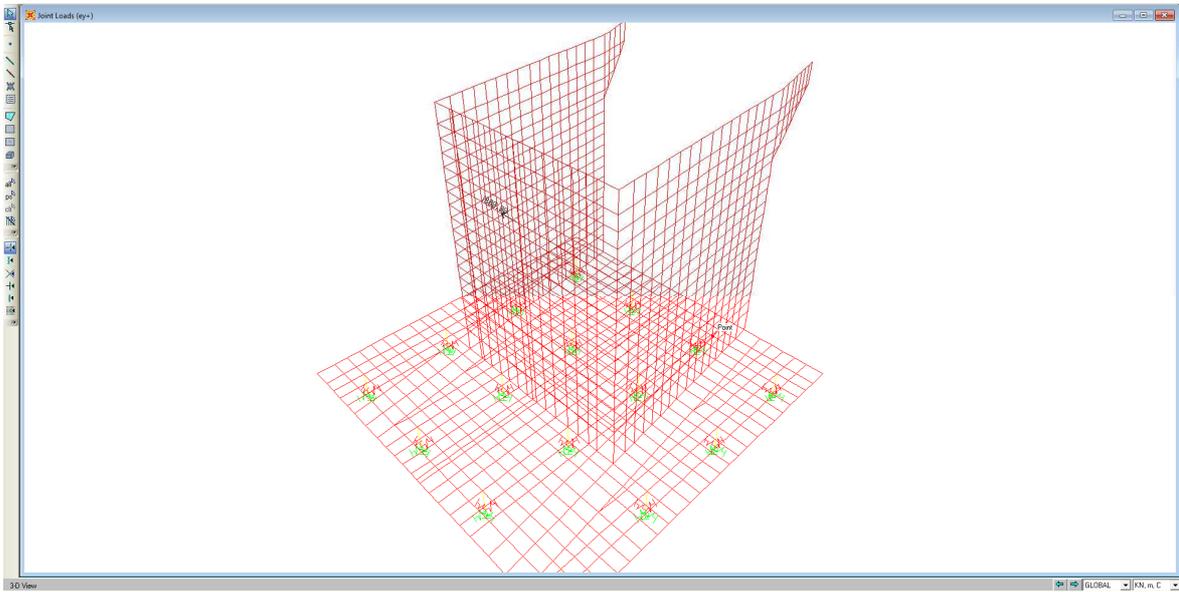


Figura 5.15 Inerzia orizzontale impalcato in dir. y

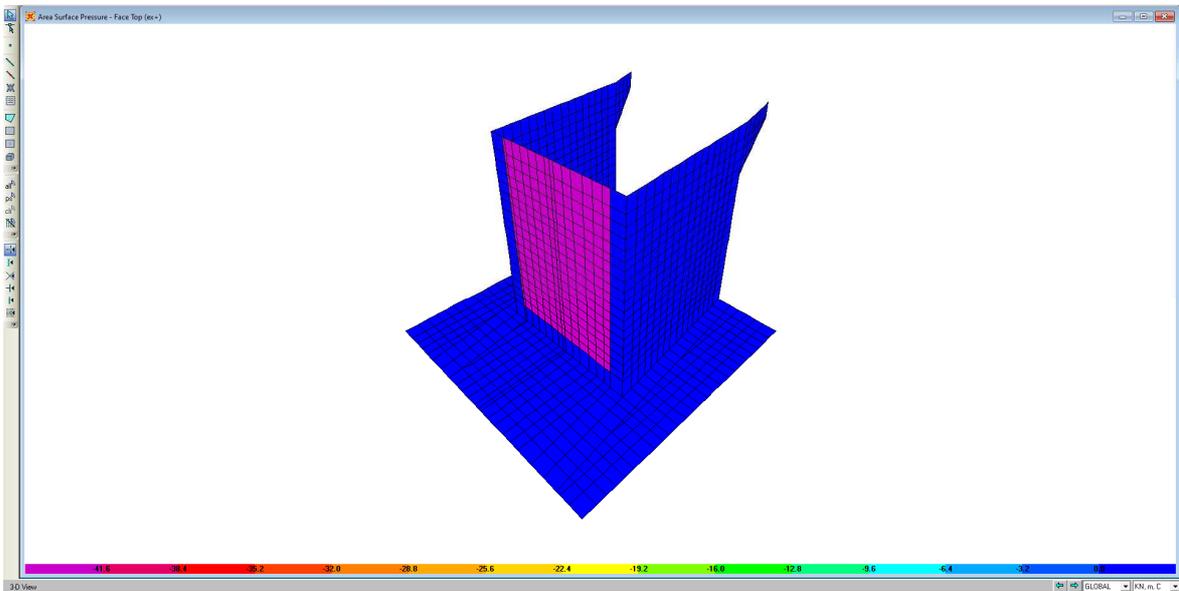


Figura 5.16 Inerzia orizzontale rilevato in dir. x

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 38 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

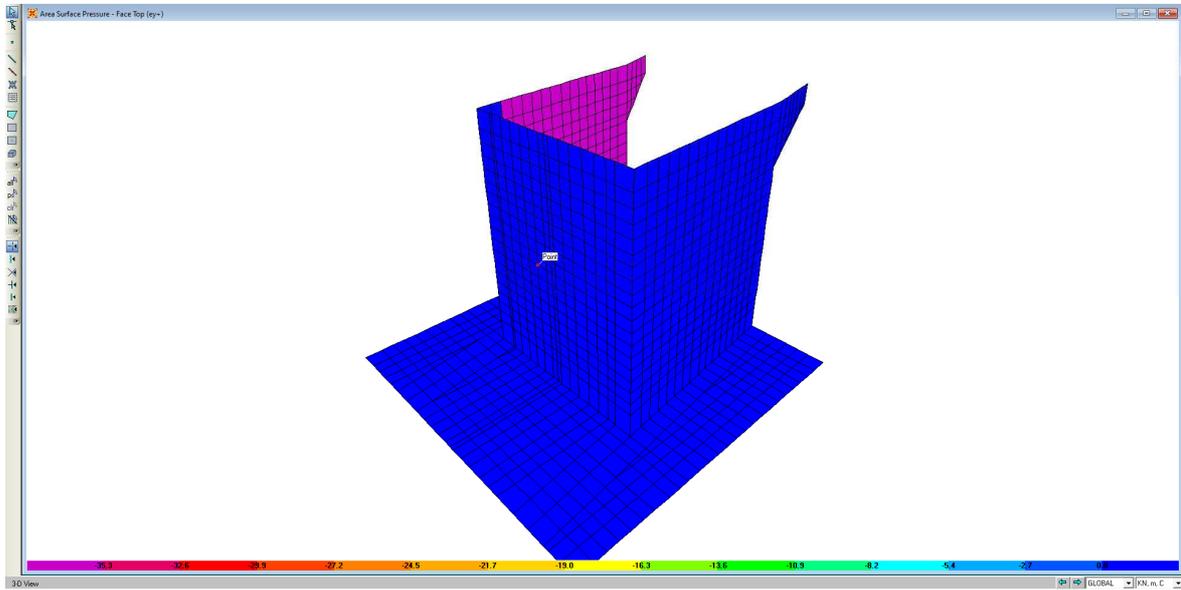


Figura 5.17 Inerzia orizzontale rilevato in dir. y

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 39 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Componente verticale

L'accelerazione di progetto in direzione verticale (considerando un fattore di struttura unitario in accordo al §7.3.1 del DM 17/01/2018) è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0,14g$$

- Impalcato: la reazione massima proviene dallo studio dell'insieme impalcato appoggi elastomerici mediante l'applicazione degli spettri di risposta sismica (vedi relazione di calcolo impalcato cap. 7)

Trave	reazioni massime vert. [kN]	reazioni minime vert. [kN]
1	+301	- 301
2	+301	- 301
3	+301	- 301

L'accelerazione di progetto da applicare alla masse strutturali della spalla è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0,14g$$

Inerzia sismica rilevato in dir. z = $\pm 0,14 \cdot 174,8 = \pm 24,48$ kN/m².

L'inerzia sismica delle masse strutturali della spalla viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo una volta inserito il moltiplicatore delle masse pari a S(T) sopra definito

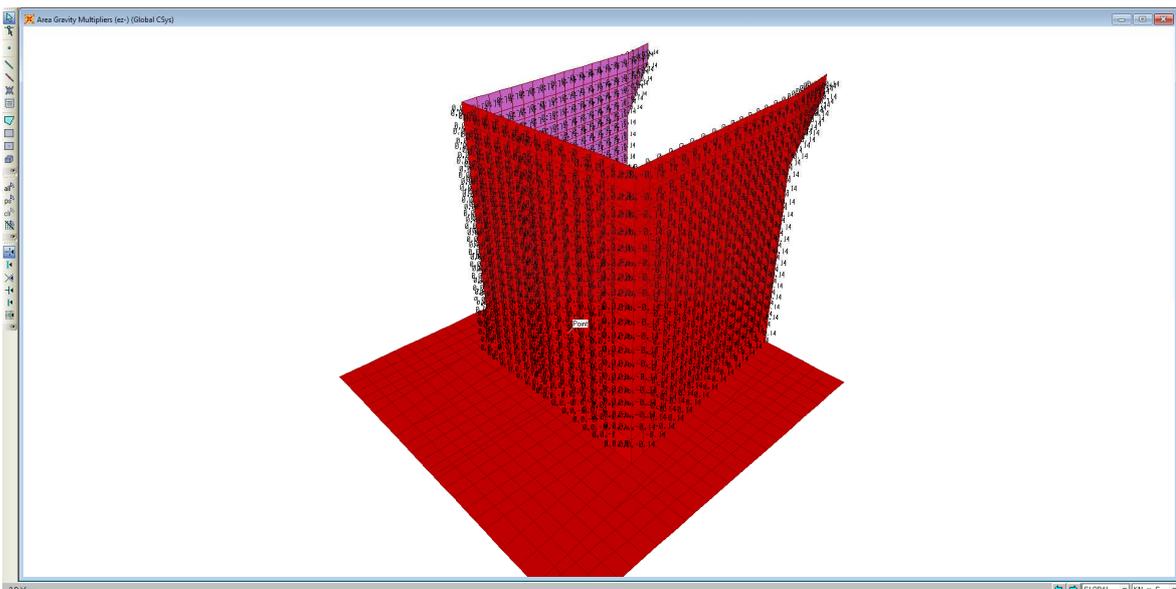


Figura 5.18 Inerzia verticale spalla in dir. -Z

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 40 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

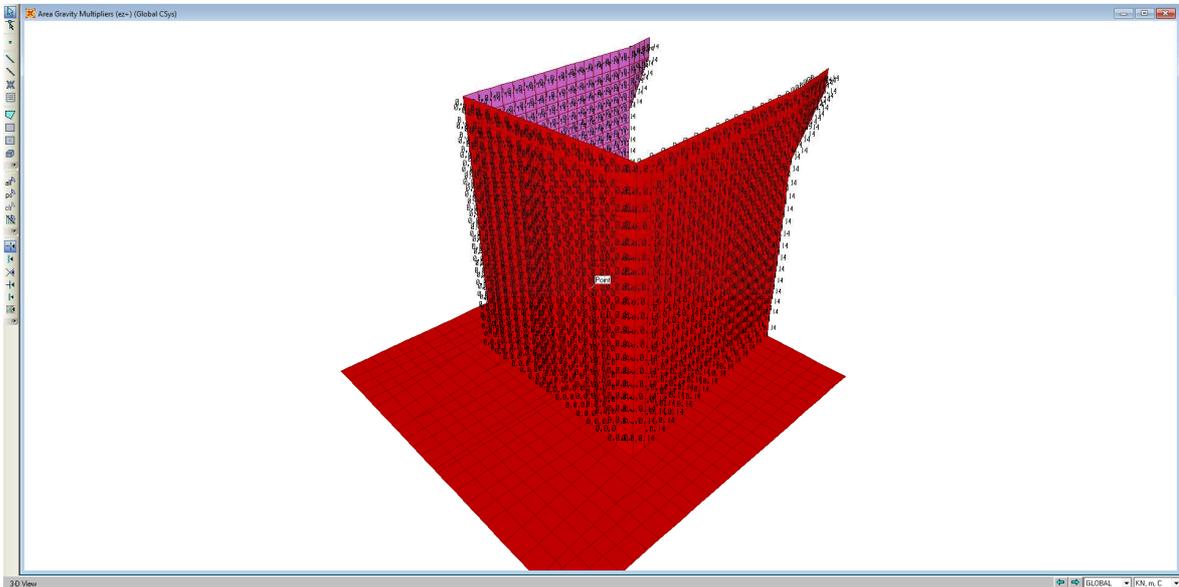


Figura 5.19 Inerzia verticale spalla in dir. +z

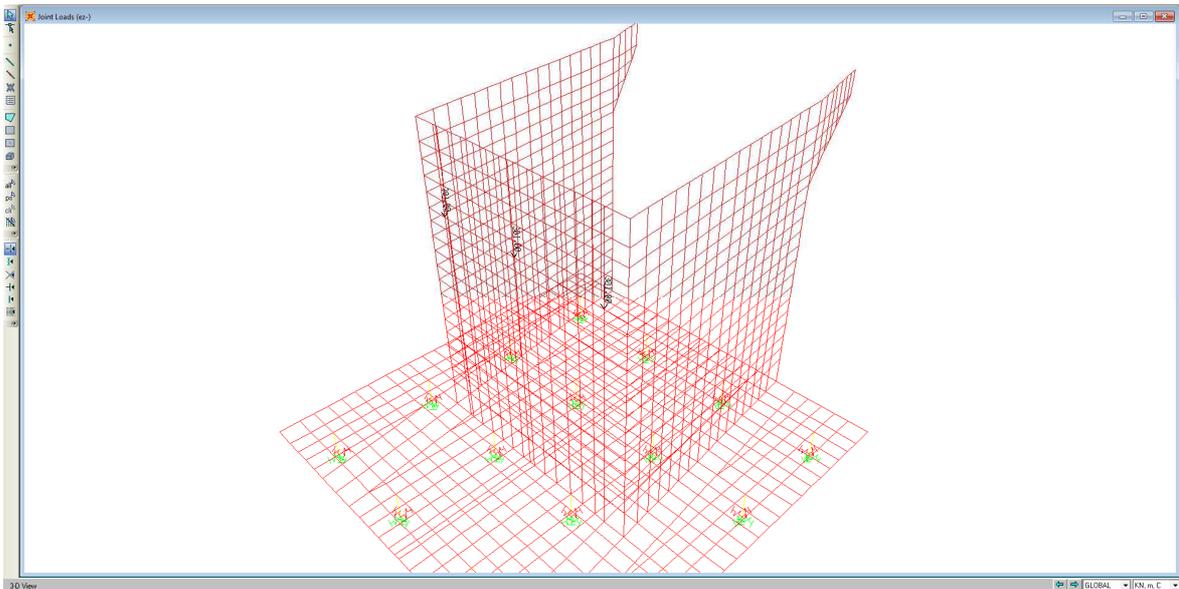


Figura 5.20 Inerzia verticale impalcato in dir. -z

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 41 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

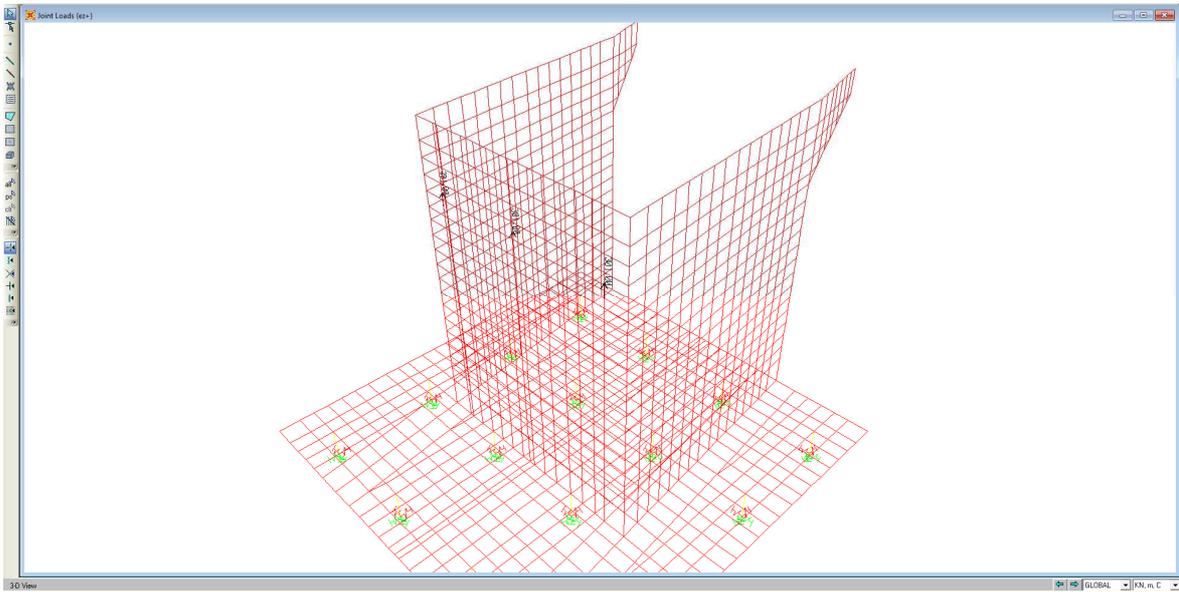


Figura 5.21 Inerzia verticale impalcato in dir. +z

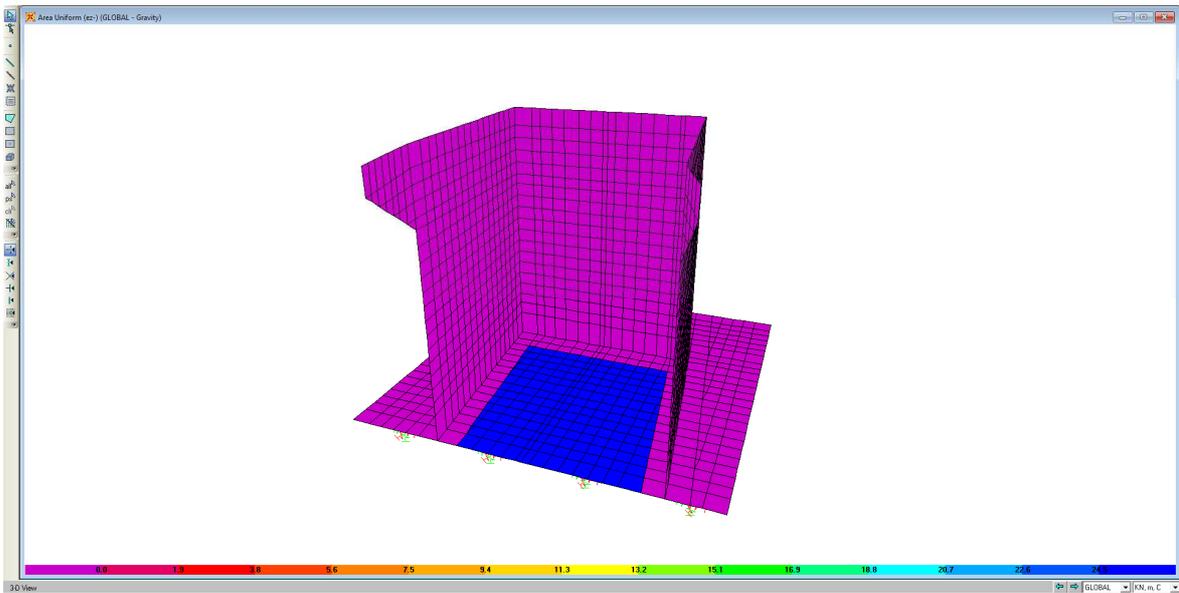


Figura 5.22 Inerzia verticale rilevato in dir. -z

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 42 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

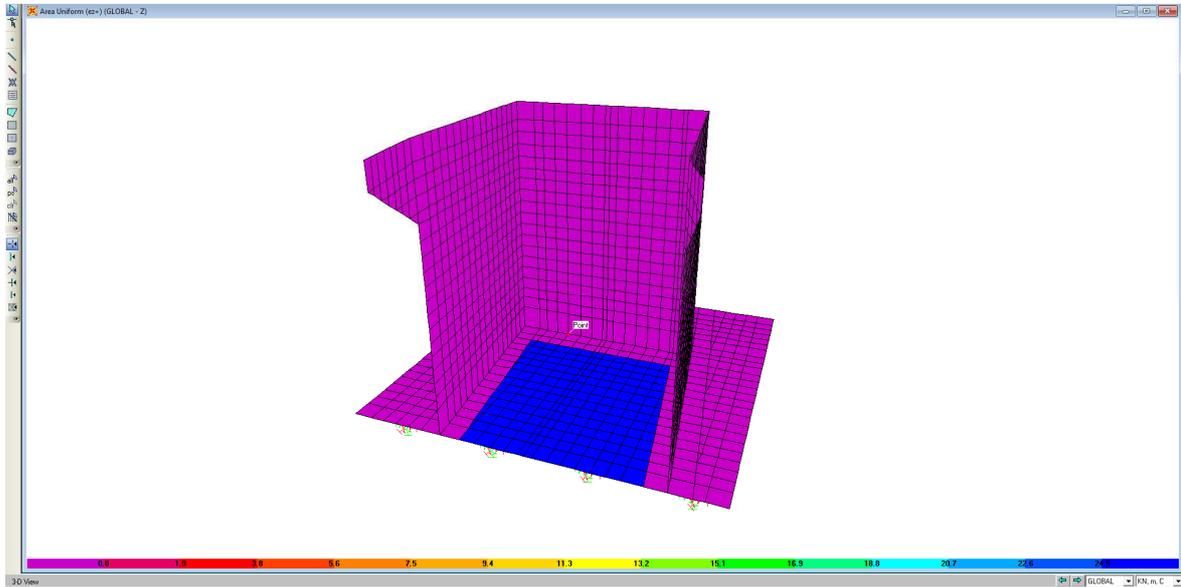


Figura 5.23 Inerzia verticale rilevato in dir. +z

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 43 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.2.15 Resistenza passiva dei vincoli (q7)

Per effetto degli spostamenti orizzontali dell'impalcato in corrispondenza degli appoggi si sviluppano azioni orizzontali di attrito, funzione delle caratteristiche degli appoggi impiegati e del carico permanente verticale.

Sulla struttura sono presenti come apparecchi di appoggio in acciaio teflon il cui coefficiente di attrito è pari a 0.03.

Pertanto la forza orizzontale $F_{res,passive}$ esercitata sul singolo appoggio risulta essere pari a:

$$F_{res,passive_appoggio_spalla} = 0.03 \cdot 800 = 24 \text{ kN (su ciascun appoggio)}$$

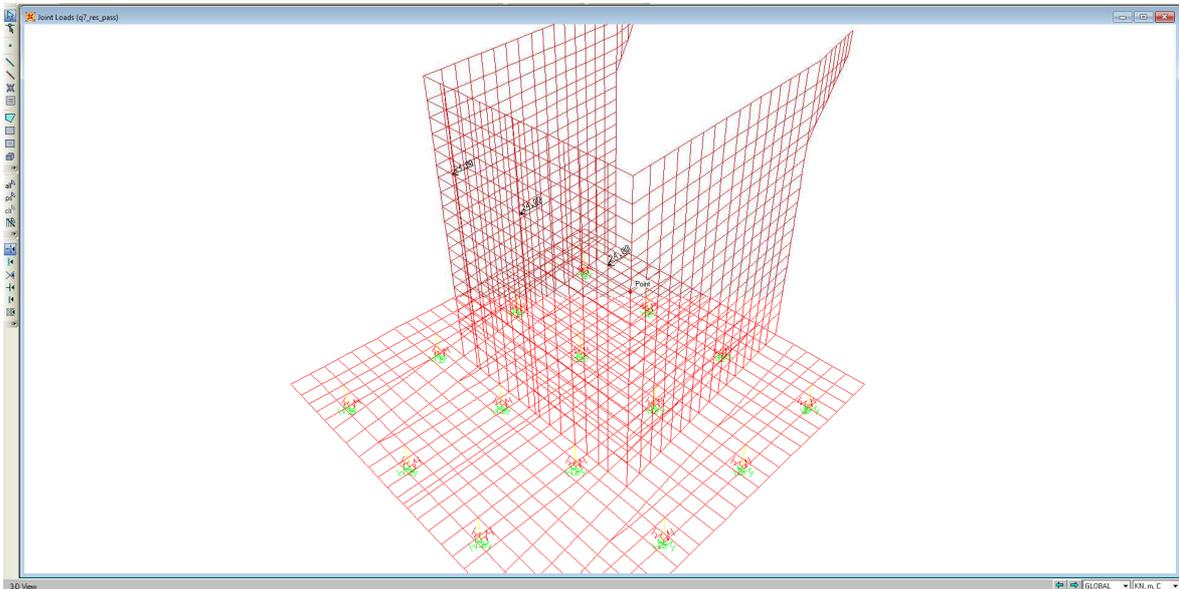


Figura 5.24 Resistenze passive vincoli di appoggio impalcato

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 44 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.2.16 Urto sulle barriere di sicurezza posti sui muri di risvolto (q8)

Nel caso in cui possa verificarsi l'urto di un veicolo su di un elemento strutturale si dovrà considerare agente sull'elemento stesso una forza orizzontale concentrata di 100 kN distribuita su 0.5 m ed applicata ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h1, h2 ove h1 (altezza delle barriere – 0.10 m), h2 = 1.00 m.

Tale azione si considera applicata a 0.9 m dalla testa del muro di risvolto ed ipotizzando una diffusione a 45° a partire dall'impronta di carico di 0.5 m, avremo che l'urto verrà applicato come una forza ed un momento uniformemente distribuiti su di una striscia di $(0.5+0.9*2)= 2.3$ m:

$$F_u = 100 / (0.5 + 0.9 * 2) = 43.48 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 43.48 * 0.9 = 39.14 \text{ kNm/m}$$

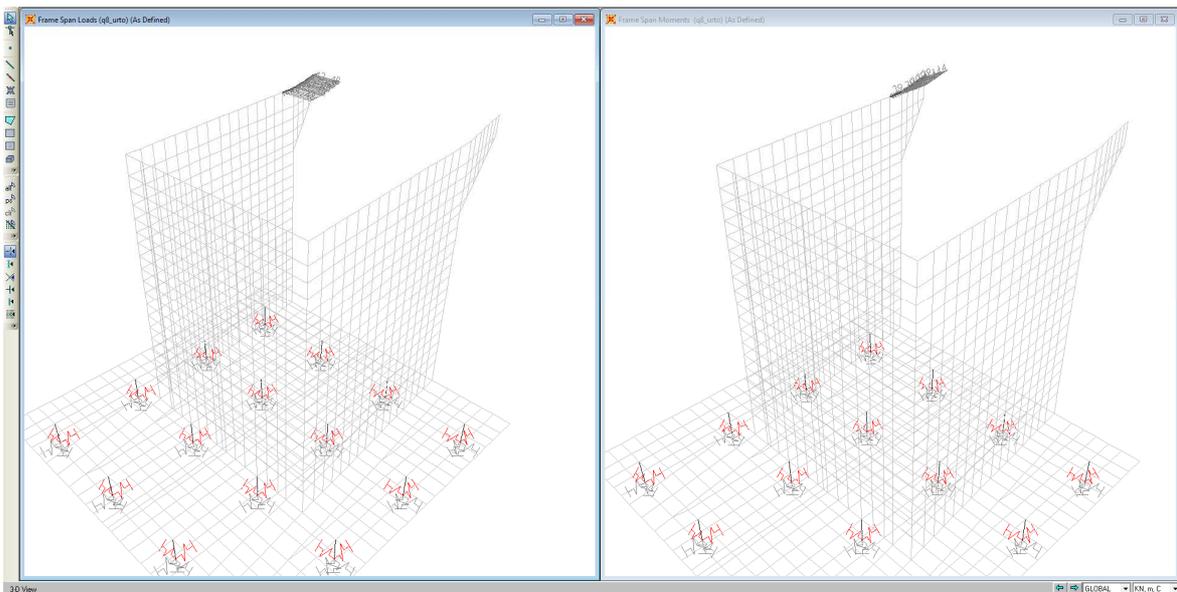


Figura 6.15 Momento e forza dovuto all'urto del veicolo in svio

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 45 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.3 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Si riportano le combinazioni di carico che sono state considerate per il calcolo delle sollecitazioni di progetto.

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR}) \Rightarrow G_1 + \gamma G_1 + G_2 + \gamma G_2 + \gamma Q_1 + Q_{k1} + \sum \gamma_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k)$$

$$\text{ECC}) \Rightarrow G_1 + G_2 + A_d + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

La combinazione ECC è utilizzata per la verifica all'urto (A_d) del veicolo in svio sui muri di risvolto con $\psi_{2i}=1$.

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente}) \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente}) \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione sono le seguenti:

$$\text{STR}) \Rightarrow E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k)$$

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

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Nel caso dell'opera in oggetto, interessata da un attraversamento stradale, così come espressamente indicato al p.to 5.1.3.8 della norma, verrà considerato nullo il valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico.

Per la stessa sezione, i coefficienti parziali di sicurezza da applicare alle varie tipologie di carico e i valori di combinazione delle azioni variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti.

Le verifiche strutturali e geotecniche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle seguenti per i parametri geotecnici e le azioni.

Combinazione 1 (A1+M1+R3) STR/ECC/SLV (*)

(*) Si precisa che per le verifiche agli s.l.u. nella combinazione sismica (SLV), si considerano come carichi agenti quelli i cui coefficienti parziali delle azioni vengono posti pari all'unità come indicato nelle

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 46 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

NTC-D.M. 17/01/2018 al paragrafo 7.11.1.

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	M_1	M_2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ	1	1

In accordo con quanto indicato nel paragrafo 6.4.3.1.1 della norma di riferimento, i coefficienti parziali che si applicano alle resistenze caratteristiche calcolate, sono quelli riportati nella tabella che segue con riferimento, per analogia alla tecnologia costruttiva, ai pali trivellati.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_c	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Per la stessa sezione, i coefficienti parziali di sicurezza da applicare alle varie tipologie di carico e i valori di combinazione delle azioni variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 47 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tabella 5.1.VI – Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 48 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.3.1 Casi di carico

Le condizioni elementari considerate sono riassunte nella tabelle seguente:

Sigla Id	Peso	CDC
Peso proprio	1.00	g1_travi+soletta
Permanenti portati	1.00	g2_permanente
Spinta delle terre	1.00	g3_t
Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla sinistra	1.00	g3_q_sx
Azione del vento	1.00	Q5
frenatura sx	1.00	Q3_sx
frenatura dx (non presente)	1.00	Q3_dx
Schema di carico 1,	1.00	Qt_A
Schema di carico 1, a tergo della spalla	1.00	Qt_B
Schema di carico 1, configurazione C (non presente)	1.00	Qt_C
Schema di carico 1, configurazione D (non presente)	1.00	Qt_D
Schema di carico 1, configurazione E (non presente)	1.00	Qt_E
Sisma da +x	1.00	Ex+ ,Wood
Sisma da -x (non presente)	1.00	Ex- ,Wood
Sisma da +y	1.00	Ey+
Sisma da -y (non presente)	1.00	Ey-
Sisma da -z (verso il basso)	1.00	Ez-
Sisma da +z (verso l'alto)	1.00	Ez+
Resistenza passiva vincoli	1.00	Q7
Urto	1.00	Q8

5.3.2 Combinazioni SLU (STR)

Di seguito vengono riportate le 203 combinazioni SLU considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

SLU001 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU002 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU003 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU004 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU005 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU006 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU007 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU008 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU009 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU010 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU011 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU012 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-B+1.35Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	49 di 171

SLU013 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU014 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU015 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU016 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU017 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU018 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU019 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU020 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU021 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.35Q7
 SLU022 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU023 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU024 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU025 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU026 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU027 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.35Q7
 SLU028 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU029 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU030 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU031 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU032 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU033 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35Q7
 SLU034 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+1.35Q7
 SLU035 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+1.35Q7
 SLU036 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+1.35Q7
 SLU037 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+1.35Q7
 SLU038 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+1.35Q7
 SLU039 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU040 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU041 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU042 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU043 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU044 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU045 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU046 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU047 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU048 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU049 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU050 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU051 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU052 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU053 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU054 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU055 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU056 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU057 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU058 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-C+1.35Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 50 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

SLU059 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU060 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU061 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU062 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU063 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU064 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU065 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU066 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU067 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU068 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU069 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU070 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU071 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.35Q7
 SLU072 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU073 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU074 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU075 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU076 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU077 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.35Q7
 SLU078 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU079 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU080 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU081 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU082 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU083 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35Q7
 SLU084 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+1.35Q7
 SLU085 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+1.35Q7
 SLU086 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+1.35Q7
 SLU087 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+1.35Q7
 SLU088 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+1.35Q7
 SLU089 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU090 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU091 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU092 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU093 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU094 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU095 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU096 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU097 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU098 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU099 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU100 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU101 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-A+Q7
 SLU102 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-B+Q7
 SLU103 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-C+Q7
 SLU104 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-D+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 51 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

SLU105 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-E+Q7
 SLU106 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-A+Q7
 SLU107 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-B+Q7
 SLU108 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-C+Q7
 SLU109 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-D+Q7
 SLU110 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-E+Q7
 SLU111 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-A+Q7
 SLU112 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-B+Q7
 SLU113 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-C+Q7
 SLU114 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-D+Q7
 SLU115 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-E+Q7
 SLU116 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU117 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU118 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU119 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU120 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU121 G1+G2+1.35 G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q7
 SLU122 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-A+Q7
 SLU123 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-B+Q7
 SLU124 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-C+Q7
 SLU125 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-D+Q7
 SLU126 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-E+Q7
 SLU127 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+Q7
 SLU128 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-A+Q7
 SLU129 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-B+Q7
 SLU130 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-C+Q7
 SLU131 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-D+Q7
 SLU132 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-E+Q7
 SLU133 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q7
 SLU134 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 SLU135 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 SLU136 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 SLU137 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 SLU138 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 SLU139 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q7
 SLU140 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-A+Q7
 SLU141 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU142 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU143 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU144 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-E+Q7
 SLU145 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q7
 SLU146 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A
 SLU147 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU148 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU149 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU150 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 52 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

SLU151 G1+G2+G3+1.35 Q-A+Q7
 SLU152 G1+G2+G3+1.35 Q-B+Q7
 SLU153 G1+G2+G3+1.35 Q-C+Q7
 SLU154 G1+G2+G3+1.35 Q-D+Q7
 SLU155 G1+G2+G3+1.35 Q-E+Q7
 SLU156 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-A+Q7
 SLU157 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-B+Q7
 SLU158 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-C+Q7
 SLU159 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-D+Q7
 SLU160 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-E+Q7
 SLU161 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU162 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU163 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU164 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU165 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU166 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU167 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU168 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU169 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU170 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU171 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q7
 SLU172 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A+Q7
 SLU173 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B+Q7
 SLU174 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C+Q7
 SLU175 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D+Q7
 SLU176 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E+Q7
 SLU177 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q7
 SLU178 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-A+Q7
 SLU179 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-B+Q7
 SLU180 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-C+Q7
 SLU181 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-D+Q7
 SLU182 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-E+Q7
 SLU183 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q7
 SLU184 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 SLU185 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 SLU186 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 SLU187 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 SLU188 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 SLU189 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q7
 SLU190 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-A+Q7
 SLU191 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU192 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU193 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU194 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-E+Q7
 SLU195 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q7
 SLU196 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+Q7



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	53 di 171

SLU197 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+Q7
SLU198 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+Q7
SLU199 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+Q7
SLU200 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+Q7
SLU201 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q7
SLU202 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q7
SLU203 G1+G2+1.35 G3+ Q7

5.3.3 Combinazioni ECC

ECC G1+G2+G3+G3_Q+Q8

5.3.4 Combinazioni SLE

Di seguito vengono riportate le 59 combinazioni SLE considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

QP01 G1+G2+G3+Q7
RARA01 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q7
RARA02 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-A+Q7
RARA03 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-B+Q7
RARA04 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-C+Q7
RARA05 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-D+Q7
RARA06 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-E+Q7
RARA07 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q7
RARA08 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-A+Q7
RARA09 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-B+Q7
RARA10 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-C+Q7
RARA11 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-D+Q7
RARA12 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-E+Q7
RARA13 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q7
RARA14 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-A+Q7
RARA15 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-B+Q7
RARA16 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-C+Q7
RARA17 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-D+Q7
RARA18 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-E+Q7
RARA19 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+Q7
RARA20 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-A+Q7
RARA21 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-B+Q7
RARA22 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-C+Q7
RARA23 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-D+Q7
RARA24 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-E+Q7
RARA25 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+Q7
RARA26 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-A+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	54 di 171

RARA27 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-B+Q7
 RARA28 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-C+Q7
 RARA29 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-D+Q7
 RARA30 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-E+Q7
 RARA31 G1+G2+G3+Q-A+Q7
 RARA32 G1+G2+G3+Q-B+Q7
 RARA33 G1+G2+G3+Q-C+Q7
 RARA34 G1+G2+G3+Q-D+Q7
 RARA35 G1+G2+G3+Q-E+Q7
 RARA36 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 RARA37 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 RARA38 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 RARA39 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 RARA40 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 RARA41 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-A+Q7
 RARA42 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-B+Q7
 RARA43 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-C+Q7
 RARA44 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-D+Q7
 RARA45 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-E+Q7
 RARA46 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-A+Q7
 RARA47 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-B+Q7
 RARA48 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-C+Q7
 RARA49 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-D+Q7
 RARA50 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-E+Q7
 FR01 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q7
 FR02 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q7
 FR03 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.75 0.6 Q5+Q7
 FR04 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-A+Q7
 FR05 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-B+Q7
 FR06 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-C+Q7
 FR07 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-D+Q7
 FR08 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-E+Q7
 FR09 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-A+Q7
 FR10 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-B+Q7
 FR11 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-C+Q7
 FR12 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-D+Q7
 FR13 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-E+Q7



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 55 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.3.5 Combinazioni SLV

Di seguito vengono riportate le 9 combinazioni SLV considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

SLV01 $G1+G2+G3+Ex(+)+Q7$

SLV02 $G1+G2+G3+Ex(+)+0.3 Ey(+)+0.3 Ez(+)+Q7$

SLV03 $G1+G2+G3+Ex(+)+0.3 Ey(+)+0.3 Ez(-)+Q7$

SLV04 $G1+G2+G3+Ey(+)+Q7$

SLV05 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+Ey(+)+0.3 Ez(+)+Q7$

SLV06 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+Ey(+)+0.3 Ez(-)+Q7$

SLV07 $G1+G2+G3+Ez(+)+Q7$

SLV08 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+0.3 Ey(-)+Ez(+)+Q7$

SLV09 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+0.3 Ey(+)+Ez(-)+Q7$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 56 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

5.4 RISULTATI DELL'ANALISI

Di seguito vengono riportati in forma tabellare e grafica i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni per le combinazioni di carico SLU, SLE, degli elementi maggiormente sollecitati (spalla):

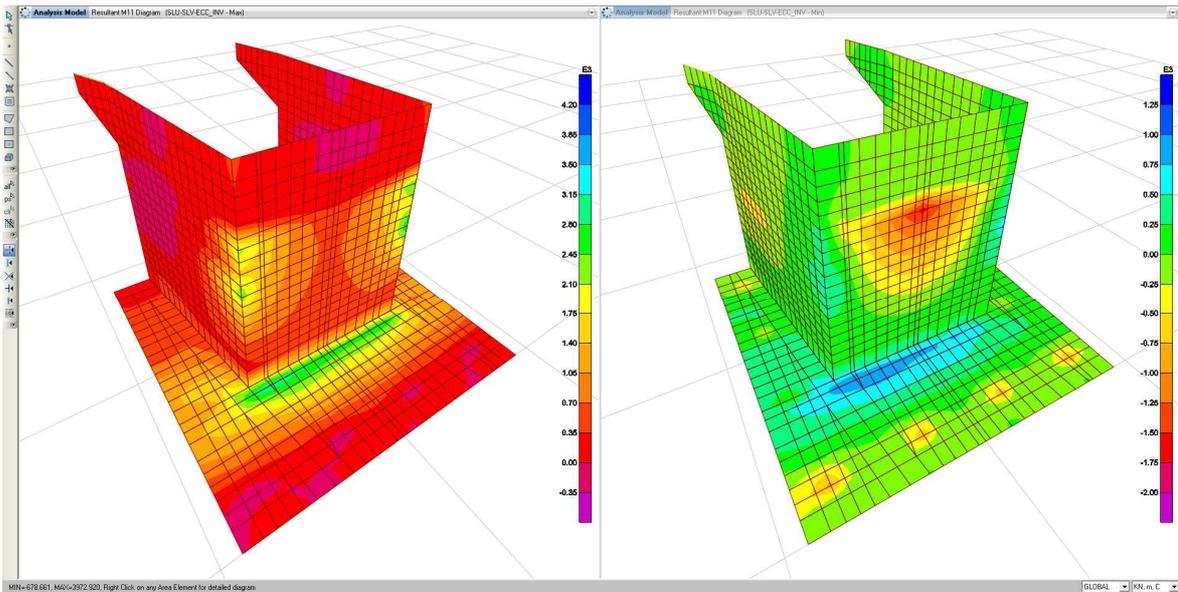


Diagramma dei momenti M11(SLU)

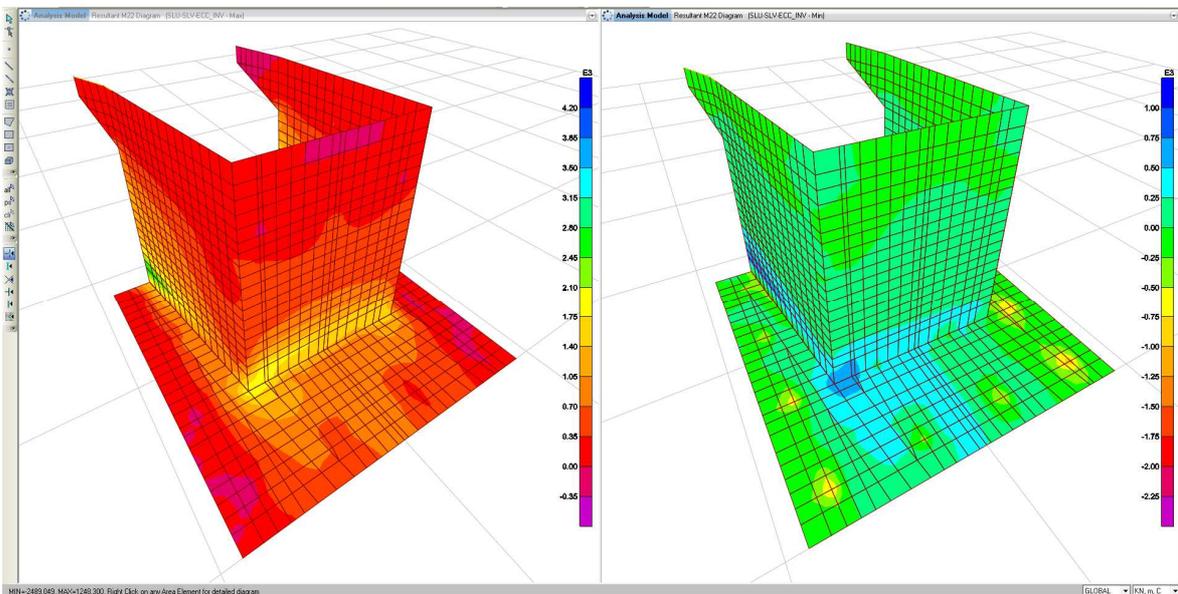


Diagramma dei momenti M22 (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 57 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

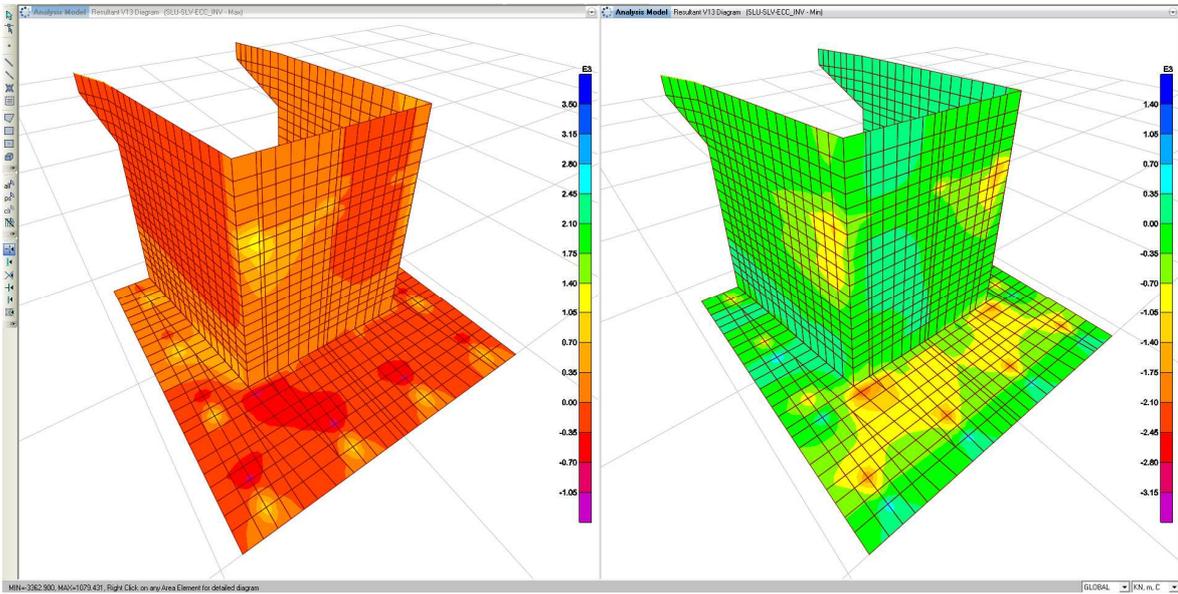


Diagramma dei tagli V13 (SLU)

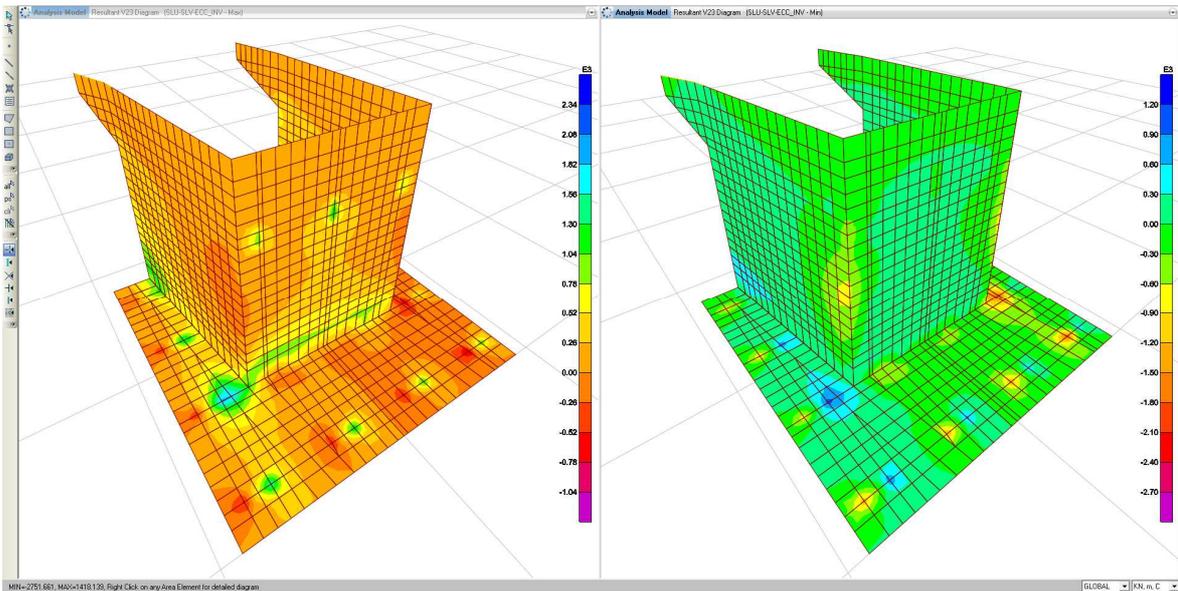


Diagramma dei tagli V23 (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 58 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

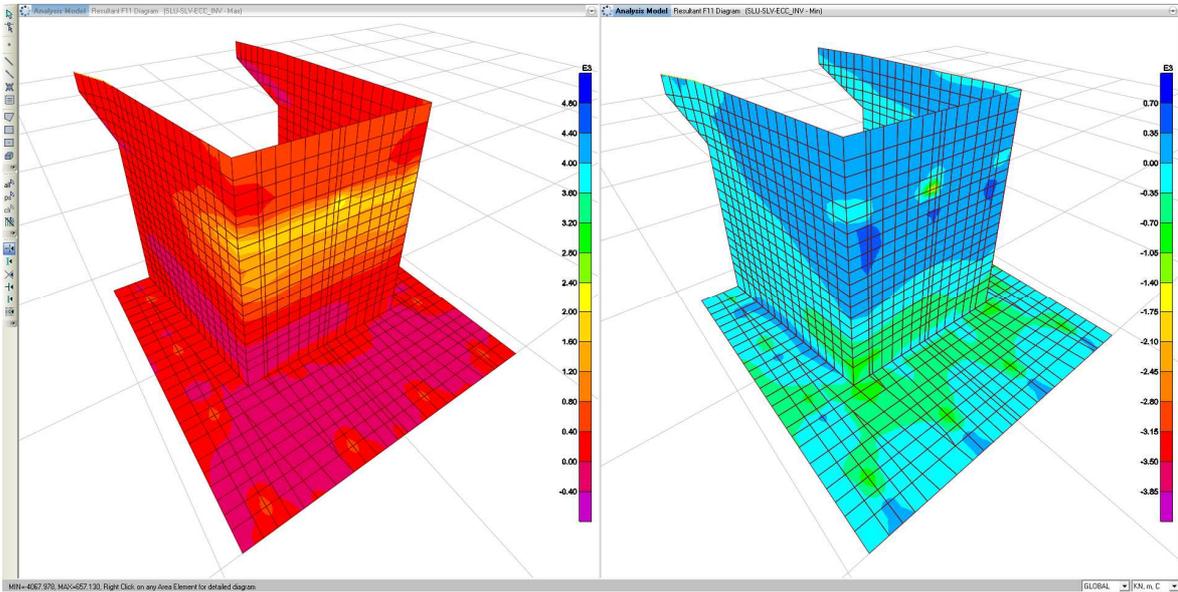


Diagramma delle azioni assiali F11 (SLU)

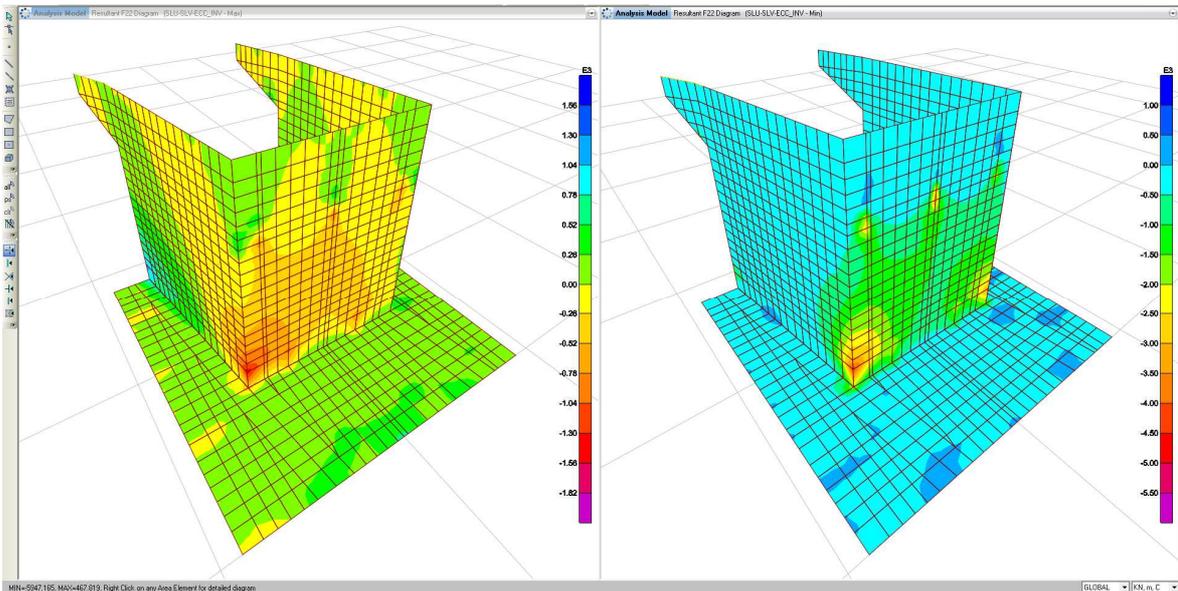


Diagramma delle azioni assiali F22 (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 59 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

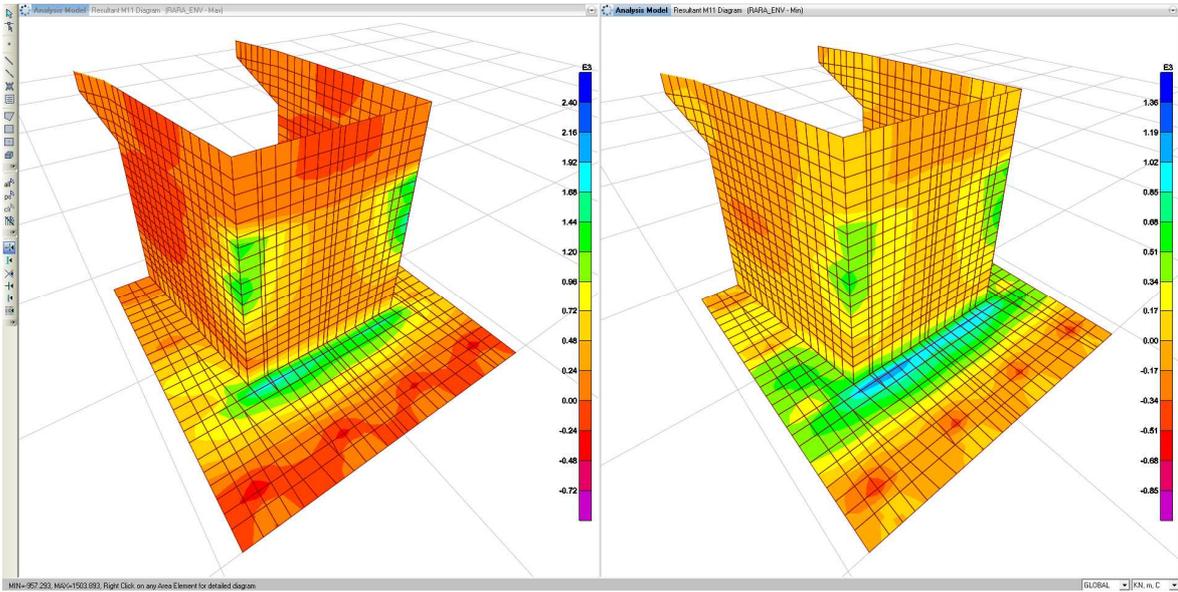


Diagramma dei momenti M11(SLE)

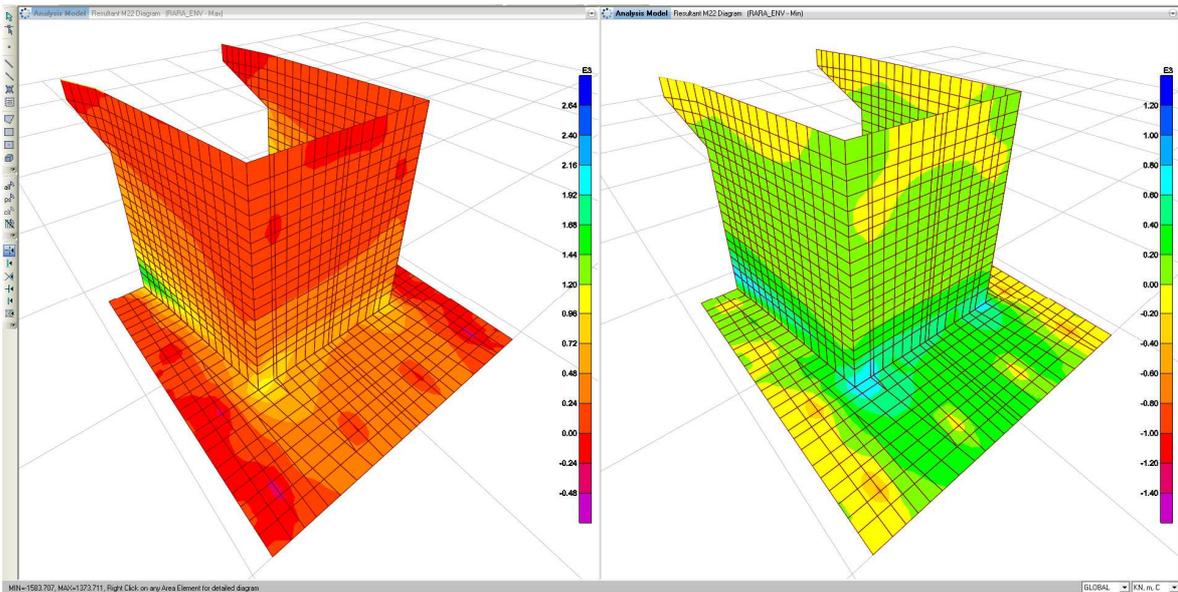


Diagramma dei momenti M22 (SLE)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 60 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

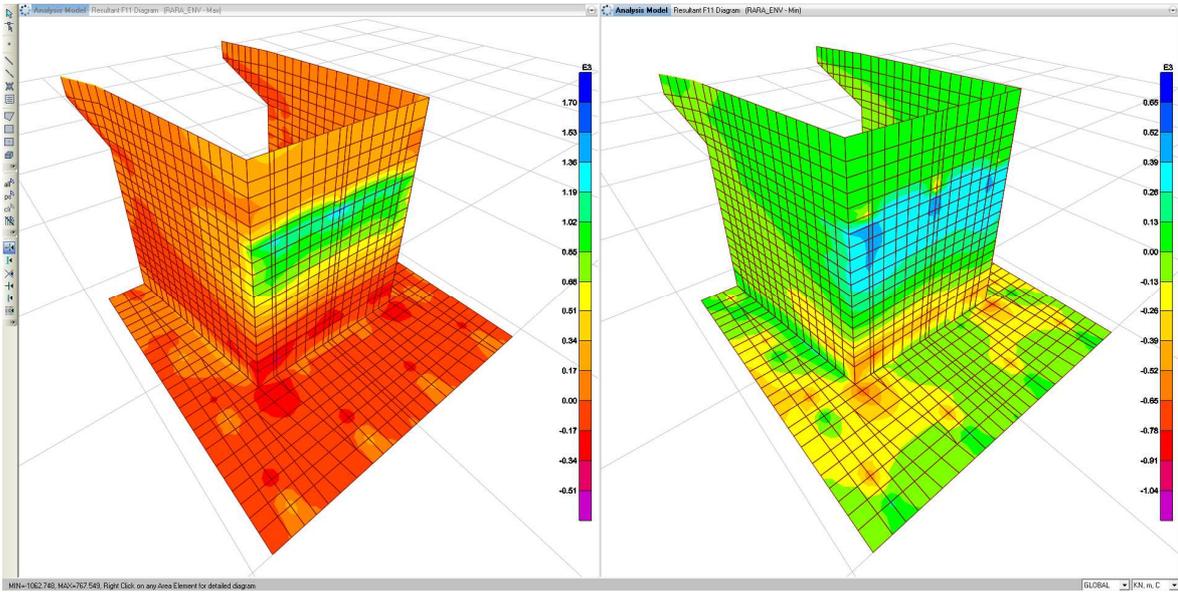


Diagramma delle azioni assiali F11 (SLE)

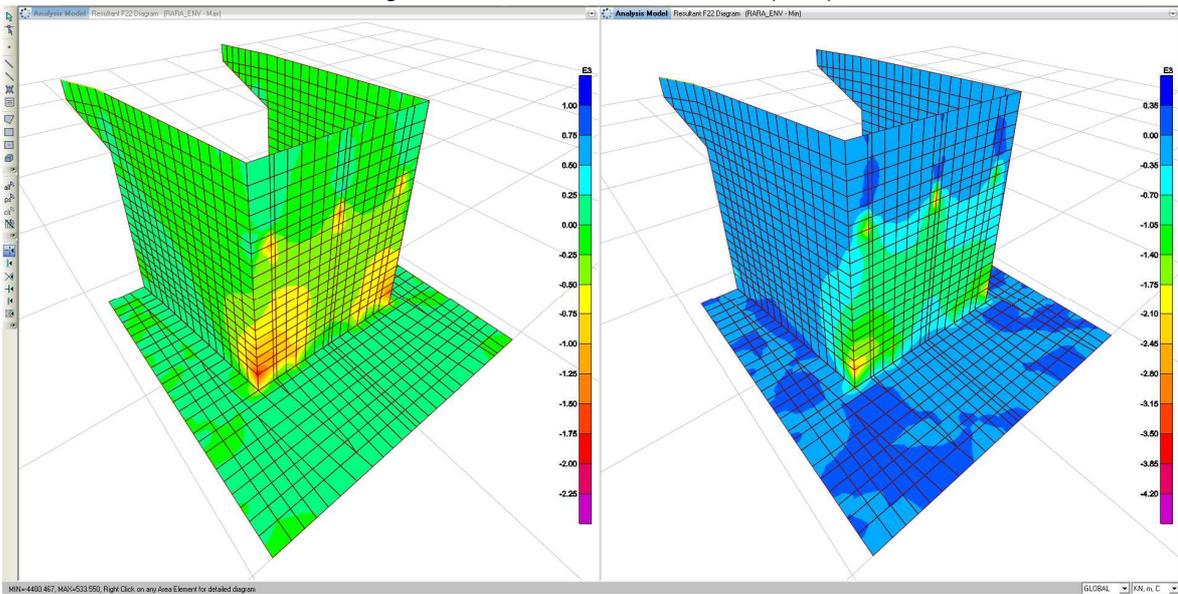


Diagramma delle azioni assiali F22 (SLE)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	61 di 171

5.4.1 Sezioni di calcolo

Il modello di calcolo descritto al precedente paragrafo fornisce, in riferimento a ciascun elemento shell, la distribuzione spaziale delle sollecitazioni di calcolo per unità di lunghezza in accordo con il sistema di riferimento locale dell'elemento shell descritto nella precedente ed in termini di:

- sforzi membranali (F11 e F22);
- sforzi taglianti (V13 e V23);
- sforzi flessionali (M11 e M22).

Per maggior chiarezza la seguente Fig. 5-25 illustra la definizione delle sollecitazioni sopra elencate in relazione al sistema di riferimento locale dell'elemento shell.

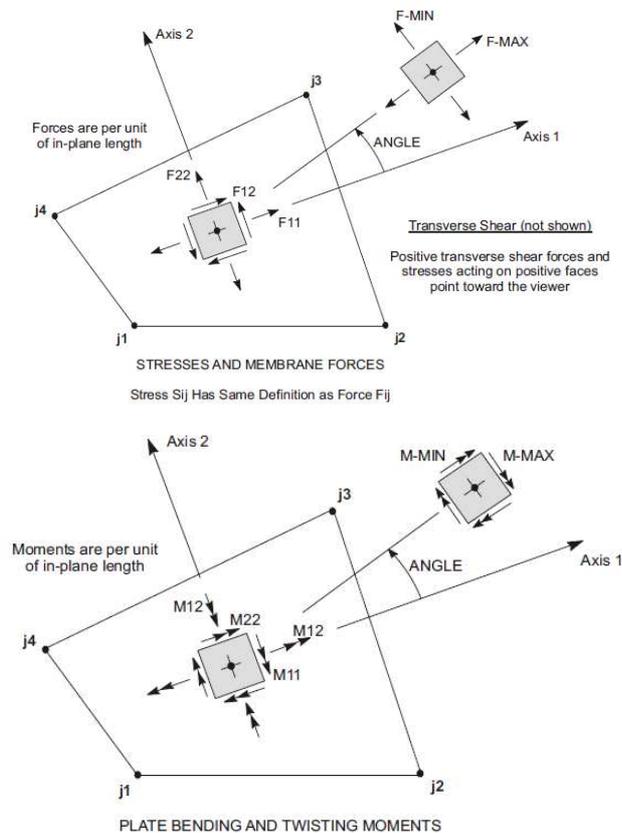


Fig. 5-25: Convenzione degli sforzi membranali, taglianti e flessionali utilizzata dal software di calcolo strutturale SAP2000.

Gli sforzi sopra descritti sono esplicitati automaticamente dal programma di calcolo attraverso apposite mappe di colore (si vedano i successivi paragrafi); tale funzione è stata utilizzata al fine di individuare le porzioni di struttura maggiormente sollecitate.

Una volta individuate le porzioni di struttura maggiormente impegnate sono state definite apposite sezioni di verifica per mezzo dello strumento "Section Cut" disponibile nel programma di calcolo utilizzato (di seguito richiamate per brevità con l'acronimo SC). Tale strumento consente di integrare automaticamente, sulla lunghezza considerata, i diversi contributi di sollecitazione interna (riferiti ai nodi di uno specifico elemento shell) fornendo le sollecitazioni di progetto in termini di sforzi normali, azioni flettenti ed azioni taglianti.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 62 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Le caratteristiche e la localizzazione delle SC esaminate sono riportate in Tab. 5-1 ed in Fig. 5.26.

Tab. 5-1: Definizione delle sezioni di verifica esaminate.

ID	LSC [m]	Verifiche		
		N-M	V	w
SCUT01	1.00	X	X	X
SCUT02	1.00	X	X	X
SCUT03	1.00	X	X	X
SCUT04	1.00	X	X	X
SCUT05	1.00	X	X	X
SCUT06	0.50	X	X	X
SCUT07	1.00	X	X	X
SCUT08	1.00	X	X	X
SCUT09	1.00	X	X	X
SCUT10	1.00	X	X	X
SCUT11	1.00	X	X	X
SCUT12	1.00	X	X	X
SCUT13	1.00	X	X	X
SCUT14	1.00	X	X	X
SCUT15	1.00	X	X	X

dove:

- ID: nome assegnato alla sezione di verifica;
- LSC: lunghezza della sezione di verifica;
- Verifiche: verifiche condotte sulla specifica SC:
- (N-M) presso-flessione retta;
- (V) taglio retto;
- (w) fessurazione;

Si precisa che per la tipologia di struttura in esame si ritengono esaustive le sole tipologie di verifica elencate in Tab. 5-1. Infatti, per via della configurazione geometrica degli elementi strutturali e del comportamento globale della struttura non sono ad esempio significative:

- presso-flessione deviata;
- taglio deviato o combinato;
- punzonamento tra ciabatta e pali di fondazione.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	63 di 171

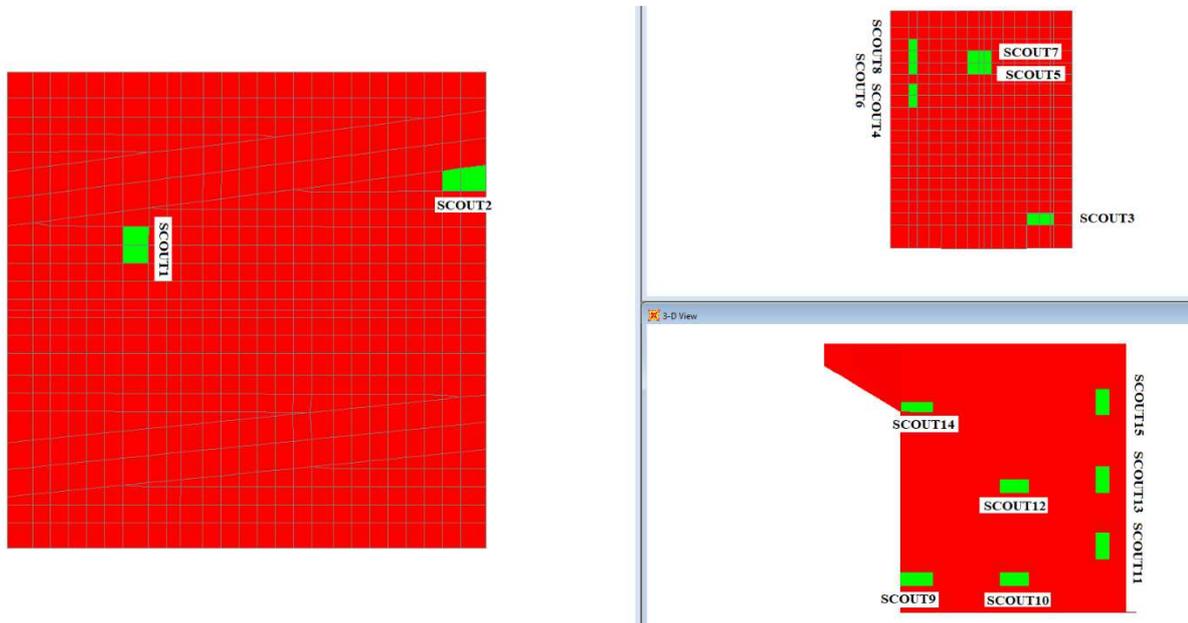


Fig.5-26: Localizzazione delle sezioni di verifica prese in esame.

Le sollecitazioni di progetto ricavate per ogni sezione di verifica sono state quindi riferite ad una sezione resistente di larghezza unitaria (1.00 m) dividendole per la lunghezza LSC. In tal modo si ottengono le seguenti sollecitazioni di progetto e di verifica:

- N: sforzo normale di progetto (positivo se di compressione);
- M: azione flettente di progetto (positiva se tende le fibre controterra);
- T: azione tagliante di progetto.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 64 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.4.2 Sollecitazioni significative allo SLU

In tabella sono sintetizzati i valori maggiormente significativi delle sollecitazioni di progetto per le SC esaminate relative all'involuppo delle sollecitazioni massime e minime sia allo SLU che allo SLV e all'ECC.

	SLU-SLV-ECC		
	N	M	T
	[kN]	[kNm]	[kN]
SCUT01	/	2469	1373
SCUT02	/	-1966	812
SCUT03	1141	-1936	1039
SCUT04	/	-2057	1470
SCUT05	27.5	-306	338
SCUT06	/	-561	403
SCUT07	20	-181	161
SCUT08	/	-89	295
SCUT09	241.5	-2547	1148
SCUT10	241.5	-1361	576
SCUT11	/	-1752	1155
SCUT12	91.5	-1101	551
SCUT13	/	-1008	812
SCUT14	31.5	-466	347
SCUT15	/	-199	363

Tab. 5-2: Valori delle sollecitazioni allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

5.4.3 Sollecitazioni significative allo SLE

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i valori maggiormente significativi da involuppo delle sollecitazioni di progetto per le SC esaminate.

	SLE_rara		SLE_freq		SLE_qp	
	N	M	N	M	N	M
	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]
SCUT01	/	1412	/	1277	/	909
SCUT02	/	-1235	/	-1010	/	-336
SCUT03	1141	-924	1141	-837	1141	-603
SCUT04	/	-1278	/	-1066	/	-448
SCUT05	27.5	-134	27.5	-101	27.5	-26
SCUT06	/	-396	/	-323	/	-170
SCUT07	20	-119	20	-81	20	-24
SCUT08	/	-196	/	-148	/	-87
SCUT09	241.5	-1449	241.5	-1192	241.5	-853
SCUT10	241.5	-1127	241.5	-984	241.5	-579
SCUT11	/	-1148	/	-964	/	-497
SCUT12	91.5	-559	91.5	-478	91.5	-141
SCUT13	/	-876	/	-624	/	-325
SCUT14	31.5	-310	31.5	-722	31.5	-59
SCUT15	/	-116	/	-101	/	-85

Tab. 5-3: Sollecitazioni massime e minime significative allo SLE – RARA-FREQ-QP
 I momenti negative tendono le fibre interne delle struttura.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 65 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

5.4.4 sollecitazioni massime sui pali

In Tab. 5-4 sono sintetizzati i valori maggiormente significativi delle reazioni in testa ai pali in termini di:

- N: sforzo assiale massimo/minimo (positivo se di compressione);
- M : azione flettente giroscopica;
- T: azione tagliante giroscopica.

Tab. 5-4: Valori delle reazioni in testa ai pali.

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	T	N	M
				[kN]	[kN]	[kNm]
83	SLU-SLV-ECC_INV	Combination	Mmax	1050.65	2555.58	2618.42
23	SLU-SLV-ECC_INV	Combination	Nmax	1265.44	3068.81	1756.06
107	SLU-SLV-ECC_INV	Combination	Nmin	551.56	260.69	502.54
23	SLU-SLV-ECC_INV	Combination	Tmax	1265.44	3068.81	1756.06

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	T	N	M
				[kN]	[kN]	[kNm]
23	RARA_ENV	Combination	Mmax	353.23	1735.11	636.93
23	RARA_ENV	Combination	Nmax	563.87	2135.09	286.98
107	RARA_ENV	Combination	Nmin	220.24	1381.78	300.31

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	T	N	M
				[kN]	[kN]	[kNm]
23	FR_ENV	Combination	Mmax	354.13	1742.96	635.87
23	FR_ENV	Combination	Nmax	511.79	2025.28	370.40
107	FR_ENV	Combination	Nmin	222.62	1444.01	308.44

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	T	N	M
				[kN]	[kN]	[kNm]
23	QP001-NL-N	Combination	Mmax	355.58	1735.11	636.30
24	QP001-NL-N	Combination	Nmax	331.08	1751.35	556.61
107	QP001-NL-N	Combination	Nmin	222.99	1622.94	347.58

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 66 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.5 CRITERI DI VERIFICA

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Risultando in particolare: :

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$; $w_2 = 0.3 \text{ mm}$; $w_3 = 0.4 \text{ mm}$

Nel caso in esame si ha:

Condizioni Ambientali: aggressive

Armature: Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente: $w_1 \leq 0.2 \text{ mm}$

Combinazione Frequente: $w_2 \leq 0.3 \text{ mm}$

Nell'ambito della verifica a fessurazione con metodo diretto nei casi in cui la sollecitazione flessionale risulta superiore al momento di prima fessurazione calcolato in accordo al punto 4.1.2.2.4 delle NTC08, si controlla che l'apertura delle fessure sia inferiore a quella limite prevista dalla norma per condizioni ambientali aggressive corrispondenti alla classe di esposizione e armature poco sensibili.

Per quanto riguarda le verifiche tensionali del conglomerato e delle barre d'armatura si fa riferimento al punto 4.1.2.2.5 delle NTC08.

Il fattore di comportamento utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni di natura sismica è unitario ($q=1$). Di conseguenza, in accordo con il punto 7.3.1 delle NTC08, la capacità delle membrature è stata valutata secondo le regole di cui al punto 4.1 delle stesse NTC08, senza nessun requisito aggiuntivo.



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 67 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Per quanto riguarda i quantitativi minimi di armature, in accordo con il punto 7.4.6.2.4 delle vigenti NTC08, occorre prevedere un'armatura secondo due direzioni ortogonali e per l'intera estensione dell'elemento strutturale lo 0.1% dell'area della sezione trasversale di calcestruzzo sia inferiormente che superiormente.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 68 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.6 VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE

I criteri generali di verifica seguiti sono conformi a quanto previsto al punto 4.1.2 delle NTC08 secondo i quali:

- la verifica SLU a presso/tenso-flessione per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica SLU a taglio per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica tensionale relativa ad acciaio e calcestruzzo allo SLE per azioni di natura statica;
- la verifica a fessurazione allo SLE per azioni di natura statica;

Le verifiche sono condotte su sezioni resistenti di larghezza unitaria ($b=1.00$ m), altezza (h) pari allo spessore della porzione di struttura di volta in volta analizzata e caratteristiche geometrico-meccaniche sintetizzate in Tab. 5-5.

La simbologia adottata, rappresentata in Tab.5-5 ha il significato di seguito riportato:

- ID: nome assegnato alla sezione di verifica;
- h: altezza della sezione;
- As: area di armatura presente in corrispondenza dell' i -esimo strato considerato;
- d: distanza dello strato i -esimo di armatura dal lembo esterno compresso della sezione;
- Asw: area di armatura a taglio al m^2 .

Tab. 5-5: Caratteristiche meccaniche delle SC in analisi.

ID	ID	h [cm]	1° strato TESO		2° strato TESO		1° strato COMPRESSO		Asw [mm ² /m ²]
			As [mm ² /m]	d [cm]	As [mm ² /m]	d [cm]	As [mm ² /m]	d [cm]	
FONDAZIONE	SC01	200	1Ø24/10 [4520]	7.7			1Ø24/10 [4520]	192.3	1Ø14/40x40 [962]
	SC02	200	1Ø20/10 [3140]	5.5			1Ø20/20 [1571]	194.5	1Ø14/40x40 [962]
MURO FRONTALE	SC03	200	1Ø24/10 [4520]	7.7			1Ø20/20 [1571]	192.5	1Ø14/40x40 [962]
	SC04	200	1Ø20/10 [3140]	5.5			1Ø20/20 [1571]	194.5	1Ø14/40x40 [962]
RINGROSSO PARAGHIAIA	SC05	60	1Ø20/20 [1571]	7.5			1Ø16/20 [1005]	53.1	1Ø14/40x40 [962]
	SC06	60	1Ø20/10 [3140]	5.5			1Ø16/20 [1005]	54.7	1Ø14/40x40 [962]
PARAGHIAIA	SC07	40	1Ø20/20 [1571]	7.1			1Ø16/20 [1005]	33.1	1Ø14/40x40 [962]
	SC08	40	1Ø16/10 [2010]	5.3			1Ø16/20 [1005]	34.7	1Ø14/40x40 [962]
MURO RISVOLTO BASE	SC09	150	1Ø24/10 [4520]	7.7			1Ø20/20 [1571]	142.5	1Ø14/40x40 [962]
	SC10	150	1Ø24/10 [4520]	7.7			1Ø20/20 [1571]	142.5	1Ø14/40x40 [962]
	SC11	150	1Ø20/10 [3140]	5.5			1Ø20/20 [1571]	144.5	1Ø14/40x40 [962]
MURO DI RISVOLTO INTERMEDIO	SC12	100	1Ø20/10 [3140]	7.5			1Ø20/20 [1571]	92.5	1Ø14/40x40 [962]
	SC13	100	1Ø20/10 [3140]	5.5			1Ø20/20 [1571]	94.5	1Ø14/40x40 [962]
MURO DI RISVOLTO TESTA	SC14	50	1Ø20/10 [3140]	7.1			1Ø16/20 [1005]	43.1	1Ø14/40x40 [962]
	SC15	50	1Ø16/10 [2010]	5.3			1Ø16/20 [1005]	44.7	1Ø14/40x40 [962]

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 69 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Nei seguenti paragrafi sono riportate le verifiche significative per ciascuna delle sezioni analizzate e quindi quelle alle quali sono associati i maggiori "Indici di Sfruttamento" (IS). Lo sforzo normale è considerato nullo, in favore di sicurezza, negli elementi della fondazione e nella verifica delle armature orizzontali delle pareti verticali.

5.6.1 Verifiche agli stati limite

Verifica flessionale

Le verifiche sono state effettuate con il programma RC-SEC della GEOSTRU (Versione 2022).

In Tab. 5-6 sono riportate le verifiche a presso/tenso-flessione delle SC esaminate relative all'inviluppo delle sollecitazioni massime e minime sia allo SLU, che allo SLV e all'ECC. Oltre ai termini NSd e MSd definiti al precedente paragrafo nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- MRd: sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo, calcolato per la combinazione più gravosa.

Tab. 5-6: Verifiche a presso/tenso-flessionali allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

FONDAZIONE

ID	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	MRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT01	-	2469	3535	1.43
SCUT02	-	1966	2498	1.27

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	MRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT03	1141	1936	4510	2.31
SCUT05	27.5	306	339	1.11
SCUT07	20	181	207	1.15
SCUT09	241.5	2547	2737	1.07
SCUT10	241.5	1361	2737	1.47
SCUT12	91.5	1101	1197	1.09
SCUT14	31.5	466	519	1.12

ARMATURE ORIZZONTALI PARETI

ID	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	MRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT04	-	2057	2490	1.21
SCUT06	-	561	671	1.20
SCUT08	-	89	270	3.04
SCUT11	-	1752	1839	1.05
SCUT13	-	1008	1188	1.18
SCUT15	-	199	353	1.78

Le verifiche risultano soddisfatte.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 70 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Verifica a taglio

Dalle tabelle innanzi riportate si ricava il taglio massimo sulle sezioni più significative, di seguito si riporta la verifica a taglio delle sezioni prese in esame:

Tab. 5-7: Verifiche a taglio allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

FONDAZIONE

ID	NSd [kN/m]	TSd [kNm/m]	TRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT01	-	1373	1628	1.18
SCUT02	-	812	1647	2.02

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	NSd [kN/m]	TSd [kNm/m]	TRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT03	1141	1039	1710	1.64
SCUT05	27.5	338	471	1.39
SCUT07	20	161	286	1.77
SCUT09	241.5	1148	1270	1.10
SCUT10	241.5	576	1270	2.20
SCUT12	91.5	551	824	1.49
SCUT14	31.5	347	369	1.06

ARMATURE ORIZZONTALI PARETI

ID	NSd [kN/m]	TSd [kNm/m]	TRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT04	-	1470	1768	1.20
SCUT06	-	403	479	1.18
SCUT08	-	295	302	1.02
SCUT11	-	1155	1306	1.13
SCUT13	-	812	845	1.04
SCUT15	-	363	394	1.08

Le verifiche risultano soddisfatte.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 71 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Verifiche allo SLE

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche condotte allo SLE.

Verifica di fessurazione

In Tab. 5-8 sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le SC esaminate allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- wk: massima apertura delle fessure
- Mcr: sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;

Tab. 5-8: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE per le SC in analisi.

FONDAZIONE

ID	SLE-FR				SLE-QP			
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]
SCUT01	-	1277	-	0.256	-	909	-	0.182
SCUT02	-	1010	-	0.227	-	336	-	0.076

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	SLE-FR				SLE-QP			
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]
SCUT03	1141	837	-	0.03	1141	603	-	0.007
SCUT05	27.5	101	-	0.286	27.5	26	-	0.05
SCUT07	20	81	-	0.284	20	24	-	0.076
SCUT09	241.5	1192	-	0.286	241.5	853	-	0.194
SCUT10	241.5	984	-	0.229	241.5	579	-	0.12
SCUT12	91.5	478	-	0.275	91.5	241	-	0.066
SCUT14	31.5	222	-	0.227	31.5	59	-	0.056

ARMATURA ORIZZONTALE PARETI

ID	SLE-FR				SLE-QP			
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]
SCUT04	-	1066	-	0.24	-	448	-	0.101
SCUT06	-	323	-	0.242	-	170	-	0.127
SCUT08	-	148	-	0.266	-	87	-	0.148
SCUT11	-	964	-	0.297	-	497	-	0.15
SCUT13	-	624	-	0.293	-	325	-	0.149
SCUT15	-	101	-	0.156	-	85	-	0.131

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti descritti al precedente paragrafo (SLE-FR: $w_{lim} = 0.3$ mm; SLE-QP: $w_{lim} = 0.2$ mm).

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 72 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

Verifica tensionali

In Tab.5-9 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle SC esaminate. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

$\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;

$\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Tab. 5-9: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE per le SC in analisi.

FONDAZIONE

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]
SCUT01	-	1412	3.06	173.30	-	909	1.97
SCUT02	-	1235	3.32	214.87	-	336	0.90

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]
SCUT03	1141	924	2.23	25.76	1141	603	1.47
SCUT05	27.5	134	3.87	168.03	27.5	26	0.76
SCUT07	20	119	7.49	252.21	20	24	1.52
SCUT09	241.5	1149	5.72	221.55	241.5	853	3.41
SCUT10	241.5	1127	4.47	167.18	241.5	579	2.35
SCUT12	91.5	559	4.96	197.00	91.5	241	1.29
SCUT14	31.5	310	9.76	257.54	31.5	59	1.89

ARMATURA ORIZZONTALE PARETI

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]
SCUT04	-	1278	3.44	222.35	-	448	1.21
SCUT06	-	396	8.10	256.76	-	170	3.51
SCUT08	-	196	10.00	316.65	-	87	4.49
SCUT11	-	1148	4.91	271.18	-	497	2.12
SCUT13	-	876	7.30	321.16	-	325	2.71
SCUT15	-	116	4.24	155.66	-	85	2.86

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

allo SLE in combinazione di carico rara le massime tensioni rispettivamente su calcestruzzo e barre d'armatura risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC08 pari a:



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 73 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

$\sigma_{c,lim}=0.60 \cdot f_{ck} = 18.0 \text{ MPa};$

- Rck = 37 Mpa: elevazione

$\sigma_{c,lim}=0.60 \cdot f_{ck} = 19.2 \text{ MPa};$

- Rck = 40 Mpa: fondazione

$\sigma_s,lim=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0 \text{ MPa}.$

allo SLE in combinazione di carico quasi permanente le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC08 pari a:

$\sigma_{c,lim}=0.45 \cdot f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}.$

- Rck = 37 Mpa: elevazione

$\sigma_{c,lim}=0.45 \cdot f_{ck} = 14.4 \text{ MPa};$

- Rck = 40 Mpa: fondazione

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 74 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5.1 VERIFICA GEOTECNICA E STRUTTURALI DEI PALI

5.1.1 Verifica geotecnica a carico limite dei pali

In questo paragrafo verrà affrontato il problema del carico limite dei pali di lunghezza pari a 25 m. In particolare si andrà a confrontare la sollecitazione assiale agente a quota intradosso solettone inferiore con la resistenza geotecnica dei pali (capacità portante dei pali).

5.1.2 Criteri di verifica delle palificate di fondazione

Le verifiche geotecniche delle spalle dell'opera constano del dimensionamento geotecnico della palificata di fondazione, in termini di diametro, lunghezza, numero e disposizione dei pali di fondazione.

In particolare si esegue la seguente procedura di calcolo:

- calcolo dei carichi assiali su ciascun palo;
- calcolo dei carichi orizzontali su ciascun palo;
- dimensionamento dei pali di fondazione ai fini del soddisfacimento delle verifiche di capacità portante degli stessi (A1+M1+R3).

Le opere in oggetto presentano una fondazione indiretta costituita da pali trivellati, il cui valore di progetto Rd della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico Rk applicando i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella successiva:

	Coefficiente Parziale (γ_{R3})	γ_{R3}
Base	γ_b	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1.15
Totale *	γ_t	1.30
Laterale in trazione	γ_{st}	1.25
(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.		

Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

La resistenza caratteristica Rk del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove Rk è calcolata a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l'impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ. La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza Rc,k (o Rt,k) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate Rc,calc (Rt,calc) i fattori di correlazione ξ riportati nella tabella seguente, in funzione del numero n di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 75 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

n	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Fattori di correlazione ξ

La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a $\xi_3 = \xi_4 = 1.70$.

5.1.3 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi assiali

Il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione è condotto con i coefficienti parziali da applicare alla resistenza laterale e alla punta che tengono conto del fattore di correlazione ξ . In ciascuna combinazione prevista deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq Q_{Sd}$$

dove:

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

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$Q_b = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot q_b;$$

$$Q_s = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_s;$$

D = diametro del palo;

L = lunghezza del palo;

q_b = pressione limite alla base del palo;

τ_s = pressione laterale lungo il palo;

R_i e ξ = coefficienti di abbattimento delle resistenze;

W_{palo} = peso caratteristico del palo al netto del peso del terreno asportato;

In particolare, per terreni coesivi:

$$q_b = 9 \cdot c_{ub} + \sigma_{v0}$$

$$\tau_s = \alpha \cdot c_u$$

per terreni incoerenti:

$$q_b = N_q \cdot \sigma_{v0}$$

$$q_s = k_i \cdot \tan \phi \cdot \sigma_{v0}$$

dove:

c_u = coesione non drenata;

c_{ub} = coesione non drenata alla base del palo;

σ_{v0} = tensione litostatica totale;

α = coefficiente empirico;

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 76 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------

$k_i = 0.55$;

N_q = fattore di capacità portante, valutato secondo le indicazioni di Berezantzev, di seguito riportate:

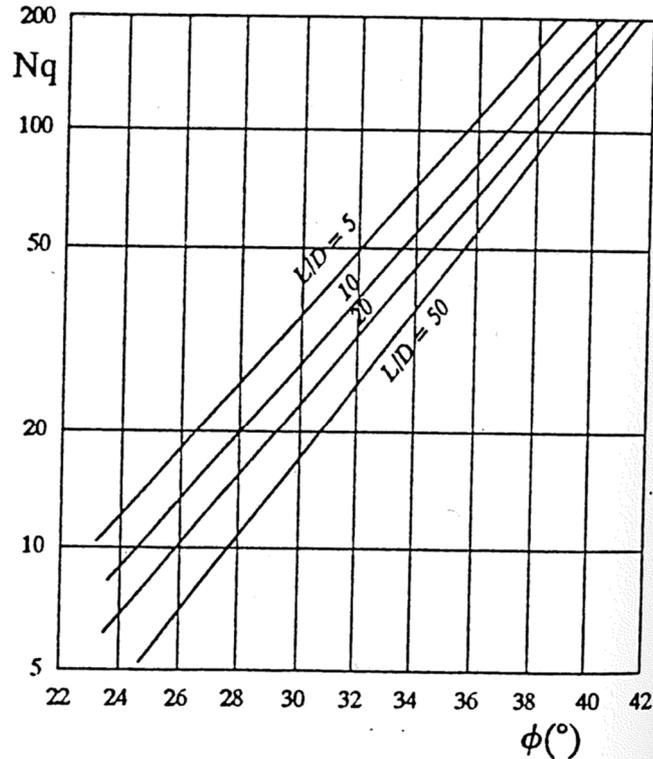


Fig. 13.6. Valori di N_q secondo Berezantzev *et al.* (1961)

Valori del fattore N_q proposti da Berezantzev

Per quanto riguarda il coefficiente empirico α , possono considerarsi i valori della tabella seguente:

c_u (kPa)	α
≤ 25	0.9
Da 25 a 50	0.8
Da 50 a 75	0.6
≥ 75	0.4

La curva di capacità per il caso in esame sulla base della stratigrafia riportata al paragrafo 4 è riportata in figura seguente:



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	77 di 171

CAPACITA' PORTANTE PALO IN COMPRESSIONE (A1+M1+R3)

h =	3.14	
Interrasse pali	3.6	m
Diametro palo =	1.2	m
Quota Falda da p.c. =	5.00	m
Quota Falda da testa palo =	0.00	m
Quota P.C. =	5.0	m
Quota testa pali (z=0) =	0.0	m

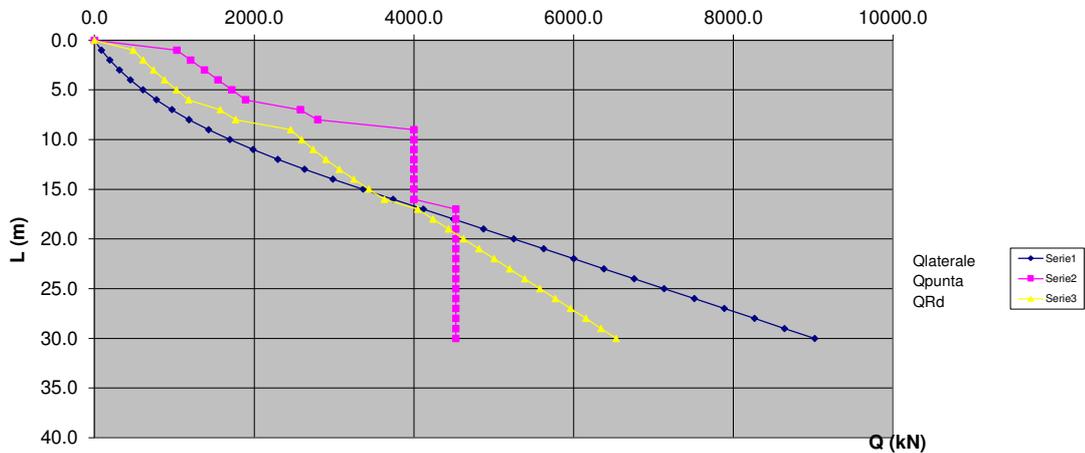
N =	3069.00	kN
R3(QB) =	1.35	
R3(Qd) =	1.15	
γ _s =	1.70	
γ _{sc} =	1.70	
Fattore di riduzione capacità portante	1.00	

strato	γ (kN/m ³)	φ (°)	c _v (kPa)	N ₆₀	
1	19.0	25.0	-	8.0	Ecia
2	19.0	26.0	-	10.0	Salt - Substrato alterato argilloso
3	23.5	27.0	-	15.0	Ap
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

- Il fattore di riduzione tiene conto dell'Interrasse dei pali della paratia

CAPACITA' PORTANTE PARATIA DI PALI																							
strato	z (m)	Δh(m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	φ (°)	c _v (kPa)	c _u (kPa)	c _v (kPa) a Δh/2	q _b (kPa)	q _{bmax} (kPa)	α	k _i 'tanφ'	σ _i (kPa)	σ _{max} (kPa)	Q _b	q _i	Q _L	W _{palo}	QRd	N	F _{float}	z (m)	
1	0.0	0.00	19.0	9.0	25.0	-	95.0	0.0	0.0	4000.0	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3069.00	0.00	0.0	
1	1.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	114.0	59.5	912.0	4000.0	0.4	0.2	23.2	100.0	1031.4	87.5	87.5	6.8	487.4	3069.00	0.16	1.0	
1	2.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	133.0	118.5	1064.0	4000.0	0.4	0.2	27.6	100.0	1203.4	104.2	191.6	13.6	608.8	3069.00	0.20	2.0	
1	3.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	152.0	137.5	1216.0	4000.0	0.4	0.2	32.1	100.0	1375.3	120.9	312.5	20.3	738.7	3069.00	0.24	3.0	
1	4.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	171.0	156.5	1368.0	4000.0	0.4	0.2	36.5	100.0	1547.2	137.6	450.0	27.1	877.2	3069.00	0.29	4.0	
1	5.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	190.0	175.5	1520.0	4000.0	0.4	0.2	40.9	100.0	1719.1	154.3	604.3	33.9	1024.2	3069.00	0.33	5.0	
1	6.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	209.0	194.5	1672.0	4000.0	0.4	0.2	45.3	100.0	1891.0	171.0	775.3	40.7	1179.8	3069.00	0.38	6.0	
2	7.0	1.00	19.0	9.0	26.0	-	228.0	213.5	1824.0	4000.0	0.4	0.2	52.1	100.0	2078.6	196.3	971.5	47.5	1373.1	3069.00	0.51	7.0	
2	8.0	1.00	19.0	9.0	26.0	-	247.0	232.5	1976.0	4000.0	0.4	0.2	56.7	100.0	2193.5	213.7	1189.3	54.3	1569.2	3069.00	0.58	8.0	
3	9.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	270.5	253.8	2057.5	4000.0	0.4	0.3	64.6	100.0	2400.0	243.7	1429.0	15.3	1458.6	3069.00	0.80	9.0	
3	10.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	294.0	277.3	2110.0	4000.0	0.4	0.3	70.6	100.0	2600.0	266.3	1695.3	17.0	1593.1	3069.00	0.84	10.0	
3	11.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	317.5	300.8	2162.5	4000.0	0.4	0.3	76.6	100.0	2800.0	288.9	1984.1	18.7	1739.2	3069.00	0.89	11.0	
3	12.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	341.0	324.3	2215.0	4000.0	0.4	0.3	82.6	100.0	3000.0	311.4	2295.5	20.3	1896.8	3069.00	0.94	12.0	
3	13.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	364.5	347.8	2267.5	4000.0	0.4	0.3	88.6	100.0	3200.0	334.0	2629.5	22.0	2065.9	3069.00	1.00	13.0	
3	14.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	388.0	371.3	2320.0	4000.0	0.4	0.3	94.6	100.0	3400.0	356.6	2986.1	23.7	2246.6	3069.00	1.06	>1	14.0
3	15.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	411.5	394.8	2372.5	4000.0	0.4	0.3	100.6	100.0	3600.0	377.0	3363.1	25.4	2437.7	3069.00	1.12	>1	15.0
3	16.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	435.0	418.3	2425.0	4000.0	0.4	0.3	106.6	100.0	3800.0	397.0	3740.1	27.1	2628.9	3069.00	1.18	>1	16.0
3	17.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	458.5	441.8	2477.5	4000.0	0.4	0.3	112.5	100.0	4000.0	417.0	4117.1	28.8	2830.3	3069.00	1.22	>1	17.0
3	18.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	482.0	465.3	2530.0	4000.0	0.4	0.3	118.5	100.0	4200.0	437.0	4494.1	30.5	3042.4	3069.00	1.28	>1	18.0
3	19.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	505.5	488.8	2582.5	4000.0	0.4	0.3	124.5	100.0	4400.0	457.0	4871.1	32.2	3264.6	3069.00	1.34	>1	19.0
3	20.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	529.0	512.3	2635.0	4000.0	0.4	0.3	130.5	100.0	4600.0	477.0	5248.0	33.9	3497.7	3069.00	1.41	>1	20.0
3	21.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	552.5	535.8	2687.5	4000.0	0.4	0.3	136.5	100.0	4800.0	497.0	5625.0	35.6	3740.3	3069.00	1.47	>1	21.0
3	22.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	576.0	559.3	2740.0	4000.0	0.4	0.3	142.5	100.0	5000.0	517.0	6002.0	37.3	4004.0	3069.00	1.53	>1	22.0
3	23.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	599.5	582.8	2792.5	4000.0	0.4	0.3	148.5	100.0	5200.0	537.0	6379.0	39.0	4276.1	3069.00	1.59	>1	23.0
3	24.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	623.0	606.3	2845.0	4000.0	0.4	0.3	154.4	100.0	5400.0	557.0	6756.0	40.7	4566.3	3069.00	1.66	>1	24.0
3	25.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	646.5	629.8	2897.5	4000.0	0.4	0.3	160.4	100.0	5600.0	577.0	7133.0	42.4	4864.4	3069.00	1.72	>1	25.0

Diagramma dei carichi limite in funzione delle lunghezze



Curva di portanza pali A1+M1+R3 – COMPRESSIONE



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 78 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Sollecitazioni Pali

La sollecitazione agente in testa ai pali è valutata a partire dai pesi propri e carichi interagenti con gli elementi costituenti la galleria ricavati dal modello di calcolo pari a:

PALO L=25.00 m

$N_{C,palo,d} = 3069 \text{ kN}$ Sforzo normale di compressione di design (A1+M1+R3); (vedi NTC2008: §6.4.3.1)

$N_{T,palo,d} = 0 \text{ kN}$ Sforzo normale di trazione di design (A1+M1+R3); (vedi NTC2008: §6.4.3.1)

Risultati Verifica

Confrontando lo sforzo di compressione agente nei pali appena determinato con i valori di resistenza riportati nella curva di capacità portante dei pali sopra riportata, risulta:

$L_{palo} = 25 \text{ m}$ lunghezza palo
 $a = 0.0 \text{ m}$ Parte di palo fuori terra (altezza di palo scalzato)
 $L_i = 25.0 \text{ m}$ Lunghezza palo infissa

$N_{cpalo,d} = 3069 \text{ kN} \leq Q_{Rd} = 5577 \text{ kN}$ - F.S pari a **1.82**

La verifica a carico limite è quindi soddisfatta con un F.S pari a **1.82**.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 79 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

5.1.4 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali

Carico orizzontale limite

Il carico orizzontale limite H_{lim} è stato calcolato in accordo alla teoria proposta da Broms (1984).

Le ipotesi assunte da Broms sono le seguenti:

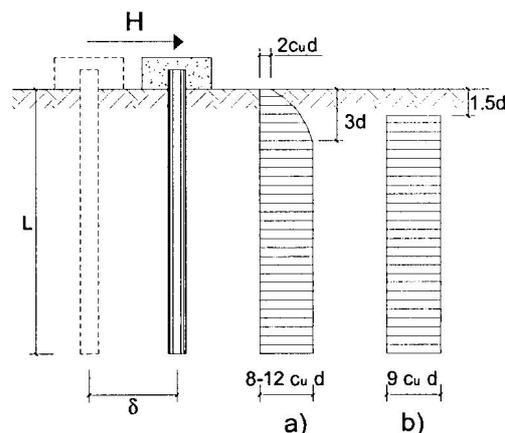
- Terreno omogeneo;
- Comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico;
- la forma del palo è ininfluente e l'interazione palo-terreno è determinata solo dalla dimensione caratteristica D della sezione del palo (il diametro per sezioni circolari, il lato per sezioni quadrate, etc.) misurata normalmente alla direzione del movimento;
- il palo ha comportamento rigido-perfettamente plastico, cioè si considerano trascurabile le deformazioni elastiche del palo.

Questa ultima ipotesi comporta che il palo abbia solo moti rigidi finché non si raggiunge il momento di plasticizzazione M_y del palo. A questo punto si ha la formazione di una cerniera plastica in cui la rotazione continua indefinitamente con momento costante.

In accordo alla condizione di vincolo dei pali nei plinti di fondazione, il palo è considerato impedito di ruotare in testa.

Unità a comportamento coesivo

Il diagramma di distribuzione della resistenza p offerta dal terreno lungo il fusto del palo è quello riportato nella figura seguente (a). Broms adotta al fine delle analisi una distribuzione semplificata (b) con reazione nulla fino a $1.5 D$ e costante con valore $9 c_u D$ per profondità maggiori.



distribuzione della resistenza offerta dal terreno a carichi orizzontali per pali impediti di ruotare alla testa (Broms, 1984).

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

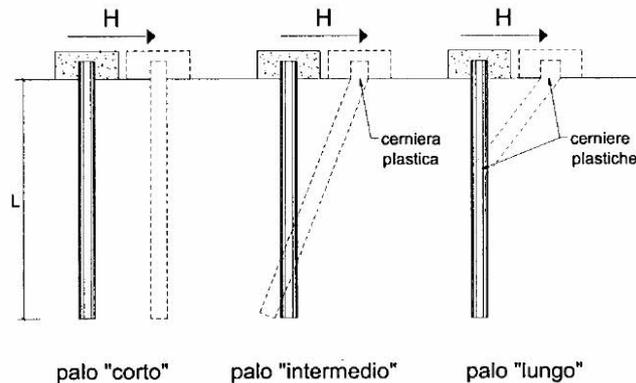
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 80 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

I meccanismi di rottura del complesso palo-terreno sono condizionati dalla lunghezza del palo, dal momento di plasticizzazione della sezione e dalla resistenza esercitata dal terreno. I possibili meccanismi di rottura sono riportati nella figura seguente e sono solitamente indicati come “palo corto”, “intermedio” e “lungo”.



meccanismi di rottura del complesso palo-terreno per pali impediti di ruotare alla testa soggetti a carichi orizzontali (Broms, 1984).

Facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica nelle sezioni che raggiungono un momento pari a M_y , è possibile calcolare il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura:

$$H \text{ lim} = 9c_u D^2 \left(\frac{L}{D} - 1.5 \right) \quad \text{palo corto}$$

$$H \text{ lim} = -9c_u D^2 \left(\frac{L}{D} - 1.5 \right) + 9c_u D^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{D} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u D^3} + 4.5} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H \text{ lim} = -13.5c_u D^2 + c_u D^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u D^3}} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento ai casi in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di H_{lim} si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 81 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$H \lim = 9c_u D \times (f - 1.5D)$$

$$H \lim \times (d_s + f) - 4.5c_u D (f - 1.5D)^2 - 2M_y = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna

d_s l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna

Unità a comportamento incoerente

Per un terreno incoerente si assume che la resistenza opposta dal terreno alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità con legge:

$$p = 3 k_p \gamma z D$$

essendo:

k_p il coefficiente di spinta passiva;

z la profondità da piano campagna;

γ il peso di volume del terreno, nel caso in cui il terreno sia sotto falda si assume γ' .

I valori del carico limite corrispondenti ai diversi meccanismi di rottura sono di seguito riportati:

$$H \lim = 1.5 k_p \gamma D^3 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \quad \text{palo corto}$$

$$H \lim = \frac{1}{2} k_p \gamma D^3 \left(\frac{L}{D} \right)^2 + \frac{M_y}{L} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H \lim = k_p \gamma D^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma D^4} \right)^2} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento ai casi in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di $H \lim$ si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 82 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

$$H_{lim} = 1.5k_p \gamma D f^2$$

$$f^3 + 1.5Df^2 - \left(\frac{2M_y}{\gamma k_p D} \right) = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna

 d_s l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna

Carico orizzontale resistente

 il cui valore di progetto R_d della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella successiva:

Coefficiente Parziale		
R1	R2	R3
1.0	1.6	1.3

Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

La combinazione utilizzata è quella del 2° approccio delle NTC: A1+M+R3 con il coefficiente parziale di sicurezza utilizzati pari a R3=1.3.

 La resistenza caratteristica R_k del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l'impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ. La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza R_{c,k} (o R_{t,k}) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate R_{c,calc} (R_{t,calc}) i fattori di correlazione ξ riportati nella tabella seguente, in funzione del numero n di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Fattori di correlazione ξ

 La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a ξ₃ = ξ₄ = 1.70.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

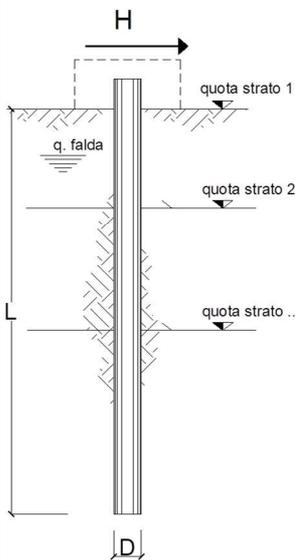
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 83 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Risultati verifiche dei pali nei confronti dei carichi orizzontali



strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		0.00	19	9	25	2.46	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		-6.00	19	9	26	2.56	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		-8.00	23.5	13.5	27	2.66	
<input type="checkbox"/> strato 4						1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00	

Quota falda 0 (m)

Diametro del palo D 1.20 (m)

Lunghezza del palo L 25.00 (m)

Momento di plasticizzazione palo My 4232.91 (kNm) 40 ϕ 26

Step di calcolo 0.1 (m)

palo impedito di ruotare
 palo libero

Calcolo (ctrl+r)

Palo lungo H = 2833.8 (kN)

Palo intermedio H = 8041.8 (kN)

Palo corto H = 33033.7 (kN)

Hlim = 2833.8 (kN) **Palo lungo**

Hed = 1266.0 (kN) Hrd = 1282.3 (kN) =Hlim/($\xi^3 \cdot R_3$)

FS = Hrd/Hed = 1.01 > 1

5.1.5 Risultati verifiche strutturali dei pali

Di seguito si riportano le sollecitazioni lungo il palo calcolate con un foglio di calcolo redatto dalla DEI "Tipografia del genio civile".

Il programma per i pali soggetti a forze orizzontali in testa opera con metodi agli elementi finiti. La struttura è discretizzata con elementi monodimensionali (aste) e l'intersezione con il terreno è simulato con molle nodali il cui modulo di reazione " k_H " è considerato costante con la profondità per ogni strato (Ecla; Salt e Ap); i valori di " k_H " sono provenienti dalla letteratura in funzione della coesione non drenata.

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni per la combinazione di carico più significativa (involuppo di SLU (Tmax e Mmax), mentre per una descrizione più dettagliata si rimanda al par. 7.2 del testo "Progetto e calcolo di geotecnica con excel – Volume 2".

Pertanto Si ha:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

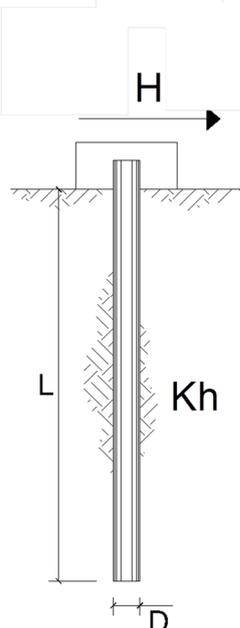
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

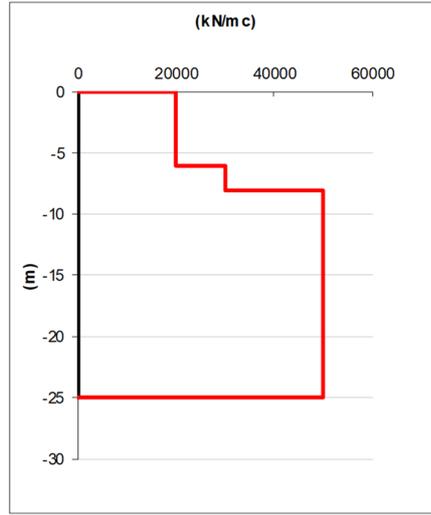
Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 84 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

1) Condizione di carico all'involuppo di SLU/SLV/ECC: Nmax/Tmax



scala grafico



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_h (kN/m ³)	n_h (kN/m ³)
p.c.=strato 1		0.00	20000	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		-6.00	30000	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		-8.00	50000	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4		-25.00	50000	
<input type="checkbox"/> strato 5				
<input type="checkbox"/> strato 6				

Diametro del palo	1.2 (m)
J palo	0.10179 (m ⁴)
Lunghezza del palo	25 (m)
Forza orizzontale in testa	1265.44 (kN)
E cls	33642 (Mpa)
dimensione elementi	0.2 (m)

palo impedito di ruotare
 palo impedito di traslare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

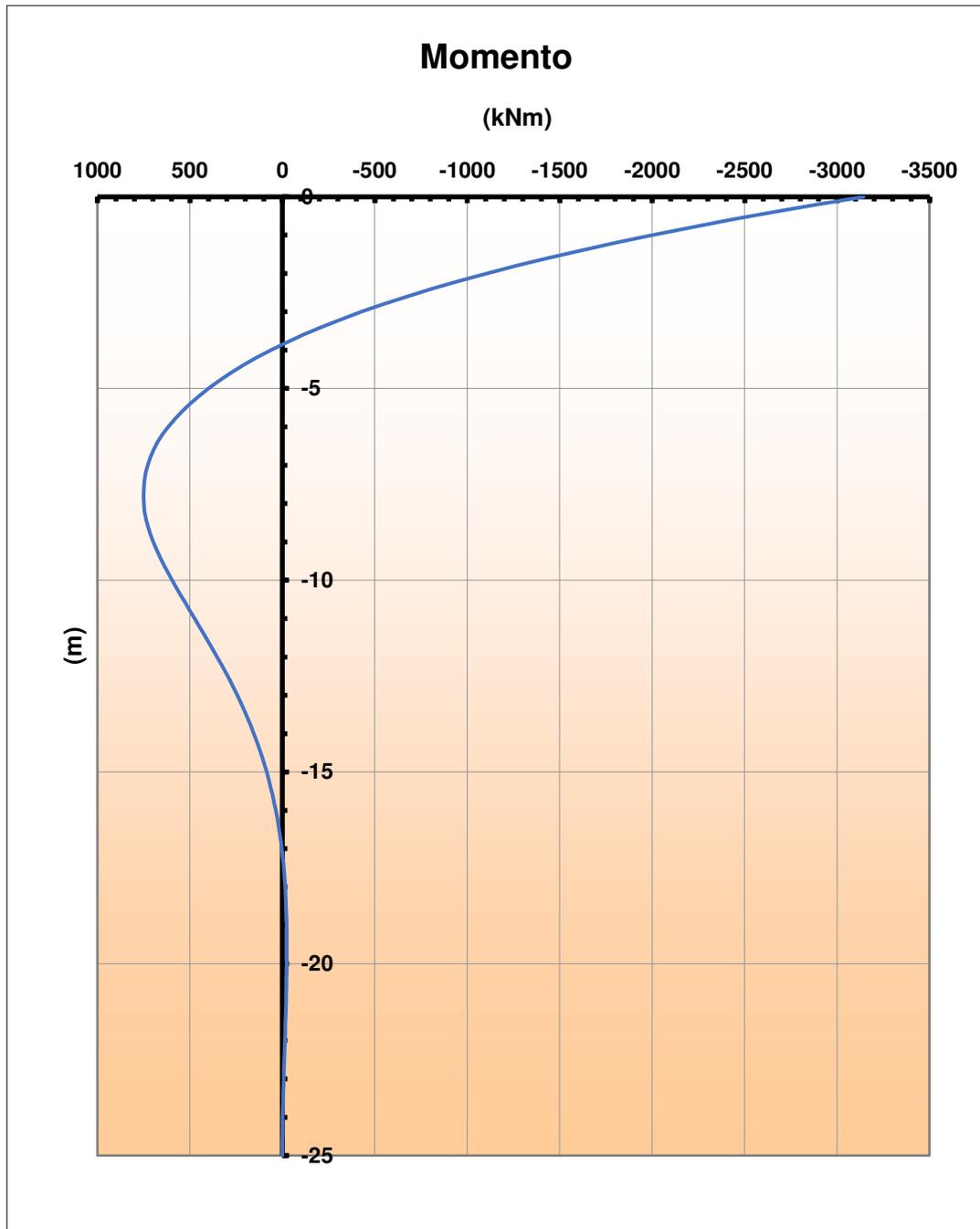
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 85 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------





QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

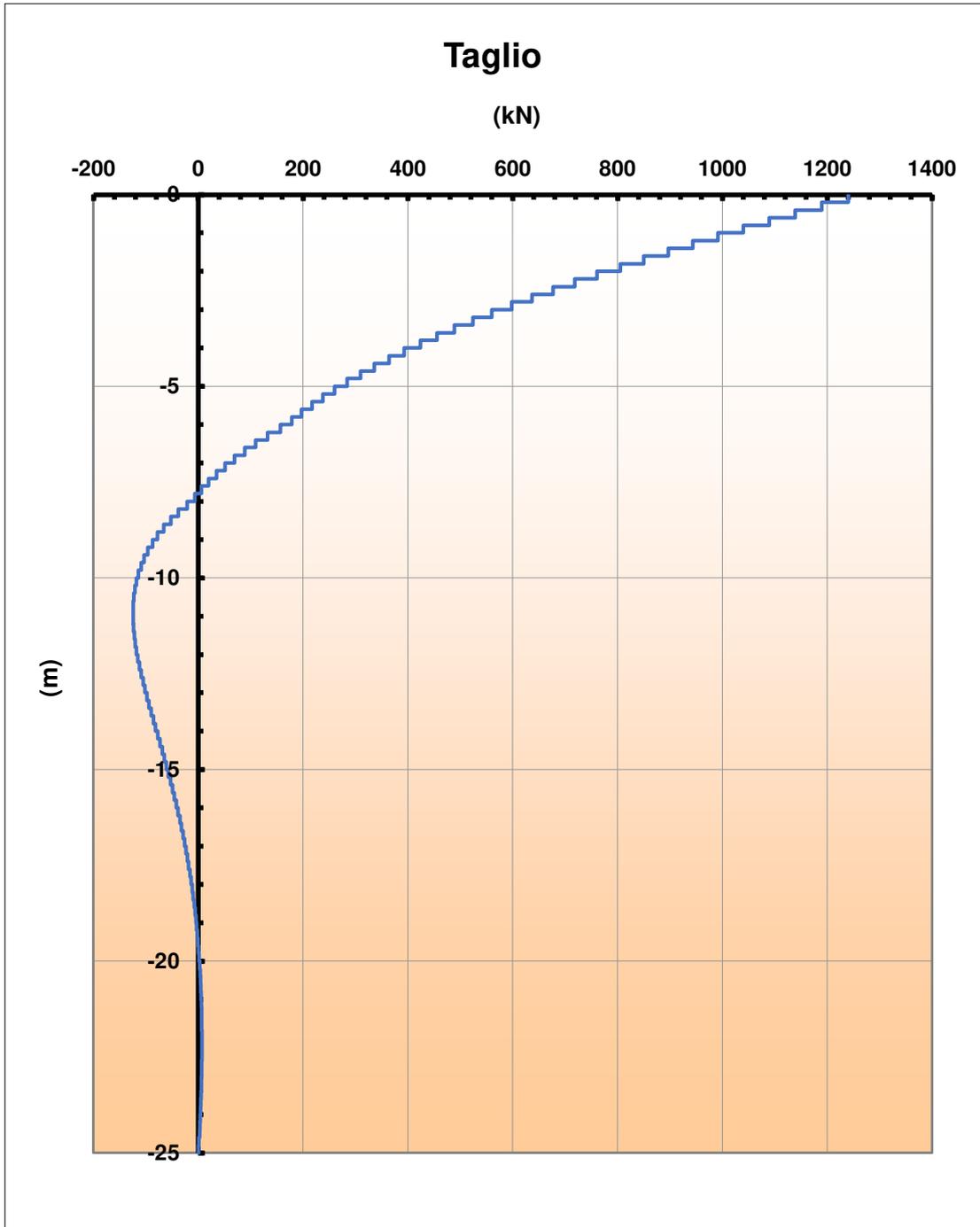
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 86 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	87 di 171

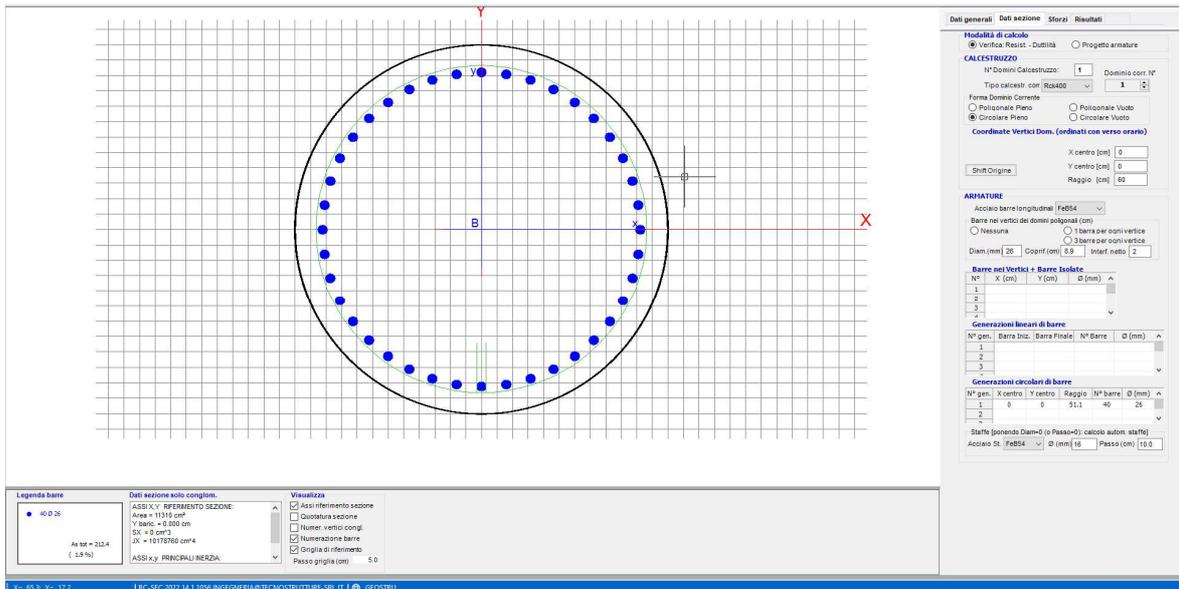
Di seguito viene riportata una tabella con le sollecitazioni massime per tutte le combinazioni di carico lungo il palo calcolate con la metodologia sopra riportata:

	Nmax/Nmin [kN]	Tmax [kN]	Mmax [kNm]
SLU	3068.81	1265.44	3142.9
	260.69	551.56	1369.88
SLE	2135.09	563.87	1400.45
	1381.78	220.24	547.00
FR	2025.28	511.79	1271.10
	1444.01	222.62	552.91
QP	1751.35	355.58	883.13
	1622.94	222.99	553.83

Verifiche a flessione

Come si può vedere dai soprastanti diagrammi le sollecitazioni in testa risultano essere quelle dimensionanti il palo, poichè ad una profondità di 5m le sollecitazioni risultano circa pari ad 1/4 di quelle in testa.

Di seguito si riportano le verifiche strutturali del palo D=1200 armati con 40 ϕ 26 e spirale 1 ϕ 16/10:



The image shows a software interface for structural analysis. The main window displays a circular cross-section of a pile with a diameter of 1200 mm, reinforced with 40 bars of diameter 26 mm and a spiral of diameter 16 mm at 10 mm spacing. The reinforcement is arranged in a circular pattern. The software interface includes a 'Modality of calculation' section with options for 'Verification Resist.' and 'Design of reinforcement'. The 'CALCISTRUTTO' section shows the number of calculation domains (1) and the type of calculation (RIS4000). The 'Forma Domini Corrente' section has options for 'Poligonale Pieno', 'Poligonale Vuoto', 'Circolare Pieno', and 'Circolare Vuoto'. The 'Coordinate Vertici Dom.' section shows the coordinates of the vertices. The 'ARMATURE' section shows the type of reinforcement (Acciaio barre longitudinali FeB54) and the number of bars (40). The 'Generazioni barre di barre' section shows the number of bars in each generation (1, 2, 3). The 'Generazioni circolari di barre' section shows the number of bars in each generation (1, 2). The 'Staffe' section shows the diameter of the spiral (16 mm) and the spacing (10 mm).



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	88 di 171

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: PALO

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	Rck400	
	Resis. compr. di progetto fcd:	22.1	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	11.1	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33648.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	FeB54	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	540.0	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	420.0	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.010	
	Modulo Elastico Ef	2060000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Calcestruzzo:	Rck400
Raggio circ.:	60.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre				
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate				
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza				
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata				
N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	51.1	40	26

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	16	mm
Passo staffe:	10.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 89 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	3068.81	3142.90	1265.44
2	260.69	1369.88	551.56

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	2135.09	1400.45	0.00
2	1381.78	547.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	2025.28	1271.10 (1004.37)	0.00 (0.00)
2	1444.01	552.91 (1300.46)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1751.35	883.13 (1100.26)	0.00 (0.00)
2	1622.94	553.83 (1432.66)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	3068.81	3142.90	3068.67	4608.90	1.47	212.4(33.9)
2	S	260.69	1369.88	260.60	3891.57	2.84	212.4(33.9)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 90 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	60.0	0.00271	0.0	51.1	-0.00631	0.0	-51.1
2	0.00350	0.0	60.0	0.00249	0.0	51.1	-0.00915	0.0	-51.1

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000088280	-0.001796824	----	----
2	0.000000000	0.000113897	-0.003333849	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 16 mm
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = V_y ortogonale all'asse neutro
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna)
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallele. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	1265.44	3759.97	3222.61	94.4 81.9	107.2	2.500	1.123	15.8	40.2(0.0)
2	S	551.56	3401.11	3421.18	96.4 87.0	101.4	2.500	1.010	6.5	40.2(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.08	0.0	0.0	-117.9	0.0	-51.1	1242	47.8
2	S	3.61	0.0	0.0	-26.6	0.0	-51.1	900	37.2

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1 Esito della verifica
e2 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2 = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 91 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00067	0.00000	0.843	26.0	76	0.00034 (0.00034)	4520.155 (990.00)		989.16	0.00
2	S	-0.00016	0.00000	0.835	26.0	76	0.00008 (0.00008)	4370.034 (990.00)		1269.03	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	8.25	0.0	0.0	-103.5	0.0	-51.1	1242	47.8
2	S	3.66	0.0	0.0	-25.5	0.0	-51.1	741	37.2

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00059	0.00000	0.840	26.0	76	0.00030 (0.00030)	4520.136 (0.30)		1004.37	0.00
2	S	-0.00016	0.00000	0.853	26.0	76	0.00007 (0.00007)	4090.030 (0.30)		1300.46	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.77	0.0	0.0	-58.7	0.0	-51.1	1067	37.2
2	S	3.71	0.0	0.0	-20.9	0.0	-51.1	725	26.5

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00034	0.00000	0.842	26.0	76	0.00017 (0.00017)	4720.081 (0.20)		1100.26	0.00
2	S	-0.00013	0.00000	0.834	26.0	76	0.00006 (0.00006)	4600.028 (0.20)		1432.66	0.00

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 92 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

6. SPALLA MOBILE (S2)

6.1 MODELLO DI CALCOLO

Le strutture sono state schematizzate con un modello tridimensionale in grado di cogliere tutti i gradi di libertà significativi dell'opera, così come richiesto dal §7.9.3 delle norme vigenti e si riferisce alla schematizzazione della spalla "S2" la quale presenta gli appoggi "mobili" dell'impalcato.

Per la modellazione della spalla sono stati utilizzati elementi bidimensionali (*shell*) per la parte del cordolo di testa pali e i muri (paraghiaia e muri di risvolto) ed elementi monodimensionali (*frame*) per gli elementi palo di diametro pari a 1.20m e di lunghezza pari a 1m.

Gli elementi *shell* del paraghiaia sono costituiti da elementi *shell* di spessore circa $0,4 \div 0,60$ m, gli elementi del sottostante cordolo frontale hanno spessore pari a 2.30 m, mentre gli elementi del muro di risvolto hanno spessore pari a 0.50m e quelli dei cordoli laterali sottostanti i muri di risvolto hanno spessore da 1,6 m.

L'analisi dell'impalcato viene eseguita nell'apposita relazione e dalla quale vengono estratti gli scarichi sugli appoggi.

6.1.1 Descrizione del modello di calcolo

Come detto in precedenza, le analisi strutturali saranno effettuate sulla base di modelli F.E.M. implementati con il programma di calcolo SAP 2000; la figura che segue illustra il modello di calcolo della spalla.

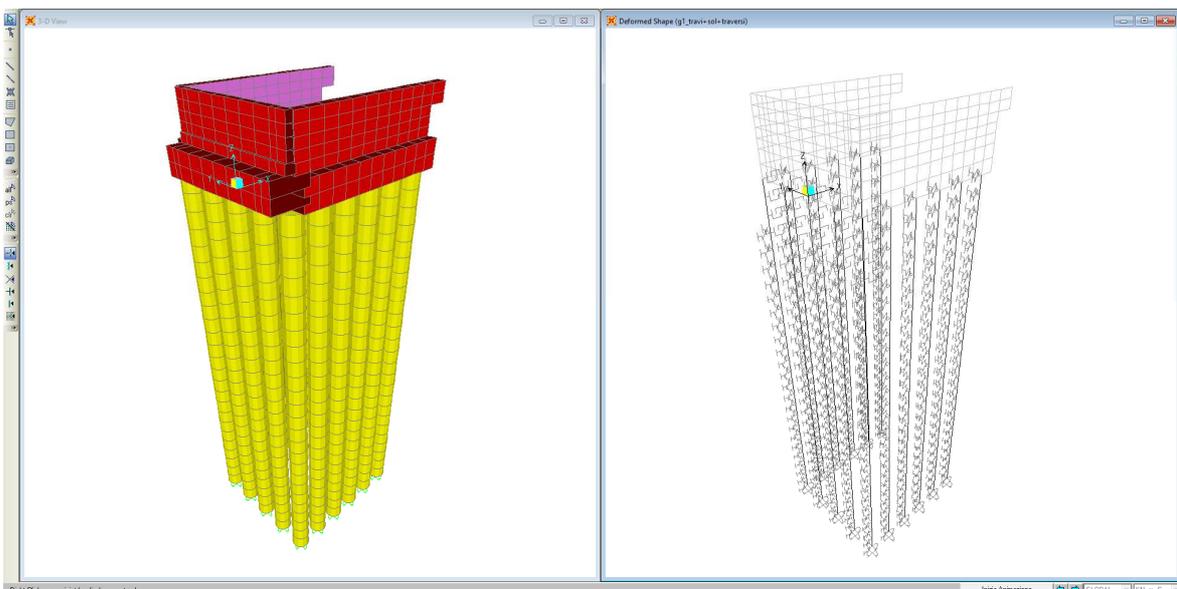


Figura 6-4: Modello di calcolo f.e.m. utilizzato per l'analisi della spalla.

Il modello ad elementi "shell" illustrato in Figura 5-1 comprende i seguenti elementi strutturali:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 93 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

- Cordolo frontale e cordolo laterale;
- Paragliaia e muri di risvolto;

Gli elementi shell sono riferiti al piano medio di ciascuna delle parti strutturali sopra elencate;

Ciascun elemento shell è dotato di un proprio sistema di riferimento (nel seguito SdR) locale identificato dagli assi 1 e 2 nel piano dell'elemento e dall'asse 3 ortogonale ad esso; in particolare, rispetto al SdR globale del modello di calcolo, gli assi locali per i diversi elementi shell utilizzati nell'analisi sono così orientati:

Tabella 6-5: Corrispondenza tra gli assi del SdR Globale del modello di calcolo ed il SdR Locale degli elementi shell.

Elemento strutturale	SdR Globale	SdR Locale
Muro frontale e paragliaia	X	-3
	Y	1
	Z	2
Cordolo laterale e muri di risvolto	X	1
	Y	3
	Z	2

La seguente figura chiarisce l'orientamento del SdR globale del modello di calcolo di Figura 5-1 nello spazio.

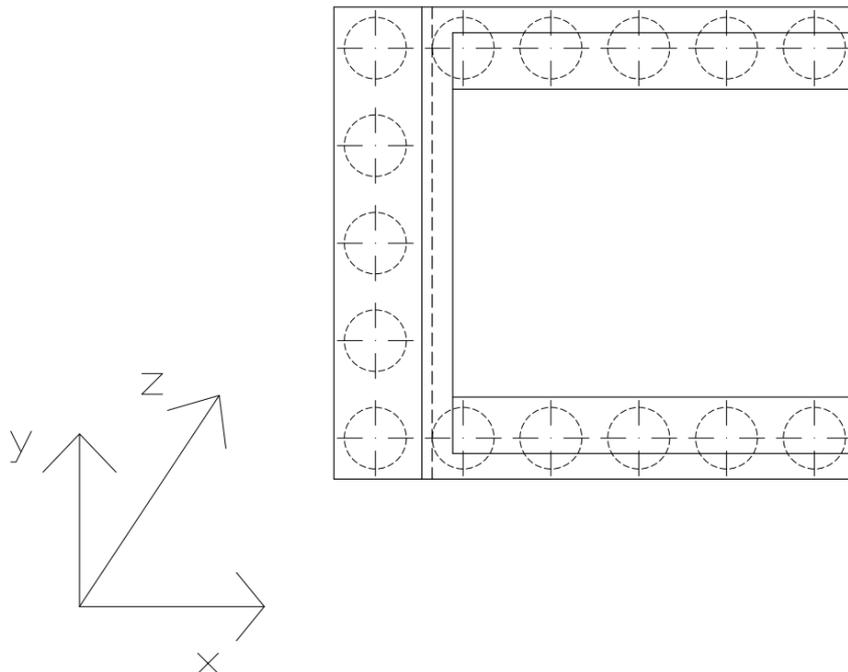


Figura 6-5: Vista in pianta della spalla: orientamento nello spazio del SdR globale del modello f.e.m.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

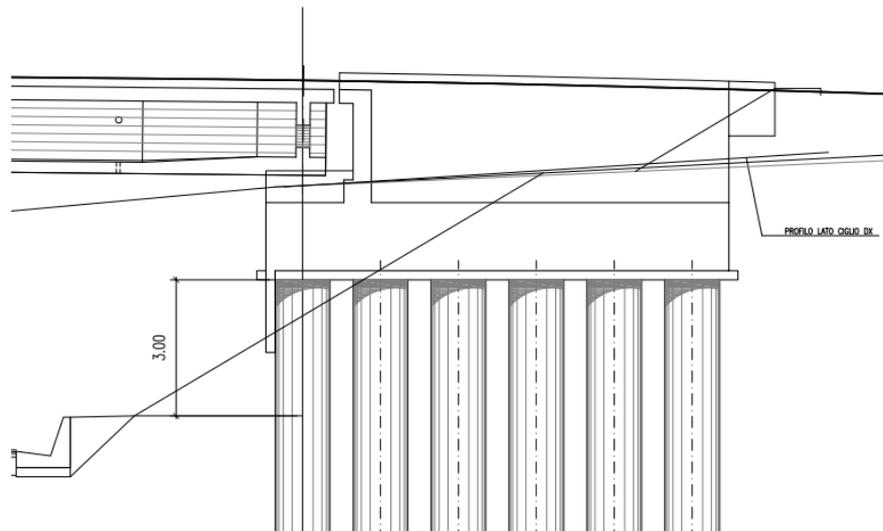
Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 94 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Il modello è stato vincolato nello spazio attraverso un diversificato sistema di vincoli:

- in direzione verticale (z) sono stati annullati gli spostamenti tramite un vincolo a carrello alla base dei pali;
- in direzione orizzontale è stata modellata la presenza del terreno per mezzo di un sistema di molle elastiche reagenti solo a compressione per la parte di palo non infissa in dir. x (in favore di di sicurezza pari a 3m ipotizzando lo scalzamento del cuneo triangolare di terreno a valle dei pali) e reagenti a compressione e trazione per la parte infissa sia in dir x che in dir. y. La rigidezza è stata calcolata tramite la formula di Broms e risulta pari a:

$$k_h = 1.67 * E / \Phi$$



Sezione longitudinale SPB con quota di fondo scavo paratia frontale

In questo modello vengono inserite tutte le azioni elementari descritte in seguito, al fine di determinare le sollecitazioni in corrispondenza di ciascuna sezione di calcolo utilizzate per le opportune verifiche.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 95 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

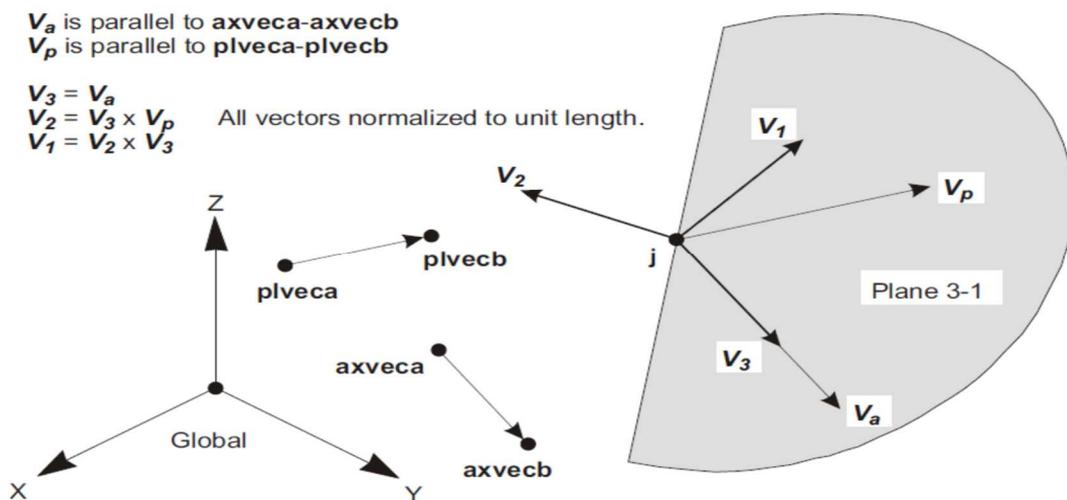
6.1.2 Programma di calcolo utilizzato

L'opera è stata analizzata mediante modelli computazionali agli elementi finiti. Tale opera viene analizzata con un modello tridimensionale rappresentativo dell'intera struttura. Il calcolo agli elementi finiti del modello è stato effettuato utilizzando il codice SAP 2000 (versione 14.2.2) prodotto dalla "CSI Computer and Structures Inc." – Berkeley (CA) - USA.

Il programma è un solutore agli E.F. (Elementi Finiti) capace di modellare strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell'ambito del comportamento lineare e non.

Sono disponibili i seguenti tipi di oggetto elencati in ordine di dimensione geometrica:

- **"Point:**
 - comune oggetti: sono automaticamente creati in angoli o estremità di tutti gli altri tipi di oggetti, e possono essere aggiunti in modo esplicito
 - collegamento a terra: sono utilizzate per modellare il comportamento di un sostegno speciale ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari
 - il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento punto è:



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

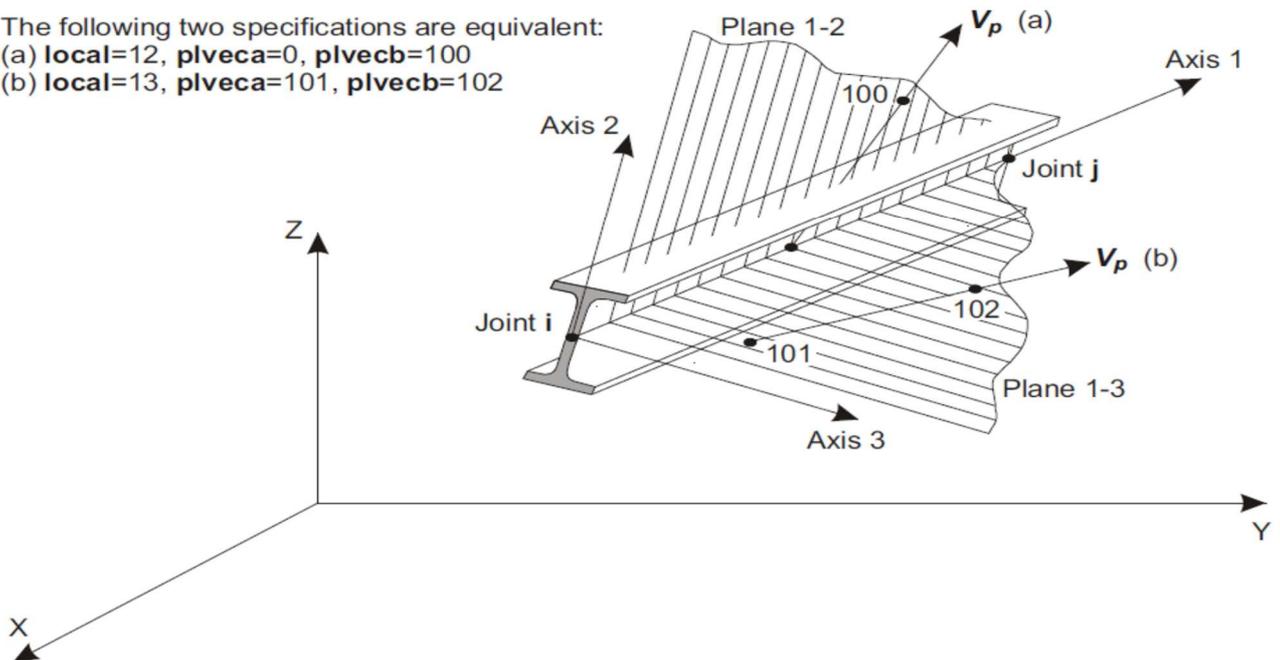
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	96 di 171

- **“Line”:**
 - frame/cable/tendon: sono utilizzate per modellare le travi, colonne, braces, trusses, cavi e tiranti
 - collegamento tra oggetti: sono utilizzate per modellare il comportamento di un membro speciali ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari. A differenza degli oggetti o frame/cable/tendon, questi oggetti possono avere lunghezza zero.
 - il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento linea è:
 -

The following two specifications are equivalent:

(a) **local=12, plveca=0, plvecb=100**

(b) **local=13, plveca=101, plvecb=102**



- **“Area”:** vengono utilizzate per modellare le pareti, pavimenti e altri membri dotati di spessore, nonché solidi bidimensionali (plane stress, plane strain, and axisymmetric solids). Il sistema di riferimento per determinare l'orientamento di un elemento area è:



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

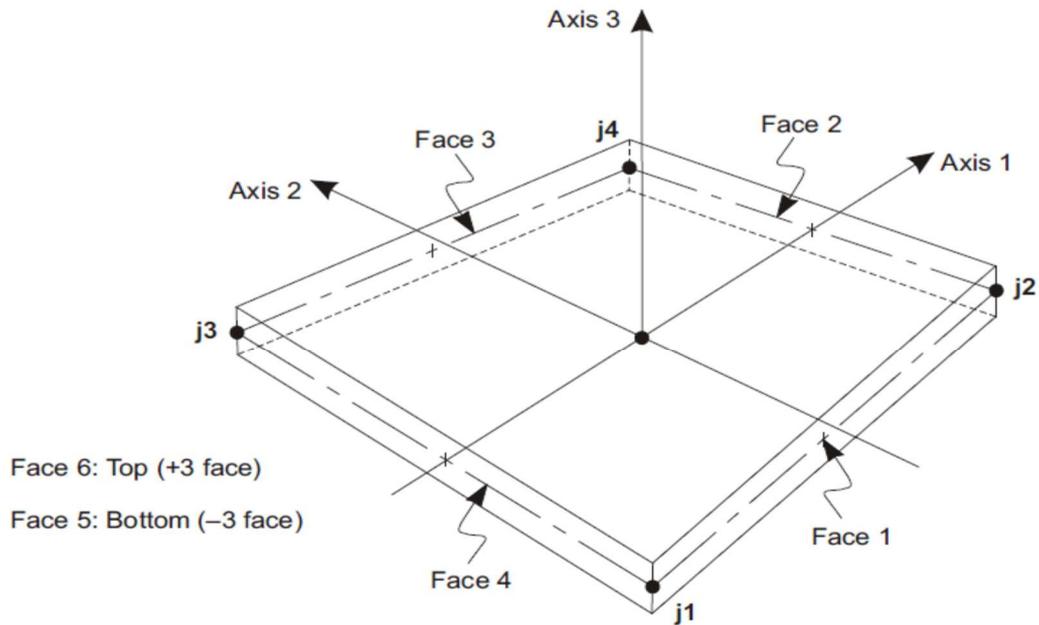
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

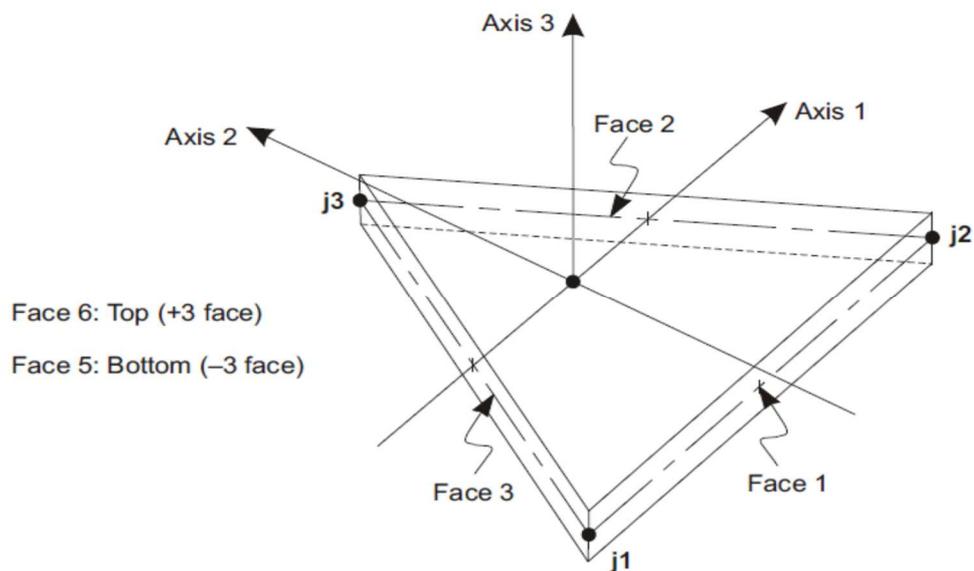
OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 97 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	-------------------------



Four-node Quadrilateral Shell Element



Three-node Triangular Shell Element

- **“Solid”**: sono utilizzate per la modellazione tridimensionale solida

Il programma SAP2000 permette di svolgere analisi atte a definire la risposta in conseguenza dell'applicazione di carichi mobili, analisi del dominio di frequenza (sia steady-state che power-spectral-density), del dominio del tempo e analisi di instabilità.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 98 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

Mediante il programma si possono implementare nel modello di calcolo elementi a comportamento particolare quali:

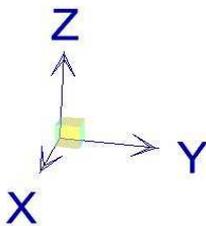
- non linear link element (gaps, hooks, isolators, dampers, and multi-linear plasticity)
- a multi-linear plastic hinge
- catenary cable element
- nonlinear shell element

Il programma SAP2000 permette inoltre di condurre analisi tipo non lineare statica , analisi tipo pushover e analisi non lineari tipo time-history mediante l'utilizzo di analisi modale o integrazione diretta. software contempla la presenza di elementi bidimensionali (piani - shell) in grado di rappresentare sia il comportamento di lastra (effetti flessionali) quanto quello di membrana (sforzi di compressione e trazione), ed elementi tipo trave (beam).

6.1.3 Sistemi di riferimento

Il sistema di riferimento nei modelli di calcolo viene assunto con origine coincidente con lo spigolo sinistro basso della struttura schematizzata.

La disposizione degli assi segue la "regola della mano destra":



l'asse X è diretto secondo l'asse longitudinale della struttura;

l'asse Y è diretto secondo l'asse trasversale della struttura;

l'asse Z è diretto verso l'alto, positivo verso l'alto.

Si definiscono positive le azioni e sollecitazioni secondo la convenzione riportata nella figura successiva.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

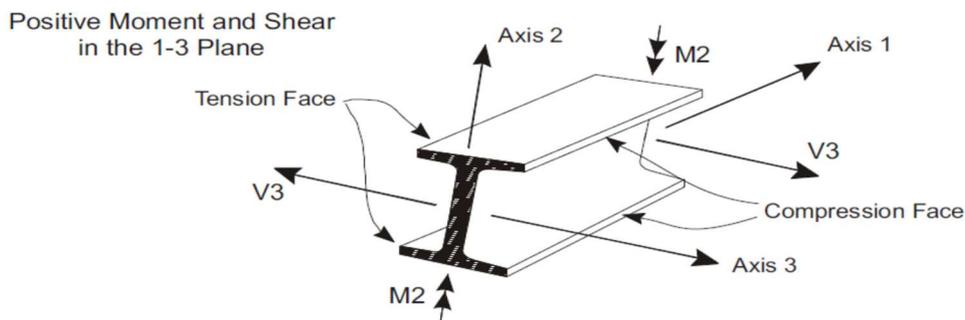
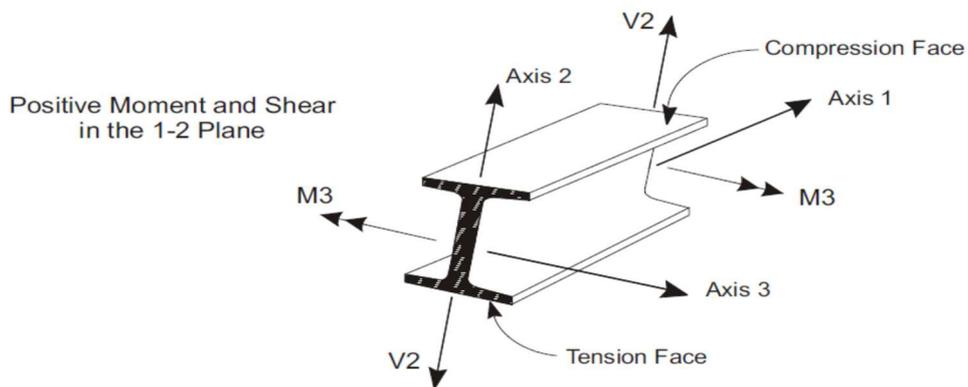
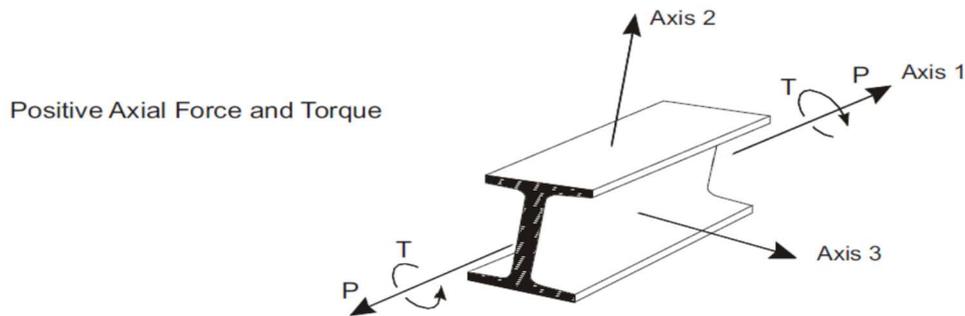
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 99 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------



6.1.4 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo SAP 2000 - Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method), capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Il software è impiegato per la modellazione dell'intera opera, finalizzata all'analisi strutturale.

Versione 14.0

Produttore Computers and Structures Inc. 1995 University Ave. Berkeley CA

	2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo sottostrutture								
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 100 di 171

6.1.5 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

6.1.6 Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

6.1.7 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

6.1.8 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 101 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2 AZIONI DI CALCOLO

6.2.1 Peso proprio spalla

Il peso proprio delle spalle viene calcolato in automatico dal programma di calcolo adottando per il calcestruzzo il peso di volume pari a 25 kN/m³.

6.2.2 Azioni provenienti dall'impalcato

L'analisi dei carichi dell'impalcato è riportata nella specifica relazione di calcolo. Di seguito vengono riportati gli scarichi sugli appoggi (vedi relazione impalcato):

6.2.3 Carichi permanenti

Trave	peso travi in CAP+soletta+pavimentazione+veletta+guardrail [kN] G1
1	772 kN - Reazione appoggio
2	793 kN - Reazione appoggio
3	772 kN - Reazione appoggio

6.2.4 Carichi da traffico

Trave	Carichi mobili [kN] Q1
1	593
2	780
3	227

6.2.5 Carichi da vento

Trave	<u>Azione trasversale dovuta al vento q5:</u>	N	Tt	
1		41	0	[kN]
2		19	129	[kN]
3		-60	0	[kN]

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 102 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

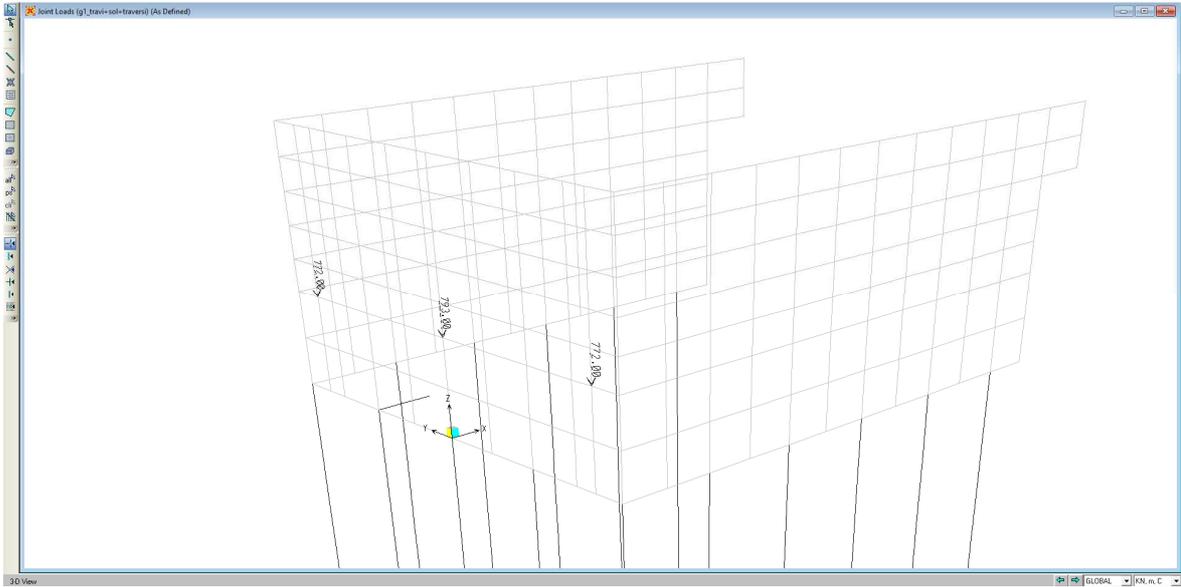


Figura 6.1 Carichi da carico permanente provenienti dall'impalcato

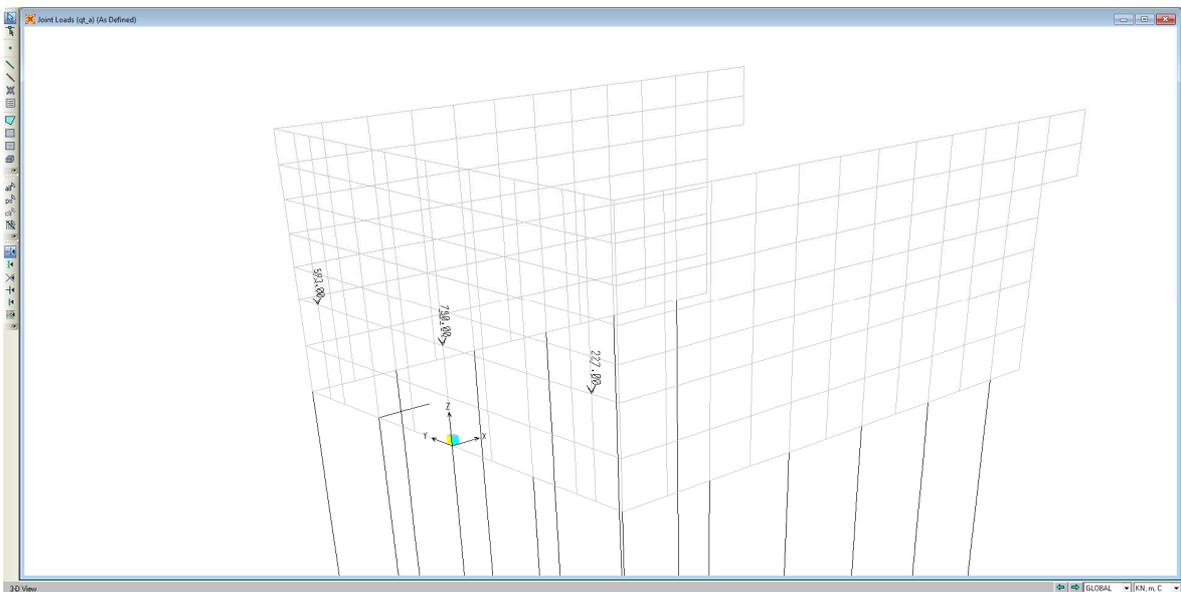


Figura 6.2 Carichi da traffico provenienti dall'impalcato

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 103 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

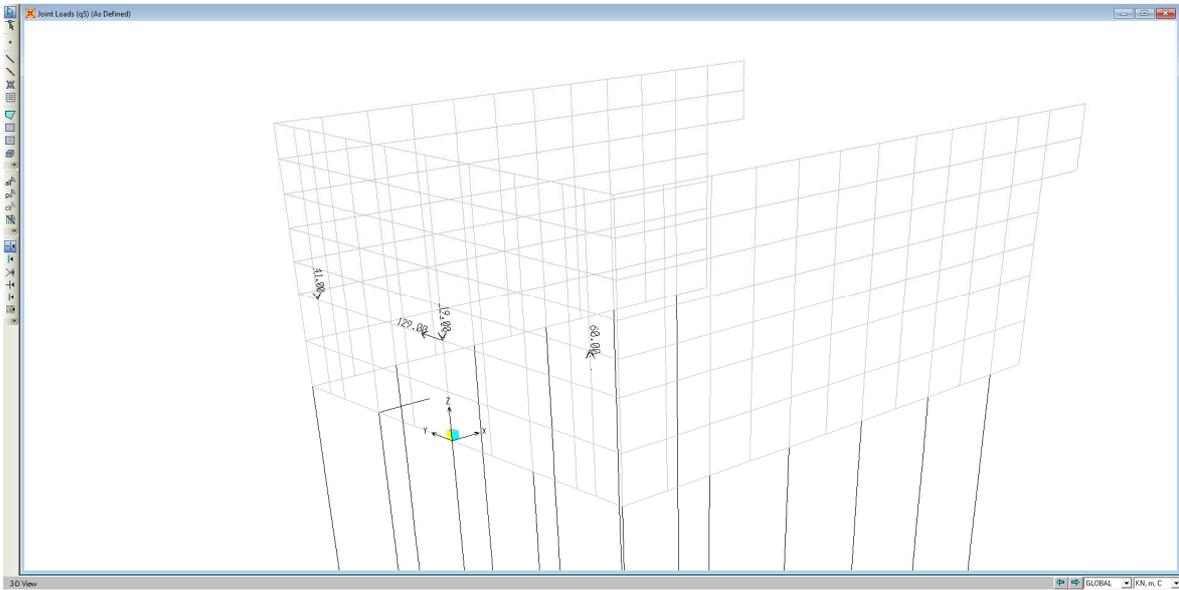


Figura 6.3 Carichi da vento provenienti dall'impalcato

	2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888 Relazione di calcolo sottostrutture							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A

6.2.6 Ritiro (ϵ_2), variazione termiche (ϵ_3), viscosità (ϵ_4)

Viste le modeste dimensioni dei manufatti oggetto di studio gli effetti del ritiro e di viscosità possono essere trascurati.

6.2.7 Cedimenti appoggi

Essendo la struttura isostatica i cedimenti non generano azioni interne ma solo deformazioni compatibili con lo schema di vincolo.

6.2.8 Spinta delle terre (g_3, T)

In corrispondenza della spalla si considerano i valori delle spinte a riposo ($\gamma=19 \text{ kN/m}^3$; $k_0=1-\text{sen}\phi'=1-\text{sen}25^\circ=0.577$) del terreno in sito su muro frontale per un'altezza di 7m (cordolo+muro: 4m e pali: 3m) ed è pari a:

$$g_{3,tt,m} = \sigma_{vf, \text{testa parete}} * K_0 = 19 * 0,00 * 0,577 = 0.00 \text{ kN/m}^2 \quad \text{- sulla testa del parghiaia}$$

$$g_{3,tb,m} = \sigma_{vf, \text{base parete}} * K_0 = 19 * 4.00 * 0,577 = 43.85 \text{ kN/m}^2 \quad \text{- sulla base del paraghiaia}$$

$$g_{3,tt,p} = \sigma_{vf, \text{testa palo}} * K_0 = 19 * 4.00 * 0,577 * 1.9 = 83.32 \text{ kN/m} \quad \text{- sulla testa del palo (*)}$$

$$g_{3,tb,p} = \sigma_{vf, \text{testa palo}} * K_0 = 19 * 7.00 * 0,577 * 1.9 = 145.81 \text{ kN/m} \quad \text{- sulla base del palo fuori terra (*)}$$

(*) in cui, ipotizzando un effetto arco del terreno tra un palo e l'altro, si considera l'intero interasse dei pali di 1.9m su cui agisce la spinta del terreno

Mentre per i muri di risvolto l'altezza di spinta di calcolo è calcolata da intradosso cordolo ed è pari a 4.00m, pertanto la spinta sarà:

$$g_{3,tt} = \sigma_{vf, \text{testa muro risvolto}} * K_0 = 19 * 0,00 * 0,577 = 0.00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{3,tb} = \sigma_{vf, \text{base muro risvolto}} * K_0 = 19 * 4.00 * 0,577 = 43.85 \text{ kN/m}^2$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 105 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

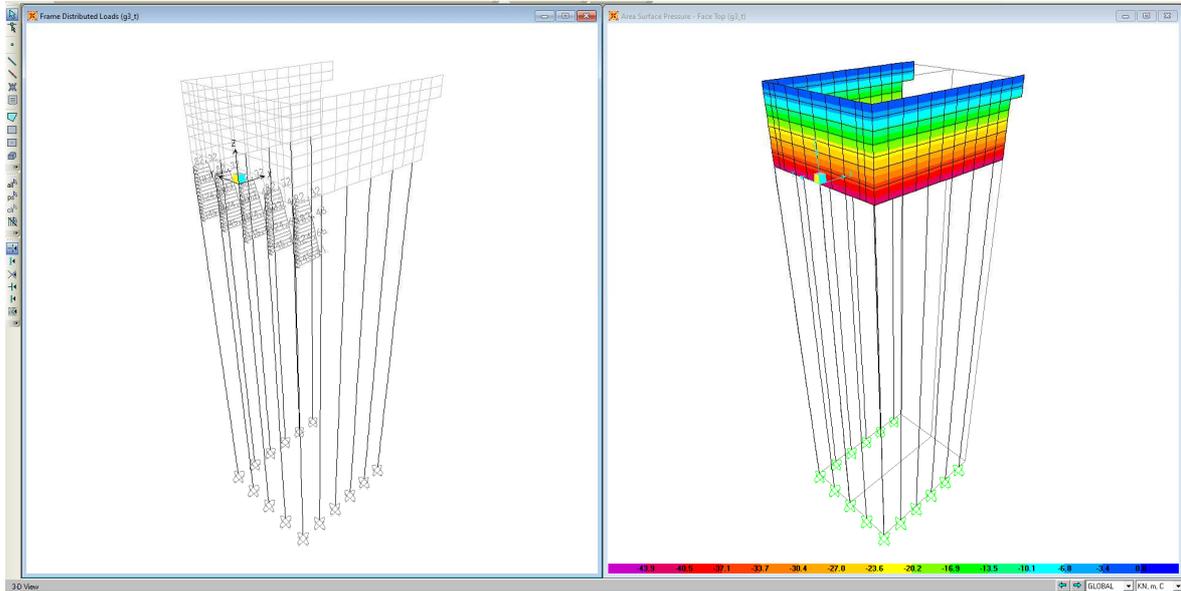


Figura 6.4 Spinte delle terre sulla spalla.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 106 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.9 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico (g_{3_q})

Per la determinazione della sovraspinta del terreno a tergo dei paramenti dei manufatti si è operato come descritto in seguito.

Sul rilevato è stato considerato agente lo schema di carico 1 (cap. 5 delle NTC 2008) in posizione decentrata rispetto all'asse della spalla, in cui, per semplicità, i carichi tandem sono stati sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare di lati 3,0 m x 2,2 m.

Il valore della pressione verticale agente in superficie vale quindi:

$$\sigma_{v0} = \frac{2 \times 300 \text{ kN} + 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \times 9 \text{ kN/m}^2}{3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}} = 659,4 \text{ kN/6,6 m}^2 \cong 100 \text{ kN/m}^2$$

Il valore alla base del cordolo di testa pali è pari a:

$$g_{3,qb} = \sigma_{vf} = 659,4 / \{ [3 + 4 \cdot \tan 30^\circ] \times [2,2 + 4 \cdot \tan 30^\circ] \} \approx 27.55 \text{ kN/m}^2$$

La sovraspinta orizzontale del terreno viene quindi determinata considerando condizioni a riposo del terreno ed ha una distribuzione decrescente con la profondità sia sul cordolo frontale che sul muro di risvolto.

Il valore della spinta in superficie è pari a:

$$g_{3,qt,m} = \sigma_{v0} \cdot K_0 = 100 \cdot 0,577 = 57.7 \text{ kN/m}^2$$

Il valore alla base del cordolo di testa dei pali è pari a (**G_{3,q}**):

$$g_{3,qb,m} = \sigma_{vf} \cdot K_0 = 27.55 \cdot 0,577 \approx 15.90 \text{ kN/m}^2$$

In favore di sicurezza si considera tale valore, moltiplicato per l'interasse dei pali (1.9m), uniformemente distribuito anche lungo il tratto di 3m di pali frontali fuori terra:

$$g_{3,qt,p} = \sigma_{vf} \cdot K_0 = 27.55 \cdot 0,577 \cdot 1.9 \approx 30.20 \text{ kN/m}^2$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 107 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

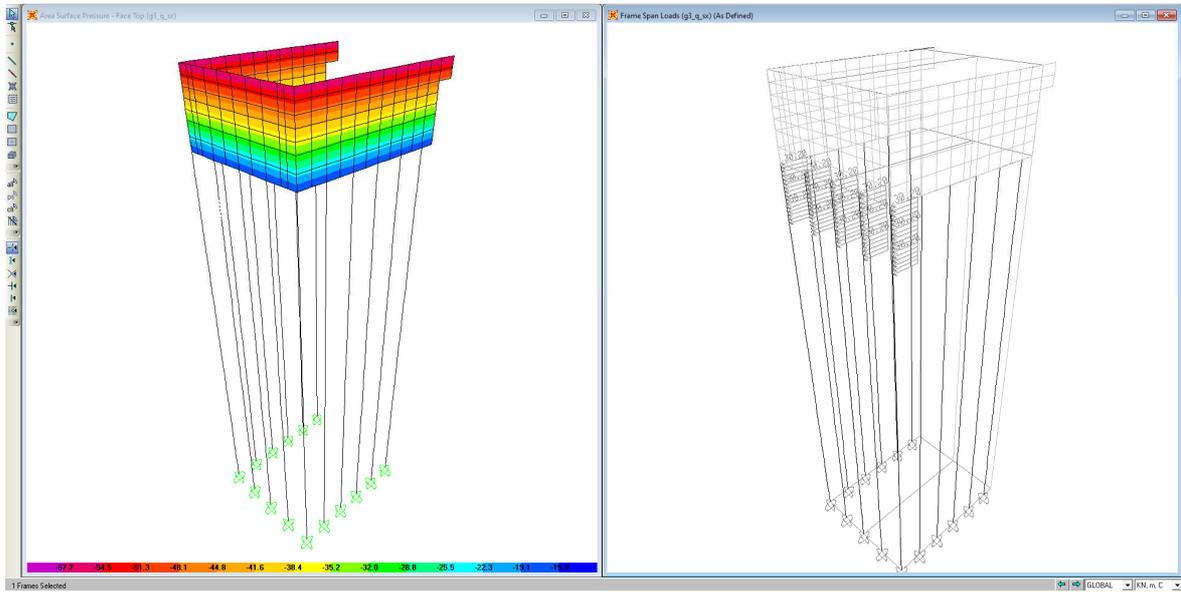


Figura 6.5 Spinta delle terre dovute al sovraccarico.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 108 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.10 Definizione dell'azione sismica (E)

I viadotti in oggetto sono progettati per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Il periodo di ritorno di quest'ultima - in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti) - è di 712 anni circa.

Essa, conformemente a quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche, non è definita in funzione dell'appartenenza dell'opera ad una zona sismica bensì è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste. Tale pericolosità sismica è descritta, in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno
- F_0 , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Nella tabella seguente sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

V_N [anni]	C_U	V_R [anni]	T_R [anni]	Località	$a_{g,orizz}$ [g]	F_0	$a_{g,vert}$ [g]	F_v	T_C^* [s]
50	1.5	75	712.00	Camerino (MC)	0.220	2.544	0.140	1.613	0.333

Tabella 6: Parametri per la definizione della massima accelerazione locale

In quest'ultima V_N è la vita nominale dell'opera; C_U è il coefficiente relativo alla classe d'uso; V_R è il periodo di riferimento per l'azione sismica; T_R è il periodo di ritorno associato alla probabilità di non superamento dello stato limite della salvaguardia della vita; a_g è la massima accelerazione riferita a quella di gravità attesa sul sito su suolo di riferimento; F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; F_v è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale; T_C^* è il periodo, espresso in secondi, corrispondente alla fine del tratto orizzontale dello spettro su suolo di riferimento.

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	S_S	S_T	S	C_C	T_B	T_C	T_D
C	1.364	1	1.364	1.51	0.167	0.502	2.482

Tabella 7: Parametri per la definizione dello spettro elastico orizzontale

In quest'ultima S_S ed S_T sono rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica concorrenti alla determinazione del fattore di amplificazione S ; C_C è il coefficiente che modifica il valore del periodo T_C^* ; T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro della componente orizzontale; T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità; T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 109 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente verticale del moto sismico è costruito a partire dai parametri riassunti nella tabella seguente.

Suolo	S _S	S _T	S	T _B	T _C	T _D
C	1	1	1	0.05	0.15	1

Tabella 8: Parametri per la definizione dello spettro elastico verticale

In quest'ultima S_S ed S_T, S e C_C hanno i significati prima descritti; T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro per la componente verticale; T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante; T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante. Tale spettro è descritto dalle espressioni seguenti.

$$S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{se} \quad 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \quad \text{se} \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{se} \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{se} \quad T_D \leq T$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

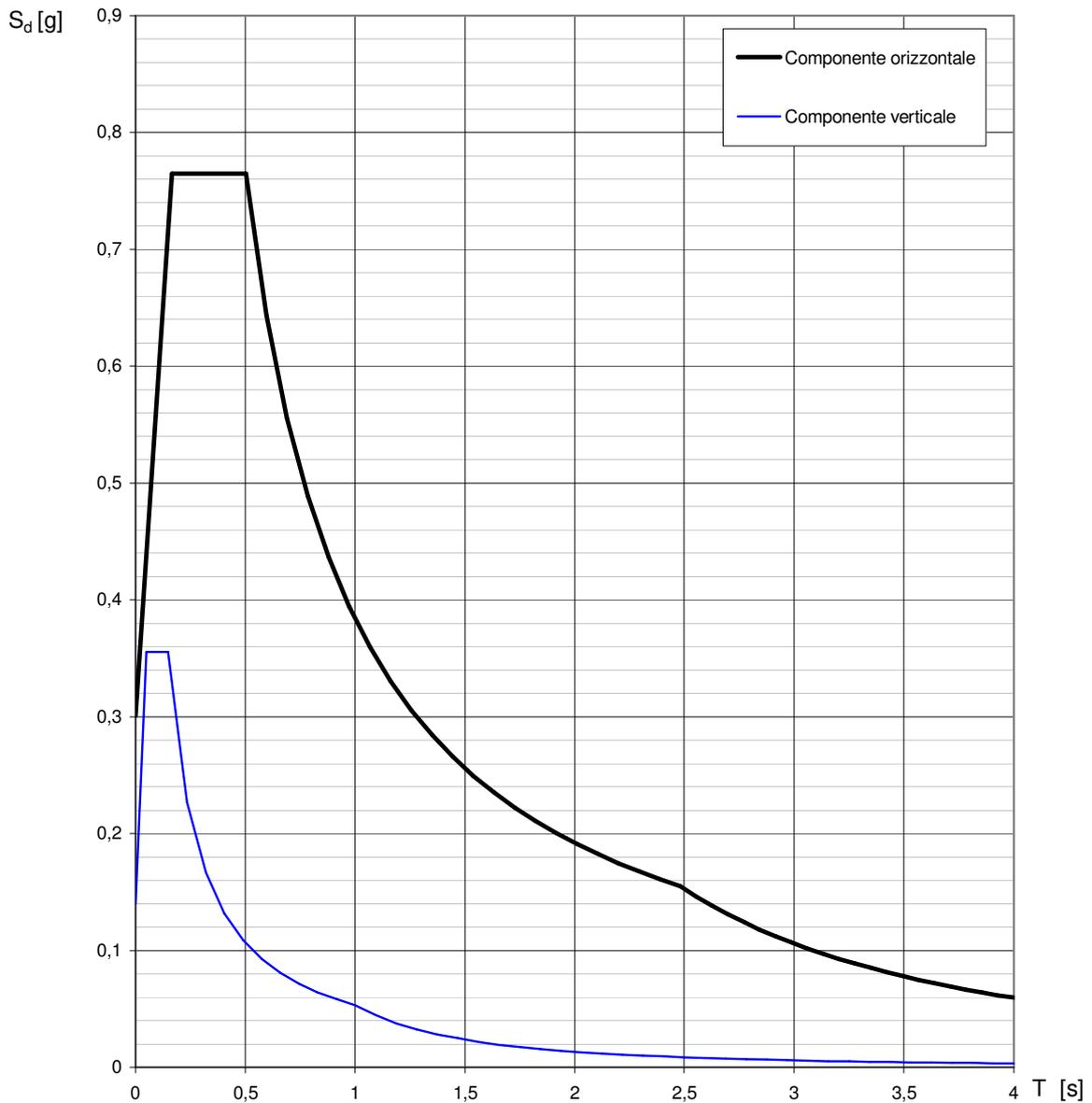
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 110 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 111 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.11 Metodo di analisi

Il metodo di analisi scelto per lo studio degli effetti del sisma è la analisi lineare statica.

L'analisi lineare statica consiste sostanzialmente in una analisi lineare dinamica semplificata in cui:

- 1) non si effettua l'analisi dinamica della costruzione per determinare i modi di vibrare "naturali" della costruzione e si ipotizza un modo di vibrare principale della costruzione caratterizzato da un periodo T1 calcolato in maniera approssimata. A questo modo di vibrare si associa un'aliquota di massa partecipante pari a 1,0 in tutti gli altri casi;
- 2) si calcolano gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per il solo modo di vibrare principale considerato;
- 3) non si effettua alcuna combinazione degli effetti in quanto non si considerano modi di vibrare secondari.

Per i manufatti in esame è possibile applicare l'analisi statica lineare in quanto sono soddisfatti il punto c) del D.M. 14/01/2008, che vengono riportati in calce.

Il punto a) In ponti a travata semplicemente appoggiata, per entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, purchè la massa efficace di ciascuna pila non sia superiore ad 1/5 della massa da essa portata

Il punto c) è automaticamente verificato per ponti a campata unica, privi di pile, quale quelli in esame, in quanto, essendo le pile assenti, la loro massa è nulla, e pertanto certamente non superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato. Infatti, in accordo con la terminologia tecnica comunemente adottata, alla quale certamente intende riferirsi la Normativa l'elemento strutturale che sostiene l'estremità del ponte e separa la luce libera dal terreno retrostante è da considerarsi "spalla", indipendentemente dalla sua forma e dal tipo di fondazioni.

Per quanto attiene al calcolo delle inerzie sugli elementi strutturali, allo Stato Limite Ultimo si procede come nel seguito descritto:

- Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo, si adotta l'accelerazione pari a:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,22g \cdot 1,364 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,0} = 0,30g$$

L'accelerazione verticale di progetto è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0,14g$$

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 112 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.12 Spinta sismica del terreno E

Le spinte delle terre, considerando la spalla su pali una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 14.01.08), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta S_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2 \quad \text{- formula di Wood}$$

Il punto di applicazione della spinta in direzione y (trasversale) è posto $H_{tot}/2$, con H_{tot} l'altezza totale della spalla dall'intradosso cordolo di testa pali (4m).

$$\Delta S_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2 = 0.30 \cdot 19 \cdot 4.00^2 = 91.2 \text{ kN/m}$$

$$\Delta s_{E,y} = 91.2 / 4.00 = 22.8 \text{ kN/m}^2 \quad \text{in dir. y}$$

Il punto di applicazione della spinta in direzione x (longitudinale) è posto $H_{tot}/2$, con H_{tot} l'altezza totale della spalla dalla quota fuori terra dei pali (7m).

$$\Delta S_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2 = 0.30 \cdot 19 \cdot 7.00^2 = 279.3 \text{ kN/m}$$

$$\Delta s_{E,m} = 279.3 / 7.00 = 40 \text{ kN/m}^2 \quad \text{in dir. X, agente sulla muro frontale della spalla}$$

$$\Delta s_{E,p} = 279.3 / 7.00 \cdot 1.9 = 76 \text{ kN/m} \quad \text{in dir. X, agente lungo i pali del muro frontale della spalla}$$

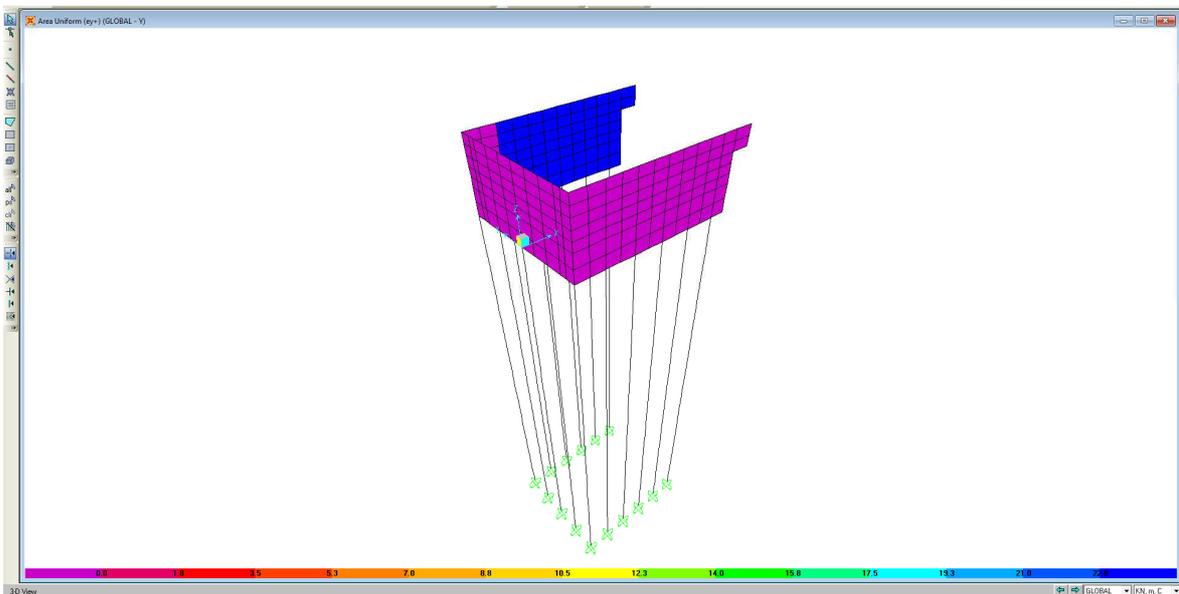


Figura 6.6 Spinta sismica delle terre in dir. y

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 113 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

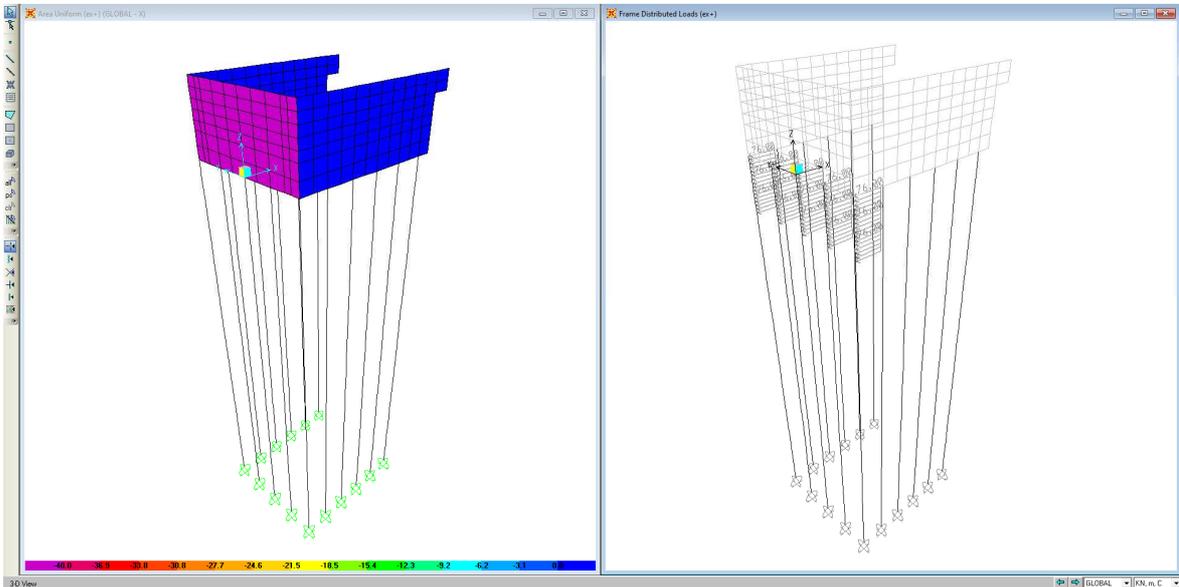


Figura 6.7 Spinta sismica delle terre in dir. x

6.2.13 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

Componente orizzontale

- Impalcato: la reazione massima proviene dallo studio dell'insieme impalcato appoggi elastomerici mediante l'applicazione degli spettri di risposta sismica (vedi relazione di calcolo impalcato cap. 7)

Trave	Reazioni massime trasv. [kN]	Reazioni massime long. [kN]
1	0	0
2	1800	0
3	0	0

L'accelerazione di progetto da applicare alla masse strutturali della spalla e del rinterro è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,22g \cdot 1,364 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,0} = 0,30g$$

L'inerzia sismica delle masse strutturali della spalla viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo una volta inserito il moltiplicatore delle masse pari a S(T) sopra definito

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	114 di 171

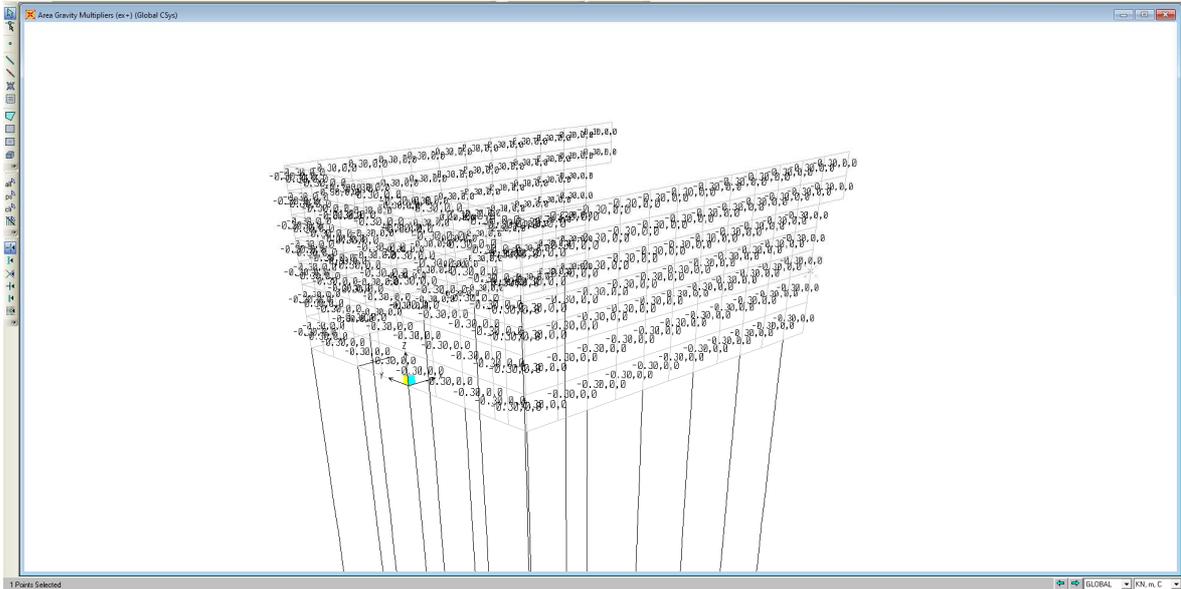


Figura 6.8 Inerzia orizzontale spalla in dir. x

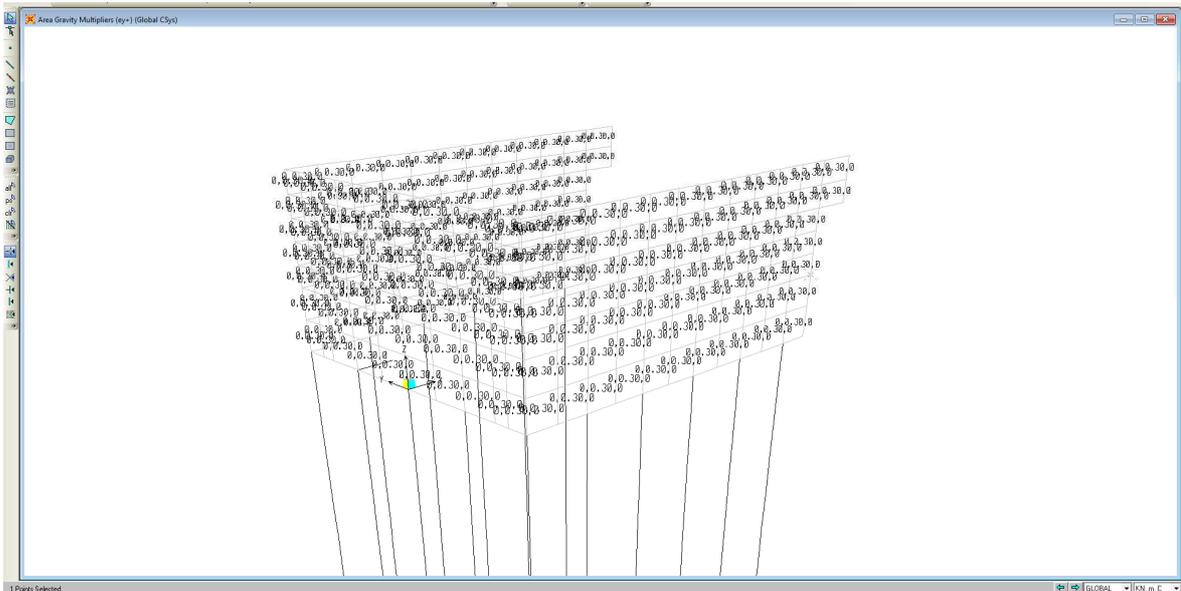


Figura 6.9 Inerzia orizzontale spalla in dir. y

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 115 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

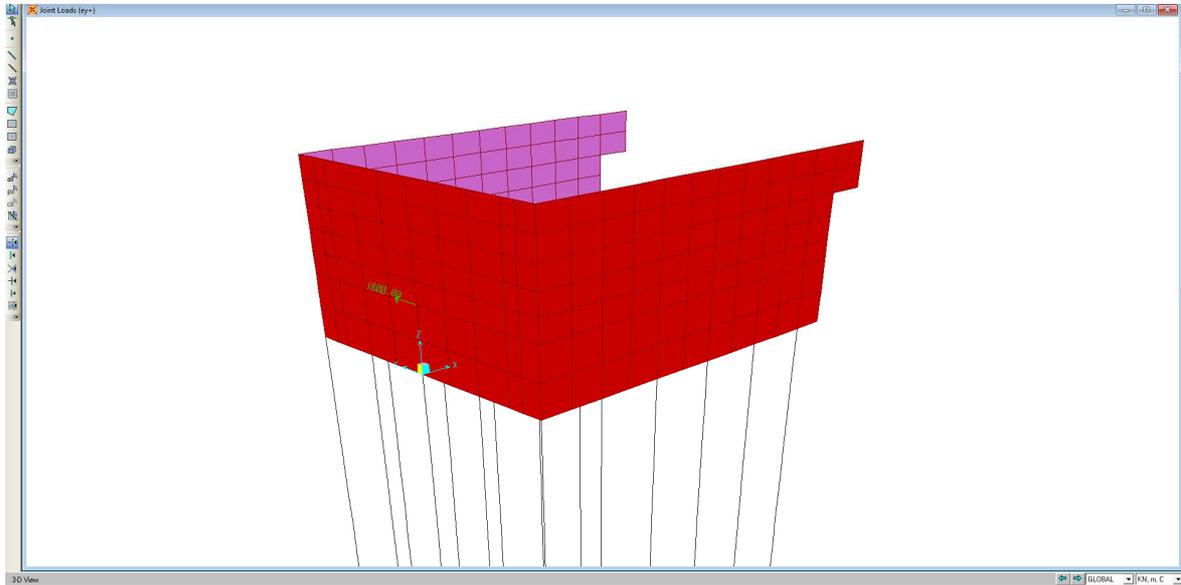


Figura 6.10 Inerzia orizzontale impalcato in dir. y

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 116 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

Componente verticale

L'accelerazione di progetto in direzione verticale (considerando un fattore di struttura unitario in accordo al §7.3.1 del DM 17/01/2018) è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0.14g$$

- Impalcato: la reazione massima proviene dallo studio dell'insieme impalcato appoggi elastomerici mediante l'applicazione degli spettri di risposta sismica (vedi relazione di calcolo impalcato cap. 7)

Trave	reazioni massime vert. [kN]	reazioni minime vert. [kN]
1	+301	- 301
2	+301	- 301
3	+301	- 301

L'accelerazione di progetto da applicare alla masse strutturali della spalla è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} = 0,14g \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 0.14g$$

L'inerzia sismica delle masse strutturali della spalla viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo una volta inserito il moltiplicatore delle masse pari a S(T) sopra definito

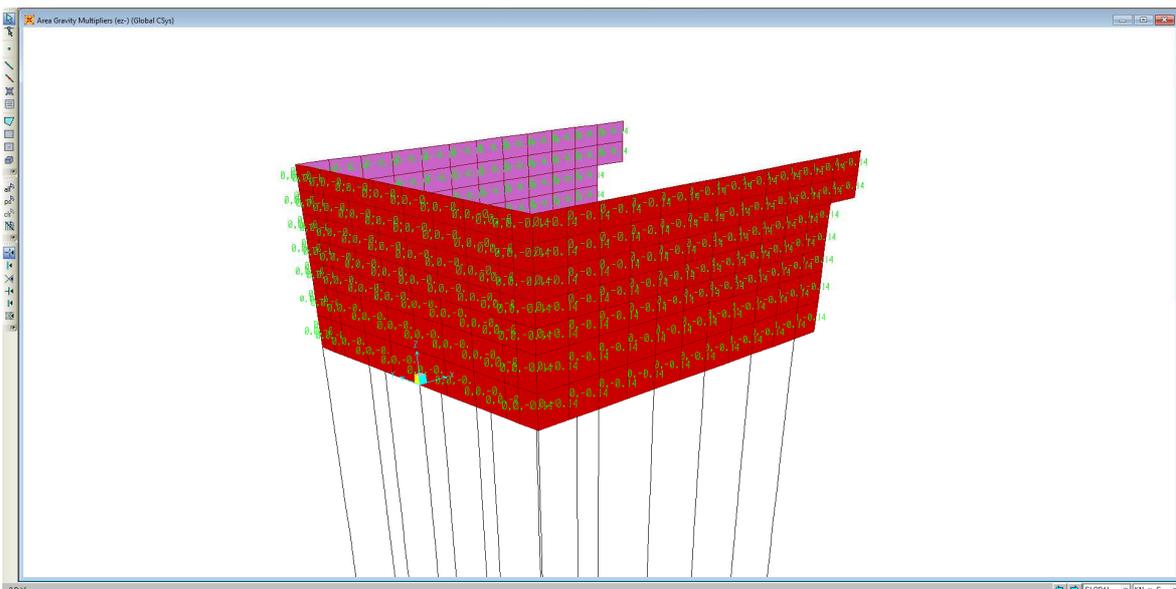


Figura 6.11 Inerzia verticale spalla in dir. -Z

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	117 di 171

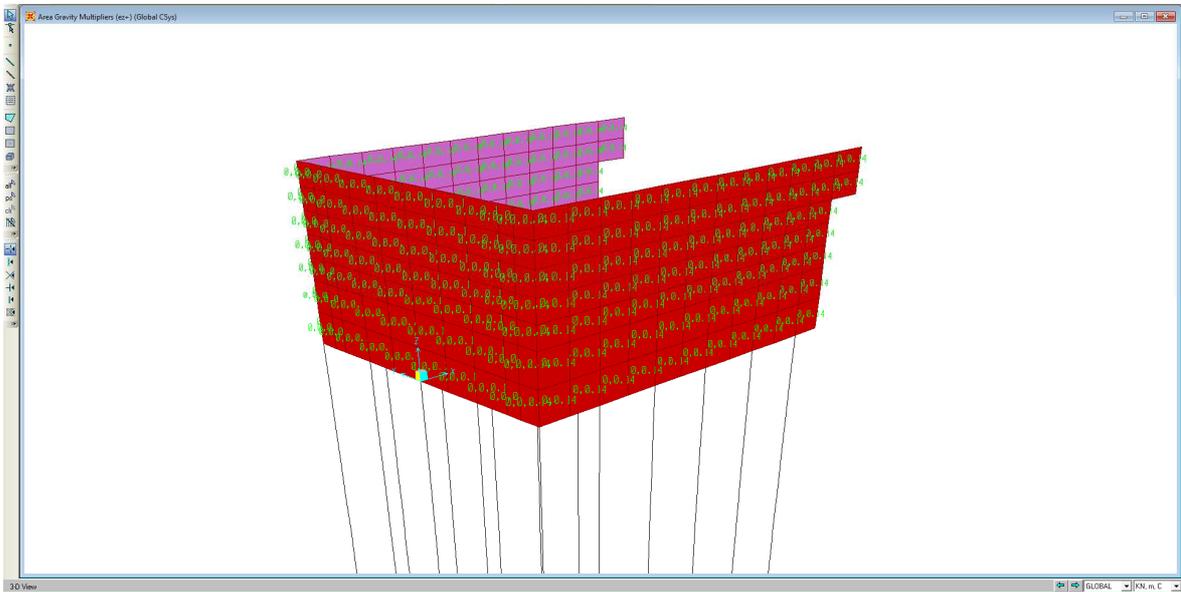


Figura 6.12 Inerzia verticale spalla in dir. +z

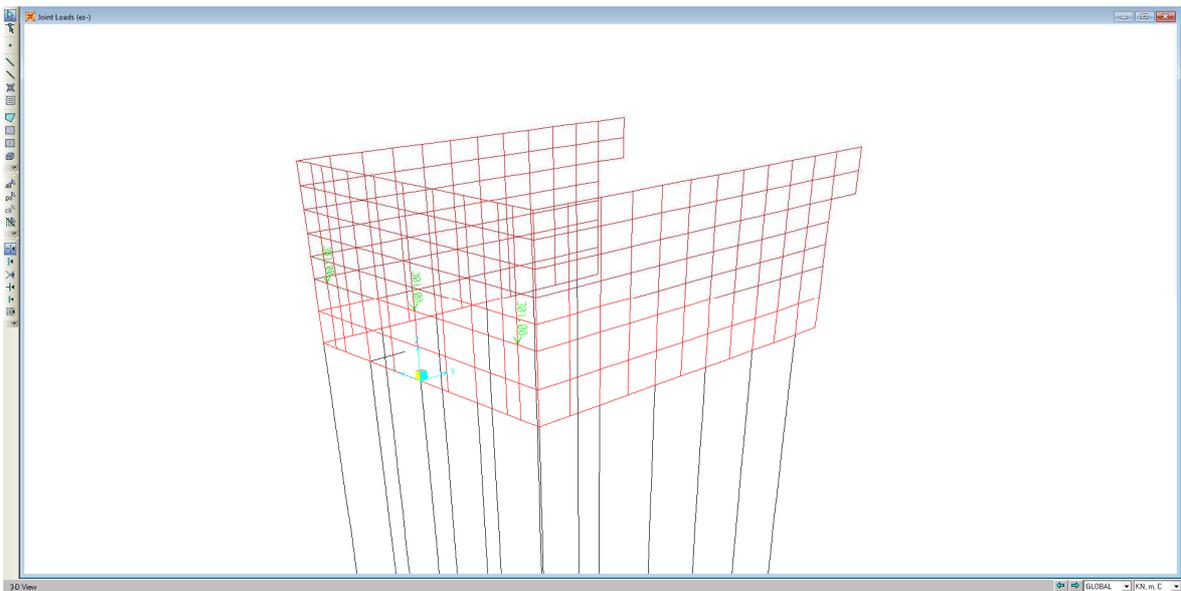


Figura 6.13 Inerzia verticale impalcato in dir. -z

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 118 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

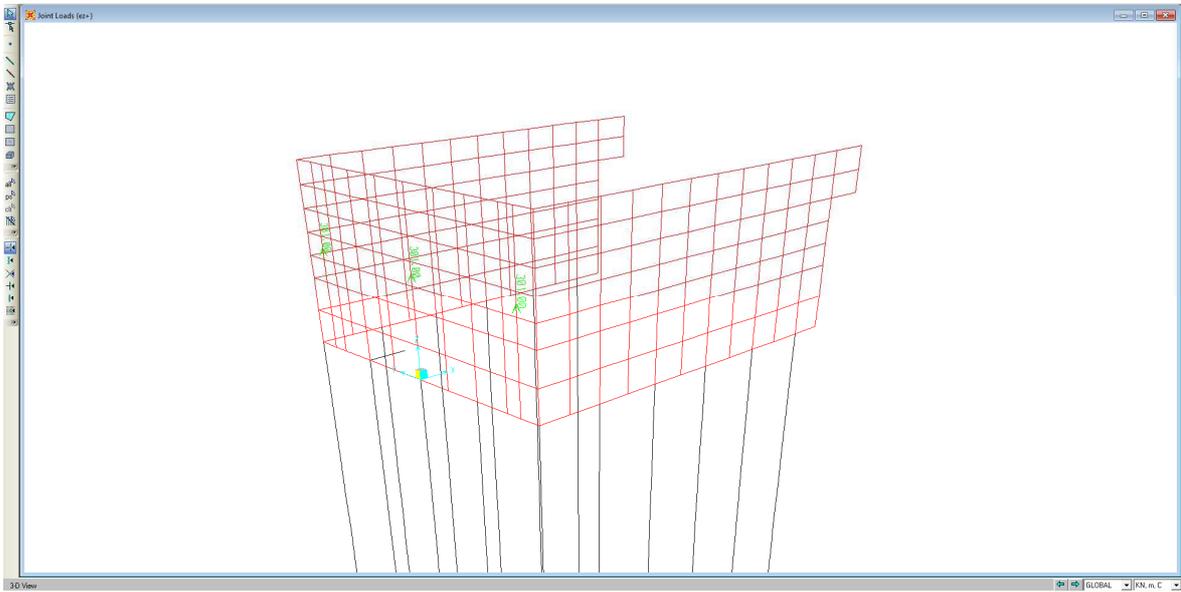


Figura 6.13 Inerzia verticale impalcato in dir. +z

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 119 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.14 Resistenza parassita dei vincoli (q7)

Per effetto degli spostamenti orizzontali dell'impalcato in corrispondenza degli appoggi si sviluppano azioni orizzontali di attrito, funzione delle caratteristiche degli appoggi impiegati e del carico permanente verticale.

Sulla struttura sono presenti come apparecchi di appoggio in acciaio teflon il cui coefficiente di attrito è pari a 0.03.

Pertanto la forza orizzontale $F_{res,passive}$ esercitata sul singolo appoggio risulta essere pari a:

$$F_{res,passive_appoggio_spalla} = 0.03 \cdot 800 = 24 \text{ kN (su ciascun appoggio)}$$

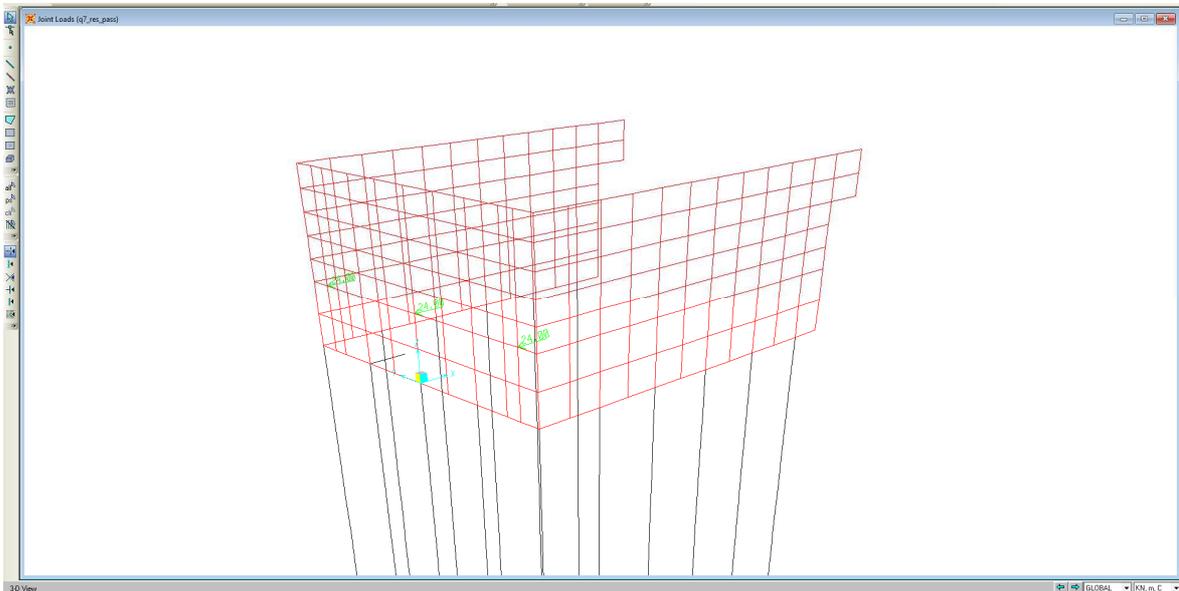


Figura 6.14 Resistenze passive vincoli di appoggio impalcato

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 120 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2.15 Urto sulle barriere di sicurezza posti sui muri di risvolto (q8)

Nel caso in cui possa verificarsi l'urto di un veicolo su di un elemento strutturale si dovrà considerare agente sull'elemento stesso una forza orizzontale concentrata di 100 kN distribuita su 0.5 m ed applicata ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h1, h2 ove h1 (altezza delle barriere – 0.10 m), h2 =1.00 m.

Tale azione si considera applicata a 0.9 m dalla testa del muro di risvolto ed ipotizzando una diffusione a 45° a partire dall'impronta di carico di 0.5 m, avremo che l'urto verrà applicato come una forza ed un momento uniformemente distribuiti su di una striscia di $(0.5+0.9*2)= 2.3$ m:

$$F_u = 100 / (0.5 + 0.9 * 2) = 43.48 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 43.48 * 0.9 = 39.14 \text{ kNm/m}$$

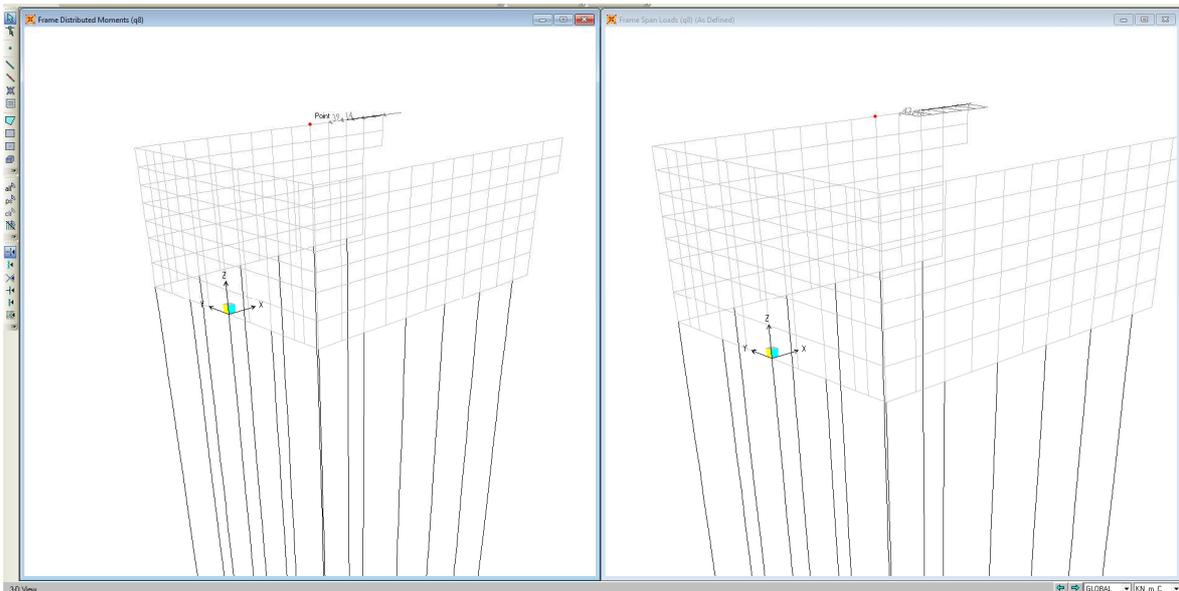


Figura 6.15 Momento e forza dovuto all'urto del veicolo in svio

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 121 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.3 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Si riportano le combinazioni di carico che sono state considerate per il calcolo delle sollecitazioni di progetto.

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR}) \Rightarrow G_1 + \gamma G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k)$$

$$\text{ECC}) \Rightarrow G_1 + G_2 + A_d + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

La combinazione ECC è utilizzata per la verifica all'urto (A_d) del veicolo in svio sui muri di risvolto con $\psi_{2i}=1$.

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente}) \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente}) \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione sono le seguenti:

$$\text{STR}) \Rightarrow E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k)$$

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

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Nel caso dell'opera in oggetto, interessata da un attraversamento stradale, così come espressamente indicato al p.to 5.1.3.8 della norma, verrà considerato nullo il valore quasi permanente delle masse corrispondenti ai carichi da traffico.

Per la stessa sezione, i coefficienti parziali di sicurezza da applicare alle varie tipologie di carico e i valori di combinazione delle azioni variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti.

Le verifiche strutturali e geotecniche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle seguenti per i parametri geotecnici e le azioni.

Combinazione 1 (A1+M1+R3) STR/ECC/SLV (*)

(*) Si precisa che per le verifiche agli s.l.u. nella combinazione sismica (SLV), si considerano come carichi agenti quelli i cui coefficienti parziali delle azioni vengono posti pari all'unità come indicato nelle

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 122 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

NTC-D.M. 17/01/2018 al paragrafo 7.11.1.

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	M_1	M_2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ	1	1

In accordo con quanto indicato nel paragrafo 6.4.3.1.1 della norma di riferimento, i coefficienti parziali che si applicano alle resistenze caratteristiche calcolate, sono quelli riportati nella tabella che segue con riferimento, per analogia alla tecnologia costruttiva, ai pali trivellati.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_c	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Per la stessa sezione, i coefficienti parziali di sicurezza da applicare alle varie tipologie di carico e i valori di combinazione delle azioni variabili da traffico sono riportati nelle tabelle seguenti.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 123 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tabella 5.1.VI – Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
Vento q_5	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 124 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

6.3.1 Casi di carico

Le condizioni elementari considerate sono riassunte nella tabelle seguente:

Sigla Id	Peso	CDC
Peso proprio	1.00	g1_travi+soletta
Permanenti portati	1.00	g2_permanente
Spinta delle terre	1.00	g3_t
Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla sinistra	1.00	g3_q_sx
Azione del vento	1.00	Q5
frenatura sx	1.00	Q3_sx
frenatura dx (non presente)	1.00	Q3_dx
Schema di carico 1,	1.00	Qt_A
Schema di carico 1, a tergo della spalla	1.00	Qt_B
Schema di carico 1, configurazione C (non presente)	1.00	Qt_C
Schema di carico 1, configurazione D (non presente)	1.00	Qt_D
Schema di carico 1, configurazione E (non presente)	1.00	Qt_E
Sisma da +x	1.00	Ex+ ,Wood
Sisma da -x (non presente)	1.00	Ex- ,Wood
Sisma da +y	1.00	Ey+
Sisma da -y (non presente)	1.00	Ey-
Sisma da -z (verso il basso)	1.00	Ez-
Sisma da +z (verso l'alto)	1.00	Ez+
Resistenza passiva vincoli	1.00	Q7
Urto	1.00	Q8

6.3.2 Combinazioni SLU (STR)

Di seguito vengono riportate le 203 combinazioni SLU considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

SLU001 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU002 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU003 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU004 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU005 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU006 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU007 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU008 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU009 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU010 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU011 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU012 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-B+1.35Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	125 di 171

SLU013 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU014 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU015 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU016 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU017 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU018 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU019 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU020 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU021 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.35Q7
 SLU022 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU023 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU024 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU025 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU026 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU027 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.35Q7
 SLU028 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU029 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU030 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU031 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU032 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU033 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35Q7
 SLU034 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+1.35Q7
 SLU035 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+1.35Q7
 SLU036 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+1.35Q7
 SLU037 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+1.35Q7
 SLU038 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+1.35Q7
 SLU039 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU040 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU041 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU042 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU043 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU044 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU045 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU046 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU047 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU048 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU049 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU050 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU051 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU052 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU053 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU054 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU055 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU056 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU057 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU058 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-C+1.35Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	126 di 171

SLU059 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU060 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU061 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU062 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU063 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU064 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU065 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU066 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+1.35Q7
 SLU067 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+1.35Q7
 SLU068 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+1.35Q7
 SLU069 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+1.35Q7
 SLU070 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+1.35Q7
 SLU071 1.35 G1+1.35 G2+G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.35Q7
 SLU072 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU073 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU074 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU075 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU076 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.0215 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU077 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.35Q7
 SLU078 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-A+1.35Q7
 SLU079 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-B+1.35Q7
 SLU080 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-C+1.35Q7
 SLU081 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-D+1.35Q7
 SLU082 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+1.0215 Q-E+1.35Q7
 SLU083 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35Q7
 SLU084 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+1.35Q7
 SLU085 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+1.35Q7
 SLU086 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+1.35Q7
 SLU087 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+1.35Q7
 SLU088 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+1.35Q7
 SLU089 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU090 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU091 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU092 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU093 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU094 1.35 G1+1.35 G2+G3+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU095 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+1.35Q7
 SLU096 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+1.35Q7
 SLU097 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+1.35Q7
 SLU098 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+1.35Q7
 SLU099 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+1.35Q7
 SLU100 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+1.35Q7
 SLU101 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-A+Q7
 SLU102 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-B+Q7
 SLU103 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-C+Q7
 SLU104 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-D+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 127 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

SLU105 G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-E+Q7
 SLU106 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-A+Q7
 SLU107 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-B+Q7
 SLU108 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-C+Q7
 SLU109 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-D+Q7
 SLU110 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 Q-E+Q7
 SLU111 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-A+Q7
 SLU112 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-B+Q7
 SLU113 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-C+Q7
 SLU114 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-D+Q7
 SLU115 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+1.35 Q-E+Q7
 SLU116 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU117 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU118 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU119 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU120 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU121 G1+G2+1.35 G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q7
 SLU122 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-A+Q7
 SLU123 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-B+Q7
 SLU124 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-C+Q7
 SLU125 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-D+Q7
 SLU126 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+1.0125 Q-E+Q7
 SLU127 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+Q7
 SLU128 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-A+Q7
 SLU129 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-B+Q7
 SLU130 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-C+Q7
 SLU131 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-D+Q7
 SLU132 G1+G2+1.35 G3+1.0125 G3_Q_dx+1.35 (Q3-)+1.0125 Q-E+Q7
 SLU133 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q7
 SLU134 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 SLU135 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 SLU136 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 SLU137 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 SLU138 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 SLU139 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q7
 SLU140 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-A+Q7
 SLU141 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU142 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU143 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU144 G1+G2+1.35 G3+0.9 Q5+Q-E+Q7
 SLU145 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q7
 SLU146 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A
 SLU147 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU148 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU149 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU150 G1+G2+1.35 G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 128 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

SLU151 G1+G2+G3+1.35 Q-A+Q7
 SLU152 G1+G2+G3+1.35 Q-B+Q7
 SLU153 G1+G2+G3+1.35 Q-C+Q7
 SLU154 G1+G2+G3+1.35 Q-D+Q7
 SLU155 G1+G2+G3+1.35 Q-E+Q7
 SLU156 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-A+Q7
 SLU157 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-B+Q7
 SLU158 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-C+Q7
 SLU159 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-D+Q7
 SLU160 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 Q-E+Q7
 SLU161 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU162 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU163 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU164 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU165 G1+G2+G3+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU166 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-A+Q7
 SLU167 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-B+Q7
 SLU168 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-C+Q7
 SLU169 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-D+Q7
 SLU170 G1+G2+G3+G3_Q_sx+G3_Q_dx+1.35 Q-E+Q7
 SLU171 G1+G2+G3+G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q7
 SLU172 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A+Q7
 SLU173 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B+Q7
 SLU174 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C+Q7
 SLU175 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D+Q7
 SLU176 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E+Q7
 SLU177 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q7
 SLU178 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-A+Q7
 SLU179 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-B+Q7
 SLU180 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-C+Q7
 SLU181 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-D+Q7
 SLU182 G1+G2+G3+0.9 Q5+1.35 (Q3-)+Q-E+Q7
 SLU183 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q7
 SLU184 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 SLU185 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 SLU186 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 SLU187 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 SLU188 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 SLU189 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q7
 SLU190 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-A+Q7
 SLU191 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU192 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU193 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU194 G1+G2+G3+0.9 Q5+Q-E+Q7
 SLU195 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q7
 SLU196 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-A+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 129 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

SLU197 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-B+Q7
 SLU198 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-C+Q7
 SLU199 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-D+Q7
 SLU200 G1+G2+G3+1.35 G3_Q_sx+0.9 Q5+Q-E+Q7
 SLU201 1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q7
 SLU202 1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q7
 SLU203 G1+G2+1.35 G3+ Q7

6.3.3 Combinazioni ECC

ECC G1+G2+G3+G3_Q+Q8

6.3.4 Combinazioni SLE

Di seguito vengono riportate le 59 combinazioni SLE considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

QP01 G1+G2+G3+Q7
 RARA01 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q7
 RARA02 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-A+Q7
 RARA03 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-B+Q7
 RARA04 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-C+Q7
 RARA05 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-D+Q7
 RARA06 G1+G2+G3+G3_Q_sx+Q-E+Q7
 RARA07 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q7
 RARA08 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-A+Q7
 RARA09 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-B+Q7
 RARA10 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-C+Q7
 RARA11 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-D+Q7
 RARA12 G1+G2+G3+G3_Q_dx+Q-E+Q7
 RARA13 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q7
 RARA14 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-A+Q7
 RARA15 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-B+Q7
 RARA16 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-C+Q7
 RARA17 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-D+Q7
 RARA18 G1+G2+G3+G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-E+Q7
 RARA19 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+Q7
 RARA20 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-A+Q7
 RARA21 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-B+Q7
 RARA22 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-C+Q7
 RARA23 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-D+Q7
 RARA24 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-E+Q7
 RARA25 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+Q7
 RARA26 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-A+Q7

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	130 di 171

RARA27 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-B+Q7
 RARA28 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-C+Q7
 RARA29 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-D+Q7
 RARA30 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+(Q3-)+0.75 Q-E+Q7
 RARA31 G1+G2+G3+Q-A+Q7
 RARA32 G1+G2+G3+Q-B+Q7
 RARA33 G1+G2+G3+Q-C+Q7
 RARA34 G1+G2+G3+Q-D+Q7
 RARA35 G1+G2+G3+Q-E+Q7
 RARA36 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-A+Q7
 RARA37 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-B+Q7
 RARA38 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-C+Q7
 RARA39 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-D+Q7
 RARA40 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q-E+Q7
 RARA41 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-A+Q7
 RARA42 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-B+Q7
 RARA43 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-C+Q7
 RARA44 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-D+Q7
 RARA45 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q-E+Q7
 RARA46 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-A+Q7
 RARA47 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-B+Q7
 RARA48 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-C+Q7
 RARA49 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-D+Q7
 RARA50 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.6 Q5+Q-E+Q7
 FR01 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+Q7
 FR02 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5+Q7
 FR03 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx+0.75 0.6 Q5+Q7
 FR04 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-A+Q7
 FR05 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-B+Q7
 FR06 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-C+Q7
 FR07 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-D+Q7
 FR08 G1+G2+G3+0.75 G3_Q_sx +0.75 Q-E+Q7
 FR09 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-A+Q7
 FR10 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-B+Q7
 FR11 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-C+Q7
 FR12 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-D+Q7
 FR13 G1+G2+G3+0.75 0.6 Q5 +0.75 Q-E+Q7



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 131 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.3.5 Combinazioni SLV

Di seguito vengono riportate le 9 combinazioni SLV considerate:

Nome Combo Azioni considerate e coefficienti parziali

SLV01 $G1+G2+G3+Ex(+)+Q7$

SLV02 $G1+G2+G3+Ex(+)+0.3 Ey(+)+0.3 Ez(+)+Q7$

SLV03 $G1+G2+G3+Ex(+)+0.3 Ey(+)+0.3 Ez(-)+Q7$

SLV04 $G1+G2+G3+Ey(+)+Q7$

SLV05 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+Ey(+)+0.3 Ez(+)+Q7$

SLV06 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+Ey(+)+0.3 Ez(-)+Q7$

SLV07 $G1+G2+G3+Ez(+)+Q7$

SLV08 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+0.3 Ey(-)+Ez(+)+Q7$

SLV09 $G1+G2+G3+0.3 Ex(+)+0.3 Ey(+)+Ez(-)+Q7$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	132 di 171

6.4 RISULTATI DELL'ANALISI

Di seguito vengono riportati in forma tabellare e grafica i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni per le combinazioni di carico SLU, SLE degli elementi maggiormente sollecitati (spalle e pali):

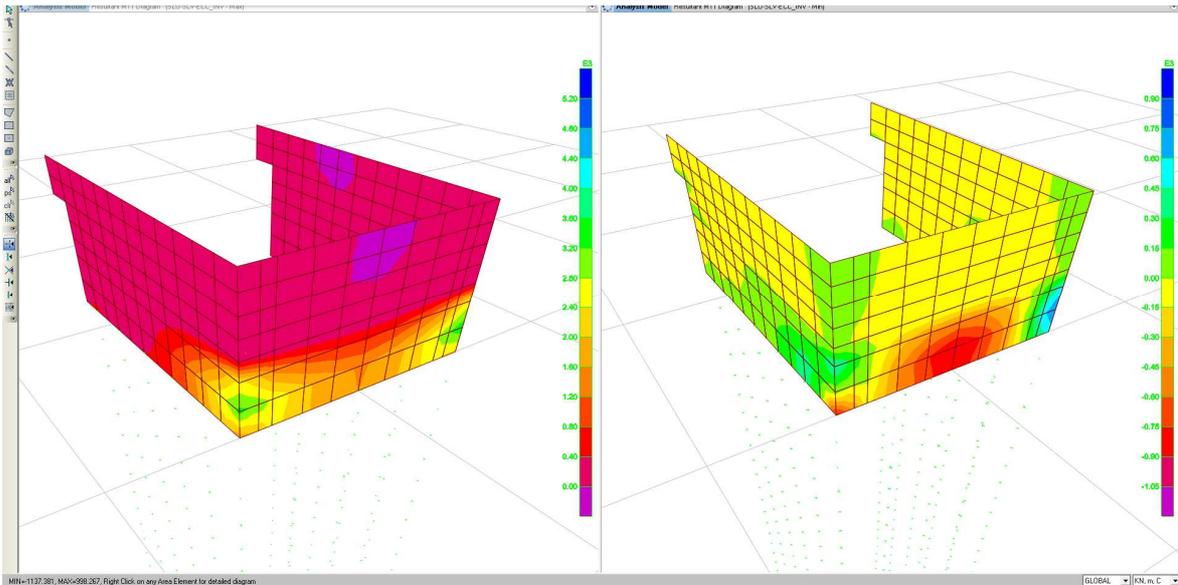


Diagramma dei momenti M_{11} (SLU)

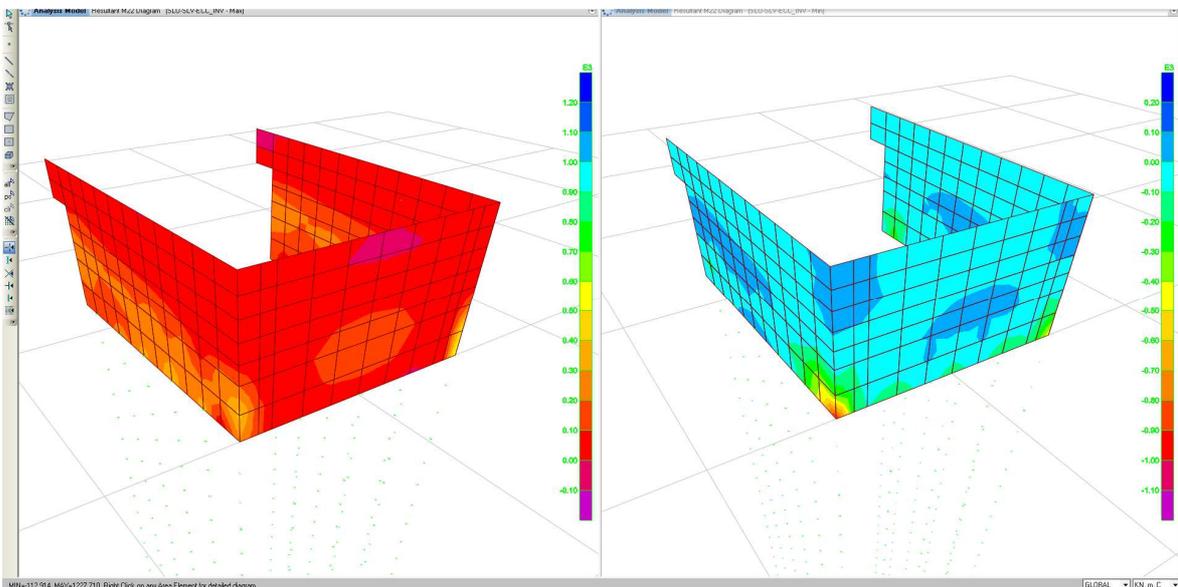


Diagramma dei momenti M_{22} (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 133 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

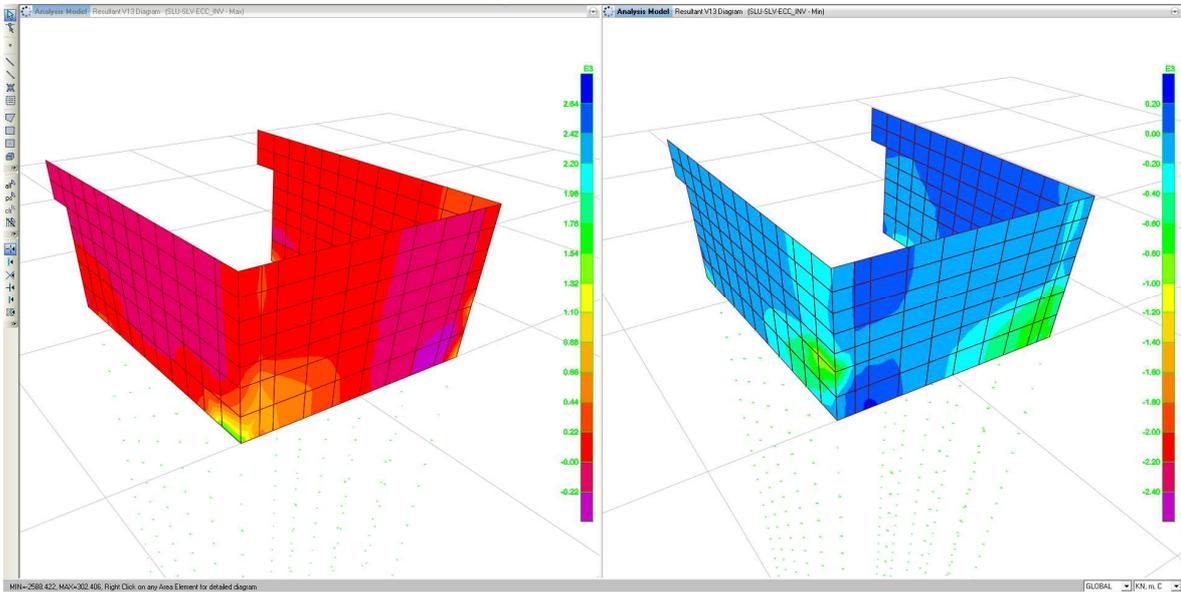


Diagramma dei tagli V13 (SLU)

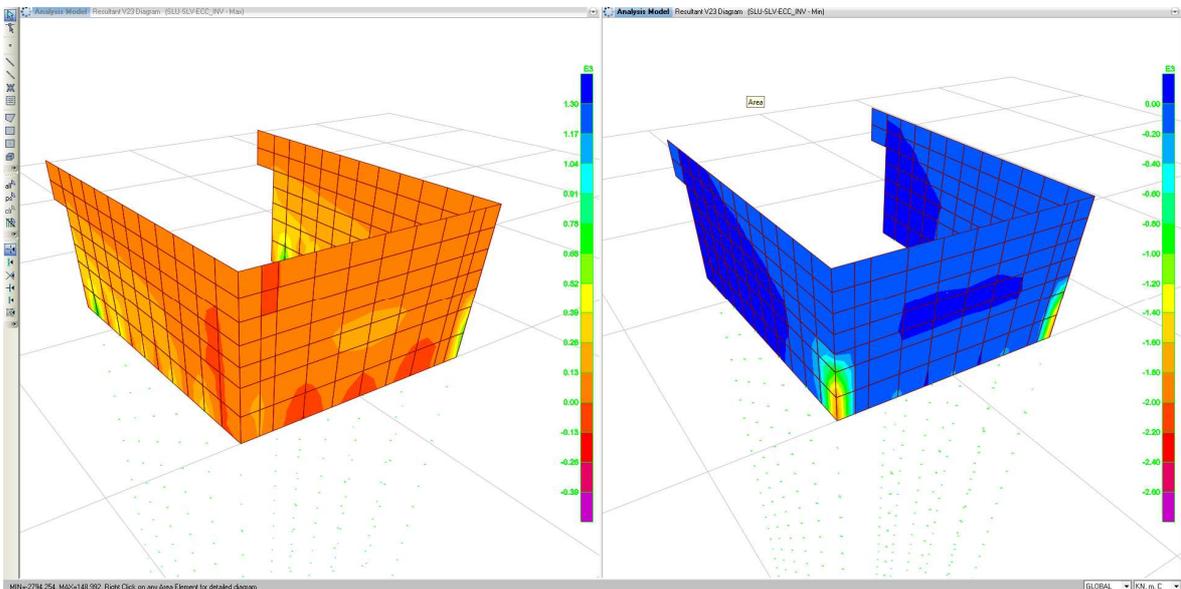


Diagramma dei tagli V23 (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 134 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

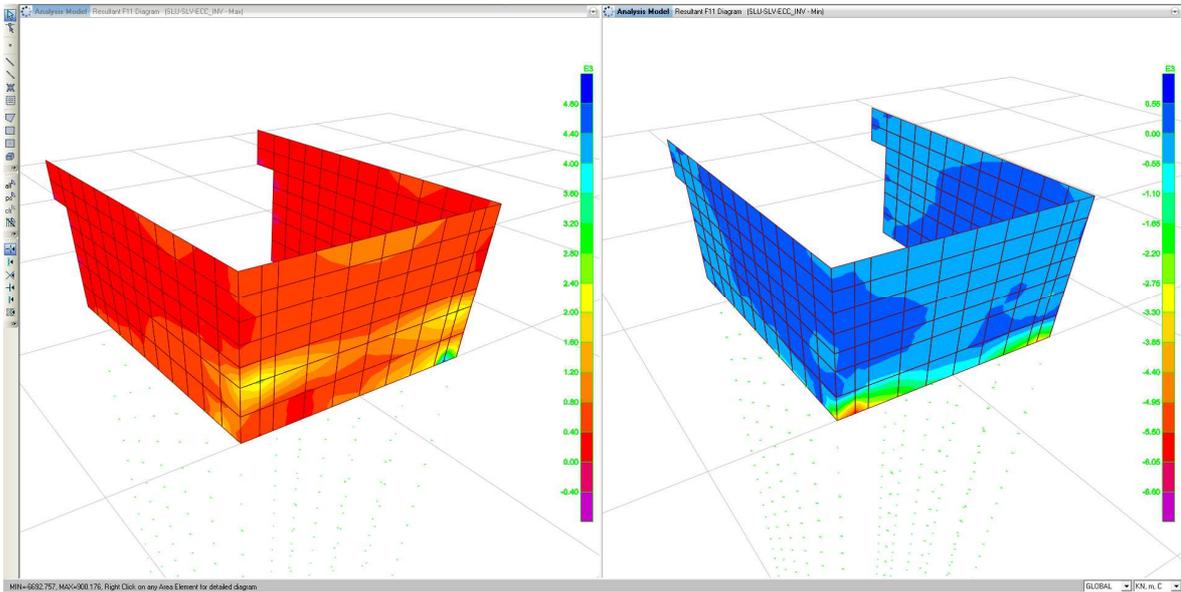


Diagramma delle azioni assiali F11 (SLU)

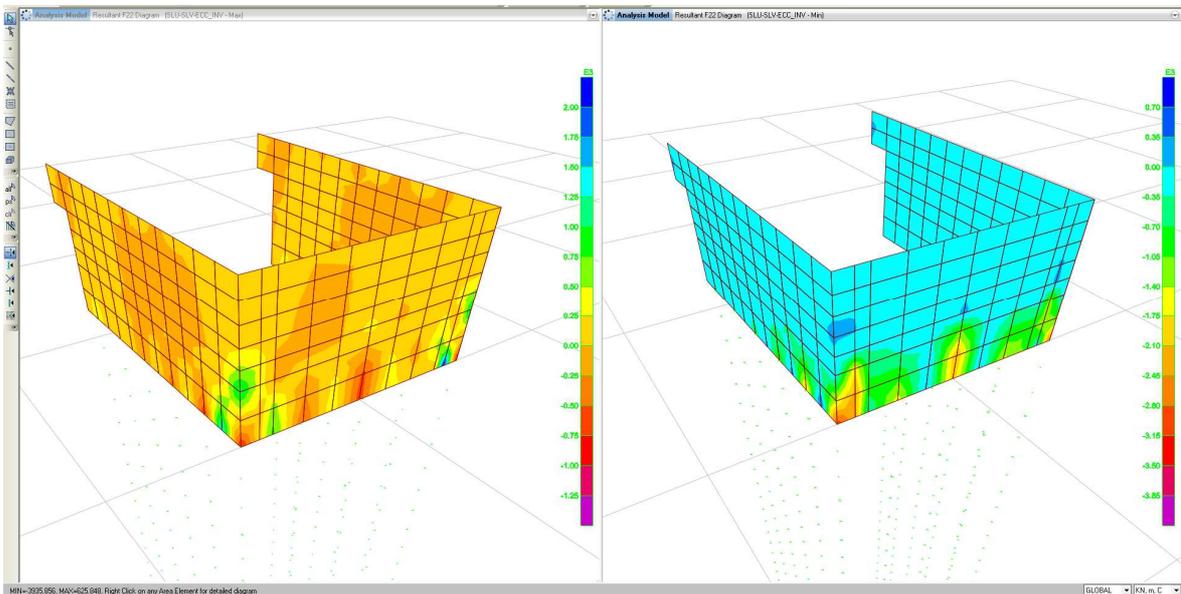


Diagramma delle azioni assiali F22 (SLU)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 135 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

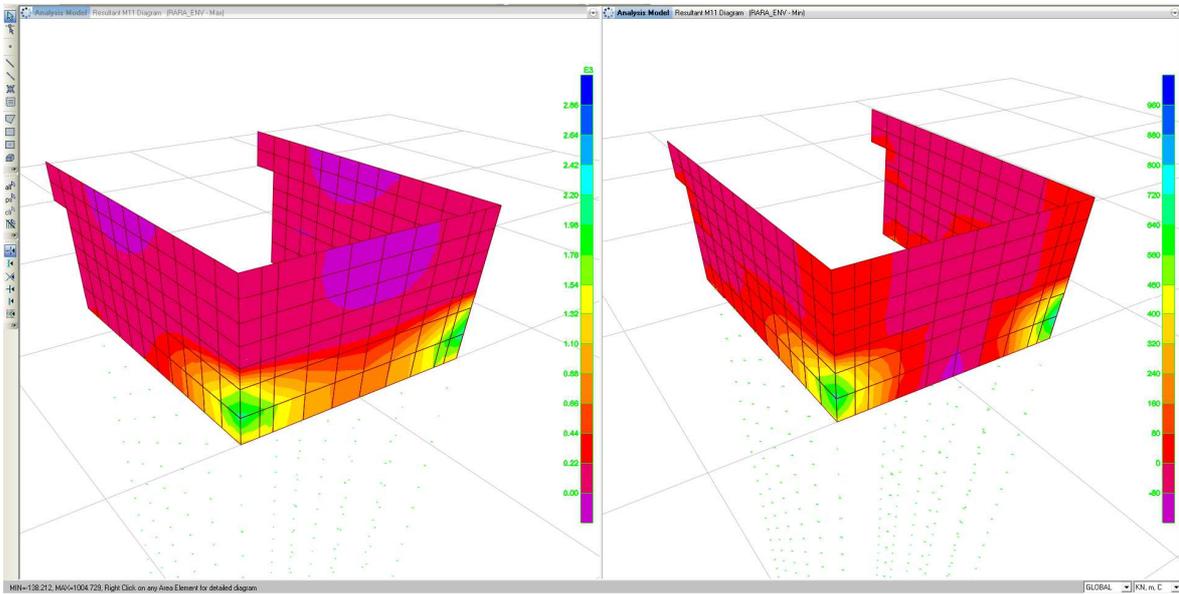


Diagramma dei momenti M11(SLE)

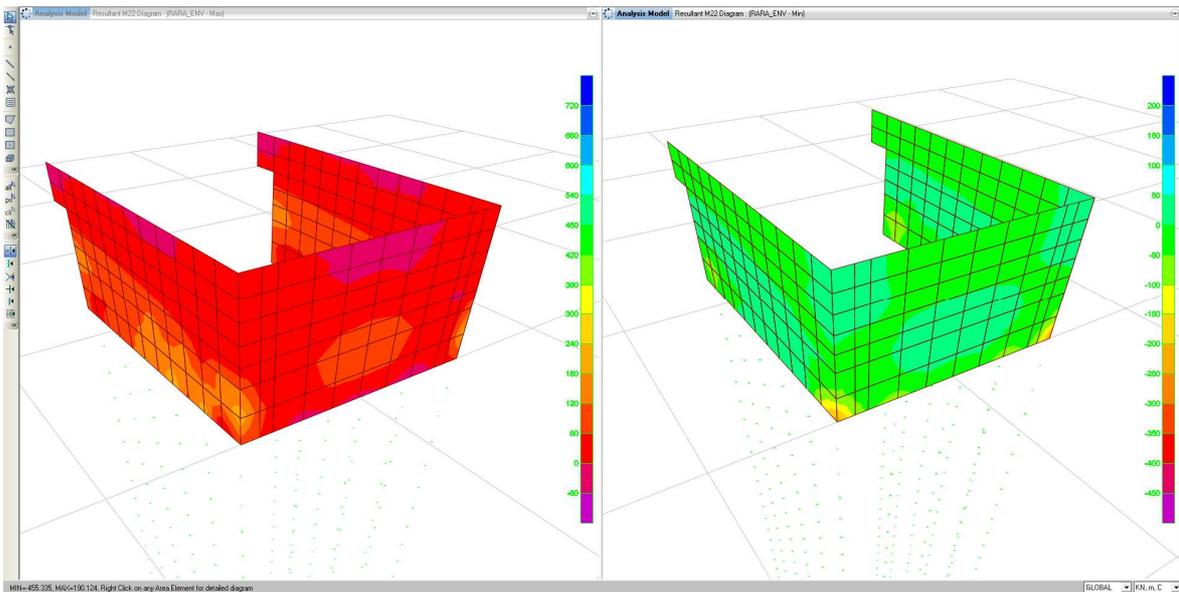


Diagramma dei momenti M22 (SLE)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 136 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

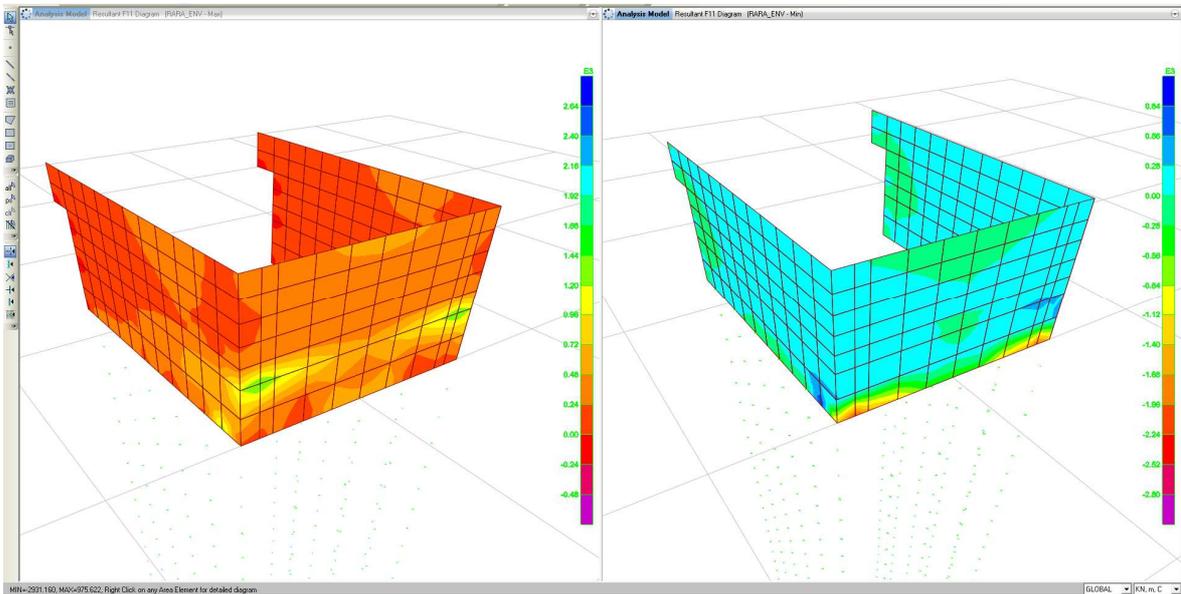


Diagramma delle azioni assiali F11 (SLE)

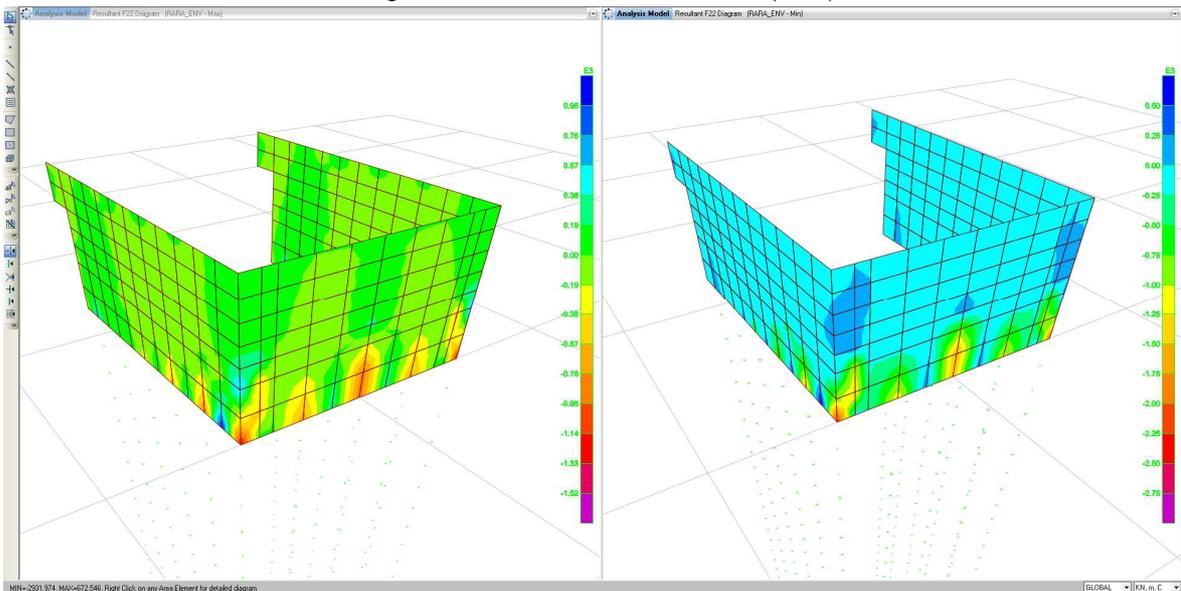


Diagramma delle azioni assiali F22 (SLE)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	137 di 171

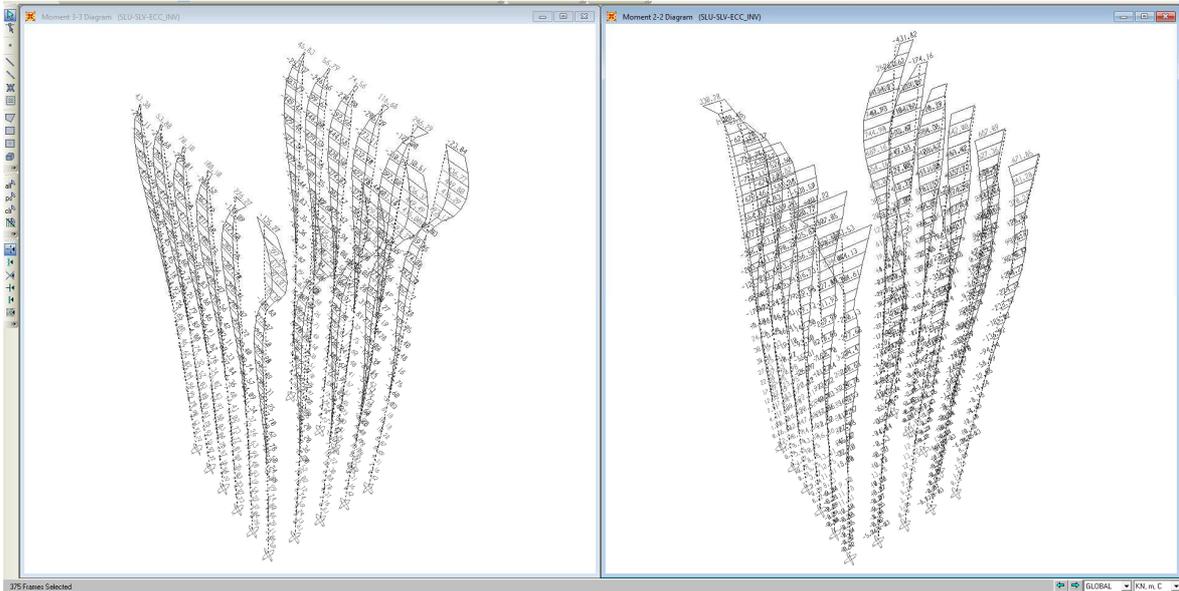


Diagramma dei momenti lungo i pali (SLU: M2-2; M3-3)

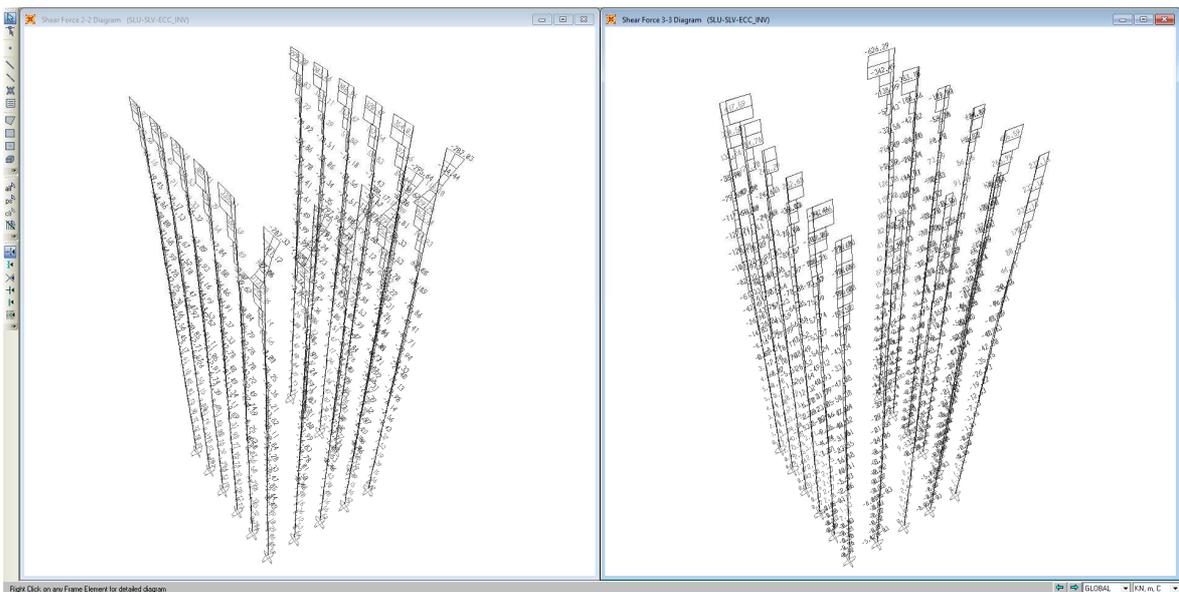


Diagramma dei tagli lungo i pali (SLU: V2-2; V3-3)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

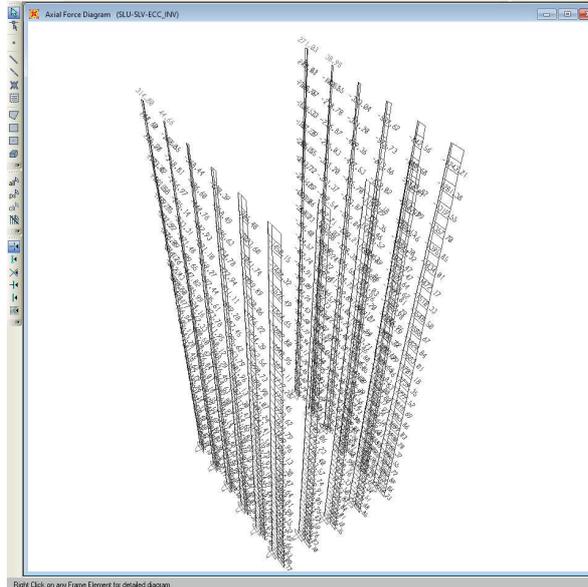
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

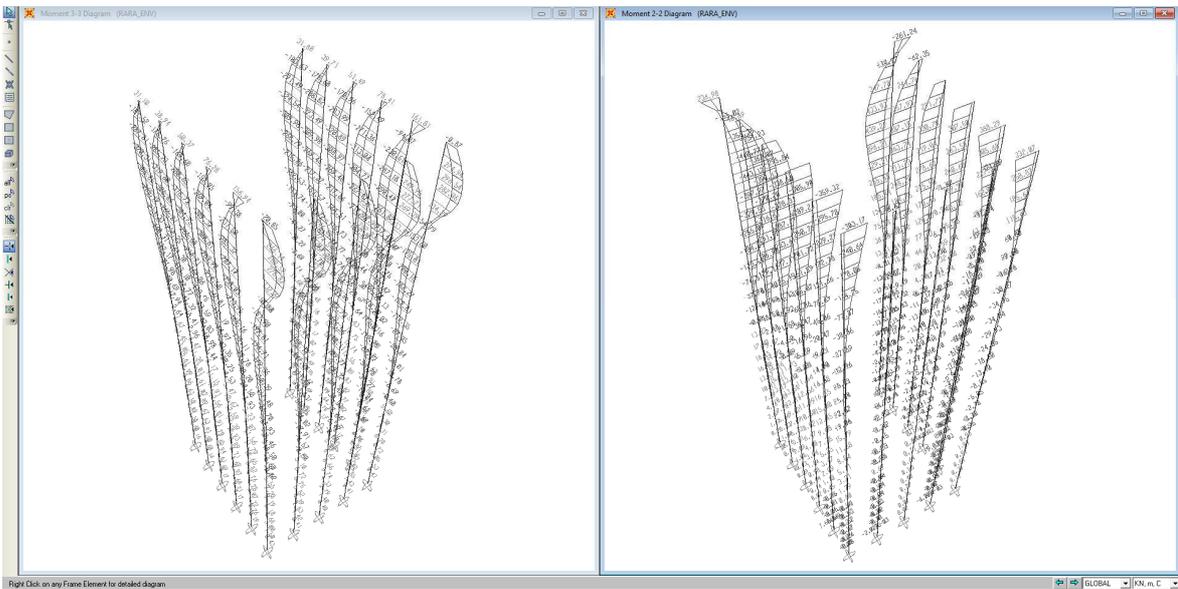
Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 138 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------



Right Click on any Frame Element to detailed diagram

Diagramma degli sforzi assiali lungo i pali (SLU: P)



Right Click on any Frame Element to detailed diagram

Diagramma dei momenti lungo i pali (SLE: M2-2; M3-3)

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

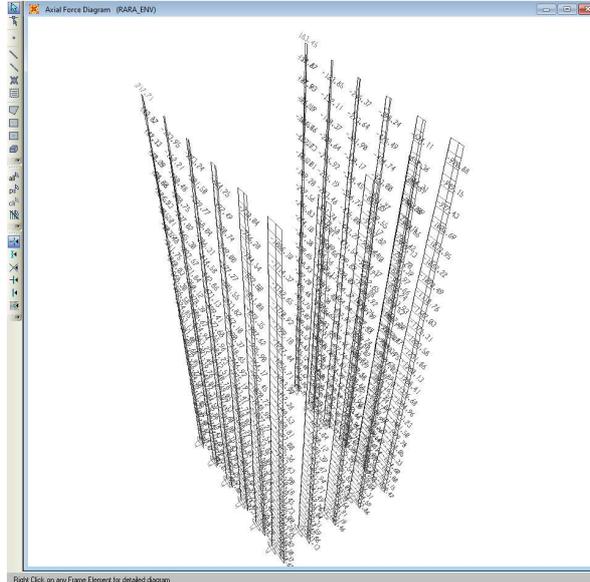
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 139 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



Right Click on any Frame Element for detailed diagram.

Diagramma degli sforzi assiali lungo i pali (SLE: P)

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.diPag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	140 di 171

6.4.1 Sezioni di calcolo

Il modello di calcolo descritto al precedente paragrafo fornisce, in riferimento a ciascun elemento shell, la distribuzione spaziale delle sollecitazioni di calcolo per unità di lunghezza in accordo con il sistema di riferimento locale dell'elemento shell descritto nella precedente ed in termini di:

- sforzi membranali (F11 e F22);
- sforzi taglianti (V13 e V23);
- sforzi flessionali (M11 e M22).

Per maggior chiarezza la seguente Fig. 6-17 illustra la definizione delle sollecitazioni sopra elencate in relazione al sistema di riferimento locale dell'elemento shell.

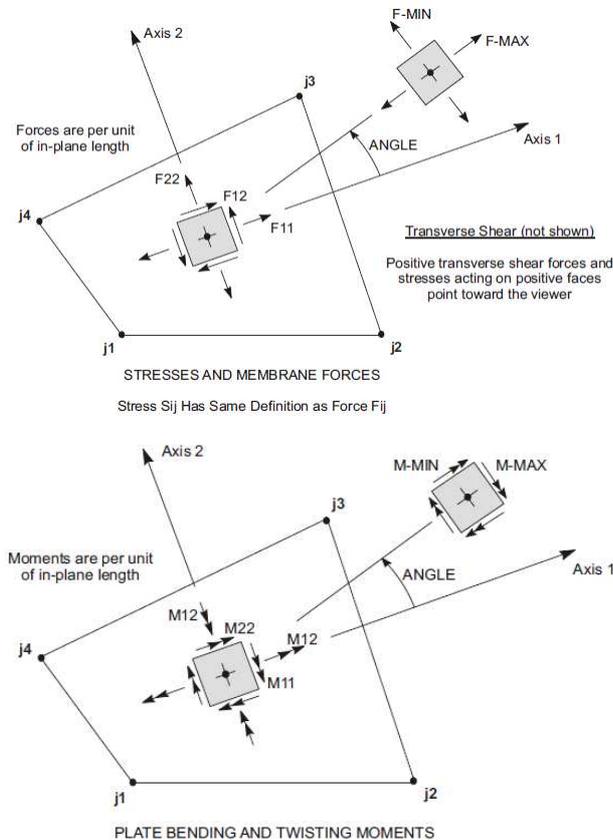


Fig. 6-17: Convenzione degli sforzi membranali, taglianti e flessionali utilizzata dal software di calcolo strutturale SAP2000.

Gli sforzi sopra descritti sono esplicitati automaticamente dal programma di calcolo attraverso apposite mappe di colore (si vedano i successivi paragrafi); tale funzione è stata utilizzata al fine di individuare le porzioni di struttura maggiormente sollecitate.

Una volta individuate le porzioni di struttura maggiormente impegnate sono state definite apposite sezioni di verifica per mezzo dello strumento "Section Cut" disponibile nel programma di calcolo utilizzato (di seguito richiamate per brevità con l'acronimo SC). Tale strumento consente di integrare automaticamente, sulla lunghezza considerata, i diversi contributi di sollecitazione interna (riferiti ai nodi di uno specifico elemento shell) fornendo le sollecitazioni di progetto in termini di sforzi normali,

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 141 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

azioni flettenti ed azioni taglianti.

Le caratteristiche e la localizzazione delle SC esaminate sono riportate in Tab. 6-1 ed in Fig.6-18.

Tab. 6-1: Definizione delle sezioni di verifica esaminate.

ID	LSC [m]	Verifiche		
		N-M	V	w
SCUT01	1.00	X	X	X
SCUT02	1.50	X	X	X
SCUT03	1.00	X	X	X
SCUT04	0.50	X	X	X
SCUT05	1.00	X	X	X
SCUT06	1.00	X	X	X
SCUT07	1.00	X	X	X
SCUT08	1.50	X	X	X
SCUT09	1.00	X	X	X
SCUT10	1.00	X	X	X

dove:

- ID: nome assegnato alla sezione di verifica;
- LSC: lunghezza della sezione di verifica;
- Verifiche: verifiche condotte sulla specifica SC:
- (N-M) presso-flessione retta;
- (V) taglio retto;
- (w) fessurazione;

Si precisa che per la tipologia di struttura in esame si ritengono esaustive le sole tipologie di verifica elencate in Tab. 6-1. Infatti, per via della configurazione geometrica degli elementi strutturali e del comportamento globale della struttura non sono ad esempio significative:

- presso-flessione deviata;
- taglio deviato o combinato;
- punzonamento tra ciabatta e pali di fondazione.

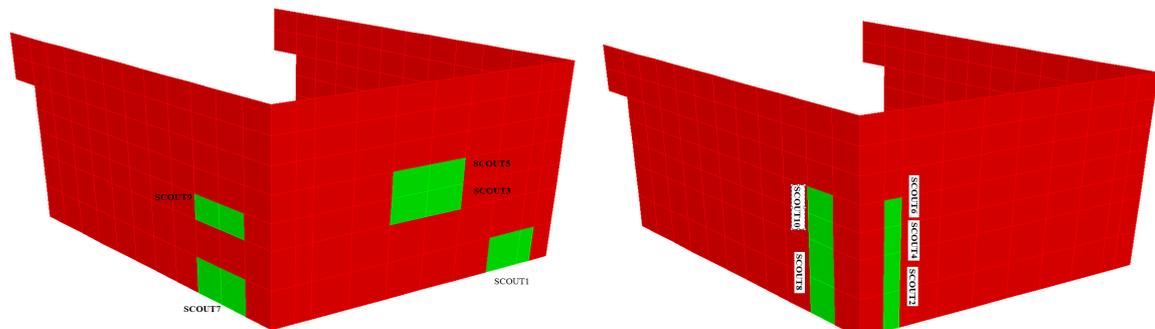


Fig.6-18: Localizzazione delle sezioni di verifica prese in esame.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 142 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Le sollecitazioni di progetto ricavate per ogni sezione di verifica sono state quindi riferite ad una sezione resistente di larghezza unitaria (1.00 m), tranne le sezini SC02 e SC08 che sono riferite ad un larghezza di 1.50m, dividendole per la lunghezza LSC. In tal modo si ottengono le seguenti sollecitazioni di progetto e di verifica:

- N: sforzo normale di progetto (positivo se di compressione);
 M: azione flettente di progetto (positiva se tende le fibre controterra);
 T: azione tagliante di progetto.

6.4.2 Sollecitazioni significative allo SLU

In tabella sono sintetizzati i valori maggiormente significativi delle sollecitazioni di progetto per le SC esaminate relative all'involuppo delle sollecitazioni massime e minime sia allo SLU che allo SLV.

	SLU-SLV-ECC		
	N	M	T
	[kN]	[kNm]	[kN]
SCUT01	891	-240	238
SCUT02	/	-4787	581
SCUT03	27.5	-183	157
SCUT04	/	-640	279
SCUT05	20	-133	150

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 143 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

SCUT06	/	-75	235
SCUT07	91.5	-409	360
SCUT08	/	-2640	507
SCUT09	25	275	340
SCUT10	/	490	325

Tab. 6-2: Valori delle sollecitazioni allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

6.4.3 Sollecitazioni significative allo SLE

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i valori maggiormente significativi da involucro delle sollecitazioni di progetto per le SC esaminate.

	SLE_rara		SLE_freq		SLE_qp	
	N	M	N	M	N	M
	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]
SCUT01	891	-93	891	-66	891	-36
SCUT02	/	-2886	/	-2022	/	-665
SCUT03	27.5	-104	27.5	-82	27.5	-18
SCUT04	/	-374	/	-295	/	-88
SCUT05	20	-71	20	-55	20	-7
SCUT06	/	-46	/	-38	/	-15
SCUT07	91.5	-230	91.5	-183	91.5	-56
SCUT08	/	-1707	/	-1431	/	-600
SCUT09	25	-145	25	-109	25	-29
SCUT10	/	-313	/	-261	/	-168

Tab. 6-3: Sollecitazioni massime e minime significative allo SLE – RARA-FREQ-QP

I momenti negativi tendono le fibre controterra.

I sforzi normali di compressione sono positivi.

6.4.4 sollecitazioni massime sui pali

In Tab. 6-4 sono sintetizzati i valori maggiormente significativi delle sollecitazioni lungo i pali in termini di:

- P: sforzo assiale massimo/minimo (positivo se di trazione);
- M : azione flettente giroscopica;
- V: azione tagliante giroscopica.

Tab. 6-4: Valori delle sollecitazioni lungo i pali.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 144 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V	M
264	1	SLU_ENV	Combination	Mmin	-123.42	37.74	866.32
4	1	SLU_ENV	Combination	Mmax	156.17	9.16	765.25
261	1	SLU_ENV	Combination	Nmin	-2366.67	0.29	0.00
262	0	SLU_ENV	Combination	Nmax	312.02	680.86	334.13
1	0	SLU_ENV	Combination	Tmin	-14.74	637.90	366.40
262	0	SLU_ENV	Combination	Tmax	312.02	680.86	334.13

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V	M
4	1	SLV_ENV	Combination	Mmin	-235.21	21.47	860.26
388	0	SLV_ENV	Combination	Mmax	-422.00	253.87	452.32
261	1	SLV_ENV	Combination	Nmin	-1884.17	0.25	0.00
262	0	SLV_ENV	Combination	Nmax	240.91	381.44	134.31
388	0	SLV_ENV	Combination	Tmin	-1177.37	262.31	84.50
1	0	SLV_ENV	Combination	Tmax	202.68	736.53	490.50

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	M	
265	1	RARA_ENV	Combination	Mmin	-98.66	536.94	
4	1	RARA_ENV	Combination	Mmax	68.99	472.55	
261	1	RARA_ENV	Combination	Nmin	-1765.01	0.00	
262	0	RARA_ENV	Combination	Nmax	215.65	240.06	

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	M	
265	1	FR_ENV	Combination	Mmin	-95.36	453.70	
4	1	FR_ENV	Combination	Mmax	27.06	402.80	
261	1	FR_ENV	Combination	Nmin	-1618.34	0.00	
262	0	FR_ENV	Combination	Nmax	161.21	212.08	

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	M	
3	1	QP001-NL-	Combination	Mmin	-70.39	218.16	
214	1	QP001-NL-	Combination	Mmax	-634.74	216.57	
161	1	QP001-NL-	Combination	Nmin	-1285.70	0.00	
1	0	QP001-NL-	Combination	Nmax	14.41	128.12	

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 145 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.5 CRITERI DI VERIFICA

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Risultando in particolare: :

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$; $w_2 = 0.3 \text{ mm}$; $w_3 = 0.4 \text{ mm}$

Nel caso in esame si ha:

Condizioni Ambientali: aggressive

Armature: Poco Sensibili

Conseguentemente dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente: $w_1 \leq 0.2 \text{ mm}$

Combinazione Frequente: $w_2 \leq 0.3 \text{ mm}$

Nell'ambito della verifica a fessurazione con metodo diretto nei casi in cui la sollecitazione flessionale risulta superiore al momento di prima fessurazione calcolato in accordo al punto 4.1.2.2.4 delle NTC08, si controlla che l'apertura delle fessure sia inferiore a quella limite prevista dalla norma per condizioni ambientali aggressive corrispondenti alla classe di esposizione e armature poco sensibili.

Per quanto riguarda le verifiche tensionali del conglomerato e delle barre d'armatura si fa riferimento al punto 4.1.2.2.5 delle NTC08.

Il fattore di comportamento utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni di natura sismica è unitario ($q=1$). Di conseguenza, in accordo con il punto 7.3.1 delle NTC08, la capacità delle membrature è stata valutata secondo le regole di cui al punto 4.1 delle stesse NTC08, senza nessun requisito aggiuntivo.

Per quanto riguarda i quantitativi minimi di armature, in accordo con il punto 7.4.6.2.4 delle vigenti



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 146 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

NTC08, occorre prevedere un'armatura secondo due direzioni ortogonali e per l'intera estensione dell'elemento strutturale lo 0.1% dell'area della sezione trasversale di calcestruzzo sia inferiormente che superiormente.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 147 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.6 VERIFICA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE

I criteri generali di verifica seguiti sono conformi a quanto previsto al punto 4.1.2 delle NTC08 secondo i quali:

- la verifica SLU a presso/tenso-flessione per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica SLU a taglio per azioni di natura statica e sismica;
- la verifica tensionale relativa ad acciaio e calcestruzzo allo SLE per azioni di natura statica;
- la verifica a fessurazione allo SLE per azioni di natura statica;

Le verifiche sono condotte su sezioni resistenti di larghezza unitaria ($b=1.00$ m), (1.5 m) per le sezioni SC02 e SC08, altezza (h) pari allo spessore della porzione di struttura di volta in volta analizzata e caratteristiche geometrico-meccaniche sintetizzate in Tab. 6-5.

La simbologia adottata, rappresentata in Tab.6-5 ha il significato di seguito riportato:

- ID: nome assegnato alla sezione di verifica;
- h: altezza della sezione;
- As: area di armatura presente in corrispondenza dell' i -esimo strato considerato;
- d: distanza dello strato i -esimo di armatura dal lembo esterno compresso della sezione;
- Asw: area di armatura a taglio al m^2 .

Tab. 6-5: Caratteristiche meccaniche delle SC in analisi.

ID	ID	b	h	1° strato TESO		2° strato TESO		1° strato COMPRESSO		Asw [mm ² /m ²]
		[c m]	[cm]	As [mm ² /m]	d [cm]	As [mm ² /m]	d [cm]	As [mm ² /m]	d [cm]	
CORDOLO FRONTALE	SC01	100	230	1Ø16/20 [1005]	5.3			1Ø16/20 [1005]	224.7	1Ø14/40x40 [962]
	SC02	150	230	1Ø26/20 [4248]	7.4			1Ø26/20 [4248]	222.6	1Ø14/40x40 [962]
RINGROSSO PARAGHIAIA	SC03	100	60	1Ø20/20 [1571]	5.5			1Ø16/20 [1005]	54.7	1Ø14/40x40 [962]
	SC04	100	60	1Ø20/10 [3140]	7.5			1Ø16/20 [1005]	53.1	1Ø14/40x40 [962]
PARAGHIAIA	SC05	100	40	1Ø20/20 [1571]	5.5			1Ø16/20 [1005]	34.7	1Ø14/40x40 [962]
	SC06	100	40	1Ø16/20 [1005]	7.3			1Ø16/20 [1005]	33.1	1Ø14/40x40 [962]
CORDOLO LATERALE	SC07	100	160	1Ø16/20 [1005]	5.3			1Ø16/20 [1005]	174.7	1Ø14/40x40 [962]
	SC08	150	160	1Ø24/20 [3616]	7.3			1Ø24/20 [3616]	172.7	1Ø14/40x40 [962]
MURI DI RISVOLTO	SC09	100	50	1Ø20/20 [3140]	5.5			1Ø16/20 [1005]	44.5	1Ø14/40x40 [962]
	SC10	100	50	1Ø20/10 [3140]	7.5			1Ø16/20 [1005]	42.7	1Ø14/40x40 [962]

Nei seguenti paragrafi sono riportate le verifiche significative per ciascuna delle sezioni analizzate e quindi quelle alle quali sono associati i maggiori "Indici di Sfruttamento" (IS). Lo sforzo normale è considerato nullo, in favore di sicurezza, negli elementi della fondazione e nella verifica delle armature orizzontali delle pareti verticali.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 148 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

6.6.1 Verifiche agli stati limite

Verifica flessionale

Le verifiche sono state effettuate con il programma RC-SEC della GEOSTRU (Versione 2022).

In Tab. 6-6 sono riportate le verifiche a presso/tenso-flessione delle SC esaminate relative all'involuppo delle sollecitazioni massime e minime sia allo SLU che allo SLV e all'ECC. Oltre ai termini NSd e MSd definiti al precedente paragrafo nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- MRd: sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo, calcolato per la combinazione più gravosa.

Tab. 6-6: Verifiche a presso/tenso-flessionali allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	MRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT01	891	240	1894	7.89
SCUT03	27.5	183	352	1.93
SCUT05	20	133	204	1.54
SCUT07	91.5	409	676	1.65
SCUT09	25	275	285	1.04

ARMATURE ORIZZONTALI PARETI

ID	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	MRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT02	-	4787	8980	1.88
SCUT04	-	640	646	1.01
SCUT06	-	75	137	1.83
SCUT08	-	2640	4172	1.58
SCUT10	-	490	515	1.04

Le verifiche risultano soddisfatte.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 149 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifica a taglio

Dalle tabelle innanzi riportate si ricava il taglio massimo sulle sezioni più significative, di seguito si riporta la verifica a taglio delle sezioni prese in esame:

Tab. 6-7: Verifiche a taglio allo SLU/SLV/ECC per le SC esaminate.

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	NSd [kN/m]	TSd [kNm/m]	TRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT01	891	238	2051	8.6
SCUT03	27.5	157	492	3.13
SCUT05	20	150	308	2.05
SCUT07	91.5	360	1443	4.00
SCUT09	25	340	400	1.17

ARMATURE ORIZZONTALI PARETI

ID	NSd [kN/m]	TSd [kNm/m]	TRd [kNm/m]	IS [-]
SCUT02	-	581	2001	3.44
SCUT04	-	279	464	1.66
SCUT06	-	235	293	1.24
SCUT08	-	507	1407	2.77
SCUT10	-	325	372	1.14

Le verifiche risultano soddisfatte.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 150 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifiche allo SLE

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche condotte allo SLE.

Verifica di fessurazione

In Tab. 6-8 sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le SC esaminate allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- wk: massima apertura delle fessure
- Mcr: sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;

Tab. 6-8: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE per le SC in analisi.

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	SLE-FR				SLE-QP			
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]
SCUT01	891	66	3352	-	891	36	3587	-
SCUT03	27.5	82	-	0.164	27.5	18	-	0.025
SCUT05	20	55	-	0.178	20	7	-	0.013
SCUT07	91.5	183	-	0.11	91.5	84	-	0.023
SCUT09	25	109	-	0.273	25	29	-	0.063

ARMATURA ORIZZONTALE PARETI

ID	SLE-FR				SLE-QP			
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	Mcr [kNm/m]	wk [mm]
SCUT02	-	2022	-	0.284	-	665	-	0.093
SCUT04	-	295	-	0.267	-	88	-	0.08
SCUT06	-	38	-	0.244	-	15	-	0.096
SCUT08	-	1431	-	0.299	-	600	-	0.125
SCUT10	-	261	-	0.293	-	168	-	0.185

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti descritti al precedente paragrafo (SLE-FR: $w_{lim} = 0.3$ mm; SLE-QP: $w_{lim} = 0.2$ mm).

Verifica tensionali

In Tab.6-9 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle SC esaminate. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

$\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;

$\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Tab. 6-9: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE per le SC in

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 151 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

analisi.

ARMATURA VERTICALE PARETI

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]
SCUT01	891	93	0.48	4.27	891	36	0.42
SCUT03	27.5	104	2.77	122.71	27.5	18	0.49
SCUT05	20	71	4.28	158.69	20	7	0.43
SCUT07	91.5	230	1.46	111.14	91.5	84	0.46
SCUT09	25	145	5.31	217.81	25	29	1.09

ARMATURA ORIZZONTALE PARETI

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	NSd [kN/m]	MSd [kNm/m]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]
SCUT02	-	2886	3.66	181.46	-	665	0.84
SCUT04	-	374	8.22	252.52	-	88	1.93
SCUT06	-	46	3.38	151.78	-	15	1.10
SCUT08	-	1707	4.41	216.88	-	600	1.55
SCUT10	-	313	9.76	264.11	-	168	5.24

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

allo SLE in combinazione di carico rara le massime tensioni rispettivamente su calcestruzzo e barre d'armatura risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC08 pari a:

$$\sigma_{c,lim}=0.60 \cdot f_{ck} = 18.0 \text{ MPa}; \quad - R_{ck} = 37 \text{ Mpa: elevazione}$$

$$\sigma_{s,lim}=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0 \text{ MPa}.$$

allo SLE in combinazione di carico quasi permanente le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC08 pari a:

$$\sigma_{c,lim}=0.45 \cdot f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}. \quad - R_{ck} = 37 \text{ Mpa: elevazione}$$

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 152 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.7 VERIFICA GEOTECNICA E STRUTTURALI DEI PALI

6.7.1 Verifica geotecnica a carico limite dei pali

In questo paragrafo verrà affrontato il problema del carico limite dei pali di lunghezza pari a 25 m. In particolare si andrà a confrontare la sollecitazione assiale agente a quota intradosso solettone inferiore con la resistenza geotecnica dei pali (capacità portante dei pali).

6.7.2 Criteri di verifica delle palificate di fondazione

Le verifiche geotecniche delle spalle dell'opera constano del dimensionamento geotecnico della palificata di fondazione, in termini di diametro, lunghezza, numero e disposizione dei pali di fondazione.

In particolare si esegue la seguente procedura di calcolo:

- calcolo dei carichi assiali su ciascun palo;
- calcolo dei carichi orizzontali su ciascun palo;
- dimensionamento dei pali di fondazione ai fini del soddisfacimento delle verifiche di capacità portante degli stessi (A1+M1+R3).

Le opere in oggetto presentano una fondazione indiretta costituita da pali trivellati, il cui valore di progetto Rd della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico Rk applicando i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella successiva:

	Coefficiente Parziale (γ_{R3})	γ_{R3}
Base	γ_b	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1.15
Totale *	γ_t	1.30
Laterale in trazione	γ_{st}	1.25
(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.		

Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

La resistenza caratteristica Rk del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove Rk è calcolata a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l'impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ. La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza Rc,k (o Rt,k) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate Rc,calc (Rt,calc) i fattori di correlazione ξ riportati nella tabella seguente, in funzione del numero n di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 153 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

n	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Fattori di correlazione ξ

La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a $\xi_3 = \xi_4 = 1.70$.

6.7.3 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi assiali

Il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione è condotto con i coefficienti parziali da applicare alla resistenza laterale e alla punta che tengono conto del fattore di correlazione ξ . In ciascuna combinazione prevista deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq Q_{Sd}$$

dove:

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

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$Q_b = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot q_b;$$

$$Q_s = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_s;$$

D = diametro del palo;

L = lunghezza del palo;

q_b = pressione limite alla base del palo;

τ_s = pressione laterale lungo il palo;

R_i e ξ = coefficienti di abbattimento delle resistenze;

W_{palo} = peso caratteristico del palo al netto del peso del terreno asportato;

In particolare, per terreni coesivi:

$$q_b = 9 \cdot c_{ub} + \sigma_{v0}$$

$$\tau_s = \alpha \cdot c_u$$

per terreni incoerenti:

$$q_b = N_q \cdot \sigma_{v0}$$

$$q_s = k_i \cdot \tan \phi \cdot \sigma_{v0}$$

dove:

c_u = coesione non drenata;

c_{ub} = coesione non drenata alla base del palo;

σ_{v0} = tensione litostatica totale;

α = coefficiente empirico;

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 154 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

$k_i = 0.55$;

N_q = fattore di capacità portante, valutato secondo le indicazioni di Berezantzev, di seguito riportate:

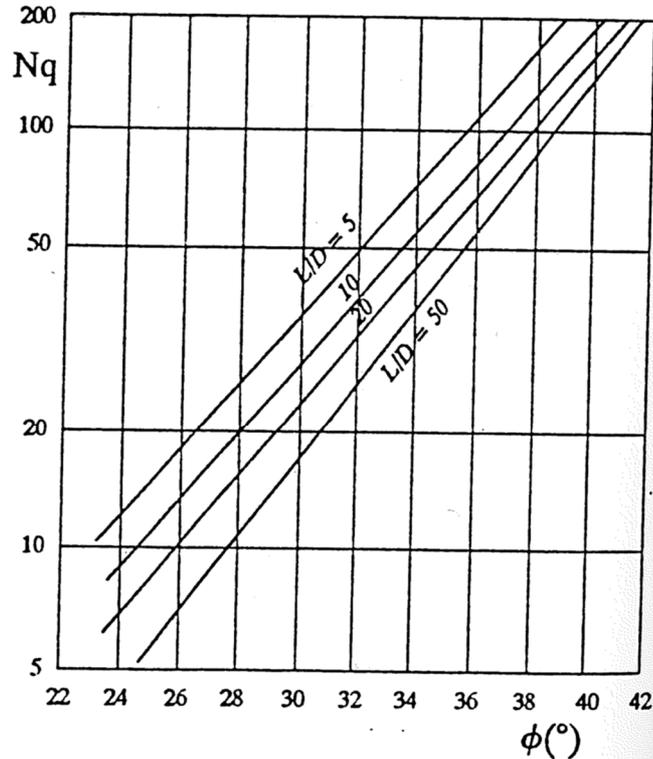


Fig. 13.6. Valori di N_q secondo Berezantzev *et al.* (1961)

Valori del fattore N_q proposti da Berezantzev

Per quanto riguarda il coefficiente empirico α , possono considerarsi i valori della tabella seguente:

c_u (kPa)	α
≤ 25	0.9
Da 25 a 50	0.8
Da 50 a 75	0.6
≥ 75	0.4

La curva di capacità per il caso in esame sulla base della stratigrafia riportata al paragrafo 4 è riportata in figura seguente:



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 155 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

Nel calcolo della portanza si fa riferimento ad una riduzione delle stessa pari al 50% per tenere in conto che l'interasse dei pali non rispetta il limite minimo dei 3 diametri.

CAPACITA' PORTANTE PALO IN COMPRESSIONE (A1+M1+R3)

γ =	3.14	
Interasse pali	1.9	m
Diametro palo =	1.2	m
Quota Falda da p.c. =	0.00	m
Quota Falda da testa palo =	0.00	m
Quota P.C. =	-1.0	m
Quota testa pali (z=0) =	0.0	m

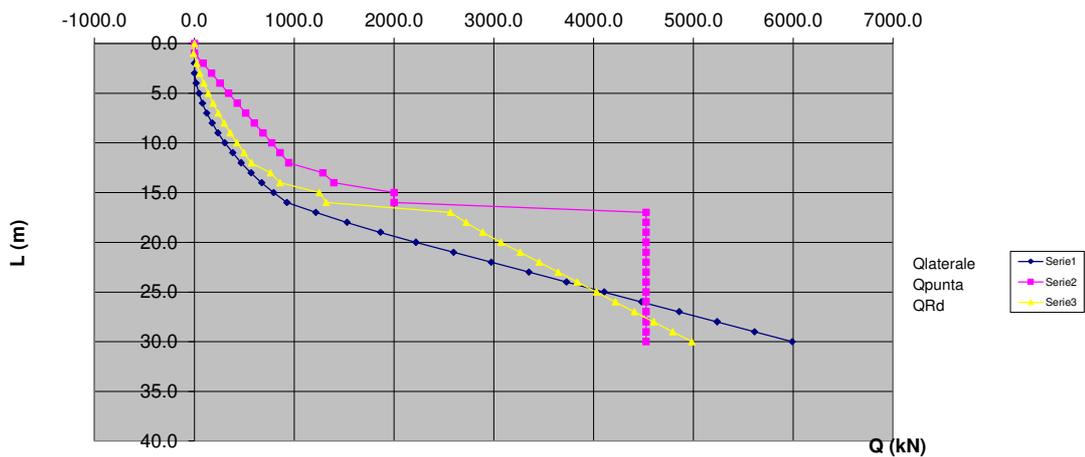
strato	γ (kN/m³)	φ (°)	c _v (kPa)	Nq*	
1	19.0	25.0	-	8.0	Eclia
2	19.0	26.0	-	10.0	Salt - Substrato alterato argilloso
3	23.5	27.0	-	15.0	Ap
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

N =	2367.00	kN
R3(QB) =	1.35	
R3 (Qi) =	1.15	
γ _s =	1.70	
γ _u =	1.70	
Fattore di riduzione capacità portante	0.50	

- Il fattore di riduzione tiene conto dell'interasse dei pali della paratia

CAPACITA' PORTANTE PARATIA DI PALI																						
strato	z (m)	Δh(m)	γ (kN/m³)	γ' (kN/m³)	φ (°)	c _v (kPa)	c _u (kPa)	c _v (kPa) a Δh/2	q _b (kPa)	Q _{bmax} (kPa)	α	k ₀ 'tan ^φ	σ _v (kPa)	r _{max} (kPa)	Q _b	q _i	Q _L	W _{palo}	Q _{Rd}	N	F _{Red}	z (m)
1	0.0	0.00	19.0	9.0	25.0	-	0.0	0.0	0.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2367.00	0.00	0.0
1	1.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	0.0	4.5	0.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	6.8	-4.8	2367.00	0.00	1.0
1	2.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	19.0	4.5	152.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	96.0	0.0	0.0	13.6	23.9	2367.00	0.01	2.0
1	3.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	38.0	23.5	304.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	171.9	0.0	0.0	20.3	54.6	2367.00	0.02	3.0
1	4.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	57.0	42.5	456.0	4000	0.4	0.2	9.9	100.0	257.9	18.7	18.7	27.1	94.8	2367.00	0.04	4.0
1	5.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	76.0	61.5	608.0	4000	0.4	0.2	14.3	100.0	343.8	27.0	45.7	33.9	139.3	2367.00	0.06	5.0
1	6.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	95.0	80.5	760.0	4000	0.4	0.2	18.8	100.0	429.8	35.4	81.1	40.7	188.0	2367.00	0.08	6.0
1	7.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	114.0	99.5	912.0	4000	0.4	0.2	23.2	100.0	515.7	43.7	124.8	47.5	241.1	2367.00	0.10	7.0
1	8.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	133.0	118.5	1064.0	4000	0.4	0.2	27.6	100.0	601.7	52.1	176.9	54.3	298.4	2367.00	0.13	8.0
1	9.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	152.0	137.5	1216.0	4000	0.4	0.2	32.1	100.0	687.6	60.4	237.3	61.0	360.0	2367.00	0.15	9.0
1	10.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	171.0	156.5	1368.0	4000	0.4	0.2	36.5	100.0	773.6	68.8	306.1	67.8	425.8	2367.00	0.18	10.0
1	11.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	190.0	175.5	1520.0	4000	0.4	0.2	40.9	100.0	859.5	77.1	383.2	74.6	495.9	2367.00	0.21	11.0
1	12.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	209.0	194.5	1672.0	4000	0.4	0.2	45.3	100.0	945.5	85.5	468.7	81.4	570.3	2367.00	0.24	12.0
2	13.0	1.00	19.0	9.0	26.0	-	228.0	213.5	2280.0	4000	0.4	0.2	52.1	100.0	1289.3	98.1	566.9	88.2	763.6	2367.00	0.32	13.0
2	14.0	1.00	19.0	9.0	26.0	-	247.0	232.5	2470.0	4000	0.4	0.2	56.7	100.0	1386.8	106.9	673.7	95.0	858.3	2367.00	0.36	14.0
3	15.0	0.00	23.5	13.5	27.0	-	270.5	253.8	4057.5	4000	0.4	0.3	64.6	100.0	2000.0	121.9	795.6	25.4	1253.0	2367.00	0.53	15.0
3	16.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	294.0	277.3	4410.0	4000	0.4	0.3	70.6	100.0	2090.0	133.1	926.7	27.1	1319.4	2367.00	0.56	16.0
3	17.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	317.5	300.8	4762.5	4000	0.4	0.3	76.6	100.0	4523.9	288.9	1217.6	28.8	2552.2	2367.00	1.08	>1
3	18.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	341.0	324.3	5115.0	4000	0.4	0.3	82.6	100.0	4523.9	311.4	1529.0	30.5	2722.8	2367.00	1.15	>1
3	19.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	364.5	347.8	5467.5	4000	0.4	0.3	88.6	100.0	4523.9	334.0	1863.0	32.2	2891.9	2367.00	1.22	>1
3	20.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	388.0	371.3	5820.0	4000	0.4	0.3	94.6	100.0	4523.9	356.6	2219.5	33.9	3072.6	2367.00	1.30	>1
3	21.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	411.5	394.8	6172.5	4000	0.4	0.3	100.6	100.0	4523.9	377.0	2596.5	35.6	3263.7	2367.00	1.38	>1
3	22.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	435.0	418.3	6525.0	4000	0.4	0.3	106.6	100.0	4523.9	377.0	2973.5	37.3	3454.9	2367.00	1.46	>1
3	23.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	458.5	441.8	6877.5	4000	0.4	0.3	112.5	100.0	4523.9	377.0	3350.5	39.0	3646.0	2367.00	1.54	>1
3	24.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	482.0	465.3	7230.0	4000	0.4	0.3	118.5	100.0	4523.9	377.0	3727.5	40.7	3837.2	2367.00	1.62	>1
3	25.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	505.5	488.8	7582.5	4000	0.4	0.3	124.5	100.0	4523.9	377.0	4104.5	42.4	4028.3	2367.00	1.70	>1

Diagramma dei carichi limite in funzione delle lunghezza



Curva di portanza pali A1+M1+R3 – COMPRESSIONE

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 156 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------

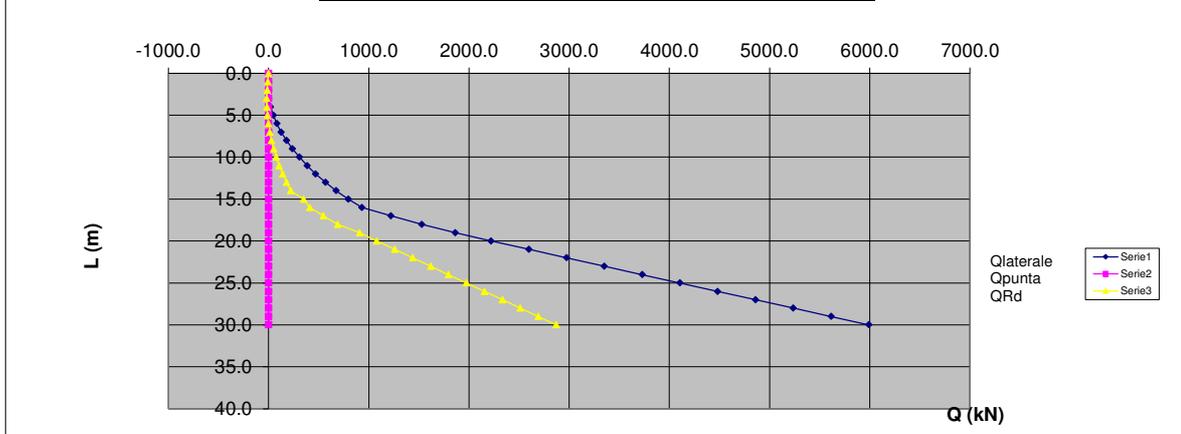
CAPACITA' PORTANTE PALO IN TRAZIONE (A1+M1+R3)	
N =	3142
Intersasso pali	1.0 m
Diametro palo =	1.2 m
Quota Falda da p.c. =	0.00 m
Quota Falda da testa palo =	0.00 m
Quota P.C. =	-1.0 m
Quota testa pali (z=0) =	0.0 m
N =	313.00 kN
R3 (QL) =	1.25
γ =	1.70
γ =	1.70
Fattore di riduzione capacità portante	0.50

strato	γ (kN/m³)	φ (°)	c _v (kPa)	N _q	
1	19.0	25.0	-	8.0	Eclia
2	19.0	26.0	-	10.0	Salt - Substrato alterato argilloso
3	23.5	27.0	-	15.0	Ap
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

- Il fattore di riduzione tiene conto dell'intersasso dei pali della paratia

CAPACITA' PORTANTE PARATIA DI PALI -																							
strato	z (m)	Δh(m)	γ (kN/m³)	γ' (kN/m³)	φ (°)	c _v (kPa)	α _v (kPa)	c _v (kPa) a Δh/2	q _b (kPa)	Q _{bmax} (kPa)	α	k _i *tan ^φ	τ (kPa)	r _{max} (kPa)	Q _b	q _f	Q _L	W _{palo}	Q _{Rd}	N	F _{tot}	z (m)	
1	0.0	0.00	19.0	9.0	25.0	-	0.0	0.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-313.00	0.00	0.0
1	1.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	0.0	4.5	0.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	6.8	-6.8	-313.00	-0.02	1.0	
1	2.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	19.0	4.5	152.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	13.6	-13.6	-313.00	-0.04	2.0	
1	3.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	38.0	23.5	304.0	4000	0.4	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	20.3	-20.3	-313.00	-0.07	3.0	
1	4.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	57.0	42.5	456.0	4000	0.4	0.2	9.9	100.0	0.0	18.7	18.7	27.1	-18.3	-313.00	-0.06	4.0	
1	5.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	76.0	61.5	608.0	4000	0.4	0.2	14.3	100.0	0.0	27.0	45.7	33.9	-12.4	-313.00	-0.04	5.0	
1	6.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	95.0	80.5	760.0	4000	0.4	0.2	18.8	100.0	0.0	35.4	81.1	40.7	-2.5	-313.00	-0.01	6.0	
1	7.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	114.0	99.5	912.0	4000	0.4	0.2	23.2	100.0	0.0	43.7	124.8	47.5	11.3	-313.00	0.04	7.0	
1	8.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	133.0	118.5	1064.0	4000	0.4	0.2	27.6	100.0	0.0	52.1	176.9	54.3	29.0	-313.00	0.09	8.0	
1	9.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	152.0	137.5	1216.0	4000	0.4	0.2	32.1	100.0	0.0	60.4	237.3	61.0	50.6	-313.00	0.16	9.0	
1	10.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	171.0	156.5	1368.0	4000	0.4	0.2	36.5	100.0	0.0	68.8	306.1	67.8	76.2	-313.00	0.24	10.0	
1	11.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	190.0	175.5	1520.0	4000	0.4	0.2	40.9	100.0	0.0	77.1	383.2	74.6	105.7	-313.00	0.34	11.0	
1	12.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	209.0	194.5	1672.0	4000	0.4	0.2	45.3	100.0	0.0	85.5	468.7	81.4	139.2	-313.00	0.44	12.0	
2	13.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	228.0	213.5	1824.0	4000	0.4	0.2	52.1	100.0	0.0	98.1	566.9	88.2	178.5	-313.00	0.57	13.0	
2	14.0	1.00	19.0	9.0	25.0	-	247.0	232.5	1976.0	5000	0.4	0.2	56.7	100.0	0.0	106.9	673.7	95.0	222.1	-313.00	0.71	14.0	
3	15.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	270.5	253.8	4057.5	5000	0.4	0.3	64.6	100.0	0.0	121.9	795.6	25.4	349.0	-313.00	1.11	>1	
3	16.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	294.0	277.3	4410.0	5000	0.4	0.3	70.6	100.0	0.0	133.1	928.7	27.1	409.9	-313.00	1.31	>1	
3	17.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	317.5	300.8	4762.5	5000	0.4	0.3	76.6	100.0	0.0	288.9	1217.6	28.8	544.1	-313.00	1.74	>1	
3	18.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	341.0	324.3	5115.0	5000	0.4	0.3	82.6	100.0	0.0	311.4	1529.0	30.5	689.0	-313.00	2.20	>1	
3	19.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	364.5	347.8	5467.5	5000	0.4	0.3	88.6	100.0	0.0	334.0	1863.0	32.2	908.9	-313.00	2.90	>1	
3	20.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	388.0	371.3	5820.0	5000	0.4	0.3	94.6	100.0	0.0	356.6	2219.5	33.9	1078.4	-313.00	3.45	>1	
3	21.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	411.5	394.8	6172.5	5000	0.4	0.3	100.6	100.0	0.0	377.0	2596.5	35.6	1257.5	-313.00	4.02	>1	
3	22.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	435.0	418.3	6525.0	5000	0.4	0.3	106.6	100.0	0.0	377.0	2973.5	37.3	1436.5	-313.00	4.59	>1	
3	23.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	458.5	441.8	6877.5	5000	0.4	0.3	112.5	100.0	0.0	377.0	3350.5	39.0	1615.7	-313.00	5.16	>1	
3	24.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	482.0	465.3	7230.0	5000	0.4	0.3	118.5	100.0	0.0	377.0	3727.5	40.7	1794.8	-313.00	5.73	>1	
3	25.0	1.00	23.5	13.5	27.0	-	505.5	488.8	7582.5	5000	0.4	0.3	124.5	100.0	0.0	377.0	4104.5	42.4	1973.9	-313.00	6.31	>1	

Diagramma dei carichi limite in funzione delle lunghezze



Curva di portanza pali A1+M1+R3 – TRAZIONE

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 157 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Sollecitazioni Pali

La sollecitazione agente in testa ai pali è valutata a partire dai pesi propri e carichi interagenti con gli elementi costituenti la galleria ricavati dal modello di calcolo pari a:

PALO L=25.00 m

$N_{C,palo,d} = 2367 \text{ kN}$ Sforzo normale di compressione di design (A1+M1+R3); (vedi NTC2008: §6.4.3.1)

$N_{T,palo,d} = -313 \text{ kN}$ Sforzo normale di trazione di design (A1+M1+R3); (vedi NTC2008: §6.4.3.1)

Risultati Verifica

Confrontando lo sforzo di compressione agente nei pali appena determinato con i valori di resistenza riportati nella curva di capacità portante dei pali sopra riportata, risulta:

$L_{palo} = 25 \text{ m}$ lunghezza palo
 $a = 3.0 \text{ m}$ Parte di palo fuori terra (altezza di palo scalzato)
 $L_i = 22.0 \text{ m}$ Lunghezza palo infissa

$N_{cpalo,d} = 2367 \text{ kN} \leq QR_d = 4028 \text{ kN}$ - F.S pari a **1.70**

$N_{tpalo,d} = -313 \text{ kN} \leq QR_d = 1973 \text{ kN}$ - F.S pari a **6.31**

La verifica a carico limite è quindi soddisfatta con un F.S pari a **1.70**.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 158 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

6.7.4 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali

Carico orizzontale limite

Il carico orizzontale limite H_{lim} è stato calcolato in accordo alla teoria proposta da Broms (1984).

Le ipotesi assunte da Broms sono le seguenti:

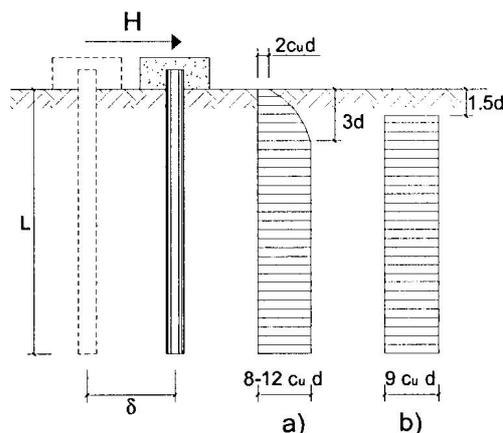
- Terreno omogeneo;
- Comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico;
- la forma del palo è ininfluente e l'interazione palo-terreno è determinata solo dalla dimensione caratteristica D della sezione del palo (il diametro per sezioni circolari, il lato per sezioni quadrate, etc.) misurata normalmente alla direzione del movimento;
- il palo ha comportamento rigido-perfettamente plastico, cioè si considerano trascurabile le deformazioni elastiche del palo.

Questa ultima ipotesi comporta che il palo abbia solo moti rigidi finché non si raggiunge il momento di plasticizzazione M_y del palo. A questo punto si ha la formazione di una cerniera plastica in cui la rotazione continua indefinitamente con momento costante.

In accordo alla condizione di vincolo dei pali nei plinti di fondazione, il palo è considerato impedito di ruotare in testa.

Unità a comportamento coesivo

Il diagramma di distribuzione della resistenza p offerta dal terreno lungo il fusto del palo è quello riportato nella figura seguente (a). Broms adotta al fine delle analisi una distribuzione semplificata (b) con reazione nulla fino a $1.5 D$ e costante con valore $9 c_u D$ per profondità maggiori.



distribuzione della resistenza offerta dal terreno a carichi orizzontali per pali impediti di ruotare alla testa (Broms, 1984).

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

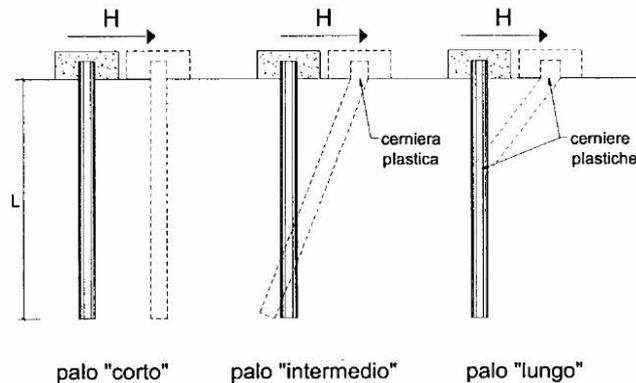
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 159 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

I meccanismi di rottura del complesso palo-terreno sono condizionati dalla lunghezza del palo, dal momento di plasticizzazione della sezione e dalla resistenza esercitata dal terreno. I possibili meccanismi di rottura sono riportati nella figura seguente e sono solitamente indicati come “palo corto”, “intermedio” e “lungo”.



meccanismi di rottura del complesso palo-terreno per pali impediti di ruotare alla testa soggetti a carichi orizzontali (Broms, 1984).

Facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica nelle sezioni che raggiungono un momento pari a M_y , è possibile calcolare il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura:

$$H \lim = 9c_u D^2 \left(\frac{L}{D} - 1.5 \right) \quad \text{palo corto}$$

$$H \lim = -9c_u D^2 \left(\frac{L}{D} - 1.5 \right) + 9c_u D^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{D} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u D^3} + 4.5} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H \lim = -13.5c_u D^2 + c_u D^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u D^3}} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento ai casi in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di $H \lim$ si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 160 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$H \lim = 9c_u D \times (f - 1.5D)$$

$$H \lim \times (d_s + f) - 4.5c_u D (f - 1.5D)^2 - 2M_y = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna

d_s l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna

Unità a comportamento incoerente

Per un terreno incoerente si assume che la resistenza opposta dal terreno alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità con legge:

$$p = 3 k_p \gamma z D$$

essendo:

k_p il coefficiente di spinta passiva;

z la profondità da piano campagna;

γ il peso di volume del terreno, nel caso in cui il terreno sia sotto falda si assume γ' .

I valori del carico limite corrispondenti ai diversi meccanismi di rottura sono di seguito riportati:

$$H \lim = 1.5 k_p \gamma D^3 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \quad \text{palo corto}$$

$$H \lim = \frac{1}{2} k_p \gamma D^3 \left(\frac{L}{D} \right)^2 + \frac{M_y}{L} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H \lim = k_p \gamma D^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma D^4} \right)^2} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento ai casi in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di $H \lim$ si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 161 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$H_{lim} = 1.5k_p \gamma D f^2$$

$$f^3 + 1.5Df^2 - \left(\frac{2M_y}{\gamma k_p D} \right) = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna

 d_s l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna

Carico orizzontale resistente

 il cui valore di progetto R_d della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella successiva:

Coefficiente Parziale		
R1	R2	R3
1.0	1.6	1.3

Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

La combinazione utilizzata è quella del 2° approccio delle NTC: A1+M+R3 con il coefficiente parziale di sicurezza utilizzati pari a R3=1.3.

 La resistenza caratteristica R_k del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l'impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ. La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza R_{c,k} (o R_{t,k}) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate R_{c,calc} (R_{t,calc}) i fattori di correlazione ξ riportati nella tabella seguente, in funzione del numero n di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Fattori di correlazione ξ

 La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a ξ₃ = ξ₄ = 1.70.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

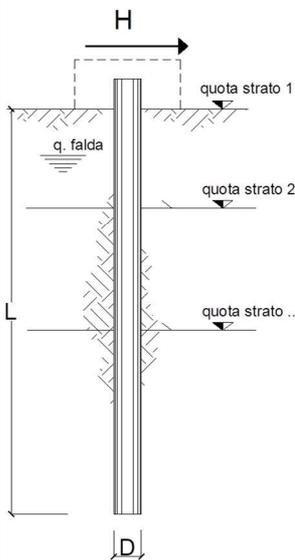
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 162 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Risultati verifiche dei pali nei confronti dei carichi orizzontali



strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		0.00	19	9	0	1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		-1.00	19	9	25	2.46	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		-12.00	19	9	26	2.56	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4		-14.00	23.5	13.5	27	2.66	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00	

Quota falda 0 (m)

Diametro del palo D 1.20 (m)

Lunghezza del palo L 25.00 (m)

Momento di plasticizzazione palo My 3520.68 (kNm) 40 ϕ 26

Step di calcolo 0.1 (m)

palo impedito di ruotare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

Palo lungo H = 2413.2 (kN)

Palo intermedio H = 6507.0 (kN)

Palo corto H = 26989.0 (kN)

Hlim = 2413.2 (kN) Palo lungo

Hed = **681.0** (kN) Hrd = 1091.9 (kN) =Hlim/($\xi^3 \cdot R_3$)

FS = Hrd/Hed = 1.60 > 1

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	163 di 171

6.7.5 Risultati verifiche strutturali dei pali

Di seguito si riportano le verifiche del palo con le sollecitazioni più gravose riportate nel § 6.4.4:

Verifiche a flessione

Di seguito si riportano le verifiche strutturali del palo D=1200 armati con 40 ϕ 26 e spirale 1 ϕ 16/10:

Nome sezione: PALO
Coprif. netto minimo barre long.: 7.6 cm Coprif. netto staffe: 6.0 cm

Dati generali | **Dati sezione** | **Storzi** | **Risultati**

Modalità di calcolo
 Verifica Resist. - Ultima Progetto armatura

CALCESTRUZZO
 N° Domini Calcestruzzo: 1 | Dominio con N°
 Tipo calcestr. con: R6400 | Dominio con N°: 1

Forma Domine Concrete
 Poligonale Pieno Poligonale Vuoto
 Circolare Pieno Circolare Vuoto

Coordinate Vertici Dom. (ordinati con verso orario)
 X centro [cm]: 0
 Y centro [cm]: 0
 Raggio [cm]: 60

Shift Origine

ARMATURE
 Acciaio barre longitudinali: FeB54
 Barre nel vertice (da domo pulviscol) [cm]:
 Nessuna 1 barra per ogni vertice
 3 barre per ogni vertice
 Diam [mm]: 20 Coprif. [cm]: 5.0 Inset. [mm]: 2

Barre nei Vertici e Barre Isolate
 N° gen. | X [cm] | Y [cm] | Ø [mm]
 1 | | | |
 2 | | | |
 3 | | | |
 4 | | | |

Generazioni lineari di barre
 N° gen. | Barra dia. | Barra Finele | N° Barre | Ø [mm]
 1 | | | |
 2 | | | |
 3 | | | |

Generazioni circolari di barre
 N° gen. | X centro | Y centro | Raggio | N° barre | Ø [mm]
 1 | 0 | 0 | 60 | 40 | 26
 2 | | | |
 3 | | | |

Staffe (ponendo Diam=0 o Nessuno) calcolate autom. staffe
 Acciaio St.: FeB54 | Ø [mm]: 10 | Passo [cm]: 10.0

Dati sezione solo congegnate

Legenda barre
 40 ϕ 26
 Area = 5324 (1.5%)

Dati sezione solo congegnate
 ASSI X,Y RIFERIMENTO SEZIONE:
 Area = 11316 cm²
 Y baric = 0.000 cm
 SX = 0 cm³
 SY = 10176760 cm⁴
 ASSI X,Y PRINCIPALI RESZIA

Visualizza
 Assi riferimento sezione
 Quotatura sezione
 Numero vertici comp.
 Numerazione barre
 Origine di riferimento
 Passo griglia [cm]: 5.0

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A. NOME SEZIONE: PALO

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Tipo di sollecitazione:	Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y e principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	Rck400	
	Resis. compr. di progetto fcd:	22.1	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	11.1	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33648.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
ACCIAIO -	Tipo:	FeB54	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	540.0	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	420.0	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.010	
	Modulo Elastico Ef:	2060000	daN/cm ²



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 164 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

Diagramma tensione-deformaz.:
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1^* \beta_2$:
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1^* \beta_2$:
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare:

Bilineare finito
 1.00
 0.50
 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Calcestruzzo: Rck400

Raggio circ.: 60.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N° Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N° Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N° Barre	Ø
1	0.0	0.0	51.1	40	26

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 16 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N° Comb.	N	Mx	Vy
1	123.42	863.32	680.86

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	98.66	536.94	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	95.36	453.70 (767.13)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	70.39	218.16 (782.15)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.progr.	REV.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	16	OM0008	REL	02	A	165 di 171

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata						
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)						
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)						
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)						
	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000						
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]						
N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	123.42	863.32	123.26	3851.88	4.46	212.4(33.9)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione								
	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione								
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)								
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)								
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)								
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)								
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)								
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)								
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)								
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)								
N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	60.0	0.00247	0.0	51.1	-0.00934	0.0	-51.1

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.				
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45				
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000115543	-0.003432597	---	---

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	16 mm										
Passo staffe:	10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]										
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata										
Ved	Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro										
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]										
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]										
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm]										
	La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna)										
	I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse).										
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro										
	E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.										
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo										
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione										
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]										
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m]										
	Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.										
	L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.										
N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff	
1	S	680.86	3389.63	3427.90	96.4 87.1	101.4	2.500	1.005	8.0	40.2(0.0)	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata	
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]	
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)	
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]	
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)	
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre	



2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 166 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

As eff.		Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure							
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.35	0.0	0.0	-78.8	0.0	-51.1	1809	58.4

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}									
e1	Esito della verifica									
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata									
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff									
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]									
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]									
k3	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]									
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali									
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali									
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]									
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa									
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]									
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]									
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]									
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi									
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]									
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]									
Comb. Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1 S	-0.00043	0.00000	0.837	26.0	76	0.00023 (0.00023)	488	0.112 (990.00)	763.68	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.84	0.0	0.0	-66.0	0.0	-51.1	1809	58.4

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb. Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1 S	-0.00036	0.00000	0.837	26.0	76	0.00019 (0.00019)	487	0.094 (0.30)	767.13	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.37	0.0	0.0	-30.5	0.0	-51.1	1809	58.4

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb. Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1 S	-0.00017	0.00000	0.834	26.0	76	0.00009 (0.00009)	487	0.043 (0.20)	782.15	0.00



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 167 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	----------------	-----------	--------------------------

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 168 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

7. VERIFICHE DEI CORDOLI MURI RISVOLTO PER AZIONI D'URTO

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza.

Il carico di progetto è costituito da una forza orizzontale di 100 kN, applicata alla quota minima fra 1,0 m sopra il piano di marcia e 100 mm sotto la sommità della barriera.

Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza $d = 90$ cm dalla base della barriera.

Si ha, inoltre:

- Altezza del cordolo: $c = 56$ cm

Verifica a tenso-flessione della soletta

Il momento sollecitante a quota piano medio del cordolo, che nasce in caso di urto di un veicolo sulla barriera, vale:

$$\Delta M = N \cdot (d + 0.5 \cdot c) = N \cdot 1.18 \text{ m} = 118 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tali sollecitazioni si applicano ipotizzando una diffusione a 45° delle azioni dalla piastra metallica di base della barriera (che si ipotizza larga 40 cm) al piano medio del cordolo. La larghezza collaborante nel meccanismo di tenso-flessione vale pertanto:

$$B = 0.4 \text{ m} + 2 \cdot (0.5 \cdot c) = 0.96 \text{ m}$$

La variazione di momento calcolata va a sommarsi al momento dovuto ai carichi permanenti, determinato considerando uno schema di mensola di luce pari alla distanza fra bordo cordolo e l'attacco al muro di risvolto (0.8). Il momento così calcolato vale $M_{perm} = 25 \cdot 0.56 \cdot 0.8^2 / 2 = 4.5$ kNm.

Il momento totale, dunque, vale $M = 118 + 4.5 = 122.5$ kNm

Nell'ipotesi in cui la variazione del momento calcolata sia assorbita completamente dalle armature poste al lembo superiore del cordolo, la trazione agente nell'armatura superiore tesa vale:

$$T_d = M / (0.9 \cdot c) = 245 \text{ kN}$$

Tale trazione è equilibrata dalle barre $\Phi 14/20$, disposte in estradosso, che riescono a fornire una trazione resistente pari a:

$$T_r = 10 \cdot 154 \cdot 391 / 1000 = 301 \text{ kN} > T_d.$$

Verifica delle staffe disposte all'interno del cordolo

La funzione di tali staffe è duplice:

- Equilibrare l'azione orizzontale N
- Equilibrare la trazione dei tirafondi della barriera nel meccanismo di pull out.

La forza orizzontale N è equilibrata dalle barre $\Phi 14/20$ che sono sempre presenti all'interno del cono di rottura evidenziato nella seguente figura.

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

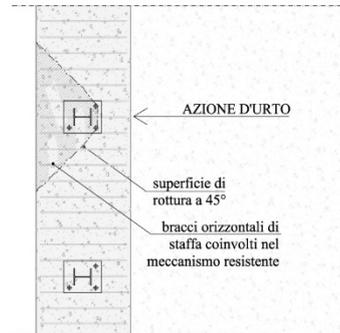
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

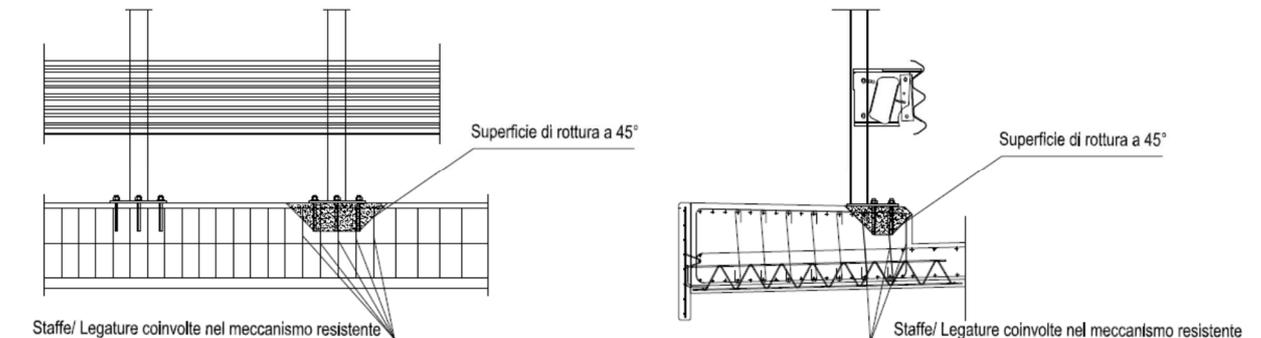
Relazione di calcolo sottostruttura

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.di Pag. 169 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



PIANTA

La trazione "T_d" dei tirafondi della barriera è equilibrata dai bracci verticali delle staffe e dalle legature di cui alla figura successiva.



Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera pari a 22cm e un'altezza della forza d'urto sopra tale piastra di 90 cm, si stima T_d come:

$$T_d = 0.90m \cdot N / 0.22m = 409 \text{ KN}$$

Avendo disposto legature $\Phi 14$ a passo 20x20 ed ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l'interasse tra i 2 tirafondi tesi di 15 cm), risulta che i bracci verticali compresi nel cono di rottura sono pari a:

$$n = (0.15 \text{ m} + 2 \cdot 0.19 \text{ m})^2 / (0.2 \times 0.2) \text{ m} = 7.02 \text{ bracci}$$

che corrisponde ad una trazione resistente pari a :

$$T_r = n \cdot 154 \text{ mm}^2 \cdot f_{yd} / 1000 = 422 \text{ KN} > T_d.$$

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 170 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

8. BAGGIOLI

Il dimensionamento delle armature nei baggioli previsti per l'alloggiamento degli apparecchi di appoggio sono condotti in base a quanto riportato nell'Eurocodice 2 del 1990 e/o nel Model Code CEB-FIP 1990, secondo un meccanismo resistente tipo "shear-friction".

Le formulazioni utilizzate sono in particolare, quelle di cui al P.to 6.10 - CEB-FIP Model Code 1990, per la valutazione della resistenza alle azioni orizzontali, ovvero quella del (P.to 6.7 - EC2 parte 1-1) per il calcolo della resistenza per azioni verticali.

PORTATA APPOGGI (KN)			
TIPO	V	H _L	H _r
APPOGGIO FISSO	3000	1200	1800
PORTATA ULTIMA APPOGGI (KN)			
TIPO	V	H _L	H _r
APPOGGIO LT	3000	0	1800
Materiali			
Calcestruzzo			
Resistenza caratteristica cubica	R _{ck} =	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica			
f _{ck} =0,83*R _{ck} =		24	MPa
Resistenza a compressione di calcolo			
f _{cd} =f _{ck} /γ _c =		16.00	MPa
Resistenza a trazione media	f _{ctm} =0.27*(R _{ck}) ^{2/3} =	2.61	MPa
Resistenza caratteristica a trazione			
f _{ctk} =0.7*f _{ctm} =		1.82	MPa
Resistenza car. a trazione per flessione			
f _{ctk} =1.2*f _{ctm} =		3.13	MPa
Resistenza a trazione di calcolo	f _{ctd} =f _{ctk} /γ _c =	1.22	MPa
Acciaio			
Tensione caratteristica di snervamento		450	MPa
f _{yk} =			
Tensione di snervamento di calcolo			
f _{yd} =f _{yk} /γ _s =		391	MPa
Dimensioni piastre inferiore appoggi		a (long.)	b (trasv.)
Appoggio		800	800
Tipo e dimensioni baggioli		a' (long.)	b' (trasv.)
Baggiolo		1000	1000

VERIFICHE STRUTTURALI DEL BAGGIOLO			
Resistenza alle forze orizzontali (P.to 6.10 - CEB-FIP Model Code 1990)			
Azione tagliante ultima	F _{sdu} =(H _L ² +H _r ²) ^{1/2} =	1800	KN
Utilizzando un meccanismo resistente di shear-friction si ottiene:			
μ=0.6 (coefficiente di attrito cls-cls)			
β=0.2, essendo βf _{ctd} la coesione del calcestruzzo (resistenza per attrito)			
σ _{cd} =tensione di compressione dovuta ai carichi esterni			
La condizione di resistenza al taglio si esprime con la:			
τ _{sdl} <τ _{rd}		6.00	MPa
τ _{rd} =βf _{ctd} +μ(pf _{yd} +σ _{cd})<0.25f _{cd}		0.25 f _{cd} =	4.00 MPa

2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia

OPERE D'ARTE MINORI: Cavalcavia al Km 2+888

Relazione di calcolo sottostrutture

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OM0008	Id.doc. REL	N.progr. 02	REV. A	Pag.diPag. 171 di 171
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Trascurando l'influenza dell'attrito e della tensione di compressione σ_{cd} si ha:			
Num. ferri :	24		
Diametro singolo ferro:	22	mm	
Area complessiva A_s =	7540	mm ²	
Perc. di armatura ρ =	0.009096	(≥ 0.001)	OK
Resistenza a taglio teorica	τ_{rd} =	2.13	N/mm ²
Resistenza a taglio di calcolo	τ_{rd} =	2.13	N/mm ²
Taglio agente di progetto	τ_{sd} =	1.80	N/mm ² OK
Resistenza alle forze verticali (P.to 6.7 - EC2 parte 1-1)			
Azione di progetto ultima	$F_{sdu}=V$ =	3000	KN
area caricata A_{c0} =		640000	mm ²
massima area di diffusione A_{c1} =		1000000	mm ²
Resistenza ultima $F_{rdU}=A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{1/2}$ =		12800.00	KN
$F_{rdU} < 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$ =	30720	KN	OK

L'armatura trasversale prevista, 3 staffe $\phi 12$ + 6 spille $\phi 12$, per un'armatura totale sulle quattro facce del baggiolo pari a $4 \cdot (6+6) \cdot 113 = 5424 \text{ mm}^2$, deve soddisfare la seguente espressione:

$$A_t \cdot f_{yd} \geq N_{sd} / 2 \quad \implies \quad 5424 \text{ mm}^2 \cdot 391.3 \text{ MPa} = 2122411 > 3000000 \text{ N} / 2$$

$$\implies \quad 2122411 \text{ N} > 1500000 \text{ N}$$

La verifica risulta soddisfatta.