

**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

**PROGETTO ESECUTIVO**

<b>CONTRAENTE GENERALE:</b>	<i>Il responsabile del Contraente Generale:</i>	<i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i>
	Ing. Federico Montanari	Ing. Salvatore Lieto

<i>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</i>	
<i>Mandataria:</i>	<i>Mandanti:</i>
	

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I'ATI  Ing. Antonio Grimaldi  GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni  COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale	  
---	--

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO		
Ing. Iginio Farotti		

<b>2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> <b>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</b> <b>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia</b>  <b>OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI</b> Relazione tecnica e di calcolo tombini	SCALA:
	DATA:  Gennaio 2021

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. Doc.	N. prog.	Rev
	L0703	213	E	16	O10000	REL	04	B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione a seguito istruttoria ANAS	M.Tartaglia	R.Piccirillo	S.Lieto	A.Grimaldi
B	Gennaio 2021	Emissione a seguito istruttoria ANAS	M.Tartaglia	R.Piccirillo	S.Lieto	A.Grimaldi

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id. doc. REL	N. prog. 04	Rev. B	Pag. di Pag. 2 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

## I N D I C E

<b>1. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....</b>	<b>4</b>
1.1 UNITÀ DI MISURA.....	4
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
3.1 CALCESTRUZZO .....	6
3.2 ACCIAIO PER ARMATURE .....	7
3.3 COPRIFERRI.....	7
<b>4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....</b>	<b>9</b>
4.1 INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE.....	10
<b>5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>11</b>
<b>6. CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA SCATOLARI .....</b>	<b>13</b>
6.1 ANALISI DEI CARICHI.....	13
6.1.1 Peso proprio.....	13
6.1.2 Permanenti.....	13
6.1.3 Spinta del terreno.....	15
6.1.4 Spinta in presenza di falda.....	16
6.1.5 Variazioni termiche della struttura.....	16
6.1.6 Ritiro e viscosità .....	16
6.1.7 Azioni variabili da traffico (Q1).....	17
6.1.8 Azioni Sismiche .....	19
6.1.9 Forze d'inerzia .....	19
6.1.10 Spinta sismica terreno .....	20
6.2 SCELTA DELLE SEZIONI TIPOLOGICHE DI CALCOLO .....	21
6.3 COMBINAZIONI DI CARICO.....	22
6.4 VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI.....	26
6.4.1 Verifica SLE.....	26
6.4.2 Verifiche delle tensioni .....	26
6.4.3 Verifiche a fessurazione .....	26
6.4.4 VERIFICHE ALLO SLU .....	27
6.4.4.1 <i>Pressoflessione</i> .....	27
6.4.4.2 <i>Taglio</i> .....	28
6.5 VERIFICHE GEOTECNICHE (CARICO LIMITE) .....	31
<b>7. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>33</b>
<b>8. TOMBINO TIPO5 (Φ1500) – RISULTATI ANALISI E VERIFICHE .....</b>	<b>35</b>
8.1 MODELLO DI CALCOLO .....	35
8.2 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO .....	37
8.3 ARMATURE DI PROGETTO.....	38
8.4 VERIFICHE DI RESISTENZA E FESSURAZIONE .....	39
8.4.1 Verifiche allo SLU.....	39
8.4.1.1 <i>Verifiche a pressoflessione</i> .....	39



## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 3 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

8.4.1.2	Verifiche a taglio.....	40
8.4.2	Verifiche allo SLE.....	40
8.4.2.1	Verifiche a fessurazione .....	41
8.4.2.2	Verifica delle tensioni.....	43
8.5	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	46

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OI0000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 4 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 1. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nella presente relazione vengono descritte le analisi e le verifiche strutturali relative ai tombini in c.a. che interessano il tracciato di progetto nell'ambito dei lavori di completamento degli stralci funzionali 3 e 4 della Pedemontana delle Marche.

Le opere sono state suddivise per tipologie in base alla loro geometria, di seguito viene analizzata la seguente tipologia:

Tipologia	L (m)	H(m)	$\Phi$ (mm)	Modelli
<b>Circolare</b>			2000	TIPO 5

Tabella di riepilogo caratteristiche di progetto degli scatolari

Dove:

-H= altezza sezione interna scatolare;

-B= Luce netta sezione scatolare;

- $\phi$ = Diametro interno tombino circolare;

Di seguito gli scatolari di suddetta tipologia:

Tipologia	pk	WBS
Tombino $\Phi$ 2000	6+241	OI0016

Nel seguito, dopo una breve descrizione delle opere cui si riferiscono i calcoli sviluppati, si riportano tutti i criteri generali adottati per le analisi e verifiche. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici specifici.

### 1.1 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze  $\Rightarrow$  m, cm,
- per i carichi  $\Rightarrow$  kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo  $\Rightarrow$  kN, kNm
- per le tensioni  $\Rightarrow$  MPa

**2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 5 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

**2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Per la redazione del progetto strutturale e geotecnico esposto nel presente documento, si è fatto riferimento alle seguenti normative e specifiche nazionali e comunitarie:

- **D.M. 14/01/2008.**  
Norme tecniche per le costruzioni.
- **Circolare del 02/02/2009.**  
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.
- **UNI EN 206-1-2001:** Calcestruzzo. "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- **UNI 11104-2004:** Specificazione, prestazione, produzione e conformità: Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- **Linee Guida sul calcestruzzo strutturale** - Servizio Tecnico Centrale dei Lavori Pubblici – Dicembre 1996 (L.G.S.T.C.)

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O1000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 6 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nei paragrafi seguenti si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera

#### 3.1 CALCESTRUZZO

Per tutte le parti strutturali dell'opera in progetto è previsto l'impiego di calcestruzzo di classe C32/40, di cui nel seguito si riportano le relative caratteristiche meccaniche valutate in accordo a quanto prescritto ai punti 4.1.2.1 e 11.2.10 del DM 14.01.08:

Classe di Resistenza

32/40

Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:

$R_{ck} = 40$  MPa

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$f_{ck} = 33.2$  MPa (0,83\*R<sub>ck</sub>)

Resistenza a compressione cilindrica media:

$f_{cm} = 41.2$  MPa (f<sub>ck</sub>+8)

Resistenza a trazione assiale:

$f_{ctm} = 3.10$  MPa Valore medio

$f_{ctk,0,05} = 2.17$  MPa Valore caratteristico frattile 5%

Resistenza a trazione per flessione:

$f_{ctm} = 3.7$  MPa Valore medio

$f_{ctk,0,05} = 2.6$  MPa Valore caratteristico frattile 5%

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$\gamma_c = 1.5$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1.0

Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:

$f_{cd} = 18.8$  MPa (0,85\*f<sub>ck</sub>/γ<sub>s</sub>)

Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:

$f_{ctd} = 1.45$  MPa (f<sub>ctk,0,05</sub>/γ<sub>s</sub>)

Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:

$f_{ctd} = 1.74$  MPa 1,2\*f<sub>ctd</sub>

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%

Modulo di elasticità secante:

$E_{cm} = 33643$  MPa

Modulo di Poisson:

$\nu = 0-0,2$

□

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 7 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

**Coefficiente di dilatazione lineare**

$$\alpha = \boxed{0.00001} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo**

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = \boxed{3.25} \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5

### 3.2 ACCIAIO PER ARMATURE

Per l'armatura delle strutture in calcestruzzo è previsto l'impiego di barre ad aderenza migliorata in acciaio tipo B450C, di cui nel seguito sono riportate le relative caratteristiche meccaniche:

#### Classe di Resistenza

**Tensione caratteristica di rottura:**

$$f_{tk} = \boxed{540} \text{ MPa} \quad (\text{frattile al } 5\%)$$

**Tensione caratteristica allo snervamento:**

$$f_{yk} = \boxed{450} \text{ MPa} \quad (\text{frattile al } 5\%)$$

**Fattore di sovraresistenza** (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$$k = f_{tk} / f_{yk} = \boxed{1.20} \text{ MPa}$$

**Allungamento a rottura** (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$$(A_{gt})_k = \varepsilon_{uk} = \boxed{7.5} \%$$

$$\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk} = \boxed{6.75} \%$$

**Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:**

$$\gamma_c = \mathbf{1.15}$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0

**Resistenza di calcolo allo SLU:**

$$f_{yd} = \boxed{391.3} \text{ MPa} \quad (f_{yk} / \gamma_s)$$

**Modulo di elasticità :**

$$E_r = \boxed{210000} \text{ MPa}$$

### 3.3 COPRIFERRI

La scelta del copriferro minimo di progetto  $c_{min}$  inteso come lo spessore minimo del ricoprimento dello strato di calcestruzzo a protezione dei ferri d'armatura è stato determinato in base a quanto indicato

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 8 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

nella Tab. C4.1.IV della Circolare Esplicativa NTC n.617/09, tenendo conto della classe di esposizione ambientale e della classe del Calcestruzzo prevista

Nello specifico, tenendo conto della classe di esposizione ambientale desunta dalle analisi specifiche condotte nei riguardi dell'attacco chimico, che hanno evidenziato una **Classe di Esposizione XA2** e pertanto **Condizioni Ambientali "Aggressive"**, in relazione a quanto riportato in tabella 4.1.III del DM 14.01.08, per la classe di calcestruzzo prevista (C32/40) è prescritto un copriferro minimo  $c_{min} \geq 35mm$ .

In definitiva ai fini progettuali si è assunto **c=40mm**.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tab 4.1.III – DM 14.01.08

Tabella C4.1.IV Copriferrini minimi in mm

$C_{min}$	$C_o$	ambiente	barré da c.a. elementi a piastra		barré da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tab C4.1.IV – Circolare n617/09

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 9 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-----------------------

## 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nel presente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica specifica per l'opera in esame. Analizzando il profilo geologico geotecnico, con riferimento ai tratti di ubicazione delle opere oggetto di dimensionamento, è possibile assumere come terreno interagente con l'opera le seguenti tipologie:

**Terreno di Ricoprimento (spessore 1m da estradosso solettone superiore): Terreno da rilevato stradale:**

$\gamma_{\text{terr}}=20\text{kN/m}^3$	Peso Specifico;
$\phi=35^\circ$	Angolo di attrito;
$c=0$	Coesione.

**Terreno di Rinfiango: Terreno da rilevato stradale:**

$\gamma_{\text{terr}}=20\text{kN/m}^3$	Peso Specifico;
$\phi=35^\circ$	Angolo di attrito;
$c=0$	Coesione.

**Terreno di fondazione (Ecla):**

$\gamma_{\text{terr}}=19\text{kN/m}^3$	Peso Specifico;
$\phi=25^\circ$	Angolo di attrito;
$c=10\text{ kPa}$	Coesione.

Riguardo il livello di **falda locale**, dal profilo Geotecnico risulta che la falda è generalmente posta a 3÷5m dal P.C. Tenendo conto di tale aspetto nonché delle quote di progetto delle fondazioni delle opere desumibili dai relativi elaborati grafici, si è assunto ai fini del calcolo, un livello di falda +1m al di sopra della quota di imposta delle fondazioni.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 10 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

#### 4.1 INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

$$s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$$

dove:

- $s$  = cedimento elastico totale;
- $B$  = lato minore della fondazione;
- $c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 ( $L$  = lato maggiore della fondazione):  
$$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B \leq 10$$
$$c_t = 2 + 0.0089 (L / B) \quad \text{rettangolare con } L / B > 10$$
- $q$  = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_{v0}$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- $E$  = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo  $k_w$  è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

$$k_w = E / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t]$$

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 11 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le opere in progetto rientrano nell'ambito dei Lavori di Realizzazione dell'Infrastruttura "Pedemontana delle Marche" progettato per una vita nominale  $V_N$  pari a **50** anni. ed una classe d'uso **III** (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.) 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 valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, 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.

Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale  $V_N$  = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso  $C_U$  = 1.5;
- Periodo di riferimento  $V_R$  = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$  = 712 anni;
- Comune = Camerino;
- $a_{g,SLV}$  = **0.220 g**;
- $F_{0,SLV}$  = **2.544**;
- $T_{c,SLV}^*$  = **0.333 sec.**

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 12 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T^*c$ ) per comune di riferimento

$V_R$ [anni]	Stato Limite	$PV_R$ -	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.440	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

- Categoria di suolo = B;
- Categoria topografica = T1;
- $S_s$ , fattore stratigrafico = 1.176;
- $S_T$ , fattore topografico = 1.0;
- $C_c$ , fattore correttivo del periodo  $TC^*$  = 1.371.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 13 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 6. CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA SCATOLARI

Nell'ambito del presente paragrafo, si descrivono i criteri generali adottati per l'Analisi e relative verifiche strutturali e geotecniche delle opere oggetto di dimensionamento

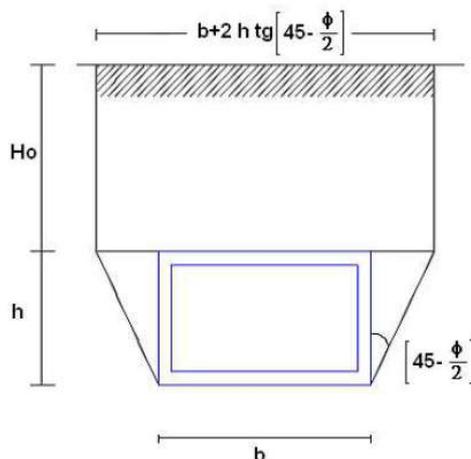
### 6.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 6.1.1 Peso proprio

Il peso proprio delle strutture è determinato automaticamente dal programma di calcolo, avendo considerato un peso dell'unità di volume del c.a.  $\gamma_{cls} = 25 \text{ KN/m}^3$ .

#### 6.1.2 Permanenti

Per la valutazione del carico permanente in copertura, si è fatto riferimento al metodo di **Terzaghi** secondo il quale, il carico sul traverso si manifesta come semplice peso di una massa parabolica o ellittica di distacco.



Più in dettaglio **Terzaghi** fornisce due espressioni differenti della pressione a seconda della maggiore o minore altezza del ricoprimento,  $H_0$ .

Facendo riferimento ai simboli della figura precedente, ed indicando con  $C$  la coesione, con  $\phi$  l'angolo di attrito e con  $\gamma$  il peso di volume del terreno di ricoprimento, le due espressioni sono le seguenti:

#### Caso 1) $H_0 \leq 5 B_1$

$$p_v = \frac{\gamma B_1 - C}{K \operatorname{tg} \phi} \left( 1 - e^{-K \frac{H_0}{B_1} \operatorname{tg} \phi} \right)$$

nella quale  $K$  è un coefficiente sperimentale, che, secondo misure eseguite dallo stesso **Terzaghi** è circa uguale ad 1, mentre il coefficiente  $B_1$ , si ricava attraverso la seguente espressione:

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag. di Pag. 14 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

$$B_1 = \frac{b}{2} + h \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

nella quale  $\varphi$  è l'angolo di attrito dello strato di rinfiacco

### Caso 2) $H_0 > 5 B_1$

$$p_v = \frac{\gamma B_1 - C}{K \operatorname{tg} \varphi} \left( 1 - e^{-K \frac{H_1}{B_1} \operatorname{tg} \varphi} \right) + \gamma H_2 e^{-K \frac{H_1}{B_1} \operatorname{tg} \varphi}$$

essendo  $H_1$  la distanza, misurata dal piano orizzontale sul quale agisce la pressione, alla quale si estende l'effetto volta ( $H_1 = 5B_1$ ) e  $H_2$  la residua distanza sino al piano campagna. La somma  $H_1 + H_2$  è l'altezza del ricoprimento  $H_0$  cioè  $H_2 = H_0 - 5B_1$ .

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 15 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

### 6.1.3 Spinta del terreno

Per la valutazione delle Spinte del terreno sui piedritti, si è fatto riferimento alla teoria di Coulomb.

La teoria di Coulomb considera l'ipotesi di un cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno. In particolare Coulomb ammette, al contrario della teoria di Rankine, l'esistenza di attrito fra il terreno e la parete, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale alla parete stesso di un angolo di attrito terra-parete.

L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume  $\gamma$ , su una parete di altezza  $H$ , risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente) :

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

$K_a$  rappresenta il coefficiente di spinta attiva di Coulomb nella versione riveduta da Muller-Breslau, espresso come:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

dove  $\phi$  è l'angolo d'attrito del terreno,  $\alpha$  rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale ( $\alpha = 90^\circ$  per parete verticale),  $\delta$  è l'angolo d'attrito terreno-parete,  $\beta$  è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno-parete  $\delta$  rispetto alla normale alla parete.

Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto. Il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza del baricentro del diagramma delle pressioni ( $1/3 H$  rispetto alla base della parete). L'espressione di  $K_a$  perde di significato per  $\beta > \phi$ .

Questo coincide con quanto si intuisce fisicamente: la pendenza del terreno a monte della parete non può superare l'angolo di natural declivio del terreno stesso.

Nel caso di terreno dotato di attrito e coesione  $c$  l'espressione della pressione del terreno ad una generica profondità  $z$  vale:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Nel caso in esame tuttavia, in considerazione della ridotta capacità de formativa dell'opera, si è assunto che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo.

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

dove  $\phi$  rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 16 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità  $z$  e la spinta totale sulla parete di altezza  $H$  valgono:

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot K_0 + p_v \cdot K_0$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0 + p_v \cdot K_0 \cdot H$$

dove  $p_v$  è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Per il rilevato stradale, responsabile delle spinte sull'opera, sono stati assunti i seguenti i seguenti valori dei parametri fisico meccanici geotecnici di progetto:

- peso di volume  $\gamma = 20 \text{ KN/mc}$
- angolo di attrito  $\varphi' = 35^\circ$
- coesione efficace  $c' = 0$ .

### 6.1.4 Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua.

Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

### 6.1.5 Variazioni termiche della struttura

Si è tenuto conto di eventuali effetti termici dovuti a variazioni di temperatura sull'opera, applicando sul traverso superiore una variazione termica variabile linearmente da  $-2.5^\circ\text{C}$  all'estradosso della soletta superiore, a  $+2.5^\circ\text{C}$  all'intradosso della soletta superiore;

### 6.1.6 Ritiro e viscosità

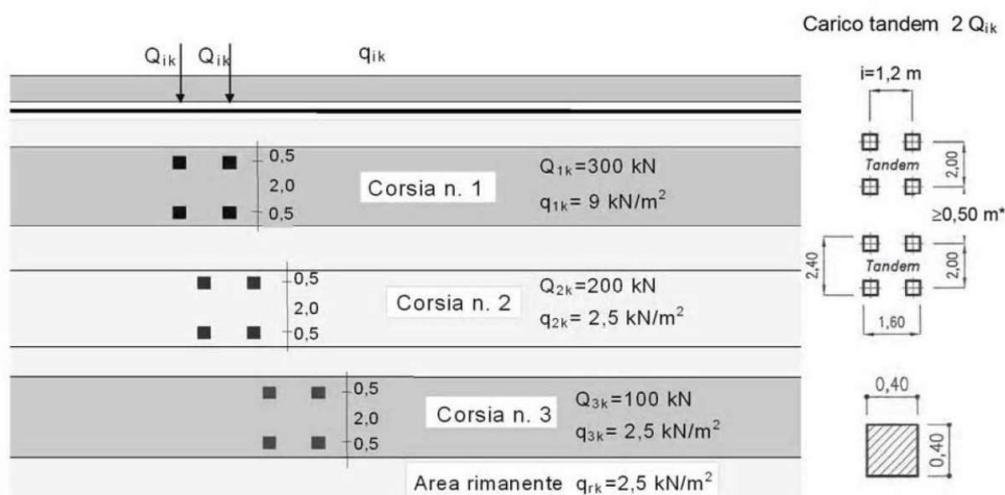
Gli effetti del ritiro del calcestruzzo e della viscosità sono assimilati ad una variazione termica uniforme della soletta superiore.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	OI0000	REL	04	B	17 di 46

Nello specifico, si è assunto di modellare la deformazione da ritiro totale comprensiva anche degli effetti da deformazione viscosa, attraverso l'introduzione di un carico termico uniforme nella soletta superiore di  $-10^{\circ}\text{C}$ .

### 6.1.7 Azioni variabili da traffico (Q1)

Per la determinazione dei carichi accidentali da traffico da considerare sul piano della pavimentazione, si è fatto riferimento agli schemi di carico stabilità al punto 5.1.3.3 del DM 14/01/08 di cui nel seguito:



**Figura 1 – Schema di carico 1**

Lo schema di carico di Normativa, è in particolare costituito dalle seguenti colonne di carico:

- una colonna di carichi (ingombro = 3 m) costituita da un automezzo convenzionale  $Q_{1k}$  di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse ruote in senso trasversale di 2.00 m; un carico ripartito  $q_{1k}$  di 9 kN/m<sup>2</sup> uniformemente distribuito;
- una seconda colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN di  $Q_{1k}$  e 2.5 kN/m<sup>2</sup> di  $q_{1k}$  e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- una terza colonna di carichi (ingombro = 3 m), analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN di  $Q_{1k}$  e 2.5 kN/m<sup>2</sup> di  $q_{1k}$  e posta ad interasse di 3.00 m. da essa;
- un carico uniforme  $q_{rk} = 2.5\text{ kN/m}^2$  nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

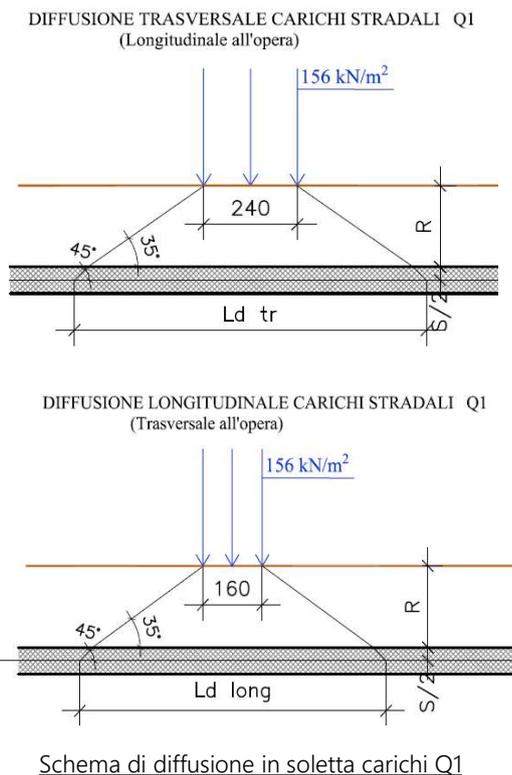
Ai fini delle analisi, si è assunto di trasformare i carichi concentrati  $Q_{1k}$ , in un carico distribuito

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	OI0000	REL	04	B	18 di 46

equivalente, che, con riferimento alla colonna di carico 1, risulta il seguente:

$$Q1k d = 600 / 2.40 \times 1.60 = 156 \text{ KN/m}^2$$

Si è assunto inoltre di diffondere il carico valutato in precedenza fino al piano medio della soletta, secondo quanto riportato negli schemi grafici di figura seguente:



In definitiva, sul piano medio della soletta, agirà un carico uniforme distribuito pari a :

$$Q1k d ' = 600 / (Ld_{tr} \times Ld_{long})$$

Nell'ambito della modellazione effettuata tuttavia, si è fatto riferimento, come di norma, ad un modulo di scatolare di lunghezza unitaria; la diffusione dei carichi in direzione longitudinale all'opera è effettuata in automatico dal programma di Calcolo Utilizzato secondo i criteri definiti in precedenza, mentre per tener conto della diffusione in senso trasversale, il carico inserito nel modello di analisi sul piano limite stradale, è stato già opportunamente ridotto per tener conto di tale effetto; in definitiva, il carico di progetto utile alla simulazione del carico Q1(assi) è stato valutato come di seguito:

$$Q1 \text{ prog} = [ (156 \times 2.40) / Ld_{tr} ] \times 1.5$$

dove con il coefficiente amplificativo 1,5 si è tenuto conto degli effetti della 2° colonna di carico eventualmente adiacente, tenendo comunque presente l'effetto della collaborazione strutturale in direzione longitudinale all'opera stessa.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 19 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Tale carico è stato infine applicato su una lunghezza complessiva di **1,60m**, pari all'impronta del carico Q1k in direzione longitudinale.

In aggiunta, si è considerato agente sul piano stradale l'ulteriore carico uniforme di **9KN/m<sup>2</sup>**, trascurando cautelativamente gli effetti di diffusione.

Si specifica infine che in ragione dei ricoprimenti di calcolo previsti, sempre superiori ai 4m, si è ritenuto di poter trascurare gli effetti di frenatura associati ai carichi variabili.

### 6.1.8 Azioni Sismiche

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k.

### 6.1.9 Forze d'inerzia

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h$$

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * a = S_s * S_t * a_g$$

Nel caso specifico tenendo presente quanto riportato al paragrafo 5 risulta:

$$a_g / g = 0.220;$$

$$a_{max} / g = 0.259$$

$$k_h = 0.259$$

$$k_v = 0.130$$

**2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc. REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 20 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

**6.1.10 Spinta sismica terreno**

Le spinte del terreno in fase sismica, sono state determinate con la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinata con la seguente espressione:

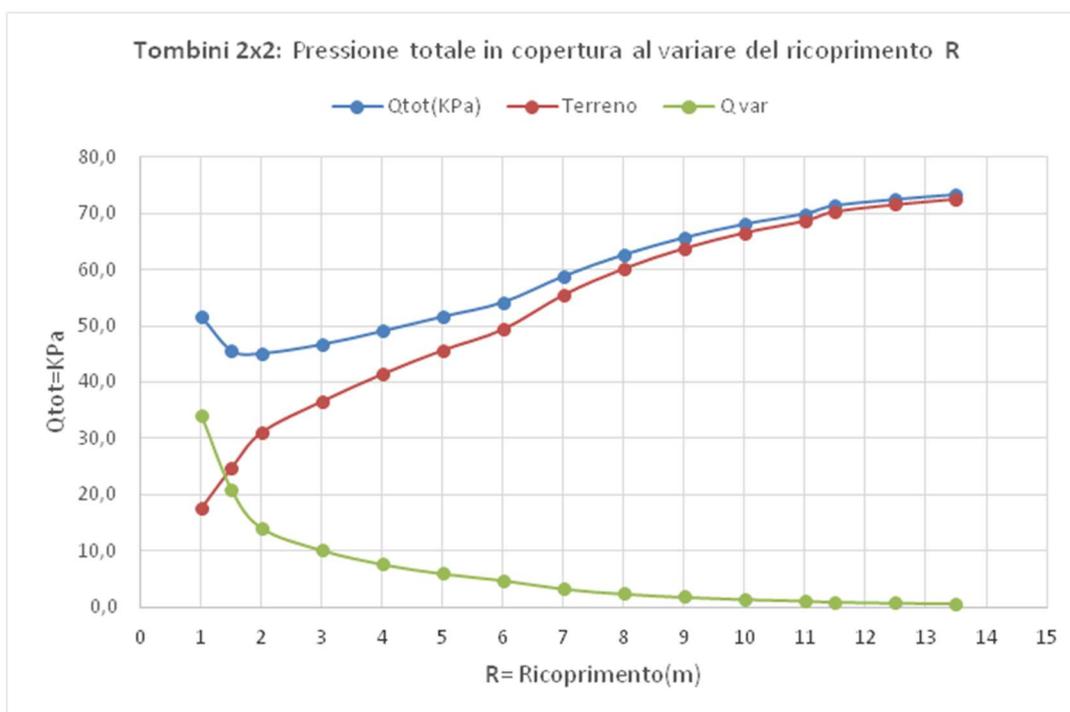
$$\Delta S_E = K_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 21 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 6.2 SCELTA DELLE SEZIONI TIPOLOGICHE DI CALCOLO

Le strutture scatolari oggetto di dimensionamento, presentano dei ricoprimenti  $R$ , intendendo per quest'ultimo la distanza media tra il piano stradale e l'estradosso della soletta di copertura generalmente variabili.

Allo scopo di individuare dei modelli di calcolo rappresentativi delle diverse situazioni presenti in termini di  $R$ , sono state effettuate alcune valutazioni di calcolo relativamente alla pressione complessiva in asse alla soletta di copertura per effetto del terreno di ricoprimento e dei carichi variabili sul piano stradale opportunamente diffusi, secondo i criteri già esposti ai paragrafi precedenti; il risultato delle valutazioni effettuate è presentato nel grafico della figura seguente:



Il grafico evidenzia pertanto che per ricoprimenti compresi **da 1 a 4m**, l'effetto combinato dei carichi si mantiene pressochè costante, mentre per  $R > 4$ , il carico complessivo cresce evidenziando parallelamente un effetto dei carichi variabili sempre meno significativo.

In relazione a tali evidenze, e tenendo conto dei ricoprimenti minimi previsti sulle strutture oggetto di dimensionamento, almeno pari ad 1,5m, è stata individuato come caso di calcolo rappresentativo delle basse copertura il caso  $R=4m$ , mentre per valori superiori i casi di calcolo sono stati scelti in ragione dei massimi ricoprimenti riscontrabili dagli elaborati grafici di progetto delle opere:

In definitiva, per il caso degli scatolari 2x2, sono stati analizzati i seguenti casi:

**Caso 1a :  $R=4m$**

**Caso 1b :  $R=7m$**

I calcoli esposti nel seguito del documento, si riferiscono ai casi di calcolo appena citati:

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 22 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

### 6.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Per la combinazione dei diversi carichi previsti sulla struttura di cui al precedente paragrafo 7, si è fatto riferimento a quanto specificato in merito al prg 2.5.3 del DM 14.01.08, secondo cui le combinazioni di carico da considerare nei riguardi dei diversi stati limite di verifica SLU, SLE e sisma sono le seguenti:

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_y \pm 0.3 \times E_z$$

avendo indicato con  $E_y$  e  $E_z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 23 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

**Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 14/01/2008)**

- (1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
 (2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
 (3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
 (4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
 (5) Aliquota di carico da traffico da considerare.  
 (6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
 (7) 1,20 per effetti locali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (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

**Tabella 5.1.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni (da DM 14/01/2008)**

In definitiva, con riferimento ai carichi di tipo variabile previsti nel caso in esame, sono stati assunti i seguenti coefficienti di partecipazione  $\Psi$ :

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 24 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Carichi stradali (Variabili da traffico)

$$\Psi_0 = 0.75 \quad \Psi_1 = 0.75 \quad \Psi_2 = 0.00$$

Azioni Termiche (Term)

$$\Psi_0 = 0.60 \quad \Psi_1 = 0.60 \quad \Psi_2 = 0.50$$

In definitiva, sono state analizzate un totale di **21** Combinazioni di calcolo di cui **8** riferite al **Caso SLU statico (A1-M1 ed A2-M2)**, **4** sismiche (2 A1-M1 + 2 A2-M2) **ed 9** di **SLE**, precisando inoltre che al fine di massimizzare gli effetti per combinazioni caratterizzate dalla presenza di carichi accidentali dissimmetrici, nelle relative combinazioni le spinte del terreno sulla parete opposta a quella del carico (lato destro), sono state considerate con fattore di partecipazione  $\Psi = 0.50$

Di seguito si riporta in definitiva un riepilogo delle Combinazioni di Calcolo considerate nelle analisi

CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI		COMBINAZIONI SLU - STATICHE															
		Azione Variabile Dominante : Carichi di traffico								Azione Variabile Dominante : Termica							
		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
		A1-M1		A2-M2		A1-M1		A2-M2		A1-M1		A2-M2		A1-M1		A2-M2	
		$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$
1	Peso Proprio	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1
2	Spinta terreno sinistra	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1
3	Spinta terreno destra	1,35	1	1	1	1,35	0,5	1	0,5	1,35	1	1	1	1,35	0,5	1	0,5
4	Sisma sinistra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Sisma destra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Spinta Falda	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1	1,35	1	1	1
7	Ritiro	1,20	1	1	1	1,20	1	1	1	1,20	1	1	1	1,20	1	1	1
8	Termica	1,20	0,6	1	0,6	1,20	0,6	1	0,6	1,20	1	1	1	1,20	1	1	1
9	Q STR CEN	1,35	1	1,15	1	-	-	-	-	1,35	0,75	1,15	0,75	-	-	-	-
10	Q STR LAT	-	-	-	-	1,35	1	1,15	1	-	-	-	-	1,35	0,75	1,15	0,75

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 25 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

CONDZIONI DI CARICO ELEMENTARI		COMBINAZIONI SLU - SISMICHE							
		C9		C10		C11		C12	
		1-M1/V+		1-M1/V-		1-M2/V+		1-M2/V-	
		$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$
1	Peso Proprio	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Spinta terreno sinistra	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Spinta terreno destra	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Sisma sinistra	1							
5	Sisma destra	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Spinta Falda	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Ritiro	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Termica	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5
9	Q STR CEN	-	0	-	0	-	0	-	0
10	Q STR LAT	-	0	-	0	-	0	-	0

CONDZIONI DI CARICO ELEMENTARI		COMBINAZIONI SLE																	
		Azione Variabile Dominante : Carichi di traffico										Azione Variabile Dominante : Termica							
		C13		C14		C15		C16		C17		C18		C19		C20		C21	
		RARA		FREQ.		Q.PERM		RARA		FREQ.		Q.PERM		RARA		FREQ.		Q.PERM	
$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma$	$\Psi$		
1	Peso Proprio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	Spinta terreno sinistra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	Spinta terreno destra	1	1	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	
4	Sisma sinistra	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	Sisma destra	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	Spinta Falda	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	
7	Ritiro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	Termica	1	0.6	1	0.5	1	0.5	1	0.6	1	0.5	1	0.5	1	1	1	0.6	1	0.5
9	Q STR CEN	1	1	1	0.75	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	Q STR LAT	-	-	-	-	-	-	1	1	1	0.75	-	0	1	0.75	-	0	-	0

Si precisa infine che la condizione di Carico **Q STR CEN**, è rappresentativa di una configurazione di carico stradale "simmetrica", (asse carico Q1k coincidente con l'asse del traverso) mentre la condizione di carico **Q STR LAT**, è una condizione emisimmetrica, ovvero con bordo del carico Q1k coincidente con filo esterno piedritto e carico q1k(9 KN/m<sup>2</sup>) assente in soletta.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 26 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 6.4 VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

### 6.4.1 Verifica SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle Combinazioni di Calcolo allo SLE, il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure nel calcestruzzo attesa, secondo quanto di seguito specificato:

### 6.4.2 Verifiche delle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, quelli di seguito indicati, in accordo alle prescrizioni della normativa vigente:

Per il caso in esame risulta in particolare:

#### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{\max QP} = (0,45 f_{ck}) = 14.94 \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\max R} = (0,60 f_{ck}) = 19.92 \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

#### ACCIAIO

$$\sigma_{\max} = (0,80 f_{yk}) = 360 \text{ MPa} \quad \begin{array}{l} \text{Combinazione di Carico} \\ \text{Caratteristica(Rara)} \end{array}$$

### 6.4.3 Verifiche a fessurazione

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:

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 27 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
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 :  $w \leq 0.2 \text{ mm}$

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

Riguardo infine il valore di calcolo dell'ampiezza delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 9 gennaio 1996, in accordo a quanto previsto al punto " C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.617/09.

## 6.4.4 VERIFICHE ALLO SLU

### 6.4.4.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:

## 2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

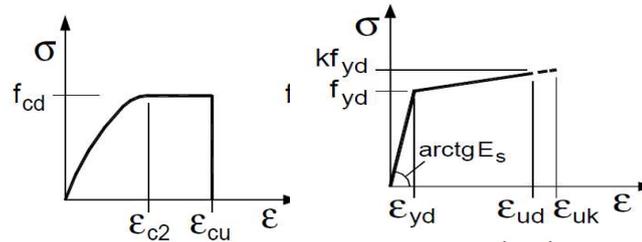
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

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

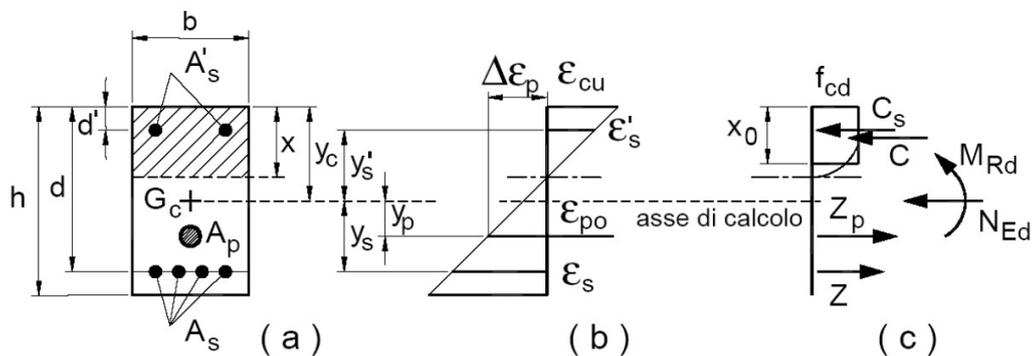
OPERE D'ARTE MINORI: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L073	213	E	16	OI0000	REL	04	B	28 di 46



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione generica sezione -

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

- $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;
- $N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;
- $M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

### 6.4.4.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w d$$

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 29 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

- $k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_l = A_{sw} / (b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;
- $b_w$  = 1000 mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è il minimo tra la resistenza a taglio trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio compressione  $V_{Rcd}$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

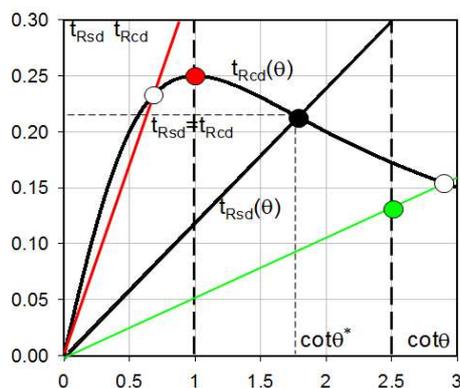
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)}{(1 + \text{ctg}^2\theta)}$$

Essendo:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5$$

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.1.3 delle NTC08, considerando ai fini delle verifiche, un angolo  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$$



L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle ( $\theta$ ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato :

$$\cot\theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

(  $\theta^*$  angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 30 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

dove

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5$$

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrane non compresse
		$1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2.5(1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

$\omega_{sw}$  : Percentuale meccanica di armatura trasversale.

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{b s f_{cd}}$$

- Se la  $\cot \theta^*$  è compresa nell'intervallo (1,0-2,5) è possibile valutare il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd}=V_{Rsd})$
- Se la  $\cot \theta^*$  è maggiore di 2,5 la crisi è da attribuirsi all'armatura trasversale e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rsd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle armature trasversali valutabile per una  $\cot \theta = 2,5$ .
- Se la  $\cot \theta^*$  è minore di 1,0 la crisi è da attribuirsi alle bielle compresse e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle bielle di calcestruzzo valutabile per una  $\cot \theta = 1,0$ .

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 31 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 6.5 VERIFICHE GEOTECNICHE (CARICO LIMITE)

Per la verifica della capacità portante delle Fondazioni superficiali, si è fatto ricorso alla teoria di Meyerhof secondo la quale, il carico limite di una fondazione superficiale, è valutabile attraverso le seguenti espressioni:

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \quad (\text{Caso di Carico Verticale})$$

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (\text{Caso di Carico Inclinato})$$

dove:

Il prodotto  $\gamma_1 D$  presente nel 2° termine, corrisponde al valore della pressione efficace sul piano di appoggio della fondazione che quindi nel caso più generale di falda tra piano campagna e piano di posa fondazione, corrisponde a:

$$\gamma'_1 x h_w + \gamma_1 x (D - h_w)$$

con la specifica inoltre che in tal caso, alla formula trinomia va aggiunto l'ulteriore termine

$$\gamma_w x h_w$$

Allo stesso modo, per falda presente nel volume di terreno potenzialmente interessato dal meccanismo di rottura, il  $\gamma_2$  del terzo termine della trinomia corrisponde al peso di volume efficace della terreno di fondazione  $\gamma_2'$

$\gamma_2'$  = peso di volume dello strato di fondazione;

$\gamma_w$  = peso di volume falda

$h_w$  = quota falda rispetto al piano di posa della fondazione

$B'$  = larghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico  $B' = B - 2e$ ;

$e$  = eccentricità del carico rispetto al baricentro della fondazione

$L'$  = lunghezza efficace della fondazione (depurata dell'eventuale eccentricità del carico  $L' = L - 2e$ ;

$c$  = coesione efficace dello strato di fondazione;

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di capacità portante;

$s_c, s_q, s_\gamma$  = fattori di forma della fondazione;

$d_c, d_q, d_\gamma$  = fattori di profondità del piano di posa della fondazione.

$i_c, i_q, i_\gamma$  = fattori di inclinazione del carico;

Per la teoria di Meyerhof i coefficienti sopra definiti assumono le espressioni che seguono:

**2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 32 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

$$N_c = (N_q - 1) \cdot ctg \phi; \quad N_q = tg^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{(\pi \cdot tg \phi)}; \quad N_\gamma = (N_q - 1) \cdot tg(1.4 \cdot \phi)$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot Kp \cdot \frac{B}{L}; \quad s_q = 1 + 0.1 \cdot tg^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \frac{B}{L}; \quad s_{\gamma q} = s_q$$

$$d_c = 1 + 0.2 \cdot tg \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \frac{D}{B_f}; \quad d_q = 1 + 0.1 \cdot tg \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \frac{D}{B_f}; \quad d_\gamma = d_q$$

$$i_c = \left( 1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right)^2; \quad i_q = i_c; \quad i_\gamma = \left( 1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

nelle quali si sono considerati i seguenti dati:

$\phi$  = angolo di attrito dello strato di fondazione;

$\theta$  = inclinazione della risultante sulla verticale;

D = profondità della fondazione.

\*\* nel caso di terreno eminentemente coesivo ( $\phi = 0$ ) si assume:  $s_q = 1$ ;  $s_\gamma = 1$ ;  $d_q = 1$ ;  $d_\gamma = 1$ ;

$i_\gamma = 0$ .

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 33 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 7. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Nell'ambito del presente paragrafo si riporta una descrizione delle caratteristiche dei Software utilizzati per l'effettuazione delle Analisi e Verifiche strutturali e geotecniche esposte nel presente documento.

### Denominazione ed Estremi di Licenza del Software

Titolo	SCAT - Analisi Strutture Scatolari
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	PROGIN S.P.A.
Licenza	AIU01054U

### Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfiaccio vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione

L'analisi che viene effettuata è un'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione). L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nodali ed alle pressioni sul terreno.

Il calcolo degli scatolari viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle pressioni in calotta (per gli scatolari ricoperti da terreno);
- Calcolo della spinta del terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, piedritti e traverso);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

### Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software impiegati ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Le stesse società produttrici hanno verificato l'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo attraverso un



## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 34 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

numero significativo di casi prova in cui i risultati sono contenuti in apposita documentazione fornita a corredo dell'acquisto del prodotto, che per brevità espositiva si omette di allegare al presente documento.

### **Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

I risultati delle elaborazioni esposte nel documento sono state inoltre sottoposte a controlli dal sottoscritto utente del software.

Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali, che per brevità espositiva si omette dall'allegare al presente documento.

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, Il Progettista dichiara pertanto che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, validando conseguentemente i risultati dei calcoli esposti nella presente

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 35 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 8. TOMBINO TIPO5 (Φ200) – RISULTATI ANALISI E VERIFICHE

Di seguito di riporta una descrizione della modellazione effettuata mediante ausilio del software di calcolo SCAT v.11 prodotto dalla AZTEC Informativa, con una descrizione del modello strutturale implementato, sollecitazioni di calcolo ottenute e risultati delle verifiche effettuate.

### 8.1 MODELLO DI CALCOLO

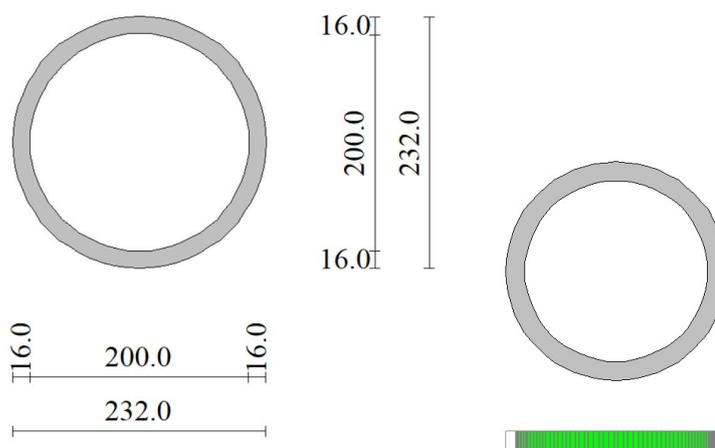
Di seguito di riporta una descrizione del modello geometrico/geotecnico considerato ai fini del dimensionamento:



L0703213E16O10000R

EL04A.docx

#### Modello Geometrico Geotecnico di Riferimento – 1/2



#### Modello Geometrico Geotecnico di Riferimento – 2/2

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di fondazione viene schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.

**2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 36 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento,  $K_e$ , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura  $K$ . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali  $p$ .

Indicando con  $u$  il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti  $u$

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

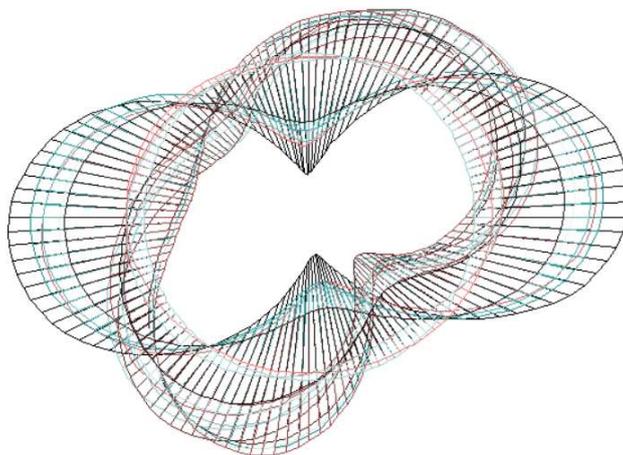
La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS 010000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 37 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 8.2 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

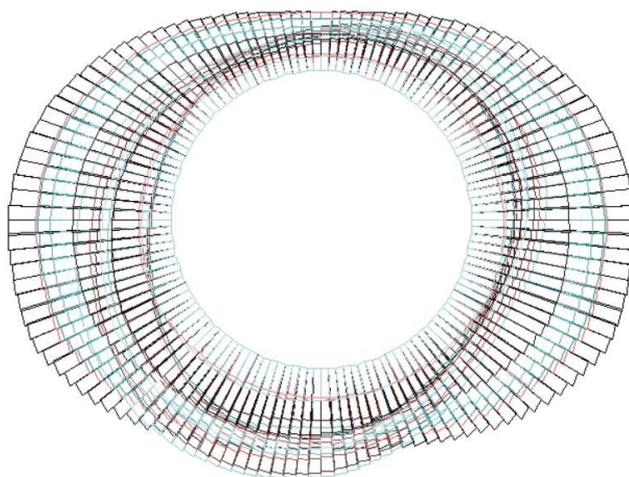
Si riportano, di seguito, i diagrammi di involuppo delle caratteristiche delle sollecitazioni di Flessione, Taglio e Sforzo Normale; le unità di misura dei grafici sono i kN e m:

————— 25.853 kNm



Involuppo diagrammi del momento flettente – SLU statico e sismico

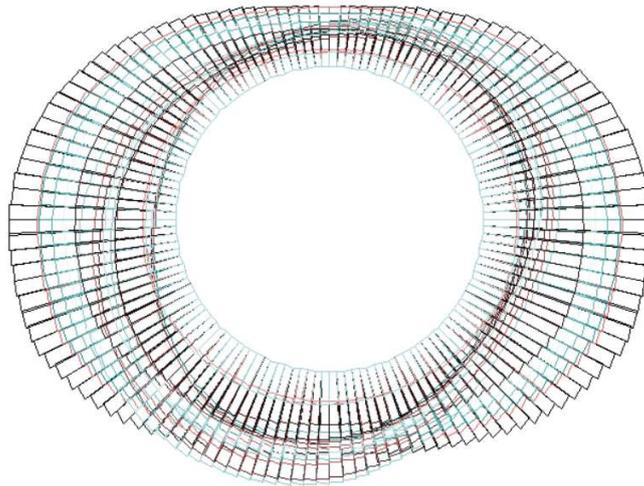
————— 106.434 kN



Involuppo diagrammi del taglio – SLU statico e sismico

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 38 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

————— 106.434 KN



Inviluppo diagrammi dello sforzo normale – SLU statico e sismico

Non vengono riportati i diagrammi inviluppo delle sollecitazioni allo SLE, in quanto il software restituisce unicamente i risultati delle verifiche per le relative combinazioni

### 8.3 ARMATURE DI PROGETTO

Nella tabella seguente si riportano le armature di progetto previste per la sezione di calcolo in questione, come desumibili dagli elaborati grafici di armatura delle opere relative :

<i>Elemento</i>	<b>Armatura a flessione</b>	
	Af 1	Af 2
-	1φ10/20	1φ10/20

**Af1 : Armatura lato esterno (terreno)**

**Af2 : Armatura lato interno**

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento ad un copri ferro di calcolo (asse armature) pari a 6cm

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 39 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

Si evidenzia inoltre che le sollecitazioni di progetto non hanno richiesto una specifica armatura a taglio, essendo già soddisfatte le verifiche condotte con previsti dal DM 14.01.08 per le delle strutture non armate a taglio; è stata comunque prevista un'armatura di collegamento trasversale  $1\phi 6/40 \times 40$

## 8.4 VERIFICHE DI RESISTENZA E FESSURAZIONE

Il software esegue in automatico tutte le verifiche strutturali sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio. Per quanto riguarda il taglio il programma prevede sia la verifica per elementi non armati a taglio e sia quella per elementi dotati di apposita armatura a taglio, disponendo tuttavia ferri sagomati resistenti a taglio e non staffe o tiranti. Per questo motivo le verifiche a taglio vengono eseguite manualmente attraverso l'ausilio di fogli di calcolo strutturati ad hoc.

I criteri generali di verifica adottati dal Software, sono quelli esposti al paragrafo 7.4

Le verifiche espone fanno riferimento alla sezione maggiormente sollecitata lungo l'intera circonferenza strutturali; come origine del riferimento si sceglie lo spigolo inferiore sinistro dello scatolare.

In virtù della particolare forma della sezione, il software suddivide la stessa in due elementi, ovvero l'elemento trasverso (semicirconferenza superiore) e l'elemento fondazione (semicirconferenza inferiore), per ciascuna dei quali sono state considerate 5 sezioni di verifica

### 8.4.1 Verifiche allo SLU

Si mostrano, nelle seguenti tabelle, le verifiche SLU nei confronti della pressoflessione. Si riportano per semplicità le verifiche più gravose per la struttura.

#### 8.4.1.1 Verifiche a pressoflessione

##### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione      B = 100 cm  
 Altezza sezione    H = 16.00 cm

X	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.08	3.93	3.93	2.41
0.48	3.93	3.93	4.13
0.91	3.93	3.93	2.40
1.34	3.93	3.93	3.33
1.74	3.93	3.93	2.41

##### Verifica sezioni trasverso (Inviluppo)

Base sezione      B = 100 cm  
 Altezza sezione    H = 16.00 cm

X	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.08	3.93	3.93	2.41

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 40 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

0.48	3.93	3.93	4.45
0.91	3.93	3.93	2.69
1.34	3.93	3.93	3.05
1.74	3.93	3.93	2.41

#### 8.4.1.2 Verifiche a taglio

I risultati ottenuti dalle verifiche delle sezioni maggiormente sollecitate per la struttura in esame sono riepilogati nella seguente tabella.

Sezione	$V_{Ed}$	b	h	$V_{Rd}^*$	Verificato
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]
Fondazione	25	100	16	95	SI
Traversi	25	100	16	95	SI

\* Taglio resistente elementi non armati

#### 8.4.2 Verifiche allo SLE

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure e le verifiche delle alle tensioni per il calcestruzzo e per l'acciaio di armatura.

*Simbologia adottata ed unità di misura*

$N^\circ$	Indice sezione
X	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m
M	Momento flettente, espresso in kNm
V	Taglio, espresso in kN
N	Sforzo normale, espresso in kN
$A_{fi}$	Area armatura inferiore, espressa in cm <sup>2</sup>
$A_{fs}$	Area armatura superiore, espressa in cm <sup>2</sup>
$\sigma_{fi}$	Tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore, espressa in MPa
$\sigma_{fs}$	Tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore, espressa in MPa
$\sigma_c$	Tensione nel calcestruzzo, espressa in MPa
$\tau_c$	Tensione tangenziale nel calcestruzzo, espressa in MPa
$A_{sw}$	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cm <sup>2</sup>

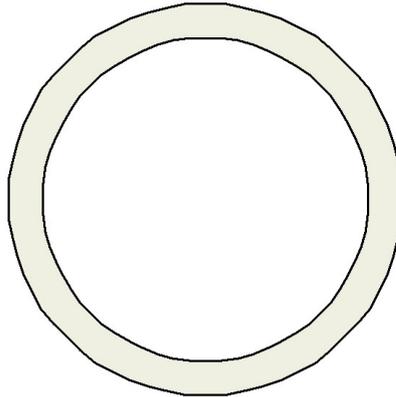
*Simbologia adottata ed unità di misura*

$N^\circ$	Indice sezione
$X_i$	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m
$M_p$	Momento di prima fessurazione positivo, espressa in kNm
$M_n$	Momento di prima fessurazione negativo, espressa in kNm
wk	Ampiezza fessure, espressa in mm
wlim	Apertura limite fessure, espressa in mm
s	Distanza media tra le fessure, espressa in mm
$\epsilon_{sm}$	Deformazione nelle fessure, espressa in [%]

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 41 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

#### 8.4.2.1 Verifiche a fessurazione

L'ampiezza delle fessure è sempre al di sotto dei limiti sopra descritti, pertanto le verifiche si possono ritenere soddisfatte. Nella seguente figura vengono riportati lo schema con indicazione delle zone della struttura ove si innesca il processo di fessurazione, ed a seguire i relativi valori di ampiezza delle fessure ricavati per la combinazione frequente e quasi permanente :



Schema con indicazione delle zone fessurate

#### Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 14 - SLE (Frequente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	8.20	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.66	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-6.39	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.66	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	8.20	0.00	0.30	0.00	0.000000

#### Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 14 - SLE (Frequente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-8.20	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.07	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	5.68	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.07	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-8.20	0.00	0.30	0.00	0.000000

#### Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 15 - SLE (Quasi Permanente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.46	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.08	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.59	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.08	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.46	0.00	0.20	0.00	0.000000

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 42 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

### Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 15 - SLE (Quasi Permanente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.46	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.65	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.12	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.65	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.46	0.00	0.20	0.00	0.000000

### Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 17 - SLE (Frequente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.58	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	4.15	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.01	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-4.55	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	3.70	0.00	0.30	0.00	0.000000

### Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 17 - SLE (Frequente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.58	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	3.56	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.28	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-4.10	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-3.70	0.00	0.30	0.00	0.000000

### Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 18 - SLE (Quasi Permanente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.38	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	1.26	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.55	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.37	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	3.18	0.00	0.20	0.00	0.000000

### Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 18 - SLE (Quasi Permanente)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.38	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.11	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.45	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.17	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-3.18	0.00	0.20	0.00	0.000000

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS OI0000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 43 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

**Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 20 - SLE (Frequente)]**

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.58	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	1.24	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.60	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.39	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	3.39	0.00	0.30	0.00	0.000000

**Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 20 - SLE (Frequente)]**

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.58	0.00	0.30	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.32	0.00	0.30	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.02	0.00	0.30	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.61	0.00	0.30	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-3.39	0.00	0.30	0.00	0.000000

**Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 21 - SLE (Quasi Permanente)]**

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	2.38	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	1.26	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	-0.55	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.37	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	3.18	0.00	0.20	0.00	0.000000

**Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 21 - SLE (Quasi Permanente)]**

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0.08	3.93	3.93	8.46	-8.46	-2.38	0.00	0.20	0.00	0.000000
2	0.48	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.11	0.00	0.20	0.00	0.000000
3	0.91	3.93	3.93	8.46	-8.46	0.45	0.00	0.20	0.00	0.000000
4	1.34	3.93	3.93	8.46	-8.46	-1.17	0.00	0.20	0.00	0.000000
5	1.74	3.93	3.93	8.46	-8.46	-3.18	0.00	0.20	0.00	0.000000

**8.4.2.2 Verifica delle tensioni**

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle verifiche allo SLE dei limiti tensionali di lavoro nel calcestruzzo e nelle barre di armatura.

Tali tensioni risultano sempre al di sotto dei limiti indicati dalla normativa, pertanto le verifiche si possono ritenere soddisfatte. Vengono riportate le verifiche più gravose.

**Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 13 - SLE (Rara)]**

Base sezione      B = 100 cm  
 Altezza sezione    H = 16.00 cm

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id. doc. REL	N. prog. 04	Rev. B	Pag. di Pag. 44 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0.08	10.33	70.98	3.93	3.93	38.71	152.68	6.30
2	0.48	-3.59	44.86	3.93	3.93	27.58	0.63	1.89
3	0.91	-8.38	35.18	3.93	3.93	154.37	47.26	5.40
4	1.34	-3.59	47.61	3.93	3.93	24.54	0.86	1.86
5	1.74	10.33	70.98	3.93	3.93	38.72	152.69	6.30

### Verifica sezioni trasverso [Combinazione n° 13 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm  
 Altezza sezione H = 16.00 cm

### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0.08	-10.33	70.98	3.93	3.93	152.68	38.71	6.30
2	0.48	2.54	37.06	3.93	3.93	2.31	13.87	1.27
3	0.91	7.06	25.94	3.93	3.93	42.57	135.36	4.60
4	1.34	2.54	37.98	3.93	3.93	2.77	12.89	1.25
5	1.74	-10.33	70.98	3.93	3.93	152.69	38.71	6.30

### Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 16 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm  
 Altezza sezione H = 16.00 cm

### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0.08	2.85	40.75	3.93	3.93	2.20	16.38	1.43
2	0.48	5.10	51.74	3.93	3.93	8.10	53.75	2.87
3	0.91	0.14	47.01	3.93	3.93	5.76	5.43	0.30
4	1.34	-5.63	34.03	3.93	3.93	89.50	24.34	3.50
5	1.74	4.09	31.92	3.93	3.93	12.73	55.39	2.44

### Verifica sezioni trasverso [Combinazione n° 16 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm  
 Altezza sezione H = 16.00 cm

### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0.08	-2.85	40.28	3.93	3.93	16.87	1.96	1.44
2	0.48	4.27	17.54	3.93	3.93	24.41	79.32	2.76
3	0.91	-0.25	19.85	3.93	3.93	2.06	2.66	0.17
4	1.34	-5.51	27.94	3.93	3.93	94.96	27.64	3.49
5	1.74	-4.09	32.64	3.93	3.93	54.43	12.24	2.43

### Verifica sezioni trasverso [Combinazione n° 19 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm  
 Altezza sezione H = 16.00 cm

## 2.12 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: TIPOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo tombini

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.di Pag. 45 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>ri</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0.08	-3.62	34.61	3.93	3.93	40.74	7.07	2.07
2	0.48	1.38	16.79	3.93	3.93	0.54	11.24	0.74
3	0.91	-2.08	18.28	3.93	3.93	25.59	5.15	1.22
4	1.34	-6.27	25.10	3.93	3.93	117.39	36.31	4.06
5	1.74	-4.74	29.68	3.93	3.93	74.09	19.82	2.93

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS O10000	Id.doc REL	N.prog. 04	Rev. B	Pag.diPag. 46 di 46
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------------------

## 8.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

La verifica a carico limite è stata eseguita in automatico dal software di calcolo attraverso l'utilizzo di della formula di Meyerhof, come già specificato in precedenza; nel seguito si riportano i risultati ottenuti per il caso in esame:

### Simbologia adottata

$IC$  Indice della combinazione

$N_c, N_q, N_\gamma$  Fattori di capacità portante

$N_c, N_q, N_\gamma$  Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.

$q_u$  Portanza ultima del terreno, espressa in [MPa]

$Q_u$  Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m

$Q_\gamma$  Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m

$FS$  Fattore di sicurezza a carico limite

IC	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$q_u$	$Q_u$	$Q_\gamma$	FS
1	20.72	10.66	6.77	36.32	14.44	9.17	0.772	1405.81	205.78	6.83
2	15.27	6.70	3.11	22.09	8.19	3.80	0.425	773.68	169.27	4.57
3	20.72	10.66	6.77	12.98	5.58	0.58	0.173	315.58	112.38	2.81
4	15.27	6.70	3.11	7.52	2.79	2.64	0.079	144.44	89.70	1.61
5	20.72	10.66	6.77	36.32	14.44	9.17	0.772	1405.82	170.71	8.24
6	15.27	6.70	3.11	22.09	8.19	3.80	0.425	773.70	139.39	5.55
7	20.72	10.66	6.77	14.17	6.10	0.21	0.194	352.89	100.66	3.51
8	15.27	6.70	3.11	8.35	3.10	1.84	0.089	162.38	79.72	2.04
9	20.72	10.66	6.77	11.29	4.86	1.49	0.070	127.77	51.50	2.48
10	20.72	10.66	6.77	9.93	4.27	2.60	0.044	79.94	45.54	1.76
11	15.27	6.70	3.11	8.14	3.02	2.03	0.047	85.67	52.75	1.62
12	15.27	6.70	3.11	7.18	2.66	3.02	0.031	56.17	46.79	1.20