

S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MINORI - SOTTOVIA SOTTOPASSO TRONCO 39

Relazione di calcolo sottovia

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 0 9 9 I N 2 3 9 S T 1 1 Z C L 0 0 1 B

Scala:

F						
E						
D						
C						
B	Ottobre 2011	Rif. Istruttoria prot. CDG-0141142-P del 19/10/11	E.MEDICO	R.CAPOCCHI	M. LITI	P. PAGLINI
A	Aprile 2011	EMISSIONE	E.MEDICO	A.TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
Responsabile del procedimento:			Ing. MAURIZIO ARAMINI			

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



**S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO
ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001
Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19**

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE D'ARTE MINORI
SOTTOVIA
SOTTOPASSO TRONCO 39
RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA

INDICE

INDICE	2
1 DESCRIZIONE DELLE OPERE	4
2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3 DATI SISMICI.....	5
4 DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI	7
4.1 CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE	7
4.2 COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE	10
4.3 CARATTERISTICHE DEI COSTITUENTI IL CALCESTRUZZO.....	11
4.4 CARATTERISTICHE DELLE MISCELE.....	11
5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	13
5.1 TERRENI DI RIPORTO.....	13
5.2 TERRENI DI FONDAZIONE	14
6 CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE SCAT	15
6.1 SCHEMATIZZAZIONE DI CALCOLO	15
6.2 VERIFICHE.....	15
7 ANALISI DEI CARICHI	16
7.1 CONDIZIONI DI CARICO	16
7.2 COMBINAZIONI DI CARICO.....	18
8 TABULATI DI CALCOLO.....	20

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 2 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

8.1	GEOMETRIA SCATOLARE.....	20
8.2	CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI	20
8.3	CONDIZIONI DI CARICO	21
8.4	IMPOSTAZIONI DI PROGETTO.....	22
8.5	DESCRIZIONE COMBINAZIONI DI CARICO	23
8.6	INVILUPPO SOLLECITAZIONI NODALI.....	29
8.7	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO (SLU)	31
8.8	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE)	33

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 3 di 36

1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Nel seguito si tratterà delle strutture in calcestruzzo armato relative alla realizzazione del sottovia sul tronco 39.

Nella relazione si descrivono i problemi di carattere strutturale che sono stati affrontati nel corso della progettazione e per essi vengono espone le modalità di soluzione e le procedure di calcolo adottate per la determinazione delle dimensioni delle strutture principali.

La relazione si completa mediante una serie di elaborati che consistono in tabelle schematiche riportanti le caratteristiche della sollecitazione utilizzate alla base della verifica degli elementi strutturali costituenti il manufatto, nonché le verifiche di resistenza dei materiali, eseguite nelle sezioni più significative e maggiormente sollecitate dei manufatti.

L'opera sarà realizzata mediante una piastra di fondazione sulla quale si innesteranno i piedritti costituiti da setti continui in cemento armato a spessore costante e sui quali si realizzerà la soletta di copertura (traverso) costituita da una piastra in calcestruzzo armato gettata in opera, anch'essa a spessore costante.

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La progettazione degli elementi strutturali è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente in merito al dimensionamento delle strutture e per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio nazionale. Le norme di riferimento adottate sono riportate nel seguito:

- Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 – Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- NTC2008 – Norme Tecniche delle costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008;
- Norma tecnica UNI ENV 1992-1-1:1993, Eurocodice 2 progettazione delle strutture di calcestruzzo;

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 4 di 36

3 DATI SISMICI

Di seguito si riportano i dati sismici adoperati per l'analisi strutturale dell'opera in oggetto.

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N	<input type="text" value="100"/>	info
Coefficiente d'uso della costruzione - c_U	<input type="text" value="2"/>	info

Come sito di riferimento si considera il comune in cui è situata l'opera.

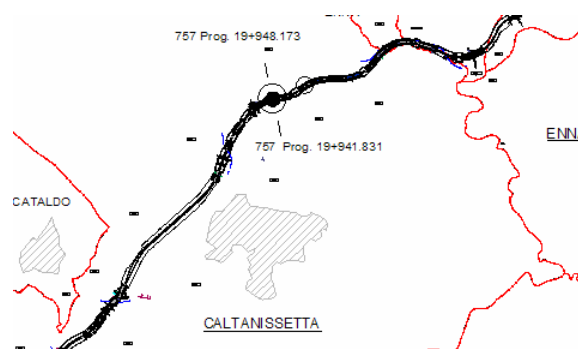


Figura 3-1: Comune di riferimento

<input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per comune	REGIONE <input type="text" value="Sicilia"/>	PROVINCIA <input type="text" value="Caltanissetta"/>	COMUNE <input type="text" value="Caltanissetta"/>
--	---	---	--

Per la verifica sismica delle strutture si prende in considerazione lo stato limite ultimo di salvaguardia della Vita (SLV).

Stato Limite			
Stato Limite considerato		<input type="text" value="SLV"/>	info
Risposta sismica locale			
Categoria di sottosuolo		<input type="text" value="C"/>	info
Categoria topografica		<input type="text" value="T1"/>	info
		$S_E =$ <input type="text" value="1.500"/>	$C_C =$ <input type="text" value="1.291"/>
		$h/H =$ <input type="text" value="0.000"/>	$S_T =$ <input type="text" value="1.000"/>
<small>(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)</small>			
Compon. orizzontale			
<input checked="" type="radio"/> Spettro di progetto elastico (SLE)		Smorzamento ξ (%)	<input type="text" value="5"/>
<input type="radio"/> Spettro di progetto inelastico (SLU)		Fattore q_0	<input type="text" value="1.2"/>
		$\eta =$ <input type="text" value="1.000"/>	info
		Regol. in altezza	<input type="text" value="si"/>

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 5 di 36

I parametri dello spettro di risposta sono i seguenti:

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.108 g
F_o	2.748
T_C^*	0.535 s
S_S	1.500
C_C	1.291
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.230 s
T_C	0.690 s
T_D	2.033 s

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 6 di 36

4 DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI

La forte importanza che riveste la durabilità dell'opera in funzione dell'ambiente nel quale è inserita, ha comportato una notevole attenzione alle tipologie dei materiali da utilizzarsi per le strutture da realizzare. Si consideri, infatti, che il manufatto deve garantire adeguati livelli di sicurezza anche dopo l'inevitabile degrado dei materiali dovuto al tempo ed all'azione degli agenti atmosferici.

Tutti questi elementi ambientali costituiscono dei fattori importantissimi dai quali non è possibile esulare quando si stabilisce la tipologia dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione dell'opera, pensando questo nell'ottica di garantire alla stessa una vita media compatibile con l'investimento che si sta realizzando.

4.1 Classi di esposizione ambientale

Ai fini di una corretta prescrizione del calcestruzzo, occorre classificare l'ambiente nel quale ciascun elemento strutturale sarà inserito. Per "ambiente", in questo contesto, si intende l'insieme delle azioni chimico-fisiche alle quali si presume che potrà essere esposto il calcestruzzo durante il periodo di vita delle opere e che causa effetti che non possono essere classificati come dovuti a carichi o ad azioni indirette quali deformazioni impresse, cedimenti e variazioni termiche.

In funzione di tali azioni, sono individuate le classi e sottoclassi di esposizione ambientale del calcestruzzo elencate nella tabella che segue.

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 7 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale, in funzione delle condizioni ambientali secondo norma UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006

Classe esposizione norma UNI 9858	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C 12/15	
2 Corrosione indotta da carbonatazione						
Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel coprifero o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.	0,50	C 32/40	
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare						
5 a	XD1	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).	0,50	C 32/40	
5 c	XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	0,45	C 35/45	

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 8 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

Classe esposizione norma UNI 9858	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206 -1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
4 a 5 b	XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
	XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immersi in acqua.	0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle maree.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.	0,45	C 35/45	
5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti *						
2 b	XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.	0,50	C 32/40	
3	XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente disgelante.	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.	0,50	C 25/30	3,0
2 b	XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.	0,50	C 25/30	3,0
3	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.	0,45	C 28/35	3,0
6 Attacco chimico**						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	
<p>*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizioni di saturazione; - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.</p> <p>**) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.</p>						

Tabella 4.1: Classi di esposizione e requisiti minimi del calcestruzzo in funzione della classe d'esposizione

Le resistenze caratteristiche R_{ck} della tabella precedente sono da considerarsi quelle minime in relazione agli usi indicati in funzione della classe di esposizione. Le miscele non presenteranno un contenuto di cemento minore di 280 kg/m^3 . La definizione di una soglia minima per il dosaggio di cemento, risponde all'esigenza di garantire in ogni caso una sufficiente quantità di pasta di cemento, condizione essenziale per ottenere un calcestruzzo indurito a struttura chiusa e poco permeabile. Nelle normali condizioni operative, il rispetto dei valori di R_{ck} e a/c della tabella precedente può comportare dosaggi di cemento anche sensibilmente più elevati del valore minimo indicato.

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 9 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

Facendo riferimento alla tabella precedente, la classe di esposizione attribuita ai vari elementi strutturali costituenti le opere è così riassunta:

CALCESTRUZZO

- Traversi gettati in opera, fondazione, piedritti XC2.
- Traversi, fondazione, piedritti : C 25/30 N/mm² ;

ACCIAIO PER ARMATURE

- tipo B450C
- Modulo di elasticità di Joung (E) 210.000 N/mm²;
- Tensione caratteristica di snervamento $f_{y\ nom}$ 450 N/mm²;
- Tensione caratteristica di rottura $f_{t\ nom}$ 540 N/mm².

4.2 Copriferro minimo e copriferro nominale

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$.

I valori di copriferro minimo in funzione delle classi di esposizione del calcestruzzo sono indicati nella tabella seguente. La tolleranza di posizionamento delle armature h , nel caso di strutture gettate in opera, dovrà essere assunta pari ad almeno 5 mm. Considerando la classe di esposizione ambientale delle diverse sottostrutture, si dovranno adoperare dei copriferri adeguati come prescritti nella tavola delle prescrizioni dei materiali allegata al progetto. Nel caso specifico sarà considerato un valore pari a 5 cm.

Ambiente	Classe di esposizione	C_{min} (mm)
Molto secco	X0	15
Umido senza gelo	XC1 XC2	20
Debolmente aggressivo	XC3 XA1 XD1	
Umido con gelo	XF1	
Marino senza gelo	XS1 XD2	30
Moderatamente aggressivo	XA2 XC4	
Umido con gelo e sali disgelanti	XF3	
Marino con gelo	XF2	
Fortemente aggressivo	XS2 XS3XA3 XD3 XF4	40

Tabella 4.2 – Copriferro minimo e classi di esposizione

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 10 di 36

4.3 Caratteristiche dei costituenti il calcestruzzo

Cemento

Si utilizzeranno unicamente i cementi previsti nella Legge 26 Maggio 1965 n° 595 che soddisfino i requisiti di accettazione elencati nella norma UNI ENV 197/1, con esclusione del cemento alluminoso e dei cementi per sbarramenti di ritenuta.

Acqua d'impasto

L'acqua d'impasto, di provenienza nota, dovrà avere caratteristiche costanti nel tempo, conformi a quelle della norma UNI EN 1008.

Aggregati

Gli aggregati impiegati per il confezionamento del calcestruzzo dovranno avere caratteristiche conformi a quelle previste nella parte 1^a della norma UNI 8520. Le caratteristiche dovranno essere verificate in fase di qualifica delle miscele. In caso di fornitura di aggregati da parte di azienda dotata di Sistema Qualità certificato secondo norme UNI EN ISO 9000, saranno ritenuti validi i risultati delle prove effettuate dall'Azienda.

4.4 Caratteristiche delle miscele

Granulometria degli aggregati

Per la realizzazione di calcestruzzi con classi di resistenza maggiori di C 12/15 gli aggregati dovranno appartenere ad almeno tre classi granulometriche diverse. Nella composizione della curva granulometrica nessuna frazione sarà dosata in percentuale maggiore del 55%, salvo preventiva autorizzazione del Direttore dei Lavori.

Le classi granulometriche saranno mescolate tra loro in percentuali tali da formare miscele rispondenti ai criteri di curve granulometriche di riferimento, teoriche o sperimentali, scelte in modo che l'impasto fresco e indurito abbia i prescritti requisiti di resistenza, consistenza, omogeneità, aria inglobata, permeabilità, ritiro e acqua essudata. Si dovrà adottare una curva granulometrica che, in relazione al dosaggio di cemento, garantisca la massima compattezza e la migliore lavorabilità del calcestruzzo.

Dimensione massima nominale dell'aggregato

La massima dimensione nominale dell'aggregato è scelta in funzione dei valori di copriferro ed interferro, delle dimensioni minime dei getti, delle modalità di getto e del tipo di mezzi d'opera utilizzati per la compattazione dei getti; come previsto nel punto 5.4. della norma UNI 9858, la dimensione massima nominale dell'aggregato non dovrà essere maggiore:

- di un quarto della dimensione minima dell'elemento strutturale;
- della distanza tra le singole barre di armatura o tra gruppi di barre d'armatura (interferro) diminuita di 5 mm;
- di 1,3 volte lo spessore del copriferro che vale 30 mm.

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 11 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Dalla analisi dei dati citati si evince che la massima dimensione dell'inerte non potrà superare i 40 mm di diametro.

Rapporto acqua/cemento

La quantità d'acqua totale da impiegare per il confezionamento dell'impasto dovrà essere calcolata tenendo conto dell'acqua libera contenuta negli aggregati. Si dovrà fare riferimento alla norma UNI 8520 parti 13^a e 16^a per la condizione "satura a superficie asciutta", nella quale l'aggregato non assorbe né cede acqua all'impasto. Facendo riferimento inoltre alla classe di esposizione ambientale, il rapporto acqua cemento non potrà superare il valore $a/c = 0,60$.

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 12 di 36

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In questo paragrafo, sono indicate le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni in sito e di riporto per la realizzazione del rilevato stradale (utilizzati per la determinazione della spinta agente sulle strutture).

5.1 Terreni di riporto

Per i terreno di riporto (ricoprimento e laterale) si assumo i seguenti parametri

Strato di ricoprimento scatolare

Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	1.00	[m]
Peso di volume	19.0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35.00	[°]
Coesione	0.000	[MPa]

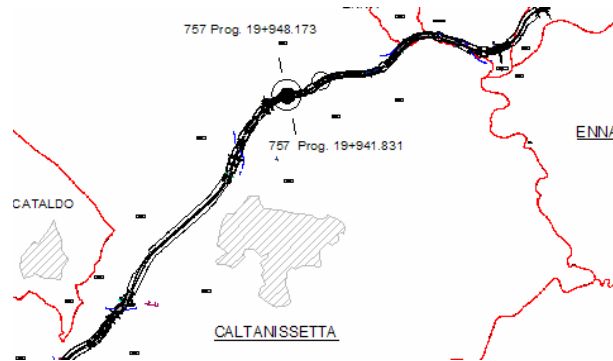
Strato di rinfiacco (Rilevato)

Descrizione	Terreno di rinfiacco	
Peso di volume	19.0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35.00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	23.33	[°]
Coesione	0.000	[MPa]
Costante di Winkler	0.0	[MPa/m]

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 13 di 36

5.2 Terreni di fondazione

Per i terreni di fondazione si fa riferimento alla stratigrafia riportata nella relazione geotecnica:



3-B - Modello Geotecnico 1: da prog. 19+500 a prog. 22+600

Profondità (m)	Litotipo	Parametri Geotecnici
0.00 ÷ 7.50	<u>Argille mamosse sommitali alterate – TRV1:</u> argilla limosa plastica ed alterata	$\gamma = 2.02\text{T/mc}$
		$C_u = 1.65\text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.26\text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 19.75^\circ$
7.50 ÷ 15.00	<u>Argille mamosse intermedie – TRV2a:</u> argilla mamosa a tratti scagliosa	$\gamma = 1.96\text{ T/mc}$
		$C_u = 1.45\text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.44\text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 19.0^\circ$
15.00 ÷ in prof.	<u>Argille mamosse profonde – TRV2b:</u> mamosa consistente a tratti scagliosa	$\gamma = 2.0\text{ T/mc}$
		$C_u = 1.56\text{ Kg/cm}^2$
		$c' = 0.23\text{ Kg/cm}^2$
		$\phi' = 22.4^\circ$

Si utilizzeranno i seguenti parametri:

Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	20.2500	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.2500	[kN/mc]
Angolo di attrito	19.75	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	19.75	[°]
Coesione	0.026	[MPa]

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 14 di 36

6 CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE SCAT

Il programma *SCAT*[®] è dedicato all'analisi e al calcolo di strutture scatolari interrato. La versione del programma utilizzata è la Rel. 10.03c del 2010, distribuita dalla società AZTECH, nella forma originale commercializzata senza alcuna modifica apportata da parte dell'utente.

6.1 Schematizzazione di calcolo

Partendo dalle caratteristiche meccaniche del terreno, dalla geometria dell'opera e dai sovraccarichi agenti, il programma analizza la struttura scatolare schematizzandola come un telaio piano costituito da elementi trave aventi base pari a 100cm e risolvendola mediante il metodo degli elementi finiti (FEM).

Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato, se esplicitamente richiesto in fase di input dei dati, con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler).

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

Indicando con \mathbf{u} il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma:

$$|\mathbf{K}| \cdot \{u\} = \{p\}$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti \mathbf{u}

$$\{u\} = |\mathbf{K}|^{-1} \cdot \{p\}$$

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

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico impostata.

6.2 Verifiche

La verifica vengono condotte tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 15 di 36

7 ANALISI DEI CARICHI

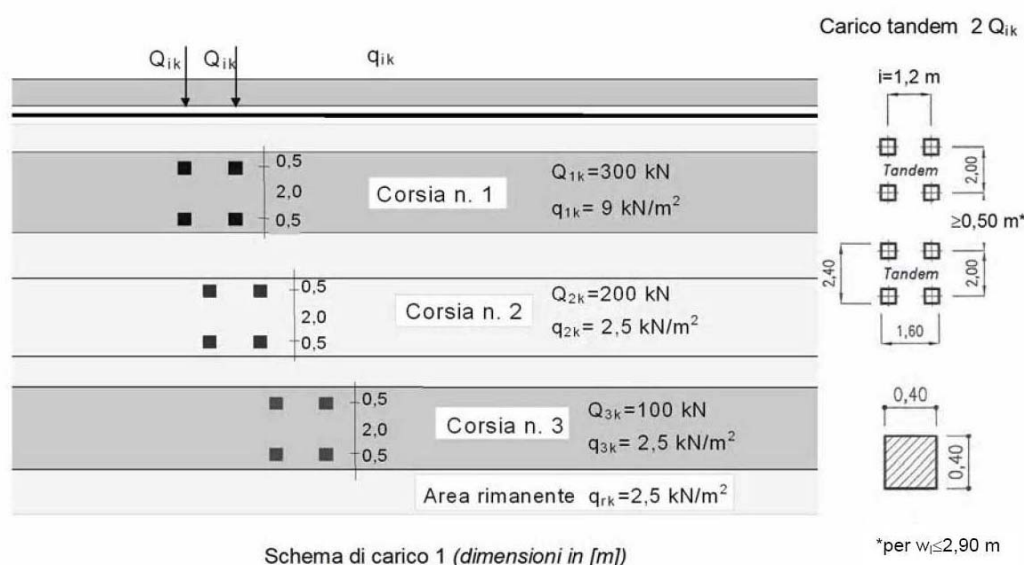
7.1 Condizioni di carico

Peso proprio struttura (g1) e carichi permanenti (g2)

Il peso proprio delle strutture è determinato automaticamente dal programma di calcolo, mentre i carichi permanenti vengono applicati esplicitamente.

Carichi stradali (Q1)

Le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono costituite da carichi concentrati e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in figura.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

per $w_l \leq 2,90$ m

Figura 7-1: Schema di carico.

La disposizione dei carichi ed il numero delle colonne sulla carreggiata saranno volta per volta quelli che determinano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura come disposto nel paragrafo 5.1.3. del D.M. 14 Gennaio 2008.

I carichi concentrati si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire secondo una diffusione a 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante, come mostrato in figura.

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 16 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

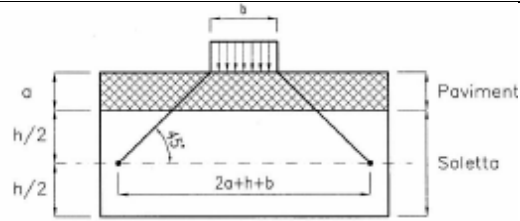


Figura 5.1.3a – Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

Figura 7-2: Diffusione dei carichi concentrati attraverso la pavimentazione e le solette.

I carichi concentrati e distribuiti dovuti al traffico vengono ricondotti a forze equivalenti riferite ad 1 m di profondità di scatolare. In particolare si considerano 3 corsie da 3 m affiancate ed effettuando la ripartizione a 45° fino al piano medio della calotta secondo lo schema seguente:

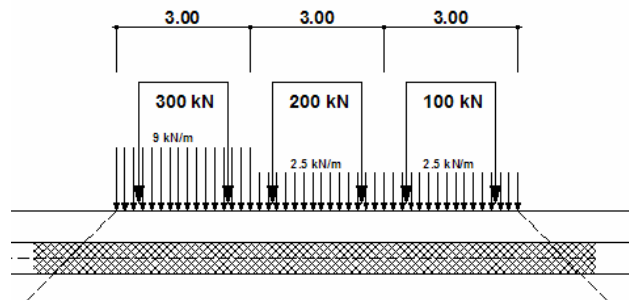


Figura 7-3: Definizione dei carichi mobili da applicare al modello di calcolo

Considerando, ai fini della ripartizione dei carichi, l'altezza di ricoprimento minima si ottengono i seguenti valori:

ALTEZZA DI RIPARTIZIONE:

$$H = 0.30 + 0.70/2 = 0.65 \text{ m}$$

FORZA SINGOLO ASSE:

$$F_v = (300 + 200 + 100) / (9 + 2 \times 0.65) = 58.25 \approx \mathbf{60 \text{ kN}}$$

CARICO DISTRIBUITO:

$$q = (9 \times 3 + 2.5 \times 3 + 2.5 \times 3) / (9 + 2 \times 0.65) = 4.077 \approx \mathbf{5 \text{ kN/m}}$$

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 17 di 36

7.2 Combinazioni di carico

Di seguito si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU delle azioni A1 e A2 ed i coefficienti ψ associate alle azioni variabili per i ponti.

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

⁽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⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Figura 7-4: Coefficienti parziali per le combinazioni agli SLU (PONTI)

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
Vento q_s	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve q_s	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T_k	0,6	0,6	0,5

Figura 7-5: Coefficienti parziali per le combinazioni agli SLE

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 18 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

Di seguito si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni definite nel capitolo 6 associata alla progettazione geotecnica.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_E (o γ_{FE})	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 7-6: Coefficienti parziali per le combinazioni agli SLE**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_Y	1,0	1,0

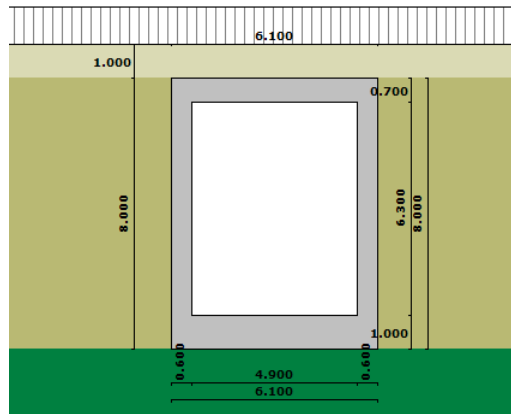
Figura 7-7: coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Le verifiche vengono condotte definendo diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definite per le azioni (A1 e A2) e per i parametri geotecnici (M1 e M2).

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39 Relazione di calcolo sottovia	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx		Pagina 19 di 36

8 TABULATI DI CALCOLO

8.1 Geometria scatolare



Descrizione:

Scatolare semplice

Altezza esterna	8.00	[m]
Larghezza esterna	6.10	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0.00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0.00	[m]
Spessore piedritto sinistro	0.60	[m]
Spessore piedritto destro	0.60	[m]
Spessore fondazione	1.00	[m]
Spessore traverso	0.70	[m]

8.2 Caratteristiche materiali utilizzati

Materiale calcestruzzo

R_{ck} calcestruzzo	30.000	[MPa]
Peso specifico calcestruzzo	25.0000	[kN/mc]
Modulo elastico E	30976.850	[MPa]
Tensione ammissibile acciaio	255.000	[MPa]
Tensione ammissibile cls (σ_{amm})	9.707	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (σ_{c0})	0.596	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (σ_{c1})	1.810	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0.50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15.00	

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 20 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Coefficiente dilatazione termica 0.0000120

8.3 Condizioni di carico

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

Condizione di carico n° 7 (MOB MAX)

Conc	Terreno	X= 2.45	F _y = 60.00		
Conc	Terreno	X= 3.65	F _y = 60.00		
Distr	Terreno	X _i = -10.00	X _f = 16.10	V _{ni} = 5.00	V _{nf} = 5.00

Condizione di carico n° 8 (MOB SX)

Distr	Terreno	X _i = -10.00	X _f = 0.00	V _{ni} = 5.00	V _{nf} = 5.00
Conc	Terreno	X= -1.20	F _y = 60.00		
Conc	Terreno	X= 0.00	F _y = 60.00		

Condizione di carico n° 9 (MOB DX)

Distr	Terreno	X _i = 6.10	X _f = 16.10	V _{ni} = 5.00	V _{nf} = 5.00
Conc	Terreno	X= 6.10	F _y = 60.00		
Conc	Terreno	X= 7.30	F _y = 60.00		

Condizione di carico n° 10 (MOB CEN)

Distr	Terreno	X _i = 0.00	X _f = 6.10	V _{ni} = 5.00	V _{nf} = 5.00
Conc	Terreno	X= 2.45	F _y = 60.00		
Conc	Terreno	X= 3.65	F _y = 60.00		

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 21 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

Condizione di carico n° 11 (PERMANENTI)

Distr Terreno $X_i = -10.00$ $X_f = 16.10$ $V_{ni} = 4.00$ $V_{nf} = 4.00$

8.4 Impostazioni di progetto

Verifica materiali:

Stato Limite Ultimo

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo γ_c	1.50
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Verifica Taglio - Metodo dell'inclinazione variabile del traliccio

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

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

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\text{ctg}(\theta) + \text{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \text{ctg} \theta^2)$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b_w	larghezza minima sezione [mm]
σ_{cp}	tensione media di compressione [N/mmq]
ρ_l	rapporto geometrico di armatura
A_{sw}	area armatura trasversale [mmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α_c	coefficiente maggiorativo, funzione di f_{cd} e σ_{cp}

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

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

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 22 di 36

Verifiche secondo :

Norme Tecniche 2008 - Approccio 1

Copriferro sezioni 0.0500 [m]

8.5 Descrizione combinazioni di carico

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	1.35	1.00	1.35
PERMANENTI	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	1.35	1.00	1.35
PERMANENTI	1.35	1.00	1.35
MOB MAX	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 4 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.15	1.00	1.15

Combinazione n° 5 SLU (Caso A1-M1)

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Pagina</i> 23 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	1.35	1.00	1.35
PERMANENTI	1.35	1.00	1.35
MOB SX	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 6 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB SX	1.15	1.00	1.15

Combinazione n° 7 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	1.35	1.00	1.35
PERMANENTI	1.35	1.00	1.35
MOB DX	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 8 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB DX	1.15	1.00	1.15

Combinazione n° 9 SLU (Caso A1-M1)

	γ	Ψ	C
<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39		<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia		<i>Pagina</i> 24 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Peso Proprio	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	1.35	1.00	1.35
PERMANENTI	1.35	1.00	1.35
MOB CEN	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 10 SLU (Caso A2-M2)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB CEN	1.15	1.00	1.15

Combinazione n° 11 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 25 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39 Relazione di calcolo sottovia	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx		Pagina 26 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 SLE (Quasi Permanente)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 20 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 21 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB SX	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 22 SLE (Frequente)

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Pagina</i> 27 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB DX	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 23 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB CEN	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 24 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.00	1.00	1.00
MOB SX	1.00	0.75	0.75
MOB DX	1.00	0.75	0.75
MOB CEN	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 25 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB SX	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.00	0.75	0.75
MOB DX	1.00	0.75	0.75
MOB CEN	1.00	0.75	0.75

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Pagina</i> 28 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

Combinazione n° 26 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB DX	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.00	0.75	0.75
MOB SX	1.00	0.75	0.75
MOB CEN	1.00	0.75	0.75

Combinazione n° 27 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso Proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	1.00	1.00	1.00
PERMANENTI	1.00	1.00	1.00
MOB CEN	1.00	1.00	1.00
MOB MAX	1.00	0.75	0.75
MOB SX	1.00	0.75	0.75
MOB DX	1.00	0.75	0.75

8.6 Inviluppo sollecitazioni nodali

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0.30	-260.27	-86.21	-384.47	-199.57	96.78	153.47
1.19	-90.17	127.83	-253.40	-116.92	96.78	153.47
2.17	50.12	316.15	-128.49	-16.44	96.78	153.47

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 29 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

3.05	125.60	370.32	-48.45	58.54	96.78	153.47
3.93	50.12	316.15	28.11	140.67	96.78	153.47
4.91	-90.17	127.83	130.45	270.78	96.78	153.47
5.80	-260.27	-86.21	199.57	384.47	96.78	153.47

Inviluppo sollecitazioni trasverso

X [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0.30	-168.76	-64.93	94.37	246.47	53.97	87.90
1.14	-61.06	20.64	60.93	197.19	53.97	87.90
2.22	14.16	201.26	17.96	145.10	53.97	87.90
3.05	40.47	242.16	-15.12	15.12	53.97	87.90
3.88	14.16	201.26	-145.10	-17.96	53.97	87.90
4.96	-61.06	20.64	-197.19	-60.93	53.97	87.90
5.80	-168.76	-64.93	-246.47	-94.37	53.97	87.90

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0.50	-260.27	-86.21	91.06	185.73	201.62	391.26
1.66	-82.98	16.00	51.77	122.09	184.22	367.78
2.92	15.83	64.27	15.36	62.10	165.38	342.35
4.08	21.88	80.43	-20.87	14.43	147.99	318.87
5.23	-9.91	73.09	-50.06	-20.83	130.60	295.39
6.49	-78.74	17.54	-73.93	-41.93	111.76	269.95
7.65	-168.76	-64.93	-87.90	-53.97	94.37	246.47

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0.50	-260.27	-86.21	-185.73	-91.06	201.62	391.26
1.66	-82.98	16.00	-122.09	-51.77	184.22	367.78
2.92	15.83	64.27	-62.10	-15.36	165.38	342.35
4.08	21.88	80.43	-14.43	20.87	147.99	318.87
5.23	-9.91	73.09	20.83	50.06	130.60	295.39
6.49	-78.74	17.54	41.93	73.93	111.76	269.95

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 30 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

7.65	-168.76	-64.93	53.97	87.90	94.37	246.47
------	---------	--------	-------	-------	-------	--------

8.7 Involuppo verifiche stato limite ultimo (SLU)**Verifica sezioni fondazione (Involuppo)**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 1.0000 m

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0.30	7 Ø 16	5 Ø 20	2.60
1.19	5 Ø 16	0.001973	2.19
2.17	5 Ø 16	5 Ø 20	1.78
3.05	5 Ø 16	5 Ø 20	1.78
3.93	5 Ø 16	5 Ø 20	1.78
4.91	5 Ø 16	0.001973	2.11
5.80	7 Ø 16	5 Ø 20	2.60

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0.30	314.57	8878.97	2999.17	0.000402
1.19	314.86	0.00	0.00	0.000402
2.17	314.86	0.00	0.00	0.000000
3.05	314.86	0.00	0.00	0.000000
3.93	314.86	0.00	0.00	0.000000
4.91	314.86	0.00	0.00	0.000402
5.80	314.57	8878.97	2999.17	0.000402

Verifica sezioni traverso (Involuppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.7000 m

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0.30	5 Ø 20	5 Ø 16	1.72
1.14	0.001973	5 Ø 16	2.77
2.22	5 Ø 20	5 Ø 16	1.79
3.05	5 Ø 20	5 Ø 16	1.79

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 31 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

3.88	5 Ø 20	5 Ø 16	1.79
4.96	0.001973	5 Ø 16	2.77
5.80	5 Ø 20	5 Ø 16	1.72

X	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0.30	234.31	3037.54	2050.38	0.000402
1.14	232.52	0.00	0.00	0.000000
2.22	232.52	0.00	0.00	0.000000
3.05	232.52	0.00	0.00	0.000000
3.88	232.52	0.00	0.00	0.000000
4.96	232.52	0.00	0.00	0.000000
5.80	234.31	3037.54	2050.38	0.000402

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.6000 m

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0.50	5 Ø 16	5 Ø 16	1.01
1.66	5 Ø 16	5 Ø 16	2.24
2.92	5 Ø 16	5 Ø 16	7.54
4.08	5 Ø 16	5 Ø 16	4.46
5.23	5 Ø 16	5 Ø 16	4.08
6.49	5 Ø 16	5 Ø 16	3.47
7.65	5 Ø 16	5 Ø 16	1.71

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0.50	237.12	0.00	0.00	0.000000
1.66	233.90	0.00	0.00	0.000000
2.92	230.40	0.00	0.00	0.000000
4.08	227.17	0.00	0.00	0.000000
5.23	223.94	0.00	0.00	0.000000
6.49	220.44	0.00	0.00	0.000000
7.65	217.22	0.00	0.00	0.000000

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 32 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.6000 m

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0.50	5 Ø 16	5 Ø 16	1.01
1.66	5 Ø 16	5 Ø 16	2.24
2.92	5 Ø 16	5 Ø 16	7.54
4.08	5 Ø 16	5 Ø 16	4.46
5.23	5 Ø 16	5 Ø 16	4.08
6.49	5 Ø 16	5 Ø 16	3.47
7.65	5 Ø 16	5 Ø 16	1.71

Y	V _{Rd}	V _{Rsd}	V _{Rcd}	A _{sw}
0.50	237.12	0.00	0.00	0.000000
1.66	233.90	0.00	0.00	0.000000
2.92	230.40	0.00	0.00	0.000000
4.08	227.17	0.00	0.00	0.000000
5.23	223.94	0.00	0.00	0.000000
6.49	220.44	0.00	0.00	0.000000
7.65	217.22	0.00	0.00	0.000000

8.8 Inviluppo verifiche stato limite esercizio (SLE)

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 1.0000 m

X	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0.30	7 Ø 16	5 Ø 20	2.021	102.795	23.306
1.19	5 Ø 16	0.001973	1.200	14.944	39.945
2.17	5 Ø 16	5 Ø 20	3.189	36.556	166.557

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 33 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

Ammodernamento e adeguamento alla Cat. B del D.M. 5.11.2001 dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

3.05	5 Ø 16	5 Ø 20	3.726	42.390	200.600
3.93	5 Ø 16	5 Ø 20	3.189	36.556	166.557
4.91	5 Ø 16	0.001973	1.200	14.944	39.945
5.80	7 Ø 16	5 Ø 20	2.021	102.795	23.306

X	τ_c	A_{sw}
0.30	-0.42	0.000402
1.19	-0.28	0.000402
2.17	-0.13	0.000000
3.05	0.04	0.000000
3.93	0.15	0.000000
4.91	0.30	0.000402
5.80	0.42	0.000402

Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.7000 m

X	A_{fi}	A_{fs}	σ_c	σ_{fi}	σ_{fs}
0.30	5 Ø 20	5 Ø 16	3.938	36.695	231.772
1.14	0.001973	5 Ø 16	0.572	6.696	15.916
2.22	5 Ø 20	5 Ø 16	4.157	188.318	43.078
3.05	5 Ø 20	5 Ø 16	4.987	231.538	51.244
3.88	5 Ø 20	5 Ø 16	4.157	188.318	43.078
4.96	0.001973	5 Ø 16	0.572	6.696	15.916
5.80	5 Ø 20	5 Ø 16	3.938	36.695	231.772

X	τ_c	A_{sw}
0.30	0.43	0.000402
1.14	0.36	0.000000
2.22	0.26	0.000000
3.05	0.01	0.000000
3.88	-0.26	0.000000
4.96	-0.36	0.000000
5.80	-0.43	0.000402

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA –	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	SOTTOPASSO TRONCO 39	Pagina 34 di 36
Relazione di calcolo sottovia		

PROGETTO ESECUTIVO

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.6000 m

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0.50	5 Ø 16	5 Ø 16	5.611	54.463	242.494
1.66	5 Ø 16	5 Ø 16	1.521	18.431	25.353
2.92	5 Ø 16	5 Ø 16	0.974	6.911	12.650
4.08	5 Ø 16	5 Ø 16	1.433	29.183	16.893
5.23	5 Ø 16	5 Ø 16	1.108	18.810	13.397
6.49	5 Ø 16	5 Ø 16	2.295	27.190	46.605
7.65	7 Ø 16	5 Ø 16	5.167	51.130	217.178

Y	τ _c	A _{sw}
0.50	0.27	0.000000
1.66	0.18	0.000000
2.92	0.08	0.000000
4.08	-0.03	0.000000
5.23	-0.09	0.000000
6.49	-0.15	0.000000
7.65	-0.18	0.000000

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 0.6000 m

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0.50	5 Ø 16	5 Ø 16	5.611	54.463	242.494
1.66	5 Ø 16	5 Ø 16	1.521	18.431	25.353
2.92	5 Ø 16	5 Ø 16	0.974	6.911	12.650
4.08	5 Ø 16	5 Ø 16	1.433	29.183	16.893
5.23	5 Ø 16	5 Ø 16	1.108	18.810	13.397
6.49	5 Ø 16	5 Ø 16	2.295	27.190	46.605
7.65	7 Ø 16	5 Ø 16	5.167	51.130	217.178

Cod. elab.: 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	Titolo: OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	Data: Ottobre 2011
Nome file: 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	Pagina 35 di 36

PROGETTO ESECUTIVO

Ψ	τ_c	A_{sw}
0.50	-0.27	0.000000
1.66	-0.18	0.000000
2.92	-0.08	0.000000
4.08	0.03	0.000000
5.23	0.09	0.000000
6.49	0.15	0.000000
7.65	0.18	0.000000

<i>Cod. elab.:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001 B	<i>Titolo:</i> OPERE D'ARTI MINORI - SOTTOVIA – SOTTOPASSO TRONCO 39	<i>Data:</i> Ottobre 2011
<i>Nome file:</i> 099IN239-ST11-Z-CL-001_B.docx	Relazione di calcolo sottovia	<i>Pagina</i> 36 di 36