



PROVINCIA DI BOLOGNA

Settore Lavori Pubblici

STRADA

S.P. 569 "DI VIGNOLA "

LAVORO

**COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE GENERALE ALLA
S.P. 569 E VARIANTE ALLA S.P. 27 E ALLA S.P. 78 NEI
COMUNI DI CREPELLANO E BAZZANO**

**Servizio
Progettazione
e Costruzioni
Stradali**

DATA AGOSTO 2013

ELABORATO

**RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE
OPERE D'ARTE MINORI**

**Relazione di calcolo strutturale - Parte generale
Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale**

N.

B.3.1

SCALA

-

RIFERIMENTO :

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE GENERALE

PROGETTISTA

Geom. Emanuele Tracchi

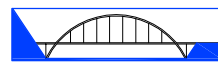
Dott. Ing. Marco Ferrarini

Dott. Ing. Chiara Ferrari

P.i.e. Stefano Romagnoli

Geom. Federico Vannucchi

PROGETTAZIONE STRUTTURALE



ENSER^{srl}
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Dott. Ing. Gianfranco Marchi

Dott. Ing. Stefano Pedrielli

**IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**

Dott. Ing. Pietro Luminasi

0

29/08/2013

emissione

REVISIONE

DATA

MODIFICA

**QUESTO DISEGNO E LA RELATIVA INVENZIONE SONO DI PROPRIETA' DELL'AMMINISTRAZIONE
NON NE E' CONSENTITO L'UTILIZZO SE NON SU ESPlicita AUTORIZZAZIONE
OGNI DIRITTO A TALE RIGUARDO E' ESPRESSAMENTE RISERVATO ED ESCLUSIVO**



**PROGETTO DI COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE
GENERALE ALLA S.P. 569 DA VIA LUNGA IN COMUNE DI
CREPELLANO ALLA S.P. 78 IN COMUNE DI BAZZANO E
REALIZZAZIONE DI VARIANTI STRADALI ALLA S.P. 27
"VALLE DEL SAMOGGIA" E S.P. 78 "CASTELFRANCO-
MONTEVEGLIO"**

B) RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE

3. Opere d'arte minori

**Relazione di calcolo strutturale – Parte generale:
Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del
progetto strutturale**

Codice	S13114-B.3.1
--------	--------------

Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	29.08.2013	S. Bilosi	S. Pedrielli
1			
2			

Approvato
G. Marchi



CERT-16254-2005-AQ-
BOL-SINCERT

Mod 2 Rev.2 10/01/2012

Sede Principale:
Viale Baccarini, 29
48018 FAENZA (RA)
Tel. 0546 663423/56
Fax 0546 663428

C.F./P.IVA/Registro Imprese RA
02058800398

Sede di Bologna:
Via Zacconi, 16
40127 BOLOGNA (BO)
Tel. 051 245663
Fax 051 242251

CAPITALE SOCIALE
€ 105 000,00 i.v.

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115
47822 SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN)
Tel. 0541 1832933
Fax 0541 1832936

Web: www.enser.it
E-Mail: enser@enser.it
P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

INDICE

1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE	5
1.1 PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO	5
1.2 CONTESTO GENERALE DI INQUADRAMENTO	5
1.3 DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE	5
1.4 NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI UTILIZZATI	5
1.5 CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE DEL SITO	7
1.6 AZIONI CONSIDERATE AGENTI SULLE STRUTTURE	9
1.7 AZIONI	9
1.7.1 Carichi permanenti strutturali g_1	9
1.7.2 Carichi permanenti portati g_2	9
1.7.3 Spinta delle terre su spalle e muri d'ala	9
1.7.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico	9
1.7.5 Azioni variabili da traffico	10
1.7.6 Azione longitudinale di frenamento q_3	10
1.7.7 Azione sulle barriere di sicurezza: urto del veicolo in svio	11
1.7.8 Spinta sismica delle terre E	11
1.7.9 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica	11
1.8 MATERIALI UTILIZZATI	12
1.8.1 Calcestruzzo per strutture prefabbricate	12
1.8.2 Calcestruzzo per opere in elevazione	12
1.8.3 Calcestruzzo per impalcati	13
1.8.4 Calcestruzzo per pali di fondazione	13
1.8.5 Acciaio per barre di armatura	15
1.8.6 Acciaio armonico per trefoli	15
1.9 ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE E DEL METODO DI ANALISI UTILIZZATO	16
1.9.1 Classe di duttilità e fattore di struttura q adottato	16
1.9.2 Metodo di analisi adottato per il calcolo delle spinte sui paramenti verticali	16
1.9.3 Spinte attive in condizioni sismiche	17
1.9.3.1 Rilevato asciutto	18
1.9.3.2 Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)	18
1.9.3.3 Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile: $k \geq 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)	18
1.9.3.4 Rilevato parzialmente immerso	19
1.9.3.5 Punto di applicazione delle spinte attive sismiche	19
1.9.3.6 Schema di carico per portali	20
1.9.4 Sovraspinte sismiche su muri non in grado di spostarsi	21
1.9.5 Criteri di modellazione del terreno	21
1.9.6 Criteri di calcolo dei pali di fondazione	22
1.9.6.1 Capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali	22
1.9.6.2 Terreni a comportamento prevalentemente coesivo	24
1.9.6.3 Terreni a comportamento prevalentemente incoerente	25
1.9.6.4 Capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali	27
1.9.6.5 Terreni coesivi	27
1.9.6.6 Terreni incoerenti	29
1.10 COMBINAZIONI DI CARICO	29
1.10.1 Combinazioni per la verifica allo SLU	29
1.10.2 Combinazioni per la verifica allo SLE	31
1.10.3 Combinazioni per la condizione sismica	32
1.10.4 Criteri di calcolo delle sollecitazioni	32
1.11 CRITERI PER LE VERIFICHE A FESSURAZIONE E TENSIONALI	33

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

1.12 RAPPRESENTAZIONE DELLE DEFORMATE E DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE MAGGIORMENTE SIGNIFICATIVE	35
1.13 CARATTERISTICHE ED AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO	35

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C_U	7
TABELLA 2: PARAMETRI SPETTRALI DEL SITO PER LE VARIE OPERE, RELATIVI ALLO STATO LIMITE SLV.	8
TABELLA 3: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER STRUTTURE PREFABBRICATE.....	12
TABELLA 4: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER OPERE IN ELEVAZIONE GETTATE IN OPERA.	12
TABELLA 5: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER IMPALCATI GETTATI IN OPERA.	13
TABELLA 6: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER PALI DI FONDAZIONE.	13
TABELLA 7: CARATTERISTICHE ACCIAIO PER ARMATURA.	15
TABELLA 8: CARATTERISTICHE ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI.	15
TABELLA 1.9: VALORI INDICATIVI DELL'ADESIONE $Q_A = A C_0$ PER PALI IN TERRENI COESIVI (AGI – 1984)	25
TABELLA 1.10: COEFFICIENTE N_c PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA DEL GRUPPO (AGI, 1984)	29
TABELLA 11: COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI DEL TERRENO (TABELLA 6.2. II NTC 2008).	30
TABELLA 12: COEFFICIENTI PARZIALI γ_R PER LA RESISTENZA DEL SISTEMA.....	30

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1.1: SCHEMA DI CARICO 1.....	10
FIGURA 1.2: SCHEMA DELL'AZIONE D'URTO CONTRO LA BARRIERA.	11
FIGURA 1.3: TERRAPIENO PARZIALMENTE IMMERSO.....	19
FIGURA 1.4: SCHEMA PER L'APPLICAZIONE DELLA SPINTA SISMICA SUI PORTALI.	20
FIGURA 1.5: ALTEZZE DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.	21
FIGURA 1.8: COEFFICIENTI N_Q^* CORRISPONDENTI ALL'INSORGERE DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE DELLA PUNTA (BEREZANTZEV, 1963 – AGI)	26
FIGURA 1.9: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967)	28

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

1.1 Premessa e scopo del documento

Il presente documento viene redatto nell'ambito dell'attività di progettazione esecutiva di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio".

In particolare, l'incarico prevede la progettazione strutturale e geotecnica di n.5 WBS, articolata ciascuna in una o due opere minori, di seguito elencate:

- Ponte agricolo su rio Cassola
- Due ponticelli rotatoria s.p. 27 su rio Cassola
- Due ponticelli sul rio Crespellano
- Sottopasso agricolo
- Ponte sul rio Martignone

Si tratta di opere da progettare in seno alla variante generale alla s.p. 569 che insistono nel Comune di Crespellano.

Nella presente relazione verranno esplicitati gli elementi essenziali relativi alla progettazione strutturale delle suddette opere.

1.2 Contesto generale di inquadramento

Il contesto in cui si inseriscono le opere in esame (fra i comuni di Bazzano e Crespellano in provincia di Bologna) è caratterizzato da una bassissima densità abitativa. Per una descrizione dettagliata dell'inquadramento geologico, morfologico e idrologico del sito, si rimanda alla relativa relazione tecnica di dettaglio.

1.3 Descrizione generale delle strutture

Le strutture in esame, ad eccezione del sottopasso agricolo con locale pompe, sono costituiti da un impalcato a luce unica formato da travi prefabbricate precomprese, solidarizzate poi in opera mediante un successivo getto di calcestruzzo. Le spalle sono costituite da piedritti fondati su pali di fondazione trivellati.

Il sottopassaggio agricolo è invece costituito da uno scatolare realizzato esclusivamente mediante getti in opera.

1.4 Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati

- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (nel seguito NTC 2008);

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013

- Circolare n° 617 del 2 Febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" (nel seguito CM 2009);
- AGI 1984 "Raccomandazioni sui pali di fondazione";
- Eurocodice 8: UNI EN 1998-5:2005 (nel seguito EC8).

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

1.5 Criteri e definizione dell'azione sismica di base del sito

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non strutturali, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti dalla norma i cui requisiti di sicurezza sono indicati nella norma stessa.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

Nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD);

Nei confronti degli stati limite di ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate al § 7 di NTC 2008 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali. Lo stato limite di esercizio comporta la verifica delle tensioni di lavoro, in conformità al § 4.1.2.2.5 (NTC 2008).

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidità) nei confronti delle azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera da realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Le azioni sismiche sono valutate in relazione al periodo di riferimento della struttura, che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente:

Tabella 1: Valori del coefficiente d'uso C_U .

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tutte le opere analizzate sono caratterizzate da una vita nominale V_N di 50 anni (Ponti) ed una classe d'uso IV (Costruzioni con funzioni strategiche importanti), perciò il periodo di riferimento risulta $V_R=100$ anni.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

I valori di probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono:

$$P_{VR}(SLD) = 63\%$$

$$P_{VR}(SLV) = 10\%$$

Il **periodo di ritorno** dell'azione sismica T_R espresso in anni vale:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = \begin{cases} 101 \text{ anni (SLD)} \\ 949 \text{ anni (SLV)} \end{cases}$$

Noto il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B di NTC 2008 o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di a_g , F_0 , T_c^* , dove:

a_g → accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale;

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.

Il calcolo delle spinte sui manufatti viene eseguito con il metodo pseudo-statico (§ 7.11.6 NTC 2008). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

$$\text{Orizzontale} = k_h \cdot g = \left(\beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot g;$$

$$\text{Verticale} = k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g = \pm 0.5 \left(\beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot g.$$

Dove:

$$a_{max} = a_g \cdot S = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

In cui:

S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica, funzione della categoria di sottosuolo;

S_T : coefficiente di amplificazione topografica, funzione della categoria di topografica del sito.

La tabella seguente riassume i parametri spettrali a_g , F_0 e T_c^* relativi allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) per le varie opere esaminate.

Tabella 2: Parametri spettrali del sito per le varie opere, relativi allo stato limite SLV.

Opera considerata	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Rio Martignone	0.203	2.424	0.283
Crespellano	0.205	2.412	0.316
Sottopassaggio agricolo	0.203	2.421	0.318
Cassola agricolo	0.203	2.406	0.317
Cassola rotatoria	0.204	2.406	0.317

Per tutte le opere si sono inoltre assunte le seguenti classi relative alla stratigrafia e alla topografia del terreno:

Categoria del suolo di fondazione: **C**;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Categoria topografica: **T1** → Coefficiente di amplificazione topografica **S_T=1**.

Per quanto attiene al calcolo delle inerzie sugli elementi strutturali, allo Stato Limite Ultimo (SLV) si procede considerando la struttura come "fuori terra". A favore di sicurezza si adotta l'accelerazione di plateau dello spettro elastico ($a_g \cdot S \cdot F_0 = a_{\max} \cdot F_0$), ridotta con fattore di struttura q pari a 1,5, secondo quanto previsto nella Tabella 7.9.I di NTC 2008 per il caso generale di spalle rigidamente connesse con l'impalcato.

1.6 Azioni considerate agenti sulle strutture

Nel presente paragrafo vengono riassunte le principali azioni agenti sulle strutture analizzate. Per un valore numerico di tali azioni si rimanda alle rispettive relazioni relative al singolo manufatto.

1.7 Azioni

Nel seguito vengono elencati tutte le azioni di cui si è tenuto conto per la valutazione dello stato di sollecitazione dei manufatti analizzati, in accordo con il § 5.1.3 di NTC 2008.

1.7.1 Carichi permanenti strutturali g_1

I carichi permanenti strutturali sono stati determinati considerando un peso per unità di volume del calcestruzzo, sia ordinario che precompresso, pari a $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

1.7.2 Carichi permanenti portati g_2

I carichi permanenti portati sono costituiti dal peso della piattaforma stradale, dei cordoli laterali e delle barriere di sicurezza.

1.7.3 Spinta delle terre su spalle e muri d'ala

Data la notevole rigidità dei manufatti, le spinte agenti sui paramenti verticali sono state calcolate considerando le strutture **poco deformabili**, perciò, secondo quanto affermato al § 1.9.2, utilizzando le formule relative a condizioni a riposo del terreno.

Per i manufatti in esame si considera a tergo dei paramenti un terreno di riempimento, caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, peso dell'unità di volume del terreno
- $\varphi' = 30^\circ$, angolo di attrito in condizioni drenate.

Il coefficiente di spinta a riposo vale:

$$K_0 = 1 - \tan(\varphi') = 0,50$$

1.7.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

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

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

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

1.7.5 Azioni variabili da traffico

Le azioni variabili da traffico agenti sulla sovrastruttura sono state determinate sulla base del § 5.1.3.3 delle NTC 2008.

Lo schema di carico più gravoso risulta lo schema di carico 1. Tale schema è costituito da carichi concentrati di 300 kN su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,4 m e da carichi uniformemente distribuiti di 9 kN/m². Nella figura seguente si riporta lo schema di carico descritto:

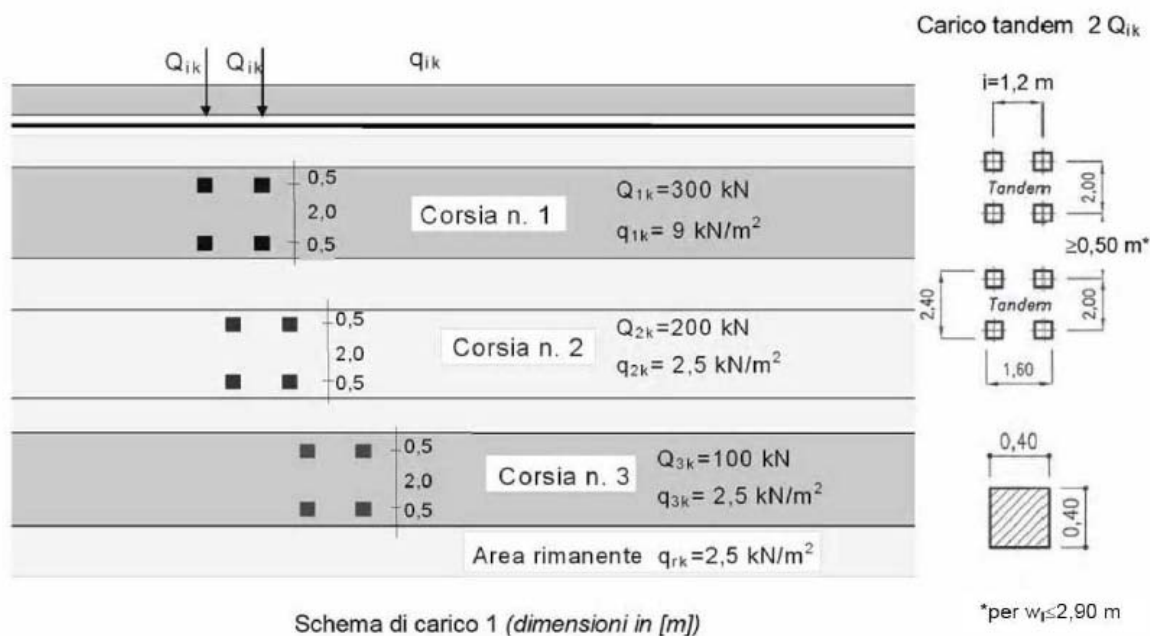


Figura 1.1: Schema di carico 1.

La disposizione delle impronte e delle corsie è stata valutata con lo scopo di massimizzare le sollecitazioni interne nelle sezioni di verifica.

1.7.6 Azione longitudinale di frenamento q_3

Secondo quanto riportato nel § 5.1.3.5 di NTC 2008, la forza di frenamento o di accelerazione q_3 è funzione del carico verticale totale agente sulla Corsia Convenzionale n.1 e, per i ponti di 1^a categoria, è data dalla seguente formula:

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,1 \cdot q_{1k} \cdot w_l \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Dove:

w_l : larghezza della Corsia Convenzionale;

L : lunghezza della zona caricata (lunghezza impalcato).

1.7.7 Azione sulle barriere di sicurezza: urto del veicolo in svio

Secondo quanto riportato nel § 5.1.3.10 di NTC 2008, i sicurvia e gli elementi strutturali ai quali sono collegati devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico. Se non diversamente specificato, la forza deve essere considerata distribuita su 0,5 m.

Dalle schede tecniche dei produttori si è dedotto che per una barriera tipo H3 bordo ponte i montanti caratterizzati dai momenti flettenti resistenti maggiori utilizzabili sono costituiti da profili HEA140, i quali sono installati con un passo di 2,25 m. In ottica di capacity design si assume come massima azione orizzontale di urto quella a cui corrisponde il momento plastico della sezione del montante.

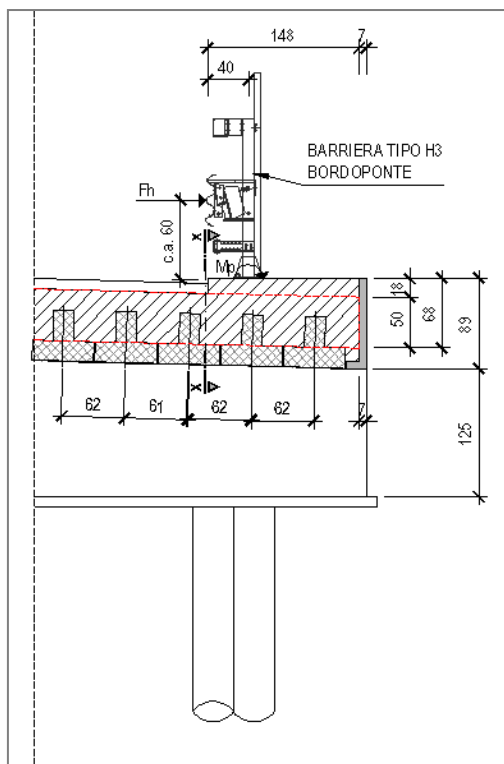


Figura 1.2: Schema dell'azione d'urto contro la barriera.

1.7.8 Spinta sismica delle terre E

Le spinte sismiche vengono determinate secondo quanto riportato al § 1.9.3.

1.7.9 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013

In caso di sisma, oltre alla sovraspinta del terreno, si sviluppa anche una forza inerziale determinata dalla massa degli elementi strutturali e non strutturali.

Tale forza inerziale è valutata come una forza uniformemente distribuita applicata agli elementi strutturali nella direzione del sisma, valutata come il prodotto delle accelerazioni descritte al § 1.5 considerando le masse relative a:

- peso proprio della sovrastruttura e dei carichi permanenti (pavimentazione, barriere, cordoli, eventuale ricoprimento di terreno) per quanto attiene l'impalcato;
- peso proprio del paramento sommato al peso dell'eventuale terreno imbarcato per quanto attiene le pareti e le spalle.

1.8 Materiali utilizzati

Si elencano nel seguito i materiali utilizzati per le opere.

1.8.1 Calcestruzzo per strutture prefabbricate

Tabella 3: Caratteristiche conglomerato cementizio per strutture prefabbricate.

Conglomerato cementizio per strutture prefabbricate in CAP	
Classe di resistenza	C 45/55
Classe di consistenza	S5
Classe di esposizione	XC4
Diametro massimo aggregato	20 mm
Rapporto acqua/cemento	0,5
Copriferro netto armature da precompressione	40 mm
Copriferro netto armature ordinarie	30 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck}	45 MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione all'atto del tiro f_{ckj}	35 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	25,5 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,8 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	4,5 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 000(f_{cm}/10)^{0.3}$	36283,2 MPa

1.8.2 Calcestruzzo per opere in elevazione

Tabella 4: Caratteristiche conglomerato cementizio per opere in elevazione gettate in opera.

Conglomerato cementizio per strutture in elevazione (compresi paraghiaia, baggioli, velette e ritegni sismici)	
Classe di resistenza	C 32/40

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013

Classe di consistenza	S4
Classe di esposizione	XC4
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,50
Copriferro netto	40 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck}	32 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	18,13 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,02 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

1.8.3 Calcestruzzo per impalcati

Tabella 5: Caratteristiche conglomerato cementizio per impalcati gettati in opera.

Conglomerato cementizio per impalcati (compresi marciapiedi)	
Classe di resistenza	C 32/40
Classe di consistenza	S4-S5
Classe di esposizione	XF4
Diametro massimo aggregato	20 mm
Rapporto acqua/cemento	0,45
Copriferro netto	45 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck}	32 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	18,13 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,02 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

1.8.4 Calcestruzzo per pali di fondazione

Tabella 6: Caratteristiche conglomerato cementizio per pali di fondazione.

Conglomerato cementizio per pali di fondazione	
Classe di resistenza	C 28/35
Classe di consistenza	S4-S5
Classe di esposizione	XA1
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,60
Copriferro netto	75 mm

	<p>Committente:</p> <p> Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</p> <p>Lavoro:</p> <p>Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Montevoglio"</p>	<p>Documento:</p> <p>Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale</p> <p>Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013</p>
---	--	---

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck}	28 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	15,87 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	2,76 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,5 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 000(f_{cm}/10)^{0.3}$	32836,6 MPa

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

1.8.5 Acciaio per barre di armatura

Tabella 7: Caratteristiche acciaio per armatura.

Acciaio per opere in c.a.	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk, nom}$	450 MPa
Tensione di snervamento di calcolo f_{yd}	391,3 MPa
Modulo di elasticità E_s	200000 MPa
Deformazione ultima a rottura ϵ_{su}	67,5 ‰

1.8.6 Acciaio armonico per trefoli

Tabella 8: Caratteristiche acciaio armonico per trefoli.

Acciaio armonico per trefoli	
Tensione caratteristica di rottura f_{ptk}	1860 MPa
Tensione caratteristica relativa a una deformazione dello 0,1% $f_{p(0,1)k}$	1670 MPa
Modulo di elasticità E_s	200000 MPa
Deformazione ultima a rottura ϵ_{su}	67,5 ‰

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Montevoglio"	

1.9 Illustrazione dei criteri di progettazione e modellazione e del metodo di analisi utilizzato

Nel paragrafo presente vengono presentati i principali criteri di modellazione e di progettazione adottati per le opere in esame. Per scelte progettuali e di modellazione di dettaglio si rimanda alle rispettive relazioni di calcolo dei singoli manufatti.

1.9.1 Classe di duttilità e fattore di struttura q adottato

Tutte le strutture, ad eccezione dello scatolare, sono state progettate adottando un fattore di struttura q pari a 1,5 relativo al caso di ponti con spalle rigidamente connesse all'impalcato, secondo la tabella 7.9.I di NTC 2008. Per lo scatolare si è assunto invece a favore di sicurezza un fattore di struttura unitario, secondo la tabella 7.9.I di NTC 2008 per le spalle rigidamente connesse con l'impalcato di strutture che si muovono con il terreno.

1.9.2 Metodo di analisi adottato per il calcolo delle spinte sui paramenti verticali

Il metodo di analisi adottato per l'analisi sismica delle strutture è l'analisi lineare statica. Tale analisi consiste nel considerare gli effetti indotti dall'azione sismica come un'azione applicata staticamente. I metodi utilizzati di volta in volta per valutare le azioni indotte dal sisma agenti sulla struttura sono riassunti qui di seguito.

In presenza di sisma, è consentito l'approccio pseudo-statico, secondo il quale il complesso muro + terreno mobilitato è pensato soggetto ad un'accelerazione sismica uniforme avente le seguenti componenti:

$$\begin{aligned}\text{Orizzontale} &= k_h \cdot g ; \\ \text{Verticale} &= k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g.\end{aligned}$$

Come nel caso statico, anche in condizioni sismiche è necessario distinguere tra:

- Muri indeformabili;
- Muri deformabili;
- Muri molto deformabili.

Nella prima classe di muri (**muri indeformabili**) possono essere inclusi i manufatti aventi pareti adeguatamente contrastate, quali, ad esempio, gli scatolari. In questo caso è opportuno adottare spinte sismiche secondo la teoria di Wood (1973), come meglio indicato nel §1.9.3.6, assumendo:

$$(SLV) \quad k_h = a_{max}/g.$$

Nella categoria dei **muri deformabili** si possono includere le pareti sufficientemente deformabili grazie alla loro snellezza ma tuttavia sostanzialmente vincolate, in qualche modo, ad altre strutture, come ad esempio le pareti di portali e manufatti a "U". In questo caso potranno essere considerate spinte comprese tra valori a riposo e attive, in ragione della deformabilità. Queste ultime (sismiche attive) saranno valutate assumendo:

$$(SLV) \quad k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g, \text{ con } \beta_m = 1.$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Nella categoria dei **muri molto deformabili** per i quali possono essere ipotizzati significativi spostamenti relativi tra muro e terreno, si possono includere, ad esempio, i muri di sostegno fondati su fondazioni dirette. In questo caso si assumeranno certamente spinte attive, da valutarsi, introducendo nel caso sismico un coefficiente β_m in accordo con la Tabella 7.11.II di NTC 2008:

$$(SLV) \quad k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g \quad (\beta_m \text{ da Tabella 7.11.II}).$$

Seguono ora criteri generali di valutazione delle spinte, applicabili a geometrie ordinarie.

Le formule sono relative a terreni puramente granulari, applicabili ai manufatti in esame in quanto si ipotizza che a tergo dei paramenti siano presenti terreni di riempimento con le seguenti caratteristiche:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

1.9.3 Spinte attive in condizioni sismiche

Nell'ambito dell'approccio pseudo-statico, il complesso "muro-terreno mobilitato" è pensato soggetto ad un'accelerazione sismica uniforme avente le seguenti componenti:

$$\text{Orizzontale} = k_h \cdot g ;$$

$$\text{Verticale} = k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g.$$

La spinta totale attiva su un paramento di altezza pari ad H è data da (Allegato E EC8):

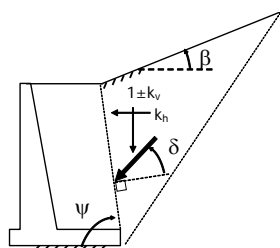
$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Il primo termine è la spinta attiva dovuta allo scheletro solido, il secondo termine E_{ws} è la risultante delle pressioni idrostatiche ed il terzo E_{wd} è la risultante delle sovrappressioni interstiziali.

I coefficienti di spinta attiva sono dati dalle seguenti espressioni (Mononobe & Okabe, nel seguito M-O):

CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

Teoria di Mononobe – Okabe



$$\beta \leq \varphi - \vartheta$$

$$K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \sin^2 \psi \sin(\psi - \delta - \vartheta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\psi + \delta) \sin(\psi - \beta - \vartheta)}{\sin(\psi - \delta - \vartheta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \varphi - \vartheta$$

$$K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \sin^2 \psi \sin(\psi - \delta - \vartheta)}$$

Operando nell'ambito del metodo agli stati limite, nelle formule precedenti, va introdotto l'angolo d'attrito di calcolo, cioè $\tan \varphi_d = \tan(\varphi_k) / \gamma_\varphi$ se si opera nell'ambito di una combinazione GEO (ad esempio A2+M2+R2).

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

A seconda della definizione del peso specifico γ^* del cuneo e dell'angolo ϑ definito come l'angolo, rispetto alla verticale, fra le azioni esterne orizzontali e quelle verticali agenti sul cuneo di spinta di volume V , l'espressione generale può essere utilizzata per tre diverse condizioni nelle quali può trovarsi il rilevato.

1.9.3.1 Rilevato asciutto

Non c'è alcuna azione dovuta all'acqua: corrisponde alla configurazione originale ipotizzata da M-O. Come peso specifico γ^* si deve assumere il peso secco γ_d ; la forza orizzontale F_h è pari alla massa del terreno moltiplicata per l'accelerazione orizzontale mentre la forza verticale F_v è il peso del cuneo incrementato o decrementato dall'accelerazione sismica verticale; quindi:

$$\begin{aligned}\gamma^* &= \gamma_d \\ \tan \vartheta &= \frac{k_h}{1 \pm k_v} \\ E_{ws} &= E_{wd} = 0\end{aligned}$$

1.9.3.2 Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)

In sostanza si assume che l'acqua, imprigionata negli interstizi, si muova insieme con il terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa complessiva (terreno + acqua) del cuneo, pari a $V \cdot \gamma_{sat}$. Si ammette che le pressioni interstiziali non subiscano variazioni ai fini del calcolo delle azioni sulla parete. In questo caso l'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle azioni idrostatiche e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\begin{aligned}\gamma^* &= \gamma' \\ \tan \vartheta &= \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\end{aligned}$$

Alla spinta efficace dovrà essere aggiunta la spinta idrostatica dell'acqua, mentre, per ipotesi, la componente idrodinamica non può svilupparsi. Quindi:

$$\begin{aligned}E_{ws} &= \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \\ E_{wd} &= 0\end{aligned}$$

1.9.3.3 Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile: $k \geq 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)

Si ammette che l'acqua negli interstizi possa muoversi liberamente, indipendentemente dalle deformazioni subite dal terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa della sola parte solida del cuneo, pari a $V \cdot \gamma_d$. L'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle pressioni interstiziali e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\begin{aligned}\gamma^* &= \gamma' \\ \tan \vartheta &= \frac{\gamma_d}{\gamma'} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\end{aligned}$$

In questo caso dovranno essere aggiunte sia la spinta idrostatica sia la sovraspinta idrodinamica della stessa acqua di falda.

$$E_{ws} = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

con H' = altezza della freatica dal piede del muro.

1.9.3.4 Rilevato parzialmente immerso

Ebeling e Morrison (1992) indicano il modo per utilizzare, anche in questo caso, le equazioni di M-O: sostanzialmente questo caso può essere assimilato a quello di un terrapieno completamente immerso omogeneo, avente un peso specifico equivalente.

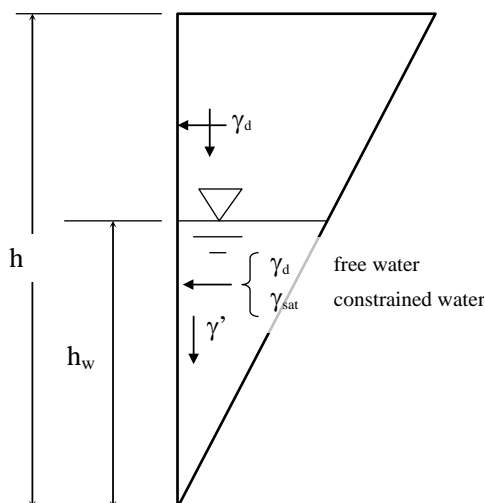


Figura 1.3: Terrapieno parzialmente immerso.

Per calcolare la risultante delle spinte, si potrà operare come segue. Si definiscono i pesi specifici medi da associare rispettivamente alla componente efficace verticale ed alla componente laterale.

$$\gamma_V^* = \left(\frac{h_w}{h}\right)^2 \gamma' + \left[1 - \left(\frac{h_w}{h}\right)^2\right] \gamma_d$$

$$\gamma_H^* = \begin{cases} \gamma_d & \text{terreno dinamicamente permeabile} \\ \left(\frac{h_w}{h}\right)^2 \gamma_{sat} + \left[1 - \left(\frac{h_w}{h}\right)^2\right] \gamma_d & \text{terreno dinamicamente impervio} \end{cases}$$

Definendo:

$$\tan \vartheta = \frac{\gamma_H^*}{\gamma_V^*} \frac{k_h}{1 - k_v}$$

si applicherà poi E_d calcolando i coefficienti di spinta tramite la formula di M-O e ponendo $\gamma^* = \gamma_V^*$.

1.9.3.5 Punto di applicazione delle spinte attive sismiche

Considerato che la spinta attiva complessiva è in generale composta da tre termini, occorre calcolare il punto di applicazione di ognuno di essi:

1. **Componente associata allo scheletro solido**, è possibile operare come segue:

a) si calcola la spinta attiva in condizioni statiche ($S_{A,S}$);

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

b) si calcola la quota parte efficace di spinta sismica E_d dovuta alla terra:

$$S_{A,E} = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2$$

Nel caso di terreno eterogeneo, la spinta attiva è calcolata considerando la variabilità di $K_{A,sismico}$. Nel caso di terreno omogeneo ma parzialmente in falda, si suggerisce di adottare l'approccio sopra indicato, piuttosto che introdurre diversi valori dei coefficienti di spinta.

c) si calcola l'incremento di spinta dovuto alla terra in caso di sisma (componente efficace):

$$\Delta S_A = S_{A,E} - S_{A,S}$$

d) Nel caso di muri che possano ruotare alla base, si può considerare che tale incremento abbia una risultante nello stesso punto della risultante delle spinte statiche

e) Negli altri casi si può assumere che tale azione si distribuisca uniformemente sulla parete, il che equivale ad applicare un carico uniformemente distribuito pari a:

$$q = \Delta S_A / H$$

2. **Componente idrostatica (E_{ws}):** è applicata come nel caso statico.

3. **Componente idrodinamica (E_{wd}):** se esiste, è applicata considerando la seguente distribuzione di pressioni:

$$q_{wd}(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H'z}$$

con z quota del generico punto rispetto la base della parete.

1.9.3.6 Schema di carico per portali

Per l'applicazione delle spinte del terreno sui paramenti verticali delle strutture a portale è stato utilizzato lo schema riportato nella figura seguente:

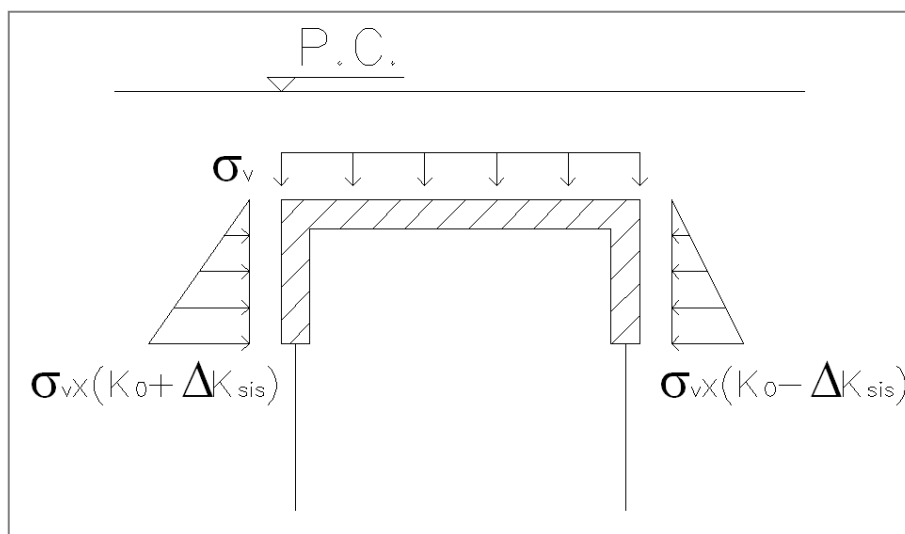


Figura 1.4: Schema per l'applicazione della spinta sismica sui portali.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Nella figura il termine ΔK_{sis} ha il seguente significato:

$$\Delta K_{sis} = K_{A,E} - K_0$$

In sostanza al paramento 'sopravento' viene attribuita la spinta calcolata con il coefficiente di M-O ($K_{A,E} = K_0 + \Delta K_{sis}$) mentre a quello 'sottovento' viene attribuita una spinta calcolata con il coefficiente a riposo ridotto ($K_0 - \Delta K_{sis}$) per tenere conto della tendenza dello stesso a spostarsi nella direzione in cui è applicato il sisma.

1.9.4 Sovrappinte sismiche su muri non in grado di spostarsi

In questo caso l'utilizzo delle equazioni di M-O non è raccomandato. Le spinte delle terre, sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere quindi calcolato attraverso la nota formulazione di Wood (1973) come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2 = a_{max} / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

con h_{tot} altezza del muro.

Questa spinta è applicata come una distribuzione uniforme lungo l'altezza h_{tot} .

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto $h_{scat}/2$, con h_{tot} altezza dalla fondazione dello scatolare al piano stradale e h_{scat} l'altezza dello scatolare.

Essendo ΔP_d la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

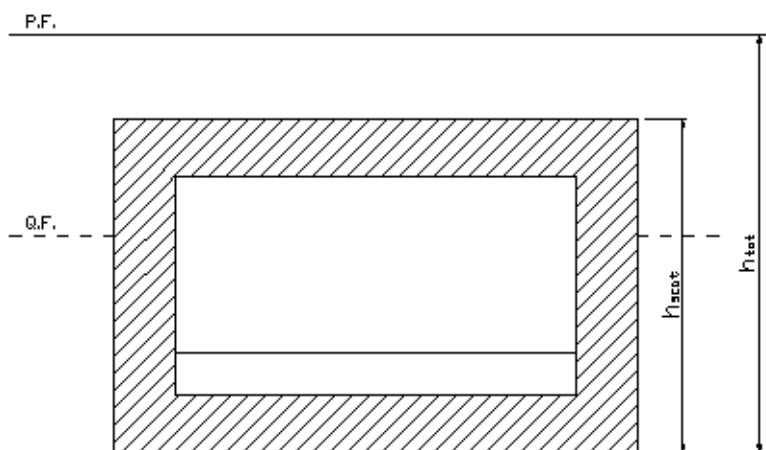


Figura 1.5: Altezze di riferimento per il calcolo dell'azione sismica.

1.9.5 Criteri di modellazione del terreno

Per quanto attiene la modellazione del terreno si è proceduto secondo quanto segue.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

La rigidezza delle molle orizzontali k_x (terreni coesivi) e di quella verticale k_z sono state determinate secondo le formule seguenti:

$$k_x = \frac{100 \cdot c_u}{\phi} \cdot z \cdot \Delta y$$

$$k_z = \frac{Q_{u,Lat}}{10 \text{ mm}}$$

Con:

- c_u : Coesione non drenata;
- ϕ : Diametro del palo;
- z : Profondità dal piano campagna;
- Δy : Interasse tra le molle;
- $Q_{u,Lat}$: Portata ultima laterale del palo.

1.9.6 Criteri di calcolo dei pali di fondazione

1.9.6.1 Capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali

Nel seguito si riportano i criteri di calcolo adottati per la stima della capacità portante del singolo palo di fondazione soggetto a carichi assiali di compressione e di trazione.

Il calcolo viene condotto secondo i seguenti approcci con riferimento al DM 14/01/2008 § 6.4.3 e § 7.11.5.3:

- Approccio 1: combinazioni A1+M1+R1, A2+M1+R2 e A2+M1+R3 (sismica);
- Approccio 2: combinazione A1+M1+R3;

e con riferimento alla seguente bibliografia:

- AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione (1984);
- Poulus, Davis – Analisi e progettazione di fondazioni su pali.

La resistenza di progetto a compressione dei pali soggetti a carichi assiali è pari a:

$$R_{c,d} = \left(\frac{R_{cs,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{cb,k}}{\gamma_b} \right) - W_p' \cdot \gamma_{G1}$$

con:

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

W_p' : peso efficace del palo;

γ_{G1} : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

γ_s : coefficiente parziale per la resistenza laterale in compressione;

γ_b : coefficiente parziale per la resistenza di base;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

ξ_3, ξ_4 : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagine disponibili per l'opera in esame.

La resistenza di progetto a trazione dei pali soggetti a carichi assiali è pari a:

$$R_{t,d} = \frac{R_{ts,k}}{\gamma_{st}} + W_p' \cdot \gamma_{G1}$$

con:

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

W_p' : peso efficace del palo;

γ_{G1} : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

γ_{st} : coefficiente parziale per la resistenza laterale in trazione;

ξ_3, ξ_4 : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagine disponibili per l'opera in esame.

I coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze caratteristiche sono riportati nelle tabelle seguenti, tratte dal DM 14/01/2008.

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	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.

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_γ	1,0	1,0

	<p>Committente:</p> <p> Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</p> <p>Lavoro:</p> <p>Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"</p>	<p>Documento:</p> <p>Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale</p> <p>Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013</p>
---	--	---

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

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

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

Nel seguito si riportano le indicazioni in merito alle correlazioni impiegate per la valutazione della resistenza calcolata del singolo palo.

1.9.6.2 Terreni a comportamento prevalentemente coesivo

Con riferimento alle Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione la resistenza di base e laterale può essere determinata come segue.

Resistenza di base calcolata – $R_{b,cal}$:

$$q_b = c_{uk} \cdot N_c + \sigma_v$$

con:

- q_b = resistenza calcolata specifica di base;
- N_c = fattore di capacità portante adimensionale (si adotta generalmente $N_c = 9$);
- c_{uk} = coesione non drenata caratteristica;
- σ_v = tensione verticale totale alla profondità z .

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

$$R_{b,cal} = \frac{1}{4} n \phi^2 q_b$$

Resistenza laterale calcolata – $R_{s,cal}$:

$$\tau_{lik} = \alpha \cdot c_{uik}$$

con:

- τ_{iki} = resistenza calcolata specifica laterale dello strato i -esimo, $\tau_{lim} = 100$ kPa (AGI);
- c_{uik} = coesione caratteristica non drenata dello strato i -esimo;
- α = coefficiente empirico, dipendente dal tipo di terreno, dal metodo di installazione del palo e dal materiale costituente il palo (Tabella 1.9).

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

$$R_{s,cal} = \pi \phi \sum_i^n \tau_{lki} h_i$$

Materiale		c_u (kPa)	q_a	$q_{a,max}$ (kPa)
PALI INFISSI	CLS	≤ 25	c_u	120
		$25 < 50$	$0.85 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		≥ 75	$0.50 c_u$	
PALI INFISSI	ACCIAIO	≤ 25	c_u	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		> 75	$0.50 c_u$	
TRIVELLATI	CLS	≤ 25	$0.90 c_u$	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.60 c_u$	
		≥ 75	$0.40 c_u$	

Tabella 1.9: valori indicativi dell'adesione $q_a = \alpha c_u$ per pali in terreni coesivi (AGI – 1984)

1.9.6.3 Terreni a comportamento prevalentemente incoerente

Con riferimento alle Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione la resistenza di base può essere determinata come segue.

Resistenza di base calcolata – $R_{b,cal}$:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v$$

dove:

- N_q^* è assunto secondo Berezantzev (Figura 1.6) e corrisponde all'insorgere nel terreno delle prime deformazioni plastiche (cedimento della base del palo pari a $(0.06 \div 0.1)\Phi$;
- σ'_v rappresenta la tensione verticale efficace alla generica profondità z .

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

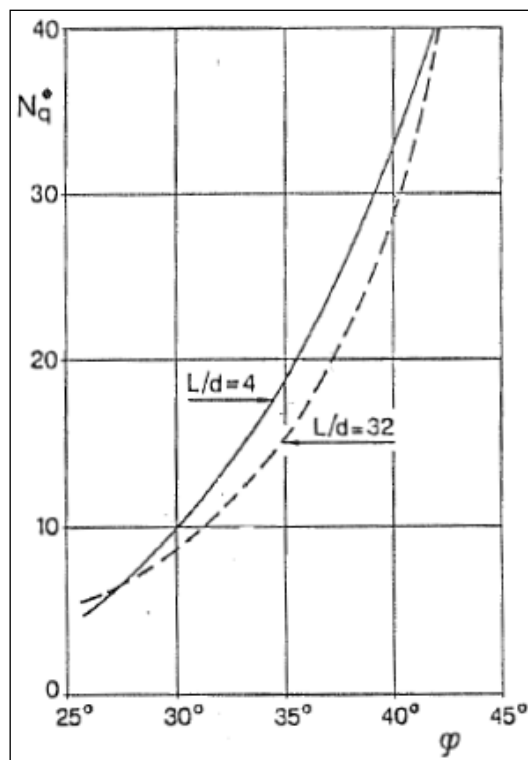


Figura 1.6: coefficienti N_q^* corrispondenti all'insorgere delle deformazioni plastiche della punta (Berezantzev, 1963 – AGI)

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

$$R_{b,cal} = \frac{1}{4} \pi \phi^2 q_b$$

Resistenza laterale calcolata – $R_{s,cal}$:

Nei terreni granulari costituiti da sabbie e ghiaie la portata unitaria per attrito laterale (τ_l) è ricavabile dalla seguente espressione (AGI):

$$\tau_{lki} = q_a + \mu \cdot k \cdot \sigma'_v = q_a + \beta \cdot \sigma'_v$$

dove:

- q_a è un termine di adesione indipendente dalla tensione normale, assunto pari a 0 per terreni incoerenti.
- μ è il coefficiente di attrito tra palo e terreno e, per pali trivellati, è assunto pari alla tangente dell'angolo di resistenza al taglio efficace del terreno.
- k è un coefficiente adimensionale che esprime il rapporto fra la tensione normale che agisce alla profondità z sulla superficie laterale del palo e la tensione verticale alla stessa profondità. Esso viene assunto pari al coefficiente di spinta a riposo, ma limitato nell'intervallo $0.4 \div 0.7$, in accordo con le raccomandazioni AGI.
- σ'_v rappresenta la tensione verticale efficace alla generica profondità z .

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Anche per i terreni incoerenti si sceglie di limitare la resistenza laterale unitaria a $\tau_{lim} = 100$ kPa.

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

$$R_{s,cal} = n\phi \sum_i^n \tau_{lki} h_i$$

1.9.6.4 Capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali

Il carico limite $Q_{lim,N}$ di un gruppo di N pali differisce, in generale, dal prodotto del carico limite Q_{lim} del singolo palo per il numero N dei pali del gruppo.

Si pone:

$$Q_{lim,N} = N \cdot E_v \cdot Q_{lim}$$

dove il fattore E_v è detto efficienza della palificata.

Tale carico limite viene confrontato in fase progettuale con l'azione verticale P totale agente sulla palificata (ipotesi di palificata soggetta a solo carico verticale e quindi distribuzione uniforme del carico P sui pali).

In realtà, l'eventuale presenza di azioni flessionali in testa palificata determina una non omogeneità degli sforzi assiali agenti sul singolo palo; di conseguenza, il soddisfacimento della verifica di capacità portante del gruppo di pali NON implica il soddisfacimento della verifica di capacità portante del singolo palo.

1.9.6.5 Terreni coesivi

Pali con interasse superiore a 3 diametri

L'efficienza per terreni coesivi è pari a:

- $E_v=1$ per interasse dei pali di 8 diametri;
- $E_v=0.7$ per interasse dei pali di 3 diametri;
- $0.7 < E_v < 1$ per interasse dei pali compreso fra 3 e 8 diametri.

Per un gruppo costituito da m file di pali con n pali per ciascuna fila, si potrà adottare la formula empirica di Converse-Labarre:

$$E_v = 1 - \frac{2 \cdot \arctg(d/i)}{\pi} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

in cui:

- d = diametro del palo;
- i = minimo interasse dei pali;
- m = numero di file di pali;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	---

- n = numero di pali per singola fila.

Pali con interasse inferiore a 3 diametri

La portanza del gruppo viene calcolata in accordo al criterio proposto da Terzaghi & Peck (1967):

$$Q_B = 2 \cdot (B + h) \cdot \sum_1^n \tau_i \cdot L_i + B \cdot h \cdot N_c \cdot c_u$$

dove:

- B, h = dimensioni in pianta della fondazione equivalente (Figura 1.7);
- τ_i = tensione tangenziale dello strato i -esimo;
- L_i = altezza dello strato i -esimo (Figura 1.7);
- c_u = coesione alla base del blocco;
- N_c = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 1.10 sulla base dei rapporti h/B e L/B

Nel caso di gruppo di pali soggetto a sforzi di trazione, la portanza di base non dovrà essere considerata.

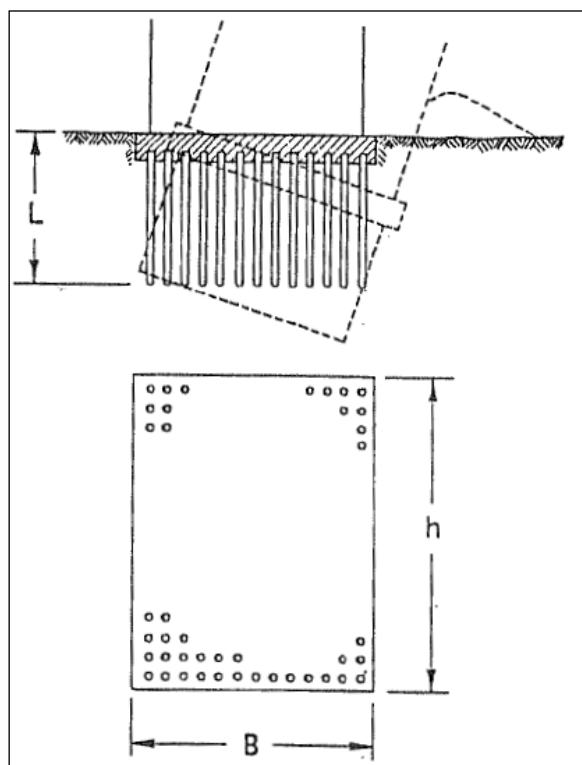


Figura 1.7: schema di rottura del terreno per effetto della palificata quale blocco in terreni coesivi (Terzaghi & Peck, 1967)

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

L/B	N _c	
	h/B=1	h/B≥10
0.25	6.7	5.6
0.50	7.1	5.9
0.75	7.4	6.2
1.00	7.7	6.4
1.50	8.1	6.8
2.00	8.4	7.0
2.50	8.6	7.2
3.00	8.8	7.4
≥4	9.0	7.5

Tabella 1.10: coefficiente N_c per la determinazione della portanza del gruppo (AGI, 1984)

1.9.6.6 Terreni incoerenti

Per i terreni a comportamento prevalentemente incoerente, l'efficienza del gruppo di pali dipende, oltre che dall'interasse dei pali, anche dallo stato di addensamento del materiale.

Sabbia sciolta

In genere l'efficienza di un gruppo di pali in sabbie sciolte è superiore all'unità; in sede di progettazione verrà assunta efficienza $E_v = 1$.

Sabbia densa

Il coefficiente di efficienza varia fra $E_v = 0.7$ per interasse dei pali da 3 a 6 diametri a $E_v = 1.0$ per interasse pari a 8 diametri.

1.10 Combinazioni di carico

Nel presente paragrafo vengono presentate le combinazioni di carico adottate, in relazione agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE), le quali sono state originate in ottemperanza con quanto prescritto dalla vigente normativa.

1.10.1 Combinazioni per la verifica allo SLU

Le verifiche allo stato limite ultimo da considerare sono:

SLU di tipo geotecnico (GEO): collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU di tipo strutturale (STR): raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Avendo a che fare con opere fuori terra ed interrato, le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1", utilizzando i coefficienti parziali riportati nella Tabella 5.1.V di NTC 2008 per le azioni.

Combinazione 1 → (A1+M1+R1) ⇒ STR (verifiche degli elementi strutturali);

Combinazione 2 → (A2+M2+R2) ⇒ GEO (carico limite).

Tabella 11: Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Tabella 6.2.II NTC 2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	M ₁	M ₂
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	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_γ	1.0	1.0

Tabella 12: Coefficienti parziali γ_R per la resistenza del sistema.

VERIFICA	COEFF. PARZIALE (R1)	COEFF. PARZIALE (R2)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$
Scorrimento	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$

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

$$\text{STR} \Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{0i} \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k$$

$$\text{GEO} \Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{0i} \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \tan^{-1}[\tan(\varphi'_k/\gamma_\varphi)]$$

I valori dei coefficienti parziali delle azioni sono dedotti dalla tabella 5.1.V di NTC 2008.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
---	---	--

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

Il coefficiente γ_p della precompressione vale 1,00, sia in condizioni favorevoli che sfavorevoli.

1.10.2 Combinazioni per la verifica allo SLE

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

$$\begin{array}{llll}
 \text{Frequente} & \Rightarrow & G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} & \Rightarrow & \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{Quasi permanente} & \Rightarrow & G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} & \Rightarrow & \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{Rara} & \Rightarrow & G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} & \Rightarrow & \varphi'_d = \varphi'_k
 \end{array}$$

I valori dei coefficienti di combinazione sono dedotti dalla tabella 5.1.VI di NTC 2008.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	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

1.10.3 Combinazioni per la condizione sismica

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione sono le seguenti (Approccio 1):

$$\begin{aligned}
 \text{STR} &\Rightarrow E + G_1 + G_2 + P + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} &\Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{GEO} &\Rightarrow E + G_1 + G_2 + P + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} &\Rightarrow \text{spinte} \quad \varphi'_d = \tan^{-1}[\tan(\varphi'_k/\gamma_\varphi)]
 \end{aligned}$$

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

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

1.10.4 Criteri di calcolo delle sollecitazioni

L'impiego di elementi in conglomerato cementizio armato prefabbricato nella realizzazione dei manufatti impone un procedimento costruttivo ben definito, il quale influisce direttamente sul comportamento statico dell'opera e quindi sul calcolo delle sollecitazioni. Il calcolo delle sollecitazioni si basa quindi considerando due fasi:

- Fase 1: in tale fase l'impalcato è costituito dalle sole travi prefabbricate semplicemente appoggiate alle pareti. Le travi prefabbricate sono sollecitate dal peso proprio g_1 delle travi prefabbricate e del getto in opera. Lo schema statico delle travi è di semplice appoggio.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

- Fase 2: in seguito all'indurimento del getto in opera, agiscono successivamente i carichi permanenti portati g_2 , la spinta del terreno e i carichi variabili.

Tali carichi agiscono su una struttura costituita da un telaio su pali (modellazione del terreno tramite molle elastiche lineari) e vi è continuità di momento fra la copertura e i piedritti costituiti dalle spalle.

La sezione resistente dell'impalcato è costituita dalla trave prefabbricata e dal getto in opera (area omogeneizzata rispetto alla trave prefabbricata).

Le sollecitazioni aggiuntive causate dal *fluage* del calcestruzzo verranno in seguito valutate in base a opportune considerazioni sulle deformazioni a lungo termine dell'impalcato.

1.11 Criteri per le verifiche a fessurazione e tensionali

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto tabellare proposto al punto C4.1.2.2.4 della CM 2009.

Tale verifica si effettua confrontando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio, calcolata in ipotesi classica di sezione parzializzata (metodo "n" con $n = 15$) secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell'aggressività dell'ambiente, si veda Tabella 4.1.IV di NTC 2008), con i valori tabellati in funzione del diametro massimo delle barre (Tabella C4.1.II CM 2009) e dell'interasse tra le barre stesse (Tabella C4.1.III CM 2009).

Tabella 4.1.IV – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella C4.1.II *Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III *Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Spaziatura massima s delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Per la verifica delle tensioni di esercizio, ai sensi delle vigenti norme, la tensione negli elementi di calcestruzzo non può superare il valore di:

0,60 f_{ck} per la combinazione rara (caratteristica);

0,45 f_{ck} per la combinazione quasi permanente.

La tensione nelle barre di armatura deve essere inoltre inferiore al valore di 0,8 f_{yk} per la combinazione rara (caratteristica).

Per il cemento armato precompresso vi sono delle condizioni aggiuntive da verificare, qui di seguito riassunte:

La tensione massima di compressione nel calcestruzzo all'atto di tesatura dei cavi non deve superare il valore 0,70 f_{ckj} essendo f_{ckj} la resistenza caratteristica del calcestruzzo all'atto del tiro;

La tensione massima di trazione, all'atto del tiro, relativamente ai cavi pretesi, deve essere inferiore al minimo fra 0,80 f_{ptk} e 0,90 $f_{p(0,1)k}$, dove f_{ptk} e $f_{p(0,1)k}$ sono definiti rispettivamente come tensione caratteristica a rottura dell'acciaio e tensione relativa a una deformazione dello 0,1%;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale Codice: S13114 - B.3.1 Data: 29/08/2013
	Lavoro: Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

In combinazione rara la tensione massima di trazione nel trefolo deve essere inferiore a $0,80 \cdot f_{p(0,1)k}$.

1.12 Rappresentazione delle deformate e delle caratteristiche di sollecitazione maggiormente significative

Per una sintesi delle sollecitazioni maggiormente significative per le varie opere si rimanda alle rispettive relazioni di calcolo.

1.13 Caratteristiche ed affidabilità del codice di calcolo

L'analisi di tutte le strutture è stata svolta mediante l'utilizzo del software agli elementi finiti SAP 2000 v. 15 sviluppato dalla "Computers & Structures Inc.", Berkley – California (USA).

Le varie strutture sono state modellate mediante modelli 2D o 3D a seconda dell'uniformità geometrica in pianta delle varie strutture. Per una visione maggiormente dettagliata dei modelli utilizzati per il calcolo delle singole opere, si rimanda alle rispettive relazioni di calcolo.

Pur essendo il software di analisi caratterizzato da comprovata affidabilità, si è proceduto a controllare i risultati forniti in output dal software verificandone la congruenza con quelli prodotti da analisi svolte a mano, sulla base di schemi statici semplificati. Tali verifiche di affidabilità sono presenti nelle singole relazioni di calcolo al capitolo intitolato "*Validazione risultati software*".