

PROVINCIA DI BOLOGNA

Settore Lavori Pubblici

STRADA	<i>S.P. 569 "DI VIGNOLA"</i>	Servizio Progettazione e Costruzioni Stradali	
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	DATA AGOSTO 2013	
ELABORATO	RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE OPERE D'ARTE MINORI RELAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE	N. B.3.4	SCALA -
PROGETTAZIONE GENERALE	PROGETTISTA	RIFERIMENTO : PROGETTO ESECUTIVO	
Geom. Emanuele Tracchi Dott. Ing. Chiara Ferrari P.i.e. Stefano Romagnoli Geom. Federico Vannucchi	Dott. Ing. Marco Ferrarini	PROGETTAZIONE STRUTTURALE Dott. Ing. Gianfranco Marchi Dott. Ing. Stefano Pedrielli Settori civile e ambientale	
IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Pietro Luminasi		2	21/01/2014
		0	29/08/2013
		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



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

Opere d'arte minori

RELAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE

Codice	B.3.4
--------	-------

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato
0	29.08.2013	A. Mastrangelo	M. Mainardi	G. Guadagnini
1	16.12.2013	A. Mastrangelo	M. Mainardi	G. Guadagnini
2	21.01.2014	A. Mastrangelo	S. Pedrielli	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 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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

INDICE

1.	PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
1.1	PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO	5
1.2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	6
2.1	PONTE AGRICOLO SU RIO CASSOLA	6
2.2	DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA	7
2.3	DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO	8
2.4	SOTTOPASSO AGRICOLO	9
2.5	PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE	10
3.	LIQUEFAZIONE.....	12
3.1	CONSIDERAZIONI QUALITATIVE	12
3.2	ANALISI DEL FENOMENO SECONDO LE PRESCRIZIONI DEI §§7.11.3.4 E C7.11.3.4 DELLE NTC08 E DELLA RELATIVA CIRCOLARE APPLICATIVA	13
4.	CONSIDERAZIONI SULLE POTENZIALI INTERFERENZE IDRICHE.....	15
5.	CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE.....	16
5.1	CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI	16
5.1.1	Terreni a comportamento prevalentemente coesivo	18
5.1.2	Terreni a comportamento prevalentemente incoerente.....	19
5.2	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI ASSIALI.....	21
5.2.1	Terreni coesivi.....	21
5.2.2	Terreni incoerenti	23
5.3	CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE	24
6.	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI PALI DI FONDAZIONE.....	29
6.1	CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICO ASSIALE.....	29
6.2	CEDIMENTO DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICO ASSIALE.....	31

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 2.1: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI IN CORRISPONDENZA DEL PONTE AGRICOLO SUL RIO CASSOLA.....	7
TABELLA 2.2: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA.	8
TABELLA 2.3: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO.	9
TABELLA 2.4: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOPASSO AGRICOLO.	10
TABELLA 2.5: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI IN CORRISPONDENZA DEL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE.	11
TABELLA 5.1: VALORI INDICATIVI DELL'ADESIONE $Q_A = A C_u$ PER PALI IN TERRENI COESIVI (AGI – 1984).	19
TABELLA 5.2: COEFFICIENTE N_c PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA DEL GRUPPO (AGI, 1984).	23
TABELLA 5.3: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEL PONTE AGRICOLO SUL RIO CASSOLA	25
TABELLA 5.4: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA.	26

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2
	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: B.3.4 Data: 21/01/2014

TABELLA 5.5: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO. 27

TABELLA 5.6: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE. 28

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 3-1 . GRAFICI RELATIVI ALLA DISAGGREGAZIONE DEL PUNTO GRIGLIA AD OVEST DI CRESPELLANO	14
FIGURA 3-2 . VALORI MEDI DI DISAGGREGAZIONE. LA MAGNITUDO MEDIA STIMATA PER LO SCENARIO DI SLV È < 5.	14
FIGURA 5-1: COEFFICIENTI NQ^* CORRISPONDENTI ALL'INSORGERE DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE DELLA PUNTA (BEREZANTZEV, 1963–AGI)..	20
FIGURA 5-2: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967)..	23
FIGURA 5-3: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI Ø800 IN CORRISPONDENZA DEL PONTE AGRICOLO SUL RIO CASSOLA.	25
FIGURA 5-4: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI Ø800 IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA.....	26
FIGURA 5-5: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI Ø800 IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO.....	27
FIGURA 5-6: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI Ø800 IN CORRISPONDENZA DEL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE.....	28
FIGURA 6-1: ESEMPIO DI CURVA DI TRASFERIMENTO.....	29
FIGURA 6-2: AMPLIFICAZIONE DEL CEDIMENTO PER EFFETTO GRUPPO.	32

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI

1.1 Premessa e scopo del documento

Il presente documento viene redatto nell'ambito dell'attività di progettazione esecutiva del 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 pk 1+469.
- Ponte sul rio Martignone.

Nella seguente relazione viene data descrizione, per ciascuna delle cinque WBS, delle prove geotecniche di riferimento, di stratigrafia e falda di progetto, dei parametri geotecnici caratteristici e dei criteri adottati per le verifiche di capacità portante delle fondazioni profonde previste.

1.2 Riferimenti normativi

- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".
- 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".
- UNI EN 1997-1:2005 – "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali".
- UNI EN 1998-1:2005 – "Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".
- AGI 1984 "Raccomandazioni sui pali di fondazione".

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere - rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

2.1 Ponte agricolo su rio Cassola

Si tratta di un ponticello localizzato a sud della frazione di Muffa sullo scolo del rio Cassola. L'opera si trova in prossimità della linea di pedecollina che separa la parte francamente in pianura dai primi rilievi appenninici. Benché non vi siano indagini direttamente nella zona del ponticello, l'opera insiste nel settore orientale dello sbocco val-livo del torrente Samoggia, ove le indagini eseguite in seno al progetto definitivo e quelle rese disponibili dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione confermano l'alternanza di potenti bancate ghiaioso-sabbiose, anche a quote sub-superficiali, a banchi di terreni limosi sovraconsolidati ad elevata consistenza. In corrispondenza degli sbocchi intravallivi di fatto l'energia idraulica dei corsi d'acqua appenninici è ancora elevata ed i depositi terrosi sono in prevalenza costituiti da terreni incoerenti grossolani.

Al fine di individuare una stratigrafia di progetto, si farà riferimento alle indagini per il ponte a 3 campate sulla ferrovia Bologna-Vignola, poste più a nord del sito di progetto (prova penetrometrica P8bis e sondaggio S5), dalla cui interpretazione viene definita la seguente successione stratigrafica:

- unità AL1: da piano campagna a 5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- unità AL2: da 5m a 8m di profondità: limi e limi argillosi molto consistenti;
- unità GS: da 8m a 14.5m di profondità: ghiaie medio-grossolane in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL1: da 14.5m a 19.5m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovraconsolidati, consistenti;
- unità GS: da 19.5m a 21.5m di profondità: ghiaie medio-grossolane in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL1: da 21.5m a 26m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovraconsolidati, consistenti;
- unità GS: da 26m a 35m di profondità: ghiaie medio-grossolane in matrice sabbioso-limosa.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2
	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: B.3.4 Data: 21/01/2014

Unità	Peso di volume γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL1	19.5	150÷200	22÷24	5÷10	15÷20
AL2	19.5	250÷300	25÷27	12÷15	25÷30
GS	21	-	44	-	80÷100

Tabella 2.1: parametri geotecnici caratteristici in corrispondenza del ponte agricolo sul rio Cassola

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale si può identificare nell'area del progetto di variante una falda che non supera mai i 4.2m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna.

2.2 Due ponticelli rotatoria s.p. 27 su rio Cassola

Si tratta di due ponticelli che consentono il doppio attraversamento in rotatoria del rio Cassola all'intersezione fra S.P. 27 e S.P. 569. L'opera si trova ad ovest dell'abitato di Crespellano.

Al fine di individuare una stratigrafia di progetto, si farà riferimento alle indagini locali per il ponte a 3 campate sulla S.P. 27 (prove penetrometriche P9 e P10 e sondaggio S6), dalla cui interpretazione viene definita la seguente successione stratigrafica:

- unità AL: da piano campagna a 5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti o molto consistenti;
- unità GS: da 5m a 8.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 8.5m a 12.5m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovraconsolidati, consistenti;
- unità GS: da 12.5m a 15m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 15m a 18.5m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovraconsolidati, consistenti;
- unità LS: da 18.5m a 22m di profondità: limo sabbioso;
- unità GS: da 22m a 23.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità LS: da 23.5m a 24.5m di profondità: limo sabbioso;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2
	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: B.3.4 Data: 21/01/2014

- unità GS: da 24.5m a 28m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità LS: da 28m a 29.5m di profondità: limo sabbioso;
- unità GS: da 29.5m a 35m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Unità	Peso di volume γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL	19.5	100÷150	23÷25	5÷10	8÷12
GS	21	-	44	-	80÷100
LS	20	-	30÷33	-	15÷20

Tabella 2.2: parametri geotecnici caratteristici in corrispondenza dei due ponticelli rotatoria s.p. 27 su rio Cassola.

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro BO18-00, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 14.3m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna.

2.3 Due ponticelli sul rio Crespellano

Si tratta di due ponticelli che consentono l'attraversamento del rio Crespellano alle due strade parallele, la sp 569 e la contigua strada vicinale. L'opera si trova ad nord-est dell'abitato di Crespellano.

Al fine di individuare una stratigrafia di progetto, si farà riferimento alla locale prova penetrometrica P12, mentre per le informazioni di profondità al sondaggio S7, dalla cui interpretazione viene definita la seguente successione stratigrafica:

- unità AL: da piano campagna a 8m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- unità GS: da 8m a 15m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 15m a 16.5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere - rev.2
	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: B.3.4 Data: 21/01/2014

- unità GS: da 16.5m a 22m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 22m a 23.5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- unità GS: da 23.5m a 28.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 28.5m a 30m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- unità GS: da 30m a 31.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- unità AL: da 31.5m a 35m di profondità: limi e limi argillosi consistenti.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Unità	Peso di volume γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL	19.5	80÷100	23÷25	5÷10	8÷10
GS	21	-	44	-	80÷100

Tabella 2.3: parametri geotecnici caratteristici in corrispondenza dei due ponticelli sul rio Crespellano.

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro BO77-01, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 5m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna.

2.4 Sottopasso agricolo

Si tratta di un sottovia agricolo al di sotto del piano campagna, a servizio di proprietà divise dalla variante nella zona tra Via Martignone e Via Papa Giovanni XXIII, a est dell'abitato di Crespellano.

Al fine di individuare una stratigrafia di progetto, si farà riferimento all'indagine rappresentata dalla prova penetrometrica P15, eseguita nella zona, dalla cui interpretazione viene definita la seguente successione stratigrafica:

- unità AL1: da piano campagna a 9m di profondità: limi e limi argillosi consistenti o molto consistenti;
- unità AL2: da 9m a 19m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere - rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

- unità GS: da 19m a 20m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Unità	Peso di volume γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL1	19.5	100÷150	24÷26	10÷15	10÷15
AL2	19	50÷100	23÷25	5÷10	5÷10
GS	21	-	44	-	80÷100

Tabella 2.4: parametri geotecnici caratteristici in corrispondenza del sottopasso agricolo.

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro B044-01, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 5m da piano campagna. Per tale ragione, è possibile ipotizzare una falda di progetto a 4m da piano campagna. Si ritiene che la presenza di acqua a piano campagna in corrispondenza di periodi molto piovosi sia dovuta non tanto ad un'escursione improvvisa della falda, quanto a problemi di drenaggio idraulico superficiale ed eventuale sviluppo di falde effimere, localizzate e sospese nei primi 1-2 metri di profondità, ove il terreno può presentare una permeabilità secondaria per fessurazione e le granulometrie essere più sabbiose.

2.5 Ponticello sul rio Martignone

E' un'opera di attraversamento del rio Martignone, prima della rotonda su via Lunga. L'opera si trova a est dell'abitato di Crespellano.

Al fine di individuare una stratigrafia di progetto, si farà riferimento all'indagine rappresentata dalle prove penetrometriche P16 e P17 e dal sondaggio S9, eseguiti presso la rotonda su via Lunga, dalla cui interpretazione viene definita la seguente successione stratigrafica:

- unità AL1: da piano campagna a 3m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;
- unità AL2: da 3m a 6m di profondità: limi e limi argillosi poco consistenti;
- unità AL1: da 6m a 10m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

- unità AL3: da 10m a 15m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- unità SL: da 15m a 20m di profondità: sabbie limose mediamente addensate;
- unità AL3: da 20m a 25m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;
- unità AL4: da 25m a 35m di profondità: limi e limi argillosi molto consistenti.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Unità	Peso di volume γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL1	19.5	40÷50	24÷26	8÷12	5÷6
AL2	18.5	20÷30	23÷25	0÷2	2÷3
AL3	19	80÷100	22÷24	10÷15	5÷10
SL	20	-	30÷33	-	15÷20
AL4	20	100÷120	26÷28	15÷20	10÷15

Tabella 2.5: parametri geotecnici caratteristici in corrispondenza del ponticello sul rio Martignone.

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro B077-01, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 5m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3. LIQUEFAZIONE

3.1 Considerazioni qualitative

Secondo la definizione dell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che satura gli interstizi arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che l'azione sismica ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Nel progetto in esame non è stata rilevata la presenza di terreni francamente sabbiosi. Le alternanze rilevate sono sempre rappresentate da argille limose, limi argillosi e ghiaie in matrice sabbiosa, e cioè di terreni non suscettibili di liquefazione per gli eventi sismici attesi in zona. Nel solo caso del Ponticello sul Rio Martignone sono state rinvenute sabbie limose, ma si trovano a profondità superiore a 15m da piano campagna; come è noto in letteratura tecnica, oltre i 15m da piano campagna la pressione litostatica efficace produce un confinamento tale da stabilizzare i depositi nei confronti

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

della rottura per liquefazione, per cui anche in quel caso non vi sono rischi per questa fenomenologia.

3.2 Analisi del fenomeno secondo le prescrizioni dei §§7.11.3.4 e C7.11.3.4 delle NTC08 e della relativa Circolare applicativa

Secondo il DM 14/01/2008 la verifica a liquefazione si può omettere in uno dei seguenti casi (Par. 7.11.3.4.2 *Esclusione della verifica a liquefazione*):

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per l'intero progetto in esame, vale la condizione di esclusione di cui al punto 1. Di fatto, in riferimento allo SLV (stato limite per la verifica di liquefazione) e alla relativa probabilità di accadimento dell'evento sismico del 10% in 50 anni (corrispondente ad un $T_R=475$ anni), l'analisi di disaggregazione dei punti griglia della mappa INGV da cui si desumono le caratteristiche del moto sismico sul suolo nazionale mostra una magnitudo media di riferimento < 5 . Nel seguito si riportano a titolo di esempio i grafici di disaggregazione di uno dei punti griglia che comprendono il progetto. Per gli altri punti griglia è confermata la stessa condizione di esclusione.

	<p>Committente:</p> <p>Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4-40131 BOLOGNA</p> <p>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"</p>	<p>Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2</p> <p>Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

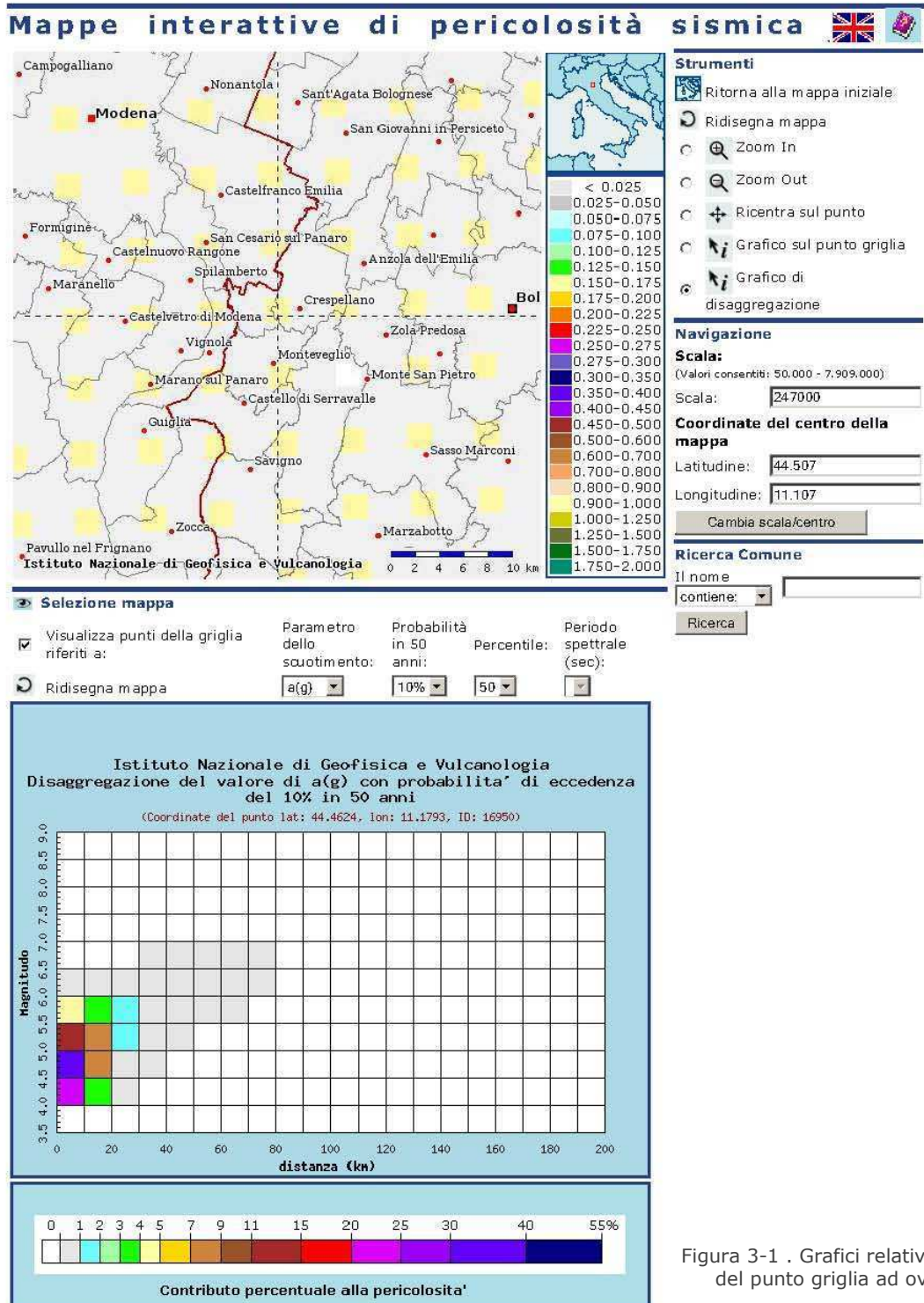


Figura 3-1 . Grafici relativi alla disaggregazione del punto griglia ad ovest di Crespellano

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.880	8.420	0.905

Figura 3-2 . Valori medi di disaggregazione. La magnitudo media stimata per lo scenario di SLV è < 5.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

4. CONSIDERAZIONI SULLE POTENZIALI INTERFERENZE IDRICHE

Così come specificato nel paragrafo 2.4 *Sottopasso agricolo*, la presenza di acqua prossima a piano campagna in corrispondenza di periodi molto piovosi è dovuta non tanto ad un'escursione improvvisa della falda, quanto a problemi di drenaggio idraulico superficiale ed eventuale sviluppo di falde effimere, localizzate e sospese nei primi 1-2 metri di profondità, ove il terreno può presentare una permeabilità secondaria per fessurazione e le granulometrie essere più sabbiose.

E' bene precisare che i fenomeni osservati presso località Pragatto nell'ambito della costruzione della ferrovia Casalecchio-Vignola possono avere luogo in questa fascia di territorio collinare ove l'infrastruttura intercetta i vecchi percorsi abbandonati dai corsi d'acqua minore provenienti dalla fascia collinare (paleoalvei). In corrispondenza di questi percorsi, le litologie sono più grossolane e i flussi di acqua in movimento a livello sub-superficiale proveniente da monte può essere importante. Nel caso delle opere in progetto, non è stato riscontrato alcun attraversamento di tali percorsi abbandonati, dal momento che le successioni stratigrafiche, individuate dai sondaggi posti in contiguità con le opere, sono costituite nei metri che interesseranno gli scavi da terreni impermeabili argillosi e limosi. Viene quindi meno la condizione idrogeologica predisponente a quanto osservato nelle esperienze progettuali precedenti.

Va inoltre ricordato che una interferenza di venute d'acqua durante le fasi costruttive non può essere significativa, essendo gli scavi eseguiti in contiguità con i locali corsi d'acqua minori, che rappresentano una via di drenaggio fisiologica per eventuali venute d'acqua. Qualora si dovesse verificare un evento meteo-climatico eccezionale tale da comportare venute d'acqua superficiali significative, la contiguità degli scavi permetterà un rapido ed immediato allontanamento delle acque dagli stessi. In questo modo, previa successiva bonifica degli scavi, sarà possibile al termine dell'avvenuto drenaggio riprendere normalmente la costruzione delle opere.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE

5.1 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);
- Poulos, 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;

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:

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

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

5.1.1 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:

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

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

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

con:

- τ_{lik} = 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 5.1).

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

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

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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	$0.50 c_u$	
	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 5.1: valori indicativi dell'adesione $q_a = \alpha c_u$ per pali in terreni coesivi (AGI – 1984).

5.1.2 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 5-1) 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	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

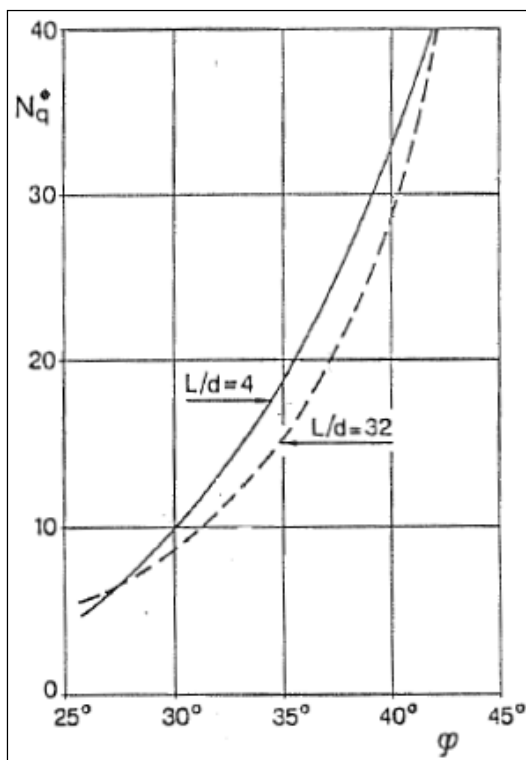


Figura 5-1: coefficienti N_q^* corrispondenti all'insorgere delle deformazioni plastiche della punta (Berezantzev, 1963-AGI).

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

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

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

Nei terreni granulari costituiti da sabbie e ghiaie la portata unitaria per attrito laterale (τ_i) 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 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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

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

5.2 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.

5.2.1 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;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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 = minimo interasse dei pali;
- m = numero di file di pali;
- n = numero di pali per singola fila.

Pali con interasse inferiore a 3 diametri

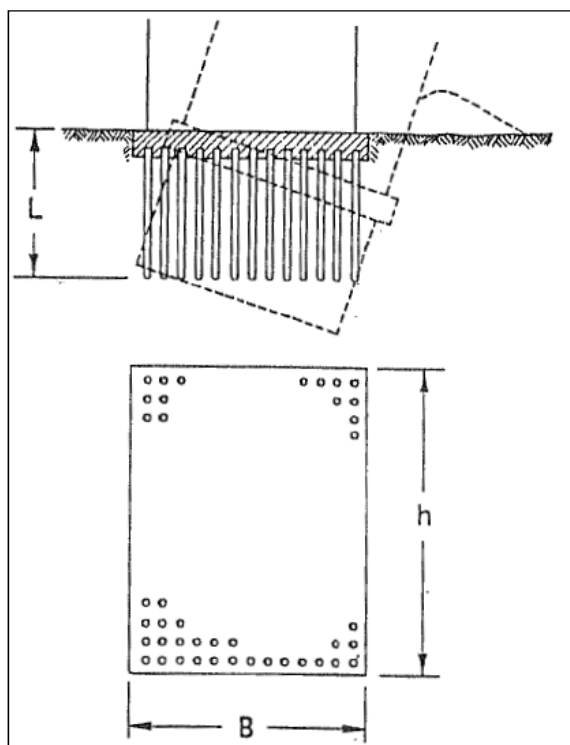
La portanza del gruppo viene calcolata in accordo al criterio proposto da Terzaghi & Peck (1967):

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

dove:

- B, h = dimensioni in pianta della fondazione equivalente (Figura 5-2);
- τ_i = tensione tangenziale dello strato i -esimo;
- L_i = altezza dello strato i -esimo (Figura 5-2);
- c_u = coesione alla base del blocco;
- N_c = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 5.2 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.



	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2
	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: B.3.4 Data: 21/01/2014

Figura 5-2: schema di rottura del terreno per effetto della palificata quale blocco in terreni coesivi (Terzaghi & Peck, 1967).

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 5.2: coefficiente N_c per la determinazione della portanza del gruppo (AGI, 1984).

5.2.2 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.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.3 Curve di capacità portante

Sulla base dei criteri di cui al §5.1 e della caratterizzazione geotecnica di cui al capitolo 2, per i siti in esame sono stati prodotti grafici rappresentanti l'andamento dei valori di capacità portante in funzione della lunghezza dei pali. Tali curve sono state ottenute con le seguenti ipotesi:

- Pali trivellati da 800 mm di diametro;
- Pali considerati singolarmente, al netto degli effetti di gruppo.

In ognuno dei grafici seguenti sono rappresentati i seguenti valori di capacità portante:

- $R_{dA1,1}$ = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 1 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- $R_{dA1,2}$ = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- $R_{dA1,2}$ sismico = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 in condizioni sismiche nelle quali, in accordo con il §7.11.5.3. del D.M. 14/01/2008, si impiega il coefficiente parziale R_3 per le resistenze.
- $R_{dA2,1}$ = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 2 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- Q_{lim} = valore caratteristico calcolato della capacità portante complessiva (laterale + punta).
- Q_s = valore caratteristico calcolato della capacità portante laterale.
- Q_b = valore caratteristico calcolato della capacità portante di punta.
- $Q_s/1.5 - \Delta W_p$ = capacità portante laterale con coefficiente di sicurezza 1.5 al netto della differenza tra peso proprio del palo e peso del volume di terreno asportato. Utile valore di riferimento per le sollecitazioni in condizioni di esercizio (combinazione quasi permanente).
- $Q_{amm \text{ FS}=2.5}$ = valore ammissibile della capacità portante in riferimento al metodo "delle tensioni ammissibili", calcolato a partire dal valore caratteristico mediante coefficiente di sicurezza globale pari ad $FS = 2.5$.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ponte Agricolo su Rio Cassola:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 5.3, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 5-3.

UNITA'	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	C_{uk} [kPa]	αC_u [kPa]	ϕ'_k [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	N_q^*		
A	0,0	5,0	19,5	150	60	22					A =	AL1
B	5,0	8,0	19,5	250	100	25					B =	AL2
C	8,0	14,5	21,0	0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	C =	GS
D	14,5	19,5	19,5	150	60	22					D =	AL1
E	19,5	21,5	21,0	0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	E =	GS
F	21,5	26,0	19,5	150	60	22					F =	AL1
G	26,0	35,0	21,0	0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	G =	GS

Tabella 5.3: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza del ponte agricolo sul Rio Cassola

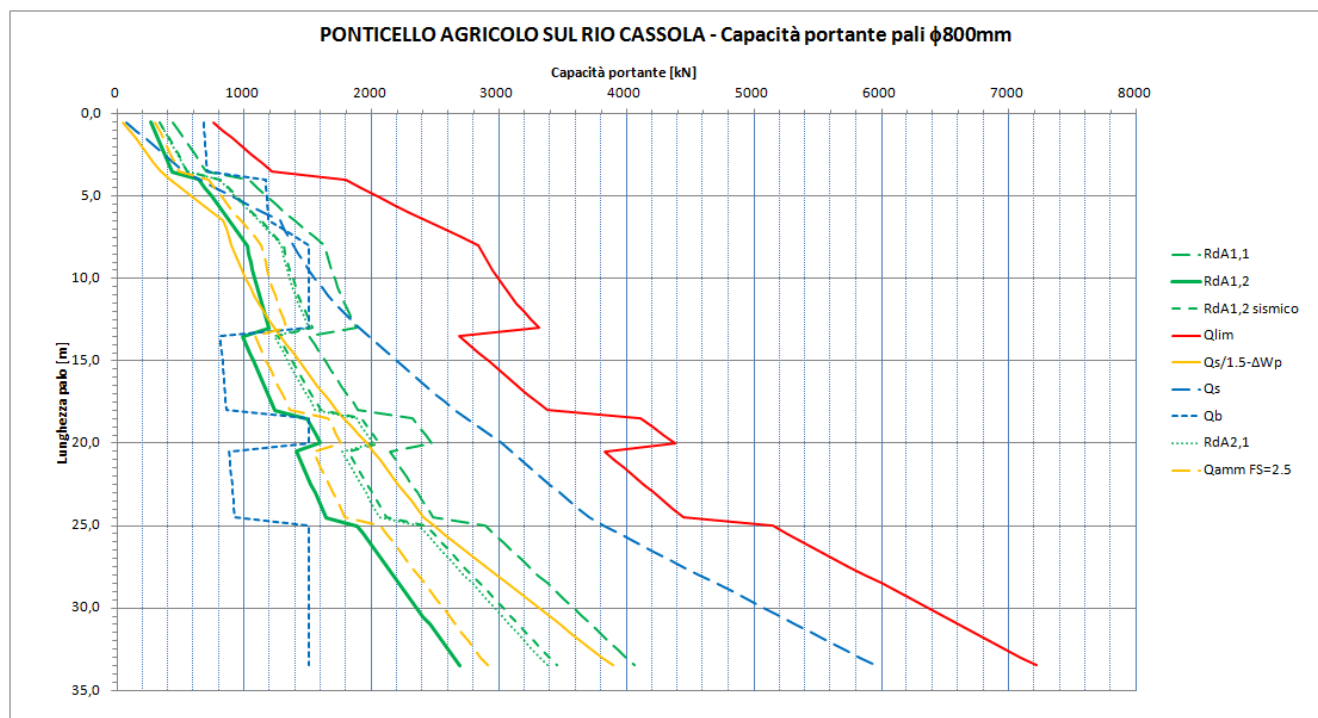


Figura 5-3: curve di capacità portante per pali $\phi 800$ in corrispondenza del ponte agricolo sul Rio Cassola.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Due ponticelli rotatoria s.p. 27 su rio Cassola:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 5.4, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 5-4.

UNITA'	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	C_{uk} [kPa]	αC_u [kPa]	ϕ'_k [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	N_q^*		
A	0,0	5,0	19,5	100	40	23					A =	AL
B	5,0	8,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	B =	GS
C	8,5	12,5	19,5	100	40	23					C =	AL
D	12,5	15,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	D =	GS
E	15,0	18,5	19,5	100	40	23					E =	AL
F	18,5	22,0	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	F =	LS
G	22,0	23,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	G =	GS
H	23,5	24,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	H =	LS
I	24,5	28,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	I =	GS
L	28,0	29,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	L =	LS
M	29,5	35,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	M =	GS

Tabella 5.4: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza dei due ponticelli rotatoria S.P. 27 su rio Cassola.

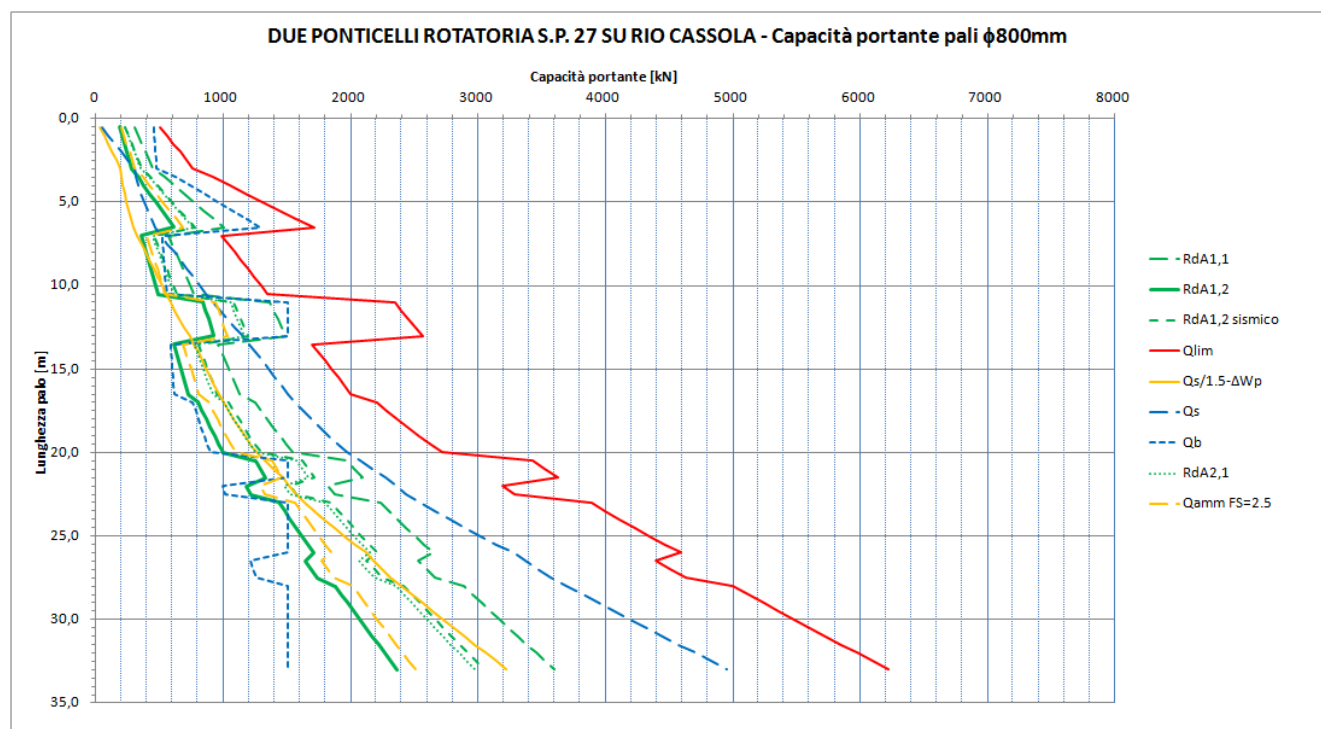


Figura 5-4: curve di capacità portante per pali $\phi 800$ in corrispondenza dei due ponticelli rotatoria S.P. 27 su rio Cassola.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Due ponticelli sul Rio Crespellano:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 5.5, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 5-5.

UNITA'	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	C_{uk} [kPa]	αC_u [kPa]	ϕ'_k [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	N_q^*		
A	0,0	8,0	19,5	80	32	23					A =	AL
B	8,0	15,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	B =	GS
C	15,0	16,5	19,5	80	32	23					C =	AL
D	16,5	22,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	D =	GS
E	22,0	23,5	19,5	80	32	23					E =	AL
F	23,5	28,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	F =	GS
G	28,5	30,0	19,5	80	32	23					G =	AL
H	30,0	31,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	H =	GS
I	31,5	35,0	19,5	80	32	23					I =	AL

Tabella 5.5: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza dei due ponticelli sul Rio Crespellano.

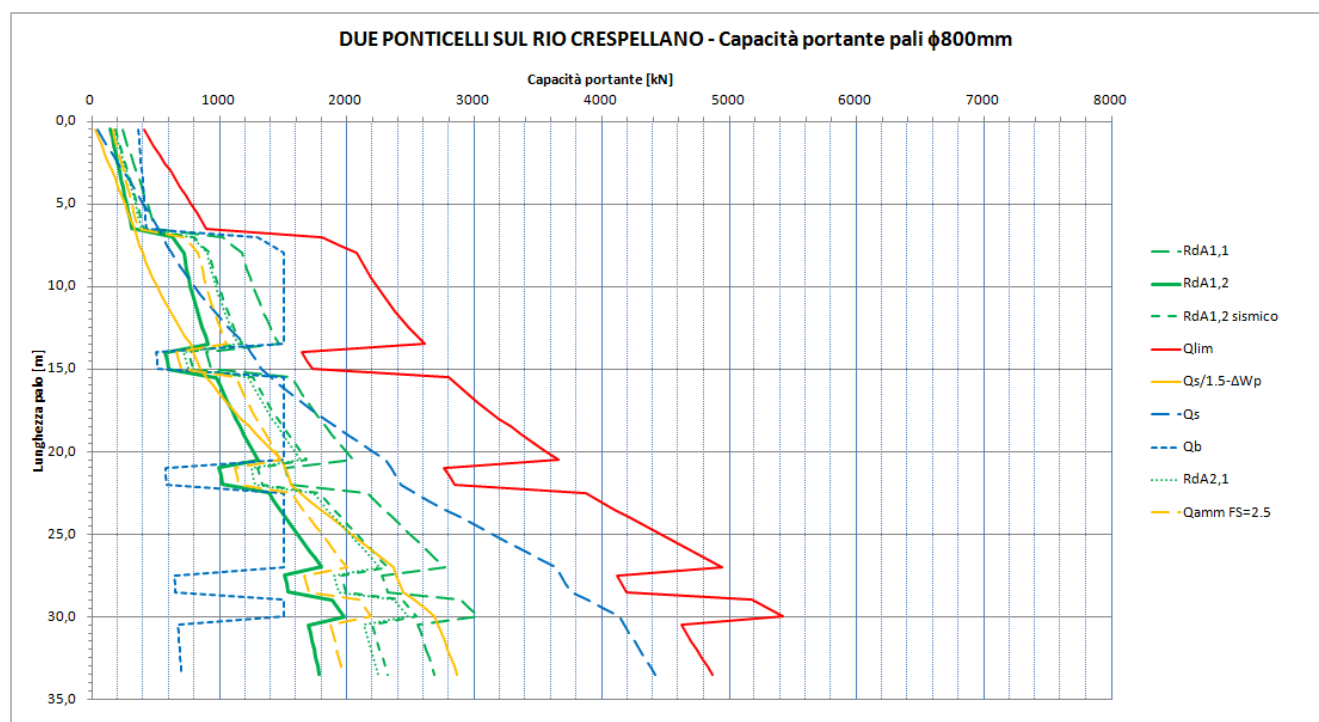


Figura 5-5: curve di capacità portante per pali $\Phi 800$ in corrispondenza dei due ponticelli sul Rio Crespellano.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ponticello sul Rio Martignone:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 5.6, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 5-6.

UNITA'	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	C_{uk} [kPa]	αC_u [kPa]	ϕ'_k [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	N_q^*		
A	0,0	3,0	19,5	40	32	24					A =	AL1
B	3,0	6,0	18,5	20	18	23					B =	AL2
C	6,0	10,0	19,5	40	32	24					C =	AL1
D	10,0	15,0	19,0	80	32	22					D =	AL3
E	15,0	20,0	20,0	0	0	30	0,50	0,58	0,29	9	E =	SL
F	20,0	25,0	19,0	80	32	22					F =	AL3
G	25,0	35,0	20,0	100	40	26					G =	AL4

Tabella 5.6: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza del ponticello sul Rio Martignone.

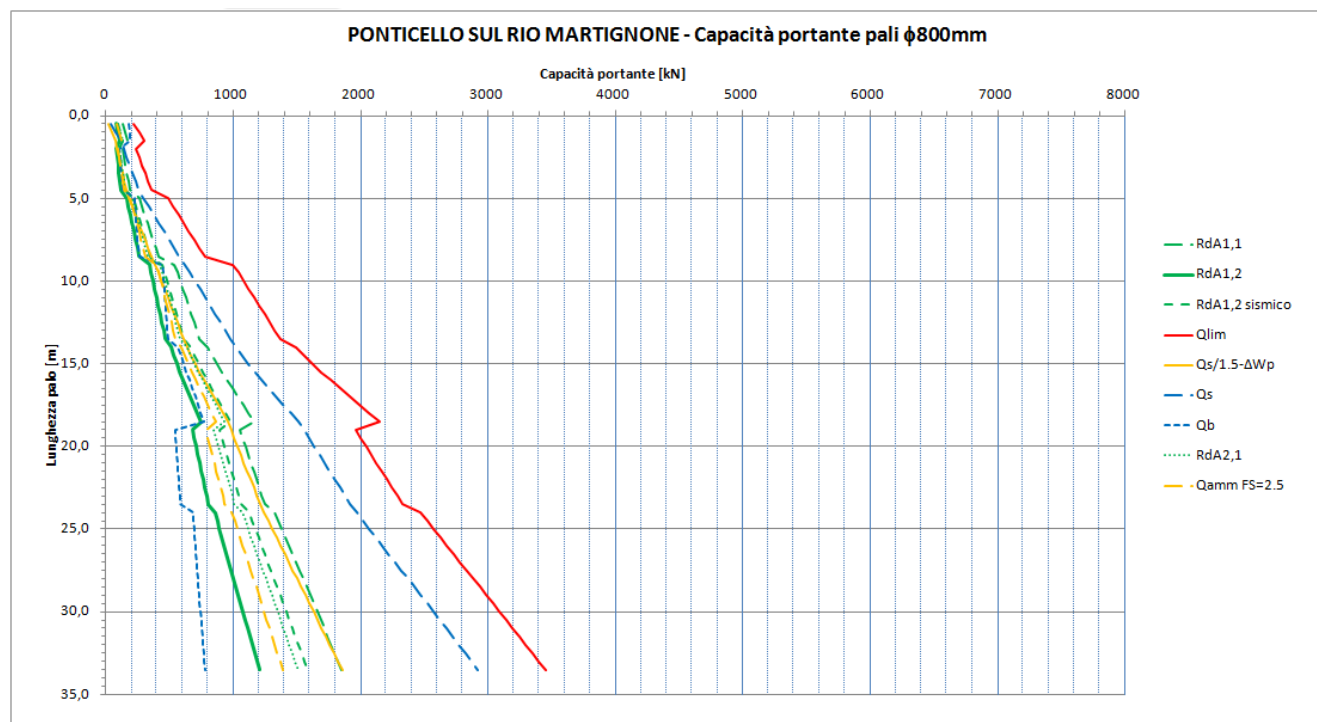


Figura 5-6: curve di capacità portante per pali $\Phi 800$ in corrispondenza del ponticello sul Rio Martignone.

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DEI PALI DI FONDAZIONE

6.1 Cedimento del palo singolo soggetto a carico assiale

Il punto di partenza naturale per l'analisi del comportamento di una palificata è lo studio del palo singolo o isolato. Per la valutazione dei cedimenti di pali verticali caricati verticalmente sono proposti, in letteratura, differenti metodi. Tra questi, uno dei più diffusi è il "metodo delle curve di trasferimento", proposto originariamente da Coyle e Reese (1966), che utilizza dati empirici rilevati nel corso di prove di carico su pali in vera grandezza o in scala ridotta opportunamente strumentati. Dall'elaborazione di tali dati, gli autori hanno costruito le curve di trasferimento (note anche in letteratura come curve t - z , di cui un esempio in Figura 6-1), che legano la tensione tangenziale τ mobilitata all'interfaccia palo-terreno, ad una generica profondità, allo spostamento relativo fra palo e terreno. La tensione tangenziale τ viene espressa, in genere, come aliquota della resistenza a taglio τ_{lim} del terreno alla profondità considerata.

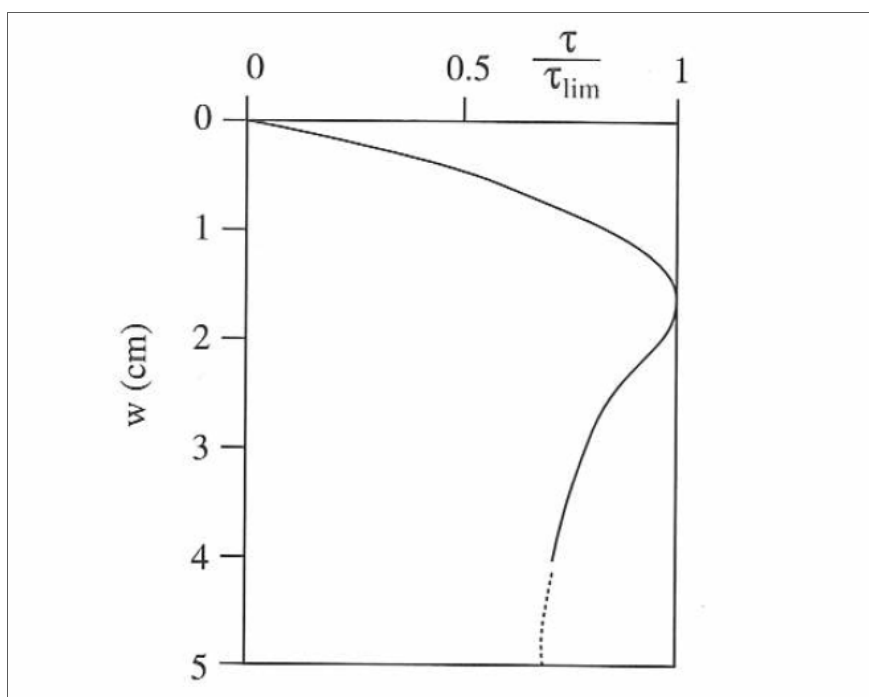


Figura 6-1: esempio di curva di trasferimento.

In letteratura sono riportati numerosi esempi di curve di trasferimento. Note le caratteristiche geometriche ed elastiche del palo, la costituzione del sottosuolo e le proprietà dei terreni, esse consentono di costruire la curva carico-cedimento di un palo con un procedimento numerico per tentativi inverso di quello usato per dedurre dai dati sperimentali la curva di trasferimento.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

Operativamente, il metodo si articola come segue (C. Viggiani, Fondazioni).

1. Il palo viene suddiviso in un numero n di conci.
2. Si imprime all'estremità inferiore del palo un cedimento w_p .
3. Si calcola lo sforzo alla punta P mobilitato da tale spostamento. Ciò può essere fatto utilizzando una curva di trasferimento per la punta.
4. Si assume un valore dello spostamento w_n del punto a mezz'altezza dell'ultimo concio di palo. Nel primo passo di calcolo si potrà assumere $w_n = w_p$.
5. Con il valore di w_n si entra nell'appropriata curva di trasferimento e, noto il valore della resistenza a taglio del terreno alla profondità in esame, si calcola la tensione tangenziale τ_n mobilitata al contatto; si suppone τ_n costante su tutto il concio.
6. Il carico Q_n agente nel fusto del palo alla sommità del concio n può allora essere così espresso:

$$Q_n = P + \tau_n \cdot \pi \cdot d \cdot l$$

dove $l = L/n$ è la lunghezza di ciascun concio.

7. Lo spostamento verticale del punto a mezz'altezza del concio n , dovuto alla compressione del tratto di palo di lunghezza $l/2$ ad esso sottostante, può allora essere calcolato come segue:

$$v_n = \frac{(3P + Q_n) \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E_p}$$

dove E_p rappresenta il modulo di Young del materiale costituente il palo.

8. Si calcola il nuovo valore di w_n :

$$w'_n = w_p + v_n$$

9. Si paragona w'_n con w_n ; se i due valori differiscono di una quantità maggiore di uno scarto prefissato, i passi da 2 a 9 vengono ripetuti.
10. Quando è stata ottenuta la convergenza con la precisione desiderata, si considera il successivo concio $(n-1)$, e così via finché non si perviene ad un valore del carico Q e dello spostamento w per l'estremità superiore del palo.
11. Il procedimento viene quindi ripetuto per differenti valori iniziali dello spostamento alla punta, ottenendo in tal modo una serie di coppie di valori Q , w del carico e del cedimento alla testa del palo. Con questi potrà essere tracciata, per punti la curva carico-cedimento del palo.

Il metodo si presta all'automazione con algoritmi di calcolo numerico. Nello specifico, i cedimenti sono stati valutati mediante il software *Group 2013.8.19* di Ensoft, sviluppato, tra gli altri, dallo stesso Lymon C. Reese autore del metodo. Oltre all'algoritmo, il software ha implementate le curve di trasferimento per le più comuni tipologie di terreno.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
	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"	

6.2 Cedimento dei pali in gruppo soggetti a carico assiale

L'amplificazione del cedimento per effetto gruppo è funzione:

- del numero di pali della palificata (n);
- della configurazione geometrica del gruppo (s = interasse pali; L = lunghezza pali).

Per la determinazione del coefficiente amplificativo dei cedimenti per effetto gruppo (E_G) si fa riferimento alla correlazione suggerita da Mandolini, Russo, Viggiani, basata sul confronto parametrico di evidenze sperimentali (Figura 6-2) che definisce il parametro:

$$R_G = 0.39 R^{-1.25}$$

essendo:

$$R = \sqrt{\frac{ns}{L}}$$

Il coefficiente amplificativo E_G per effetto gruppo si ottiene dalla seguente espressione:

$$E_G = R_G n$$

	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: Relazione geotecnica delle opere- rev.2 Codice: B.3.4 Data: 21/01/2014
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

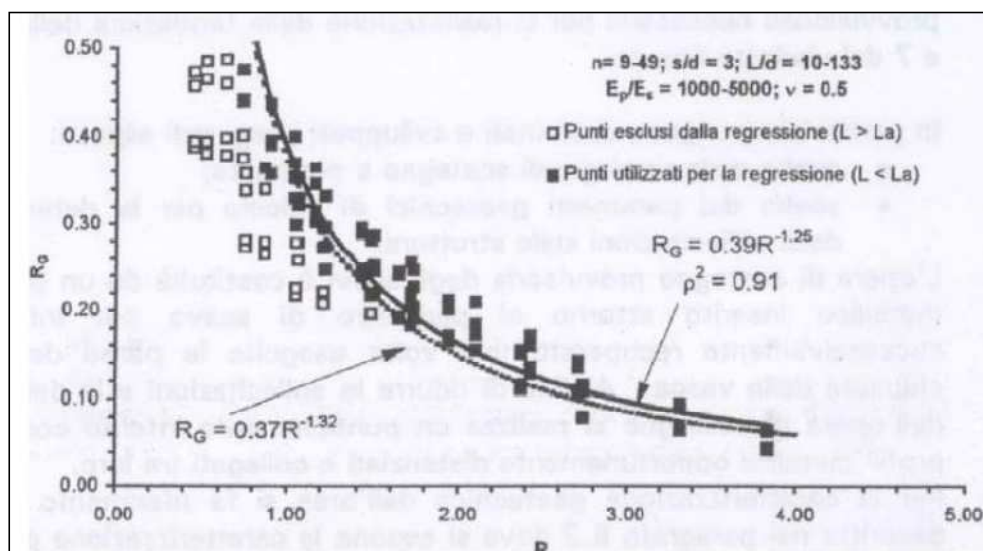


Figura 6-2: amplificazione del cedimento per effetto gruppo.

Noto il cedimento w_{palo} del palo isolato (§ 6.1), il cedimento medio del gruppo è quindi valutato come:

$$w_{\text{gruppo}} = E_G \cdot w_{\text{palo}}$$