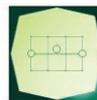


CONCEDENTE



CONCESSIONI  
AUTOSTRADALI  
LOMBARDE

CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO  
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DI CONNESSIONE TRA LE CITTA' DI  
BRESCIA E MILANO

PROCEDURA AUTORIZZATIVA D. LGS 163/2006  
DELIBERA G.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 42/2009

INTERCONNESSIONE A35-A4  
PROGETTO DEFINITIVO

INTERCONNESSIONE A35-A4

PARTE GENERALE

00010 - GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

PROGETTAZIONE:

VERIFICA:



**CONSORZIO B.B.M.**

PER IL CONSORZIO  
IL PROGETTISTA RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

PER IL CONSORZIO  
IL DIRETTORE TECNICO  
IMPRESA PIZZAROTTI E C. S.P.A.  
DOTT. ING. SABINO DEL BALZO  
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI POTENZA N. 631

APPROVATO SDP

I.D.	IDENTIFICAZIONE ELABORATO											PROGR.		DATA:	
EMIT.	TIPO	FASC.	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PARTE	PROGR.	PART. DOC.	STATO	REV.	MARZO	2015	
60402	04	RO	D	I	I1	00	010	00	00	007	00	A	00		

ELABORAZIONE PROGETTUALE	REVISIONE									
	N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO	
IL PROGETTISTA IMPRESA PIZZAROTTI E C. S. P.A. DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821	A	00	EMISSIONE	04/03/15	PIACENTINI	04/03/15	MAZZOLI	04/03/15	MAZZOLI	

	<b>IL CONCEDENTE</b> 	<b>IL CONCESSIONARIO</b>  Società di Progetto <b>Brebemi SpA</b>
--	--------------------------	---

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SdP BREBEMI S.P.A. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE. THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SdP BREBEMI S.P.A. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW

*[Handwritten signature]*

	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	60402-00010-A00.doc	04RODII100010000000700A	00	I di 88

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>DATI DISPONIBILI DA PD DI BREBEMI (ANNI 2002÷2008).....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA PRIMA FASE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE DI PD DI BREBEMI6</b>	
<b>2.1.2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA SECONDA FASE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE DI PD DI BREBEMI .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA TERZA FASE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE DI PD DI BREBEMI7</b>	
<b>2.1.4</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA QUARTA FASE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINE DI PD DI BREBEMI (INTEGRAZIONE) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>INDAGINE INTEGRATIVA DI PE DI BREBEMI (ANNO 2009).....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>QUADRO DI RIFERIMENTO GEOTECNICO.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIZIONE UNITÀ GEOTECNICHE .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI IN SITO – MATRICE GHIAIOSA-SABBIOSA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1</b>	<b>PARAMETRI DI RESISTENZA.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.2</b>	<b>PARAMETRI DI RIGIDEZZA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.3</b>	<b>PESO DI VOLUME.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.4</b>	<b>PERMEABILITÀ .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI IN SITO – LIMI E ARGILLE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.1</b>	<b>PARAMETRI DI RESISTENZA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.2</b>	<b>PARAMETRI DI RIGIDEZZA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.3</b>	<b>PESO DI VOLUME.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.4</b>	<b>PERMEABILITÀ .....</b>	<b>15</b>
<b>3.4</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI DA RILEVATO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5</b>	<b>DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI SOTTOFONDO <math>K_s</math>.....</b>	<b>16</b>

Società di Progetto  
Brebemi SPA



	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	60402-00010-A00.doc	04RODII100010000000700A	00	II di 88

3.6	DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI FALDA.....	18
4	DESCRIZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA LOTTO 0A.....	19
4.1	TRATTA DA PK 0+000 A PK 2+150 .....	22
4.1.1	PROFILO DI PROGETTO .....	22
4.1.2	ABACHI PER LA DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO.....	28
4.2	TRATTA DA PK 2+150 A PK 4+000 .....	32
4.2.1	PROFILO DI PROGETTO .....	32
4.2.2	ABACHI PER LA DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO.....	38
4.3	TRATTA DA PK 4+000 A PK 5+840 .....	42
4.3.1	PROFILO DI PROGETTO .....	42
4.3.2	ABACHI PER LA DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO.....	48
4.4	TRATTA DA PK 5+840 A PK 7+040 .....	52
4.4.1	PROFILO DI PROGETTO .....	53
4.4.2	ABACHI PER LA DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO.....	59
4.5	TRATTA DA PK 7+040 A PK 7+912 .....	63
4.5.1	PROFILO DI PROGETTO .....	64
4.5.2	ABACHI PER LA DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO.....	70
5	PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA DEI RILEVATI .....	75
5.1	GENERALE .....	75
5.2	CRITERI.....	76
5.2.1	CRITERI PER MATERIALI DI SOTTOFONDO GRANULARI O GRANULARI/COESIVI (G O G/C) 76	
5.2.2	CRITERI PER MATERIALI DI SOTTOFONDO COESIVI O COESIVI/GRANULARI (C O C/G)77	
5.2.3	ALTRI CRITERI GENERALI .....	77
5.3	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI .....	78
6	MATERIALI DI RISULTA DAGLI SCAVI .....	81
7	BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	83

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RODII100010000000700A	REV. 00	FOGLIO III di 88
---	--------------------------------	---	------------	---------------------

<b>7.1</b>	<b>NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI .....</b>	<b>83</b>
<b>7.2</b>	<b>DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....</b>	<b>83</b>
<b>7.3</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>83</b>
	<b>APPENDICE A – ESEMPIO DI DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO <math>K_s</math> .....</b>	<b>85</b>

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



III

	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 4 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	-------------------

## 1 PREMESSA

Il presente documento descrive la campagna di indagine eseguita per il Lotto 0A del collegamento BreBeMi (Raccordo Tangenziale Sud di Brescia) e definisce il modello geotecnico di sottosuolo da adottarsi per il raddoppio di carreggiata del lotto 0A della autostrada BreBeMi stessa e dell'interconnessione A35/A4.

Il tracciato autostradale è stato suddiviso in tratte omogenee per stratigrafia, per le quali sono stati definiti i profili ed i parametri geotecnici di progetto da adottarsi per le verifiche di sicurezza e funzionalità delle opere minori (principalmente tombini e sottovia) e dei rilevati.

Per le suddette opere minori, oltre alle stratigrafie ed ai parametri geotecnici di più comune uso, sono forniti degli abachi attraverso i quali è possibile definire il coefficiente di sottofondo ( $K_s$ ) in funzione delle caratteristiche geometriche e del livello di carico della fondazione.

Le ipotesi sulla base delle quali sono definiti tali abachi ed il loro campo di validità sono chiariti in capitolo §3.5.

Per le opere di maggior importanza sono previste specifiche relazioni geotecniche nelle quali sono state sviluppate elaborazioni dati e definiti profili e parametri di progetto di dettaglio a seconda della tipologia di opere e della tipologia di fondazione adottata.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 2 DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI

Di seguito vengono brevemente descritte le campagne di indagine geognostica eseguite in fase di PE e durante le precedenti fasi di progettazione dal 2002 al 2008. Rimangono escluse le indagini di tipo geofisico, descritte nel documento “*Relazione sulle indagini geofisiche – Raccordo Tangenziale Sud di Brescia*” (Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

I risultati di tali campagne d’indagine sono riportati in dettaglio nel documento “*Addendum alla Relazione Geotecnica – Raccordo SP19 – Tangenziale Sud di Brescia - Indagini Geognostiche in sito / Prove di laboratorio*” .

### 2.1 Dati disponibili da PD di BreBeMi (anni 2002÷2008)

Sono state svolte indagini e prove geognostiche costituite da sondaggi a carotaggio continuo, con l’installazione e monitoraggio di piezometri, prove di permeabilità tipo Lefranc e prove penetrometriche dinamiche tipo SPT in foro.

Sui campioni prelevati dai sondaggi, data la loro natura principalmente incoerente e grossolana, sono state condotte prevalentemente prove di laboratorio di classificazione di tipo granulometrico. Nel tratto più prossimo alla città di Brescia, sono state eseguite diverse prove (in particolar modo di tipo speditivo in sito come Torvane e Pocket) per la determinazione della resistenza non drenata data la presenza diffusa di materiali argillosi e limosi.

Al fine di definire in maggior dettaglio le caratteristiche degli strati superficiali (profondità inferiore a 2.5÷3m), sono stati anche eseguiti pozzetti esplorativi.

Di seguito una sintesi delle indagini svolte in fase di PD in prossimità dell’asse stradale:

BreBeMi - Lotto 0A INDAGINI ESEGUITE IN FASE DI PD			
Campagna d'indagine	Anno	N° Sondaggi	N° Pozzetti
Prima fase	2002÷2003	14	2
Seconda fase	2005	0	1
Terza fase	2007÷2008	6	5
Quarta fase	2008	3	0

Sono stati condotti sondaggi a rotazione a carotaggio continuo ad asse verticale spinti sino a profondità variabile tra 20 m e 40 m. Come anticipato, data la natura essenzialmente granulare dei terreni di fondazione, nei fori di sondaggio sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche tipo S.P.T. (Standard Penetration Test) ad intervalli di profondità regolari, e prove di permeabilità di tipo Lefranc.

Ad intervalli regolari ed in corrispondenza delle prove SPT, lungo le verticali di sondaggio, si è proceduto al prelievo di campioni rimaneggiati, che sono stati sigillati e etichettati e poi inviati alle strutture designate per le prove geotecniche di laboratorio.

In corrispondenza dei terreni coesivi, rilevati nel corso dei sondaggi, sono state effettuate sulle carote estratte misure di consistenza con penetrometro tascabile (Pen) e torvane (Tor).

Società di Progetto  
BreBeMi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 6 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	-------------------

Per la definizione del livello della falda freatica, nonché delle sue oscillazioni stagionali, sono stati realizzati una serie di piezometri, installati nei fori di sondaggio, monitorati ad intervalli di tempo regolari. Tali piezometri sono del tipo a tubo aperto in PVC microfessurato e rivestito con calza in tessuto non tessuto nei tratti filtranti.

In corrispondenza dei pozzetti, a profondità variabili generalmente tra 0.5 e 1 m, sono state condotte prove di carico su piastra realizzate secondo la “Norma Svizzera SNV 670317” e norma CNR 146.

Sono inoltre stati prelevati campioni rimaneggiati per prove in laboratorio di classificazione.

Sui campioni di terreno rimaneggiati prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo, sono state condotte prove di laboratorio. L’attività di laboratorio è consistita essenzialmente nella descrizione delle caratteristiche dei campioni pervenuti e nella esecuzione di prove di classificazione con analisi granulometriche.

Sui pochi campioni indisturbati di qualità idonea che è stato possibile prelevare, sono state eseguite prove di classificazione (limiti di Atterberg e granulometria), prove di compressione ad espansione laterale libera ELL e prove edometriche.

### 2.1.1 Descrizione della prima fase della campagna di indagine di PD di BreBeMi

Le indagini in sito sono state condotte dalla GEOTECNICA VENETA srl, di Olmo di Martellago (VE) e quelle in laboratorio dalla S.G.A.I. srl, di Morciano di Romagna (RN). La direzione dei lavori di indagine è stata curata da SYNTHESIS PROGETTI srl, di Brescia.

Di seguito vengono riportate in forma sintetica le attività della campagna di indagine effettuata.

Si precisa che ciascuna Impresa incaricata della campagna di indagini ha provveduto all’ubicazione planimetrica delle attività effettuate in campo.

Indagini in sito:

- n. 14 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità variabile tra i 20 e 30m dal piano campagna;
- n. 2 pozzetti esplorativi spinti sino a profondità di 3m circa;
- n. 241 prove penetrometriche di tipo dinamico in foro tipo SPT;
- n. 3 prove di permeabilità tipo Lefranc in foro di sondaggio;
- n. 3 piezometri del tipo a tubo aperto in foro di sondaggio;

Prove di laboratorio:

- apertura, descrizione e prove di classificazione su n. 28 dei campioni rimaneggiati prelevati.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 7 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	-------------------

### 2.1.2 Descrizione della seconda fase della campagna di indagine di PD di BreBeMi

Le ditte (imprese e laboratori) che hanno svolto le indagini della Prima Fase hanno confermato il loro impegno anche per la Seconda Fase ad eccezione del laboratorio S.G.A.I. che è stato sostituito da ISMES Geotecnica.

La direzione dei lavori di indagine è stata condotta dalla Società di Ingegneria Idroesse Infrastrutture.

Di seguito vengono riportate in forma sintetica le attività della campagna di indagini effettuate.

Si precisa che ciascuna Impresa incaricata della campagna di indagini ha provveduto all'ubicazione cartografica delle attività effettuate in campo.

Indagini in sito:

- n. 1 pozzetto esplorativo spinto sino a profondità di 2m circa;

Prove di laboratorio:

- apertura, descrizione e prove di classificazione su n. 28 dei campioni rimaneggiati prelevati.

### 2.1.3 Descrizione della terza fase della campagna di indagine di PD di BreBeMi

Le ditte (imprese e laboratori) che hanno svolto le indagini della Seconda Fase hanno confermato il loro impegno anche per la Terza Fase.

La direzione dei lavori di indagine è stata condotta dalla Società di Ingegneria Idroesse Infrastrutture.

Di seguito vengono riportate in forma sintetica le attività della campagna di indagine effettuata.

Si precisa che ciascuna Impresa incaricata della campagna di indagini ha provveduto all'ubicazione cartografica delle attività effettuate in campo.

Indagini in sito:

- n.6 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità variabile tra i 20 e 40 dal piano campagna;
- n.5 pozzetti esplorativi spinti sino a profondità di 3m circa;
- n.35 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- n.2 piezometri a tubo aperto.

Prove di laboratorio:

- apertura, descrizione e prove di classificazione granulometrica di n. 18 campioni rimaneggiati prelevati in sito.

Società di Progetto  
Ambeni SpA



#### 2.1.4 Descrizione della quarta fase della campagna di indagine di PD di BreBeMi (integrazione)

Ad integrazione delle indagini precedenti ne sono state effettuate ulteriori dalla RCT srl, di Peschiera Borromeo (MI).

Di seguito vengono riportate in forma sintetica le attività della campagna di indagini effettuate.

Si precisa che l'Impresa incaricata della campagna di indagini ha provveduto all'ubicazione cartografica delle attività effettuate in campo.

Indagini in sito:

- n. 3 sondaggi con perforazione a distruzione di nucleo spinti sino alla profondità di 35m dal piano campagna;
- n.3 piezometri a tubo aperto.

Dal momento che tali sondaggi sono stati eseguiti a distruzione di nucleo con l'intento di installare dei piezometri, non sono stati raccolti campioni di terreno.

## 2.2 Indagine integrativa di PE di BreBeMi (anno 2009)

L'indagine integrativa di PE è definita e descritta in dettaglio nel documento "Specifiche indagini integrative di PE – Lotto 0A".

Sono state svolte indagini e prove geognostiche costituite da sondaggi a carotaggio continuo, con l'installazione e monitoraggio di piezometri e con prove penetrometriche dinamiche tipo SPT in foro. Sui campioni prelevati dai sondaggi, data la loro natura principalmente incoerente e grossolana, sono state condotte prevalentemente prove di laboratorio di classificazione di tipo granulometrico.

In questa fase è stata completata la caratterizzazione degli strati superficiali (profondità inferiore a 2.5÷3m), eseguendo pozzetti esplorativi con spaziatura variabile tra circa 0.3km e 1km lungo l'asse autostradale, in corrispondenza dei quali sono state condotte prove di carico su piastra e prelevati campioni sottoposti in laboratorio a prove di classificazione.

Di seguito una sintesi delle indagini integrative svolte in fase di PE:

BreBeMi - Lotto 0A			
Campagna d'indagine	Anno	N° Sondaggi	N° Pozzetti
PE	2009	21	13

Le indagini in sito sono state eseguite da GEOTEC S.p.A. mentre le prove di laboratorio sono state eseguite da ISOGEA S.r.l.

Un riepilogo delle indagini eseguite è riportato in **Tabella 2.1** per i sondaggi ed in **Tabella 2.2** per i pozzetti esplorativi.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi DETTAGLIO INDAGINI ESEGUITE IN FASE DI PE - Lotto 0A							
Sondaggio	L (m)	N° Campioni	N° Granulometrie	N° Limiti di Atterberg	N° Prove ELL	N° Prove CIU	N° Edometriche
SE1Apz	30	7	7	-	-	-	-
SE2A	35	8	8	-	-	-	-
SE3Apz	35	8	8	-	-	-	-
SE4Apz	35	7	7	-	-	-	-
SE5A	35	7	7	-	-	-	-
SE6Apz	35	8	8	-	-	-	-
SE7Apz	35	6	6	-	-	-	-
SE8A	35	7	7	-	-	-	-
SE9Apz	35	7	7	-	-	-	-
SE10A	35	7	7	-	-	-	-
SE11Apz	35	6	6	1	1	1	1
SE12Apz	25	6	6	-	-	-	-
SE13Apz	30	6	6	-	-	-	-
SE14Apz	30	6	6	1	1	1	1
SE15A	35	8	8	1	1	1	1
SE16Apz	20	4	4	1	1	1	1
SE17Apz	35	6	6	1	1	1	1
SE18Apz	30	6	6	-	-	-	-
SE19A	30	7	7	-	-	-	-
SE20Apz	30	7	7	-	-	-	-
SE21A	30	7	7	-	-	-	-

Tabella 2.1 – Riepilogo indagini eseguite in corrispondenza dei sondaggi integrativi di PE

BreBeMi DETTAGLIO INDAGINI ESEGUITE IN FASE DI PE - Lotto 0A				
Pozzetto	z (m)	N° Campioni	N° Granulometrie	N° Prove carico su piastra
TE01A	2.5	3	3	1
TE02A	2.5	3	3	1
TE03A	1.2	3	3	1
TE04A	1.2	N.D.	N.D.	2
TE05A	1.2	3	3	1
TE06A	1.2	3	3	2
TE07A	1.2	2	2	1
TE08A	1.1	2	2	2
TE09A	1.2	2	2	2
TE10A	1.2	4	4	2
TE11A	1.2	3	3	2
TE12A	1.2	N.D.	N.D.	2
TE13A	1.2	2	2	1

Tabella 2.2 – Riepilogo indagini eseguite in corrispondenza dei pozzetti integrativi di PE

	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 10 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

### 3 QUADRO DI RIFERIMENTO GEOTECNICO

#### 3.1 Descrizione unità geotecniche

Sulla base delle descrizioni stratigrafiche riportate nei certificati dei sondaggi e sulla base delle prove granulometriche eseguite sui campioni di materiale raccolti, sono state definite le seguenti unità geotecniche principali:

**0 – Ricoprimento di origine antropica:** Unità caratterizzata prevalentemente da materiali di riporto in cui sono stati individuati: sfridi di demolizioni edili, materiali inerti e terreni; sono inclusi quelli che costituiscono il riempimento di cave abbandonate, di aree depresse o di rilevati artificiali. Può essere composta da matrici sia prettamente granulari che fini e presenta normalmente scarse proprietà meccaniche.

**I – Ghiaia e ciottoli:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di ghiaia ed una significativa percentuale di ciottoli eterometrici. Le proprietà meccaniche ed il livello di addensamento possono variare in maniera significativa a seconda della presenza di frazioni granulometriche fini in grado di riempire i vuoti lasciati dalle frazioni più grossolane.

**Ila – Ghiaia con elevato grado d’addensamento:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di ghiaia normalmente accompagnata da significative percentuali di sabbia. Il grado di addensamento “elevato” viene convenzionalmente definito nel caso in cui il numero di colpi  $N_{SPT}$  registrato in questi materiali superi i 30 colpi. Quest’unità è normalmente caratterizzata da proprietà meccaniche da buone ad ottime.

**Ilb – Ghiaia con basso grado d’addensamento:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di ghiaia normalmente accompagnata da significative percentuali di sabbia. Il grado di addensamento “basso” viene convenzionalmente definito nel caso in cui il numero di colpi  $N_{SPT}$  registrato in questi materiali sia inferiore a 30 colpi. Quest’unità è normalmente caratterizzata da proprietà meccaniche da medie a buone.

**III – Sabbia con ghiaia / ghiaiosa:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di sabbia accompagnata da significative percentuali di ghiaia. Il grado di addensamento risulta spesso elevato a causa della presenza di significative percentuali di materiali fini in grado di riempire i vuoti lasciati dalle frazioni granulometriche più grossolane. Quest’unità è normalmente caratterizzata da proprietà meccaniche da medie a buone.

**IV – Sabbia con limo / limosa:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di sabbia accompagnata da significative percentuali di limo. Al crescere della percentuale della componente limosa si riscontra una riduzione sempre più significativa delle proprietà meccaniche dell’unità rispetto a quelle medie-buone che caratterizzano l’unità III. Si tratta spesso di strati di passaggio dall’unità III a veri e propri strati di materiali fini (unità V o VI).

Società di Progetto  
Brebem SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 11 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

**V – Limo:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di limo, in genere accompagnata da sabbia e ghiaia.

**VI – Argilla:** Unità caratterizzata da una percentuale dominante di argilla, in genere accompagnata da sabbia e ghiaia.

**VII – Conglomerato:** Unità caratterizzata dalla presenza di ghiaia e ciottoli con un significativo grado di cementazione. Tale unità è stata assegnata solo ai tratti in cui la cementazione risultava diffusa e continuativa e per spessori rilevanti (decimetrici o metrici). Nei restanti casi in cui la cementazione risulta riferita a livelli centrimetrici solo localmente, è stato riportata una nota sul profilo geotecnico di riferimento per segnalare la presenza.

Le otto unità sopra definite sono state utilizzate per classificare i materiali incontrati lungo le verticali d'indagine e proseguire quindi alla definizione dei profili geotecnici di dettaglio.

Le unità I, IIa, IIb, III, IV e VII compongono la “matrice ghiaiosa-sabbiosa” che caratterizza la maggior parte dei materiali di sottofondo del tracciato autostradale. Tale matrice viene caratterizzata attraverso parametri geotecnici in condizioni drenate definiti a partire dai risultati di prove penetrometriche standard (SPT) effettuate in corrispondenza dei fori di sondaggio. Nella definizione dei parametri caratteristici si è tenuto in conto della probabile influenza della frazioni granulometriche più grossolane sui risultati delle prove SPT.

Le unità V e VI sono state definite attraverso parametri geotecnici sia in condizioni drenate che in condizioni non drenate. Per quest'ultimi, quando possibile, si è fatto riferimento a prove in sito (Penetrometro Portatile, Vane test) o di laboratorio (Prove triassiali o edometriche). In mancanza di tali dati o in caso di discordanze tra di essi, si sono adottati parametri cautelativi tipici di materiali di questo tipo.

## 3.2 Caratteristiche geotecniche dei materiali in sito – Matrice Ghiaiosa-Sabbiosa

### 3.2.1 Parametri di resistenza

La matrice ghiaiosa-sabbiosa è stata caratterizzata attraverso l'angolo di resistenza al taglio caratteristico in condizioni drenate  $\phi'_k$ .

Sulla base dei valori di  $N_{SPT}$  registrati durante le prove penetrometriche dinamiche è stato innanzitutto stimata la densità relativa del materiale secondo la relazione di Skempton (1986, Rif.7.3.3).

Sulla base di tali valori, utilizzando la correlazione empirica di Schmertmann (1975, Rif.7.3.9), sono stati stimati i valori di angolo di resistenza al taglio di picco.

Sulla base di tali valori è stato definito un angolo di resistenza al taglio caratteristico da  $N_{SPT}$  ( $\phi'_{k_{SPT}}$ ).

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 12 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

Sulla base del valore di densità relativa caratteristico e sulla base della granulometria dei materiali, è stato valutato inoltre un angolo di resistenza al taglio caratteristico di controllo ( $\phi'_{k\_CONTROLO}$ ) definito sulla base di altre correlazioni empiriche di carattere più generale (Rif.7.3.14).

Il valore di angolo di resistenza al taglio caratteristico  $\phi'_k$  è stato infine definito a partire dai due valori di cui sopra, considerando la tipologia di fondazione adottata (principalmente di tipo superficiale) e quindi lo stato tenso-deformativo atteso per il terreno in sito.

### 3.2.2 Parametri di rigidezza

Dato il comportamento fortemente non lineare dei terreni, per poter utilizzare un modello di calcolo semplificato basato su un legame costitutivo elastico è necessario definire il modulo elastico secante  $E$  in corrispondenza del valore di deformazione del materiale atteso in sito.

Sono stati definiti due diversi valori del modulo elastico:

- $E_{0,1}$ , corrispondente al modulo elastico secante per valori di deformazione dello 0,1%;
- $E_{25}$ , corrispondente al modulo elastico secante per un grado di mobilitazione della resistenza pari al 25% di quella ultima.

Entrambi i moduli sono stati stimati a partire dai valori di  $N_{SPT}$  registrati durante le prove penetrometriche dinamiche; in particolare si è utilizzata la correlazione proposta da Berardi e Lancellotta (1991, Rif.7.3.1 e Rif.7.3.2) per stimare il modulo  $E_{0,1}$ , mentre si è fatto riferimento alla correlazione proposta da Jamiolkowsky (1988, Rif.7.3.4) per stimare il modulo  $E_{25}$ .

Per le aree in cui sono state realizzate prove tipo cross-hole (si veda Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per dettagli), il modulo  $E_{0,1}$  ottenuto dai valori di  $N_{SPT}$  è stato confrontato con quello ottenibile a partire dalla velocità delle onde di taglio.

Per entrambi i casi (modulo  $E_{0,1}$  e  $E_{25}$ ), gli andamenti ottenuti sono in generale caratterizzati da una considerevole variabilità del modulo stimato a parità di profondità considerata. I profili caratteristici sono stati definiti considerando generalmente un andamento lineare crescente nei primi 15÷25m di profondità ed un modulo costante con la profondità a seguire.

### 3.2.3 Peso di volume

Per tutta la tratta, sulla base della granulometria media e di alcune prove di laboratorio specifiche eseguite in fase di PD, è stato assunto per la matrice ghiaiosa-sabbiosa un peso di volume naturale  $\gamma_n$  pari a 20 kN/m<sup>3</sup> ed un peso di volume sommerso  $\gamma'$  pari a 11 kN/m<sup>3</sup>.

Quest'assunzione fornisce un ragionevole valore medio del peso di volume per un materiale di questo tipo caratterizzato da gradi di addensamento medi o alti.

### 3.2.4 Permeabilità

La permeabilità della matrice sabbiosa ghiaiosa è stata stimata sulla base di alcune prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio (quando disponibili, si veda l' "Addendum alla relazione

Società di Progetto  
Brebemì SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 13 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

geotecnica – Raccordo SP19” per i dettagli) e sulla base della granulometria dei campioni raccolti.

In generale, si è evidenziato che la presenza di significative frazioni di materiale fine (da 5% al 20%) nella matrice ghiaiosa-sabbiosa ha comportato misure di valori del coefficiente di permeabilità mai superiori a  $10^{-5}$  m/s. Tale risultato è in linea anche con quanto individuato per le stesse formazioni lungo l’asse principale del tracciato autostradale dove il valore massimo di permeabilità si attestava intorno ai  $10^{-4}$  m/s.

Si deve comunque segnalare che le prove in sito effettuate hanno per lo più interessato strati di materiale situati a profondità medie o alte, ed i risultati di tali misure sono stati estesi anche a strati più superficiali.

Data la forte dipendenza di questo parametro dalla percentuale di materiale fine effettivamente presente, sono stati stimati intervalli del coefficiente di permeabilità con una variabilità di due ordini di grandezza mantenendo (per quanto possibile) i valori misurati al centro dell’intervallo di progetto così definito.

E’ necessario sottolineare che, sulla base delle prove in sito effettuate, non è possibile definire con maggior precisione la permeabilità dei materiali in sito che, con ogni probabilità, varierà in maniera significativa lungo il tracciato in funzione dell’effettiva percentuale di materiale fine presente nella matrice ghiaiosa-sabbiosa, secondo quanto indicato nelle tabelle relative ai profili di progetto.

In tal senso tutte le considerazioni di tipo idraulico che si basano sul valore di permeabilità del terreno in sito dovranno tenere conto di questa possibile variabilità significativa.

### 3.3 Caratteristiche geotecniche dei materiali in sito – Limi e Argille

#### 3.3.1 Parametri di resistenza

Per i materiali a matrice fine vengono definiti parametri di resistenza in condizioni drenate e non drenate.

In condizioni drenate, non essendo disponibili specifiche prove di laboratorio, si assume (sulla base delle usuali indicazioni di letteratura) che la resistenza di tali materiali possa essere stabilita come segue:

Limi:  $\phi'_k = 30^\circ$ ;

Argille:  $\phi'_k = 28^\circ$ .

Nel caso di depositi fortemente sovraconsolidati viene stimato il valore di coesione efficace  $c'$  sulla base di correlazioni empiriche presenti in letteratura (Mesri, 1993 Rif. 7.3.14).

Per le condizioni non drenate, viene valutato innanzitutto il valore minimo di coesione non drenata del materiale definito a partire dalla relazione di Jamiolkowsky (Rif.7.3.14) per materiali fini normal-consolidati:

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 14 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

$$C_U = 0.24\sigma'_{v0}$$

Con  $\sigma'_{v0}$  sforzo verticale efficace alla quota di riferimento.

Nei grafici in cui sono definiti i valori di coesione non drenata caratteristici ( si veda §4) sono riportati i valori di  $C_U$  sulla base del valore di sforzo verticale calcolato considerando diversi livelli di falda:

- Livello di falda registrato durante l'esecuzione dei sondaggi (punti blu);
- Falda a piano campagna (prima linea tratteggiata grigia);
- Falda non presente (seconda linea tratteggiata grigia).

Il valore di coesione non drenata così calcolato rappresenta un limite inferiore che, nel caso in cui siano disponibili prove in sito (SPT, penetrometro tascabile o vane test) o prove di laboratorio (prove triassiali ELL o CIU) viene aggiornato con valori caratteristici definiti a partire dai risultati di tali prove.

Si sottolinea che, quando il numero di prove eseguite sugli strati di materiale fine risulta ridotto, sono stati assunti valori di coesione non drenata caratteristica cautelativi.

I valori cautelativi di  $C_U$  adottati per gli strati più superficiali sono stati definiti nelle tabelle al §4 con lo scopo di stimare valori prudenti della deformabilità dei materiali (si veda §3.3.2) in vista delle verifiche dei cedimenti.

Si deve peraltro sottolineare che i materiali coesivi compresi entro 4÷5m da P.C. sono sistematicamente soggetti al fenomeno di "indurimento" conseguente al fenomeno di essiccazione legato alle oscillazioni del livello di falda (alla scale dei tempi geologici).

I fenomeni di cui sopra comportano un incremento della coesione non drenata, a livelli non inferiori a 30÷40 kPa. A tale valore minimo si farà riferimento per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali.

### 3.3.2 Parametri di rigidità

In generale per materiali a matrice fine normal-consolidati vengono stimati i valori di modulo elastico a breve ( $E_U$ ) e lungo termine ( $E_{LT}$ ) secondo le due seguenti correlazioni empiriche presenti in letteratura (Rif.7.3.14):

$$E_U = 400 \times C_U$$

$$E_{LT} = 120 \times C_U$$

Tali valori vengono confrontati con i risultati di specifiche prove di laboratorio (edometriche) nei casi in cui queste siano disponibili.

Per depositi sovraconsolidati i valori di modulo elastico a breve termine vengono stimati sulla base di correlazioni empiriche presenti in letteratura che definiscono tale parametro sulla base del grado di sovraconsolidazione ed indice di plasticità del materiale (Rif.7.3.14). I moduli a lungo termine vengono invece definiti sulla base dei risultati delle prove edometriche.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebem SpA



### 3.3.3 Peso di volume

Per tutta la tratta, sulla base della granulometria e di alcune prove di laboratorio specifiche eseguite in fase di PD, si è assunto per gli strati di materiale fine (limi e argille) un peso di volume naturale  $\gamma_n$  pari a 20 kN/m<sup>3</sup> ed un peso di volume sommerso  $\gamma'$  pari a 11 kN/m<sup>3</sup>.

### 3.3.4 Permeabilità

In assenza di specifiche indagini geognostiche, per gli strati di materiale fine si sono assunti valori del coefficiente di permeabilità,  $k$ , basati esclusivamente sulla descrizione del materiale.

In particolare:

- $k = 10^{-8} \div 10^{-9}$  m/s per Limi;
- $k = 10^{-9} \div 10^{-11}$  m/s per Argille.

## 3.4 Caratteristiche geotecniche dei materiali da rilevato

Per i materiali da rilevato, ed in generale i materiali da riempimento, potranno essere utilizzati materiali di risulta dagli scavi appartenenti alle categorie A1, A3, A2 secondo normativa C.N.R. U.N.I. 10006.

In base alle caratteristiche granulometriche ed alle richieste che si stabiliranno per l'addensamento in sito, si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici e di progetto:

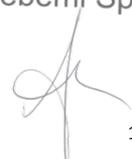
Caratterizzazione dei materiali da rilevato/reinterri																
Parametri in condizioni drenate					Spinta a riposo			Spinta attiva			Spinta Passiva			Peso di volume		Permeabilità
$\phi'_k$	$\phi'_{dM1}$	$\phi'_{dM2}$	$E'_{25}$	$E_{UR}$	$K_{Ok}$	$K_{OM1}$	$K_{OM2}$	$K_{Ak}$	$K_{AM1}$	$K_{AM2}$	$K_{Pk}$	$K_{PM1}$	$K_{PM2}$	naturale $\gamma_n$	sommerso $\gamma'$	$k$
(°)	(°)	(°)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)
38	38	32	40	120	0.380	0.380	0.470	0.238	0.238	0.307	4.200	4.200	3.250	20	11	$1 \times E^{-3} \div E^{-5}$

I coefficienti di spinta sono calcolati secondo la teoria di Caquot - Kerisel ipotizzando angolo d'attrito tra terreno e struttura di sostegno  $\delta = 0$  e che altresì il terreno a monte/valle del sostegno (rispettivamente per il calcolo di  $K_A$  e  $K_P$ ) sia orizzontale ( $\beta = 0^\circ$ ). Nel caso in cui tali ipotesi iniziali non fossero rappresentative del problema in oggetto, i valori delle spinte dovranno essere calcolati nuovamente utilizzando la medesima teoria.

in cui:

- $\phi'_k$  Angolo di resistenza al taglio caratteristico;
- $\phi'_{dM1}$  Angolo di resistenza al taglio di progetto secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
- $\phi'_{dM2}$  Angolo di resistenza al taglio di progetto secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
- $E'_{25}$  Modulo elastico secante corrispondente alla mobilitazione del 25% della resistenza del terreno;
- $E_{UR}$  Modulo elastico secante in ricarico;
- $K_{Ok}$  Valore caratteristico del coefficiente di spinta a riposo;

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 16 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

$K_{0M1}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta a riposo secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$K_{0M2}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta a riposo secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$K_{Ak}$	Valore caratteristico del coefficiente di spinta attiva;
$K_{AM1}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta attiva secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$K_{AM2}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta attiva secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$K_{Pk}$	Valore caratteristico del coefficiente di spinta passiva;
$K_{PM1}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta passiva secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$K_{PM2}$	Valore di progetto del coefficiente di spinta passiva secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$\gamma_n$	Peso di volume naturale;
$\gamma'$	Peso di volume sommerso;
$k$	Coefficiente di permeabilità.

Si segnala quanto segue:

- i parametri di rigidezza adottati fanno riferimento ad un materiale adeguatamente compattato, come definito all'articolo 2 del "Capitolato speciale: norme tecniche";
- i coefficienti di spinta sono calcolati secondo la teoria di Caquot - Kerisel ipotizzando angolo d'attrito tra terreno e struttura di sostegno  $\delta = 0$  e che il terreno a monte/valle del sostegno (rispettivamente per il calcolo di  $K_A$  e  $K_P$ ) sia orizzontale ( $\beta = 0^\circ$ ). Nel caso in cui tali ipotesi iniziali non fossero rappresentative del problema in oggetto, i valori delle spinte dovranno essere calcolati nuovamente utilizzando la stessa teoria.

In linea di massima l'ipotesi di cui sopra può essere considerata valida per tutte quelle opere (sottovia/tombini) che verranno realizzate in sito e successivamente interrato con progressivo riempimento laterale con terreno da rilevato/riempimento. Per molte delle opere di cui sopra è prevista la messa in opera di una impermeabilizzazione posizionata tra l'opera stessa ed il riempimento laterale che impedirà sostanzialmente che si sviluppi attrito tra le pareti dell'opera ed il terreno circostante.

### 3.5 Definizione dei coefficienti di sottofondo $K_s$

Ai fini del calcolo strutturale di tutta una serie di opere minori di tipo scatolare (sottovia, tombini) che attraversano il corpo autostradale è stata richiesta la definizione di un coefficiente di sottofondo  $K_s$  attraverso il quale simulare l'effetto del terreno alla base delle opere.



PROVATO SDR

	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 17 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

Il coefficiente di sottofondo  $K_s$  è definito come rapporto tra la pressione  $p$  esercitata su una fondazione ed il corrispondente cedimento  $s$ :

$$K_s = \frac{p}{s} \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$K_s$  dipende in maniera significativa da:

- Profilo di rigidità del sottosuolo nell'area di influenza della fondazione;
- Dimensioni della fondazione;
- Quota d'imposta della fondazione da P.C.;
- Pressione esercitata dalla fondazione sul terreno.

A sua volta la rigidità del terreno dipende dallo stato di sforzo a cui è sottoposto e dalla storia di carico del terreno (si veda Rif.7.3.1 e Rif.7.3.2 per dettagli sul metodo di Berardi).

D'altro canto per le opere minori in oggetto non sono disponibili indagini geognostiche che abbiano indagato l'effettiva stratigrafia locale presente al di sotto della singola opera, ma sono stati definiti dei profili di progetto medi per "tratta omogenea" che schematizzano il comportamento atteso del terreno di sottofondo.

Per questo motivo è stato prudentemente utilizzato per la definizione di  $K_s$  un profilo di rigidità del terreno basato sui moduli  $E_{25}$  (come definiti al §4, si veda anche Rif.7.3.4 per dettagli) più adeguato alla luce del dettaglio di conoscenza del sottosuolo per le opere in oggetto, onde evitare di introdurre un livello di sofisticazione della formulazione del calcolo non sostenuta da un altrettanto dettagliata disponibilità di indagini, ovvero tale da fornire solo una apparente maggiore precisione.

Si è inoltre ritenuta soddisfacente per le opere in oggetto una modellazione che consideri un andamento del coefficiente di sottofondo indipendente dalla posizione al di sotto della fondazione (centro o spigoli).

Alla luce del numero significativo di opere minori per le quali è necessario definire il coefficiente  $K_s$ , si è deciso di sviluppare degli abachi attraverso i quali, una volta noti i valori di  $B$  (lato minore fondazione),  $z$  (quota d'imposta fondazione),  $p$  (pressione esercitata dalla fondazione sul terreno) e la  $P_k$  di riferimento dell'opera, sia possibile definire il valore di  $K_s$  da utilizzare per l'opera in oggetto.

Per ognuna delle tratte omogenee in cui è stato suddiviso l'asse principale (si veda §4 per i dettagli), sono stati eseguiti dei calcoli parametrici di cedimento secondo il metodo del cedimento monodimensionale descritto al §9.4.1 della relazione metodologica (Rif.7.2.2) in cui sono stati fatti variare i valori di  $B$ ,  $z$  e  $p$  e quindi calcolati i corrispondenti valori di  $K_s$  sulla base

della definizione  $K_s = \frac{p}{s}$  con  $s$  cedimento totale ottenuto.

Il calcolo è stato basato sulle seguenti ipotesi:

- Comportamento rigido della fondazione;

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 18 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

- Estensione dell'area di influenza lungo la quale è calcolato il cedimento fino alla quota in cui il carico trasmesso dalla fondazione comporta un incremento del 15% dello stato di sforzo iniziale presente nel terreno;
- Aree di carico di lati B variabile ed L = 100m (schematizzazione di aree di carico "infinitamente estese");
- Suddivisione del carico totale trasmesso dalla fondazione al terreno (p) in due parti, una prima parte di "ricarico",  $p_0 = z \cdot \gamma'$ , in cui la rigidità del terreno viene assunta pari al triplo della rigidità del terreno in condizione di "carico vergine", ed una seconda fase di "carico vergine" in cui si sviluppano i cedimenti per il restante valore di pressione  $p_v = p - p_0$ .

Sono stati considerati i seguenti valori dei parametri di progetto:

- Lato minore della fondazione B = 1, 2, 3, 5, 10, 15 e 20m;
- Quota d'imposta z = -1m, -5m e -10m;
- Pressione trasmessa dalla fondazione al terreno p = 50, 100, 150, 200, 250kPa;

Per ogni tratta sono stati prodotti quindi 3 abachi (uno per ogni quota d'imposta z considerata) in cui è definito il valore di  $K_s$  in funzione della larghezza della fondazione B e del carico totale p agente su di essa.

Per definire il valore di  $K_s$  per valori intermedi di B, z e p tra quelli proposti è possibile eseguire una interpolazione lineare tra i valori appena superiore ed inferiore a quello d'interesse. Un esempio pratico di come effettuare tale interpolazione è riportato in APPENDICE A.

Gli abachi ottenuti sono riportati in §4.

### 3.6 Definizione del livello di falda

Sono stati definiti i livelli di falda di cantiere (da considerarsi per la progettazione delle opere provvisorie) e falda di progetto (da considerarsi per la progettazione delle opere definitive). Tali livelli sono riportati nei relativi profili idrogeologici in funzione della progressiva chilometrica di riferimento (Rif.7.2.4), mentre i criteri adottati per la loro definizione sono riportati in relazione idrogeologica (Rif.7.2.5).

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 19 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

#### 4 DESCRIZIONE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA LOTTO 0A

La caratterizzazione geotecnica qui riportata è basata su semplificazioni ed ipotesi da ritenersi valide per tutte quelle opere per le quali non è stata redatta una specifica relazione geotecnica, vale a dire:

- Sottovia / tombini / Ponti scatolari;
- Rilevati / trincee;
- Opere provvisionali relative a sottovia / tombini / ponti scatolari.

Nel caso in cui le opere di cui sopra abbiano caratteri di particolarità o superiore importanza ingegneristica, sarà necessario fare riferimento ai profili geotecnici di progetto (Rif.7.2.3) per avere una più chiara comprensione della stratigrafia che potrà essere incontrata in sito ed individuare eventuali criticità.

In generale, la stratigrafia rilevata lungo l'asse principale è caratterizzata dalla presenza di una matrice ghiaiosa-sabbiosa in cui sono localmente inseriti strati di materiali fini discontinui (per lo più limi e talvolta argille) nel primo tratto. Alcuni sondaggi profondi (fino a 40m) hanno individuato la presenza di uno strato profondo di materiale limoso.

In vicinanza alla città di Brescia, approssimativamente a partire dalla progressiva 5+800 circa è invece presente un tratto caratterizzato dalla presenza di terreni coesivi che a partire dalla progressiva 6+700 circa diventano preponderanti con spessori anche di 10m sia superficiali che profondi (oltre i 15m circa).

La suddivisione in tratte "omogenee" definita nei paragrafi seguenti considera sia la presenza di eventuali strati di materiale fine più o meno spessi (unità V e VI), sia il grado di addensamento della matrice ghiaiosa-sabbiosa in cui vengono fatti rientrare tutti i materiali appartenenti alle unità geotecniche I, IIa, IIb, III e IV descritte al §3.1.

Le unità I, IIa, IIb, III, IV e VII compongono la "matrice ghiaiosa-sabbiosa" che caratterizza la maggior parte dei materiali di sottofondo del tracciato autostradale (ad esclusione dell'ultimo tratto in prossimità della città di Brescia). Tale matrice è stata caratterizzata attraverso parametri geotecnici in condizioni drenate definiti a partire dai risultati di prove penetrometriche standard (SPT) effettuate in corrispondenza dei fori di sondaggio. Nella definizione dei parametri caratteristici si è tenuto in conto della probabile influenza della frazioni granulometriche più grossolane sui risultati delle prove SPT.

Le unità V e VI sono state definite attraverso parametri geotecnici sia in condizioni drenate che in condizioni non drenate. Per quest'ultimi, quando possibile, si è fatto riferimento a prove di campo sui campioni (Penetrometro tascabile, Vane test) o di laboratorio (in particolare prove di compressione ad Espansione Laterale Libera). In mancanza di tali dati, sono stati adottati parametri cautelativi tipici di materiali di questo tipo.

Si sottolinea che nelle stratigrafie di progetto l'indicazione di strati di materiale fine non deve essere interpretata come la presenza di livelli continui di limi e/o argille (e quindi di discontinuità idraulica) ma come indicazione della probabile presenza di livelli discontinui di

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Presenza di SpA



materiale fine che, da un punto di vista del comportamento meccanico globale del materiale di sottofondo per la tipologia di opere in oggetto, vengono modellati in tal senso.

Sulla base di queste considerazioni, e sulla base dei profili geotecnici di dettaglio sviluppati a partire dai dati raccolti nel corso delle indagini geognostiche di PD e PE (si veda §2 per dettagli), l'asse del tracciato del raccordo Tangenziale Sud di Brescia è stato suddiviso in 4 tratte omogenee come riportato in **Tabella 4.6**.

Nella stessa **Tabella 4.6** sono riportati anche i sondaggi di riferimento utilizzati per la parametrizzazione geotecnica dei litotipi incontrati. Si segnala che nei casi in cui per una tratta fossero disponibili un numero estremamente ridotto di verticali di indagine (1÷2) si è deciso di integrare tali dati con quelli disponibili da sondaggi ragionevolmente vicini ma appartenenti a tratte attigue. Tale integrazione di dati è stata utilizzata solo al fine della caratterizzazione geotecnica della matrice ghiaiosa-sabbiosa per la quale, assai probabilmente per la presenza di ciottoli e ghiaia, si è osservata una forte dispersione dei dati ricavati dalle prove SPT che, nel caso di una base di dati ridotta, potrebbe indurre a caratterizzazioni non corrette e cautelative.

Nei paragrafi seguenti, per tutte le tratte, vengono riportati:

- Stratigrafia di progetto;
- Definizione dei parametri caratteristici sulla base delle indagini geognostiche disponibili;
- Abachi per la determinazione dei coefficienti  $K_s$ .

Nelle stratigrafie di progetto, per ognuno degli strati, sono stati definiti i seguenti parametri:

$\phi'_{k\_SPT}$	Angolo di resistenza al taglio di picco ricavato a partire dai valori di $N_{spt}$ ;
$\phi'_{k\_CONTROLLO}$	Angolo di resistenza al taglio di controllo ricavato a partire dalla densità relativa e dal peso di volume del materiale granulare;
$\phi'_k$	Angolo di resistenza al taglio caratteristico;
$\phi'_{dM1}$	Angolo di resistenza al taglio di progetto secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$\phi'_{dM2}$	Angolo di resistenza al taglio di progetto secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$c'_k$	Coesione efficace caratteristica;
$c'_{dM1}$	Coesione efficace di progetto secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$c'_{dM2}$	Coesione efficace di progetto secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$E'_{01}$	Modulo elastico secante per livello di deformazione del terreno dello 0.1%;

Società di Progetto  
Brehemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 21 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

$E'_{25}$	Modulo elastico secante corrispondente alla mobilitazione del 25% della resistenza del terreno;
$E_{LT}$	Modulo elastico a lungo termine per materiali coesivi;
$C_{uk}$	Resistenza non drenata caratteristica;
$C_{UdM1}$	Resistenza non drenata di progetto secondo coefficienti parziali M1 come da NTC2008;
$C_{UdM2}$	Resistenza non drenata di progetto secondo coefficienti parziali M2 come da NTC2008;
$E_U$	Modulo elastico a breve termine per materiali coesivi;
$\gamma_n$	Peso di volume naturale;
$\gamma'$	Peso di volume sommerso;
$k$	Coefficiente di permeabilità.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



## 4.1 Tratta da Pk 0+000 a Pk 2+150

**Breve descrizione della tratta:** Essa è caratterizzata dalla presenza di una matrice ghiaioso-sabbiosa con ottime proprietà meccaniche, costituita principalmente da materiali ricadenti nelle unità II e III. Localmente la matrice ghiaioso-sabbiosa presenta livelli cementati. Si registra in superficie la presenza di un livello discontinuo di limo, di spessore al più metrico. I sondaggi profondi hanno anche individuato un livello coesivo di materiale principalmente limoso dalle profondità di 35m fino alle massime profondità investigate (40m).

**Sondaggi di riferimento:** SE18Apz, S.015, SE1Apz, S.014, S.016, SE2A, SE3Apz, SE4Apz, SE5A, S.334pz, SE6Apz, SE7Apz, S.013, SE8A, S.337pz

**Note:** -.

### 4.1.1 Profilo di Progetto

BreBeMi - Lotto 0A - Pk da 0+000 a 2+150																									
Quota da P.C		Descrizione	Unità	Parametri in condizioni drenate											Parametri in condizioni non drenate				Peso di volume		Permeabilità* k (m/s)				
da (m)	a			$\phi'_{k\_SPT}$ (°)	$\phi'_{k\_CONTROLLO}$ (°)	$\phi'_k$ (°)	$\phi'_{dM1}$ (°)	$\phi'_{dM2}$ (°)	$c'_k$ (kPa)	$c'_{dM1}$ (kPa)	$c'_{dM2}$ (kPa)	$E'_{01}$ (MPa)	$E'_{25}$ (MPa)	$E_{LT}$ (MPa)	$C_{uk}^{**}$ (kPa)	$C_{UdM1}$ (kPa)	$C_{UdM2}$ (kPa)	$E_u$ (MPa)	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )					
0.0	1.0	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	1.2	1.2	10	10	7	4	4	20	11	$1 \times E^{-8} + E^{-9}$
1.0	20.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	40	120	10	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} + E^{-7}$
20.0	35.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	120	120	30	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} + E^{-7}$
35.0	40.0	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	15	15	125	125	89	50	50	20	11	$1 \times E^{-8} + E^{-9}$

NOTA: Il profilo è una semplificazione della stratigrafia mediamente incontrata tra le Pk di riferimento definita sulla base dei dati disponibili. Tale stratigrafia è da considerarsi valida per le opere minori (sottovia/tombini) e per i rilevati/trincee per le quali non siano previste particolarità realizzative. Per tutte le altre opere ed i casi particolari si dovrà far riferimento ai profili geotecnici specifici.

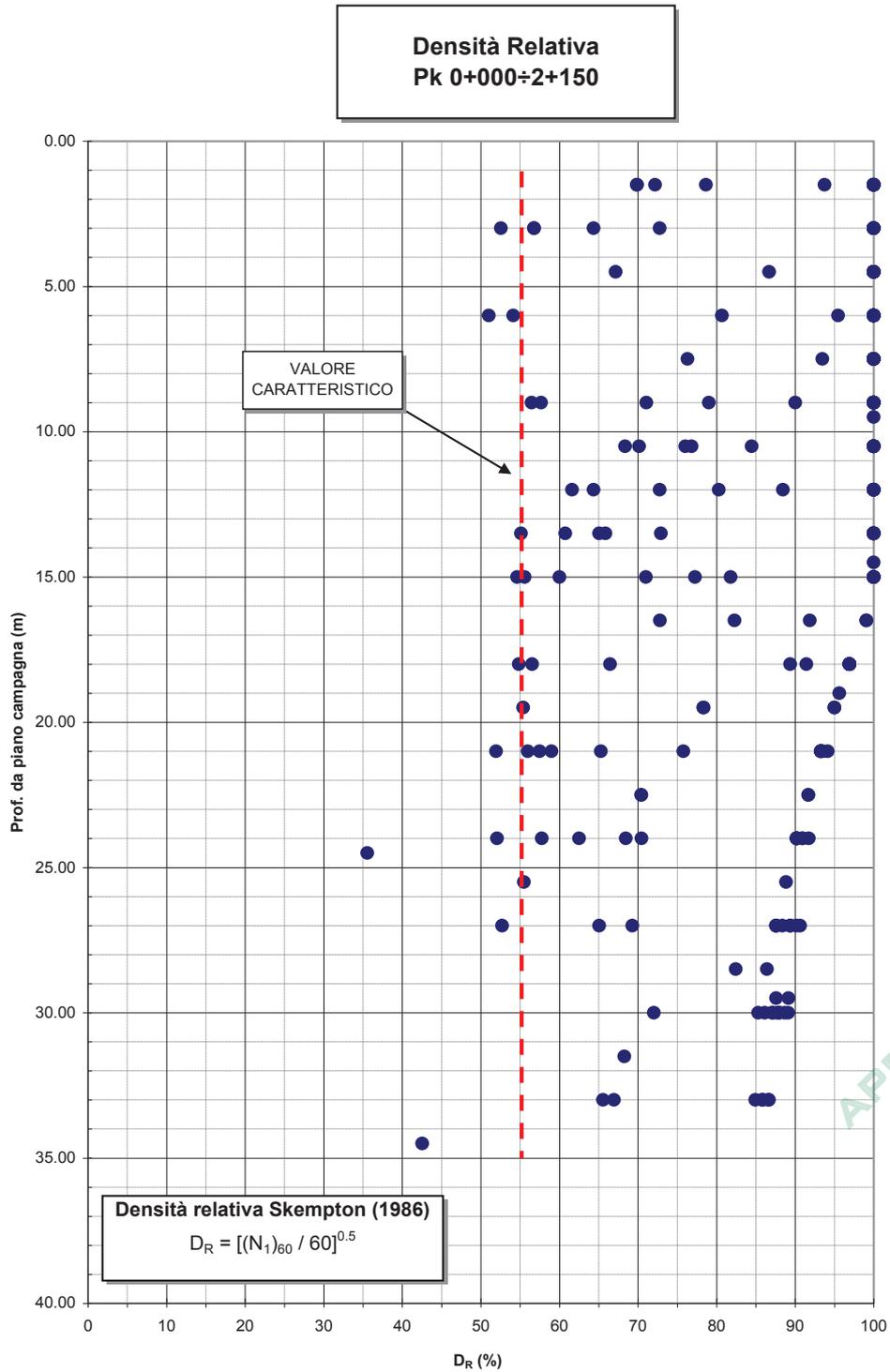
\* La permeabilità è stimata sulla base della granulometria / descrizione stratigrafica e, quando disponibili, su prove di permeabilità in sito.

\*\* Per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali, per strati di materiale fine presenti nei primi 4+5m da P.C. si dovrà considerare un valore caratteristico minimo di coesione non drenata pari a 30+40 kPa (si veda §3.3.1).

**Tabella 4.1** – Profilo di progetto tratta Pk 0+000÷2+150.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



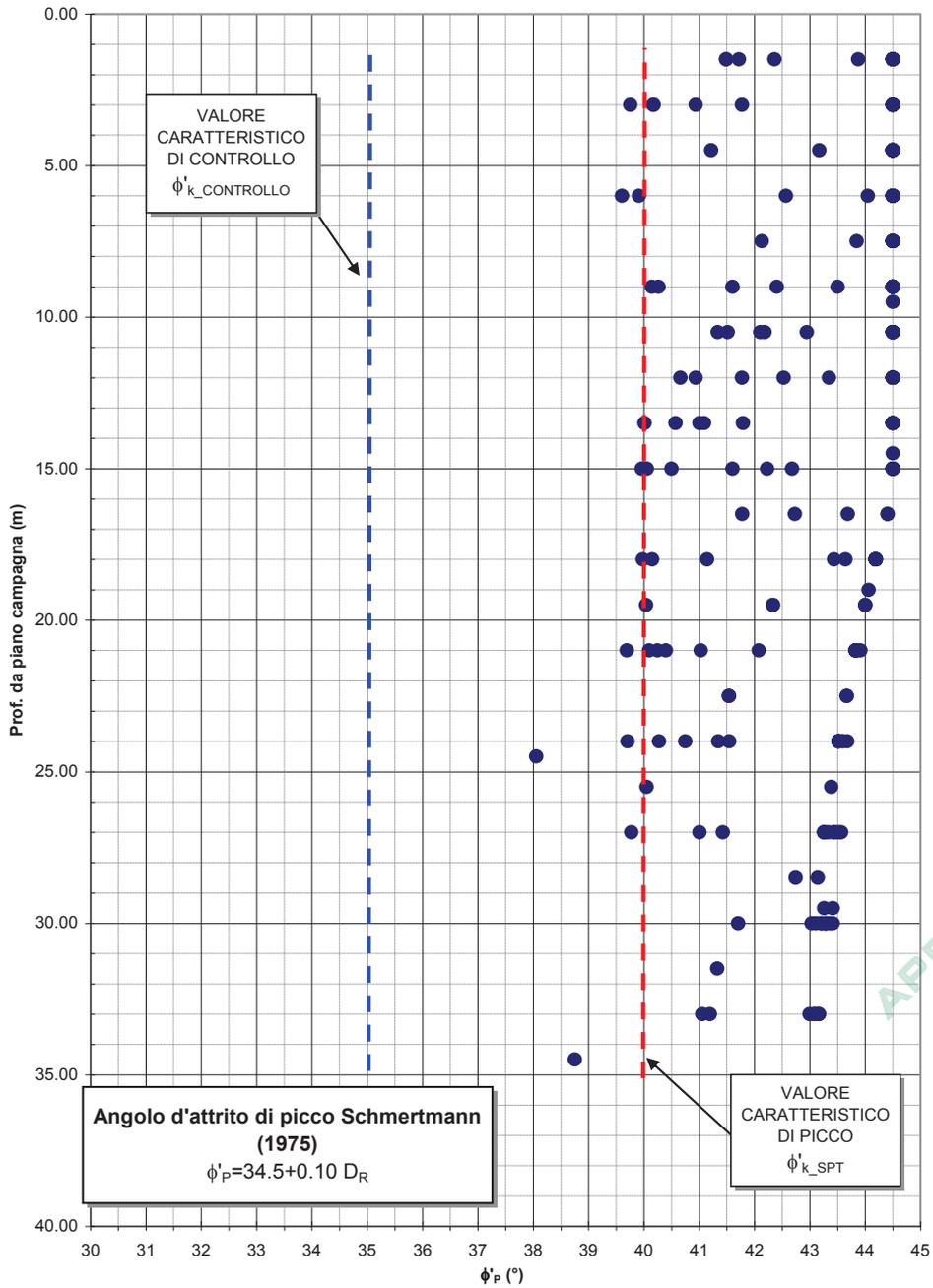


**Figura 4.1** – Pk 0+000÷2+150: Definizione del valore caratteristico di densità relativa della matrice ghiaiosa-sabbiosa.

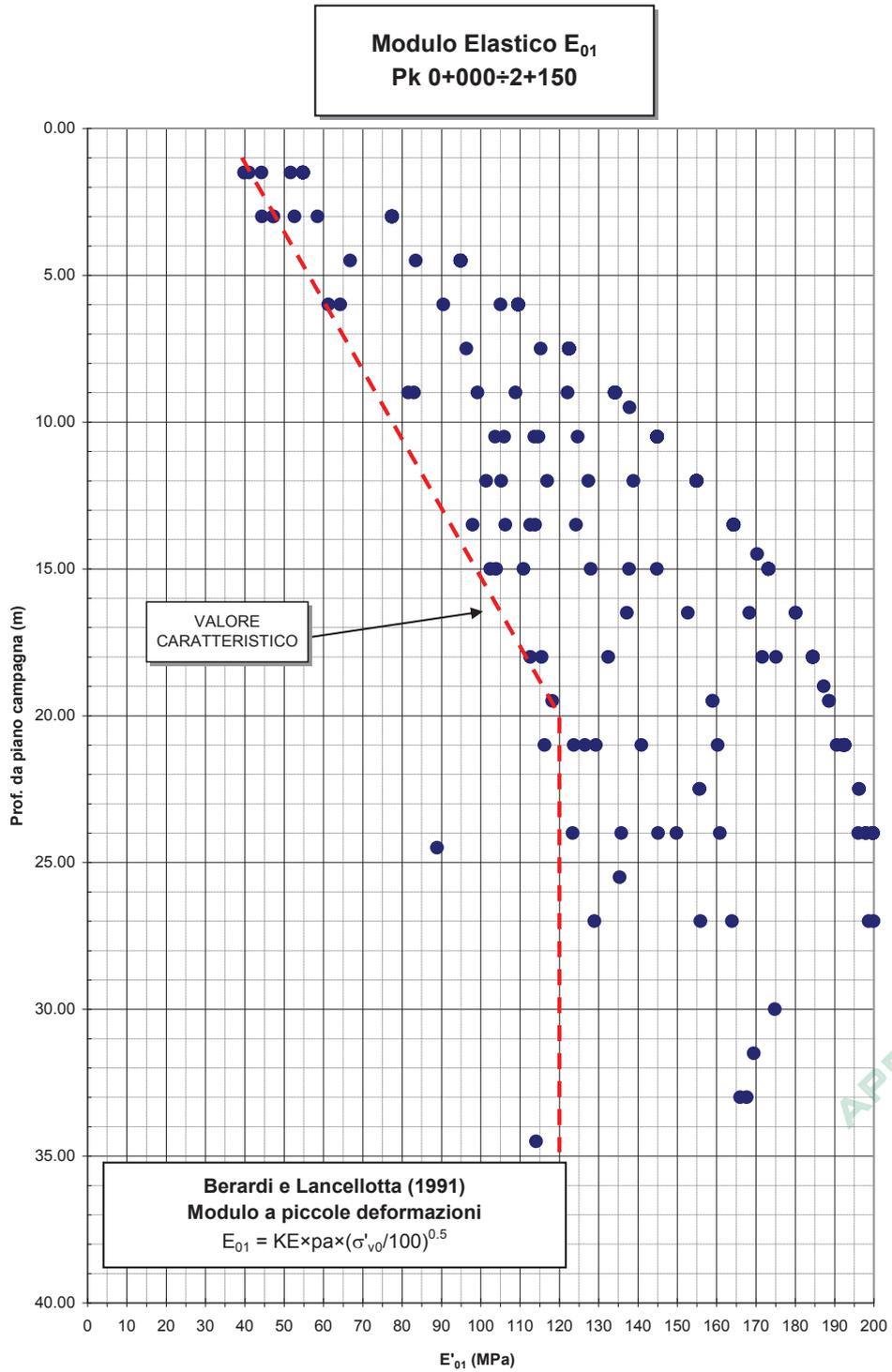
Società di Progetto  
Brebemi SpA



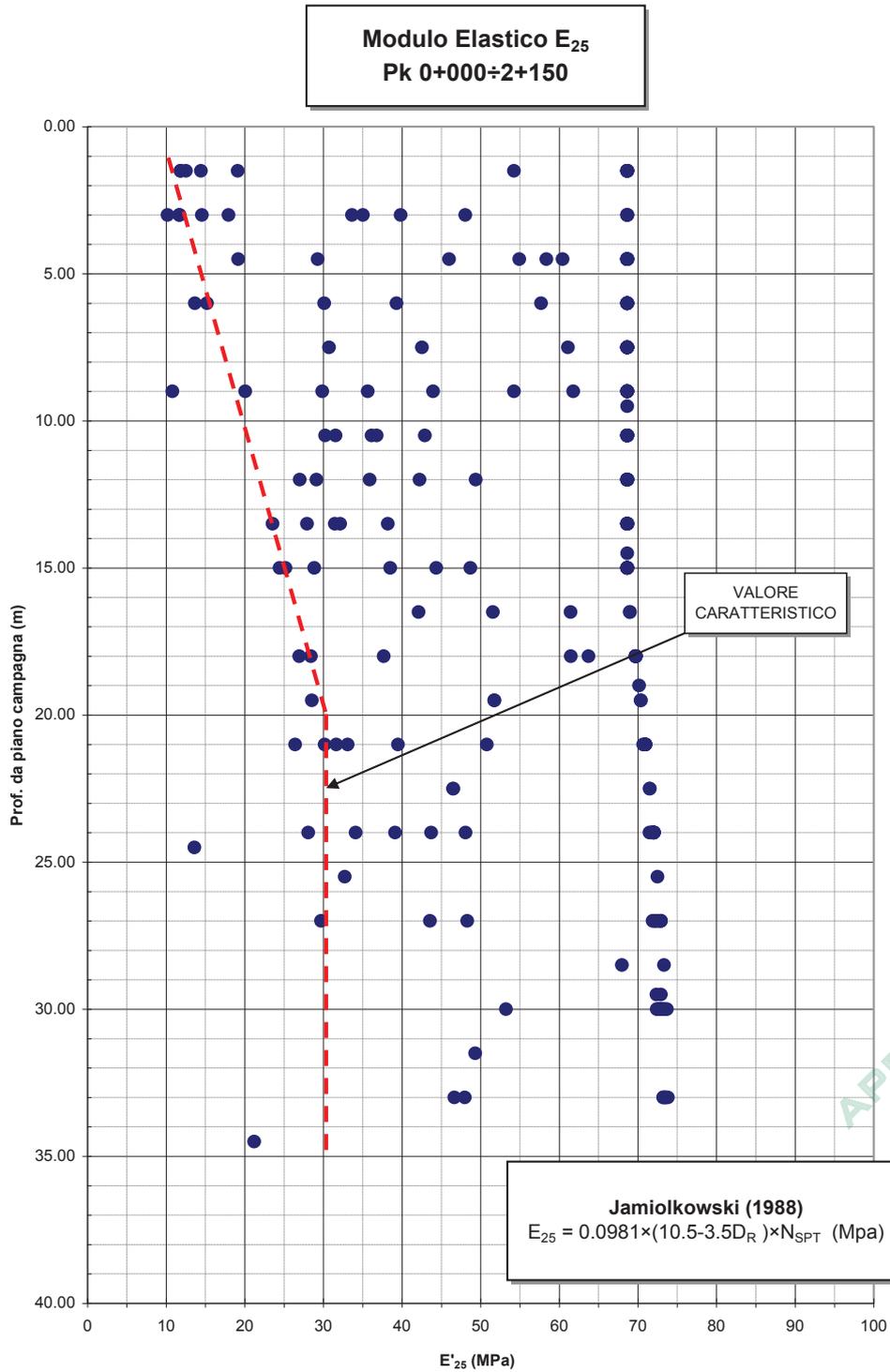
**Angolo d'attrito di picco e operativo  
Pk 0+000÷2+150**



**Figura 4.2** – Pk 0+000÷2+150: Definizione del valore caratteristico di angolo di resistenza al taglio di picco e di controllo.

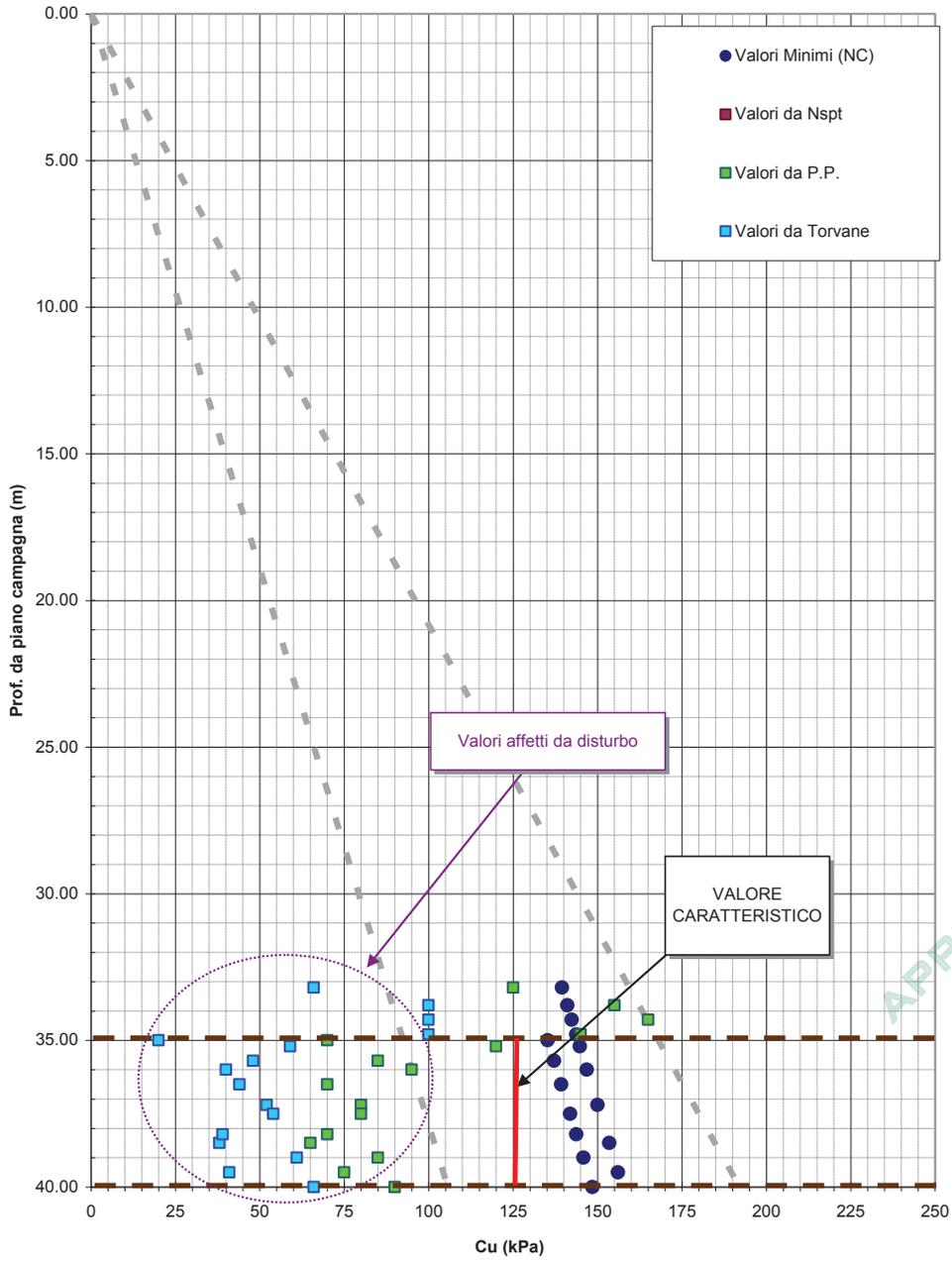


**Figura 4.3** – Pk 0+000÷2+150: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>01</sub>.



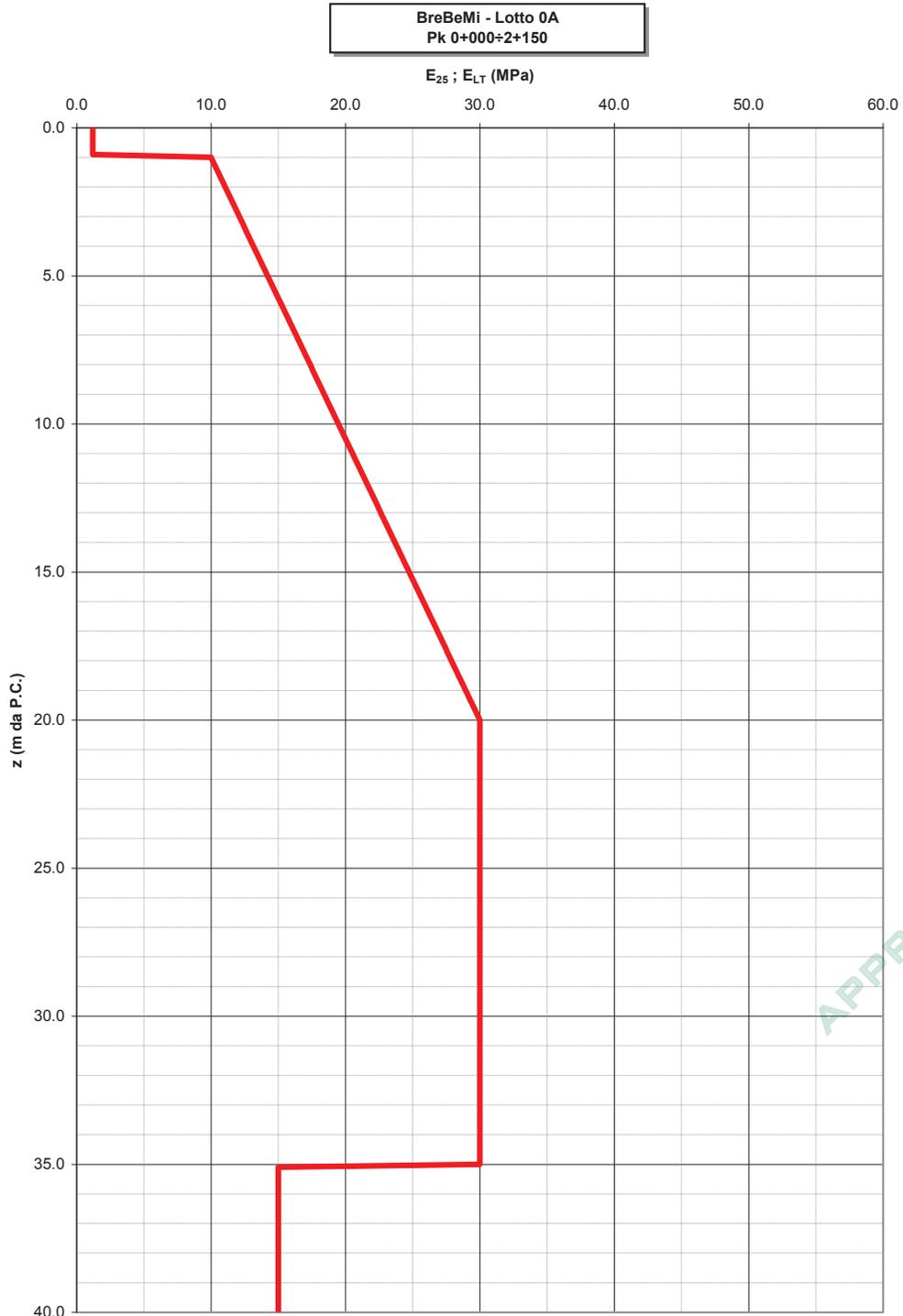
**Figura 4.4** – Pk 0+000÷2+150: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>25</sub>.

**Coesione non drenata  
Pk 0+000÷2+150**



**Figura 4.5** – Pk 0+000÷2+150: Definizione del valore caratteristico della coesione non drenata Cu.

#### 4.1.2 Abachi per la definizione del coefficiente di sottofondo



**Figura 4.6** – Profilo di rigidità adottato per la determinazione di  $K_s$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 0+000÷2+150

Z = -1m da P.C.

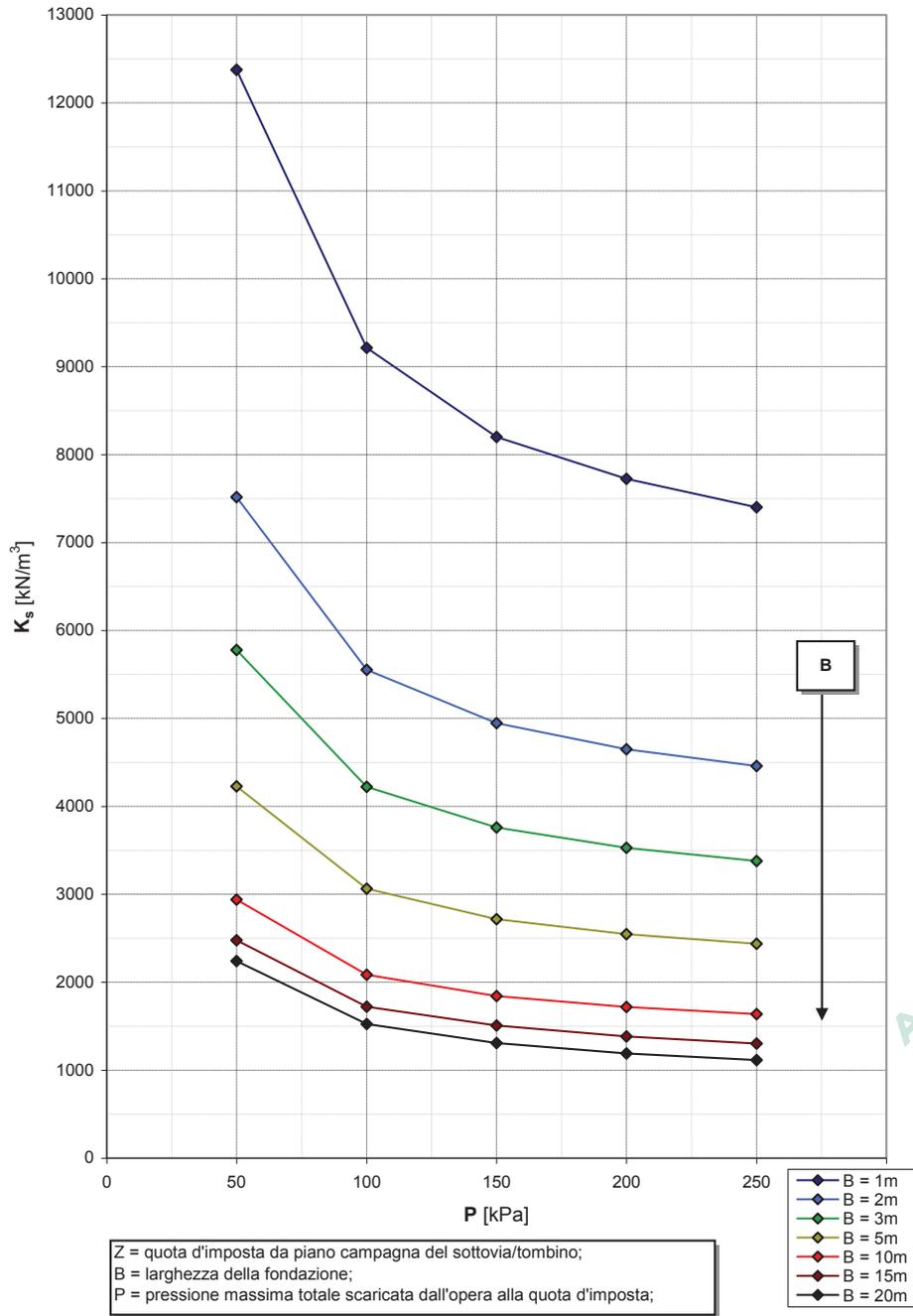
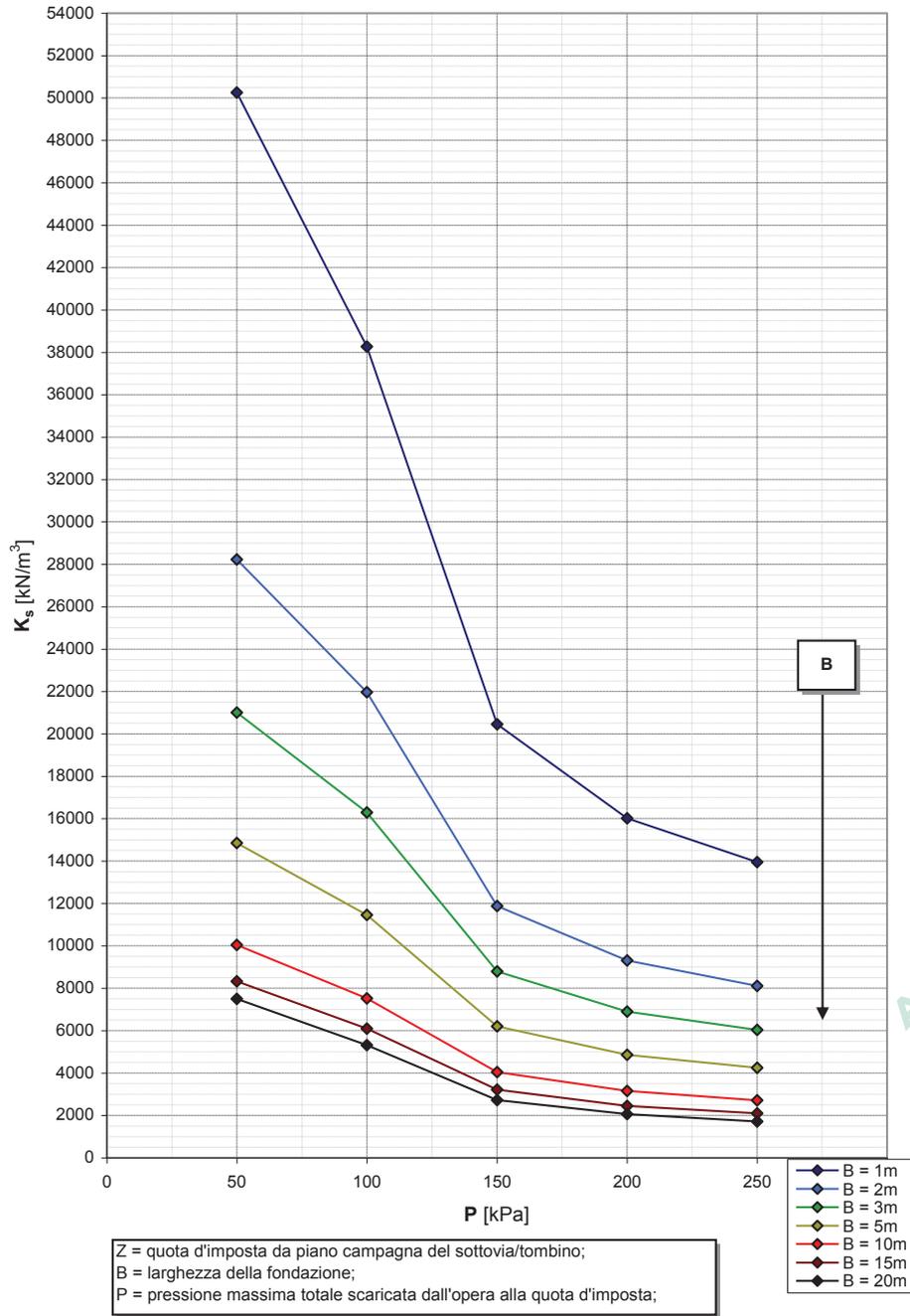


Figura 4.7 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 0+000÷2+150, z = -1m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 0+000÷2+150

Z = -5m da P.C.



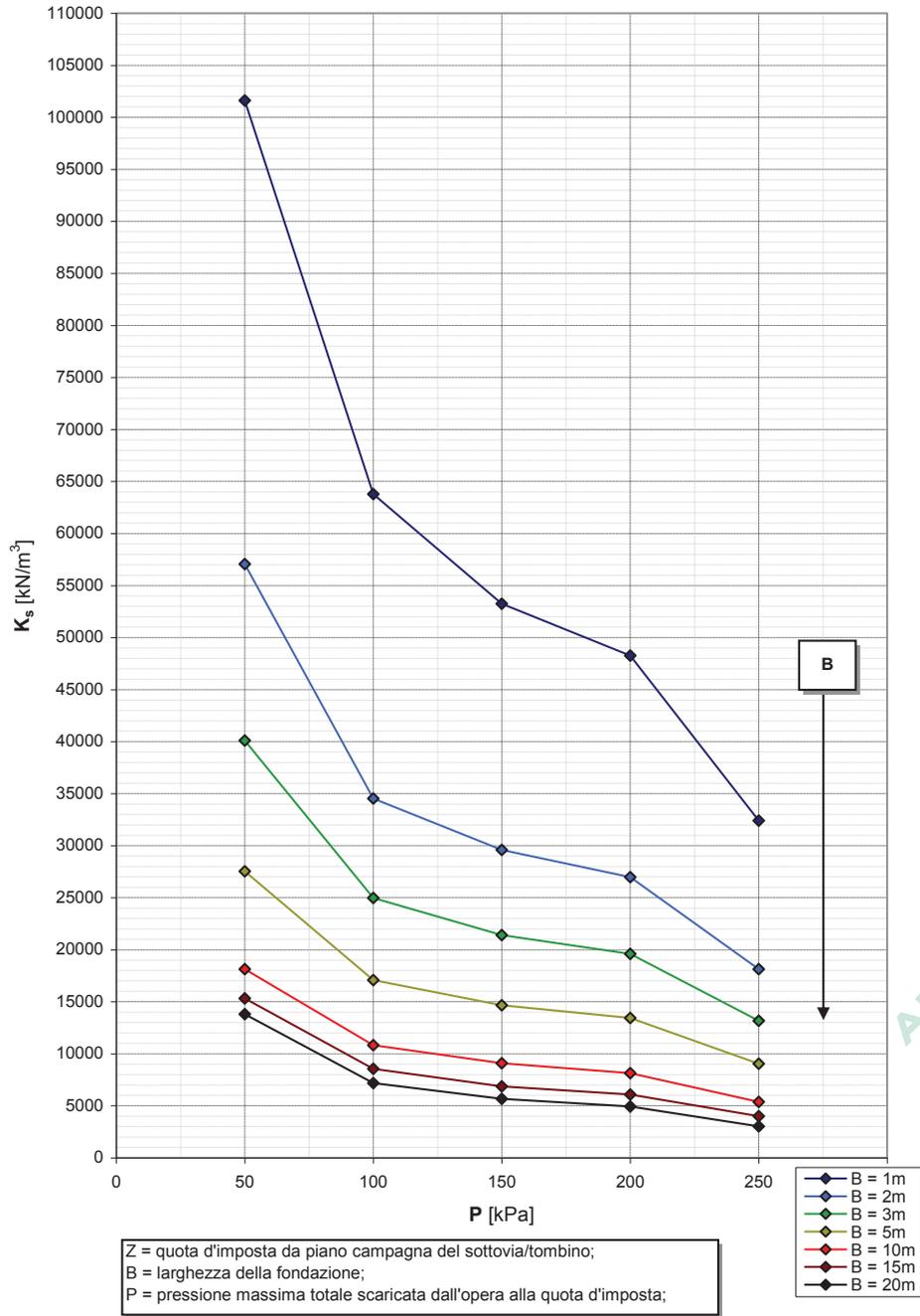
APPROVATO SDP

Figura 4.8 – Abaco per la determinazione di Ks: tratta Pk 0+000÷2+150, z = -5m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 0+000÷2+150

Z = -10m da P.C.



APPROVATO SDP

Figura 4.9 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 0+000÷2+150, z = -10m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

## 4.2 Tratta da Pk 2+150 a Pk 4+000

**Breve descrizione della tratta:** Essa è caratterizzata dalla presenza di una matrice ghiaioso-sabbiosa dalle ottime proprietà meccaniche costituita principalmente da materiali ricadenti nelle unità II, III e IV. Si individua uno strato limoso-argilloso discontinuo di spessore di circa 2m tra alla profondità variabile di circa 13÷18m da P.C.. Superficialmente è presente un livello limoso discontinuo di spessore al più metrico.

**Sondaggi di riferimento:** S.012, SE9Apz, SE10A, S.336, S.011

**Note:** -

### 4.2.1 Profilo di Progetto

BreBeMi - Lotto 0A - Pk da 2+150 a 4+000																									
Quota da P.C		Descrizione	Unità	Parametri in condizioni drenate											Parametri in condizioni non drenate				Peso di volume		Permeabilità*				
da	a			$\phi'_{k\_SPT}$	$\phi'_{k\_CONTROLLO}$	$\phi'_k$	$\phi'_{dM1}$	$\phi'_{dM2}$	$c'_k$	$c'_{dM1}$	$c'_{dM2}$	$E'_{01}$	$E'_{25}$	$E'_{LT}$	$C_{uk}^{**}$	$C_{UdM1}$	$C_{UdM2}$	$E_u$	$\gamma_n$	$\gamma'$		$k$			
(m)	(m)	(-)	(-)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)				
0.0	1.0	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	1.2	1.2	10	10	7	4	4	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$
1.0	13.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	40	95	10	23	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$
13.0	15.0	Limo	V	30	30	30	30	25	0	0	0	-	-	-	6	6	50	50	36	20	20	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$	
15.0	20.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	105	120	25	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$
20.0	35.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	130	120	30	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$

NOTA: Il profilo è una semplificazione della stratigrafia mediamente incontrata tra le Pk di riferimento definita sulla base dei dati disponibili. Tale stratigrafia è da considerarsi valida per le opere minori (sottovia/tombini) e per i rilevati/trincee per le quali non siano previste particolarità realizzative. Per tutte le altre opere ed i casi particolari si dovrà far riferimento ai profili geotecnici specifici.

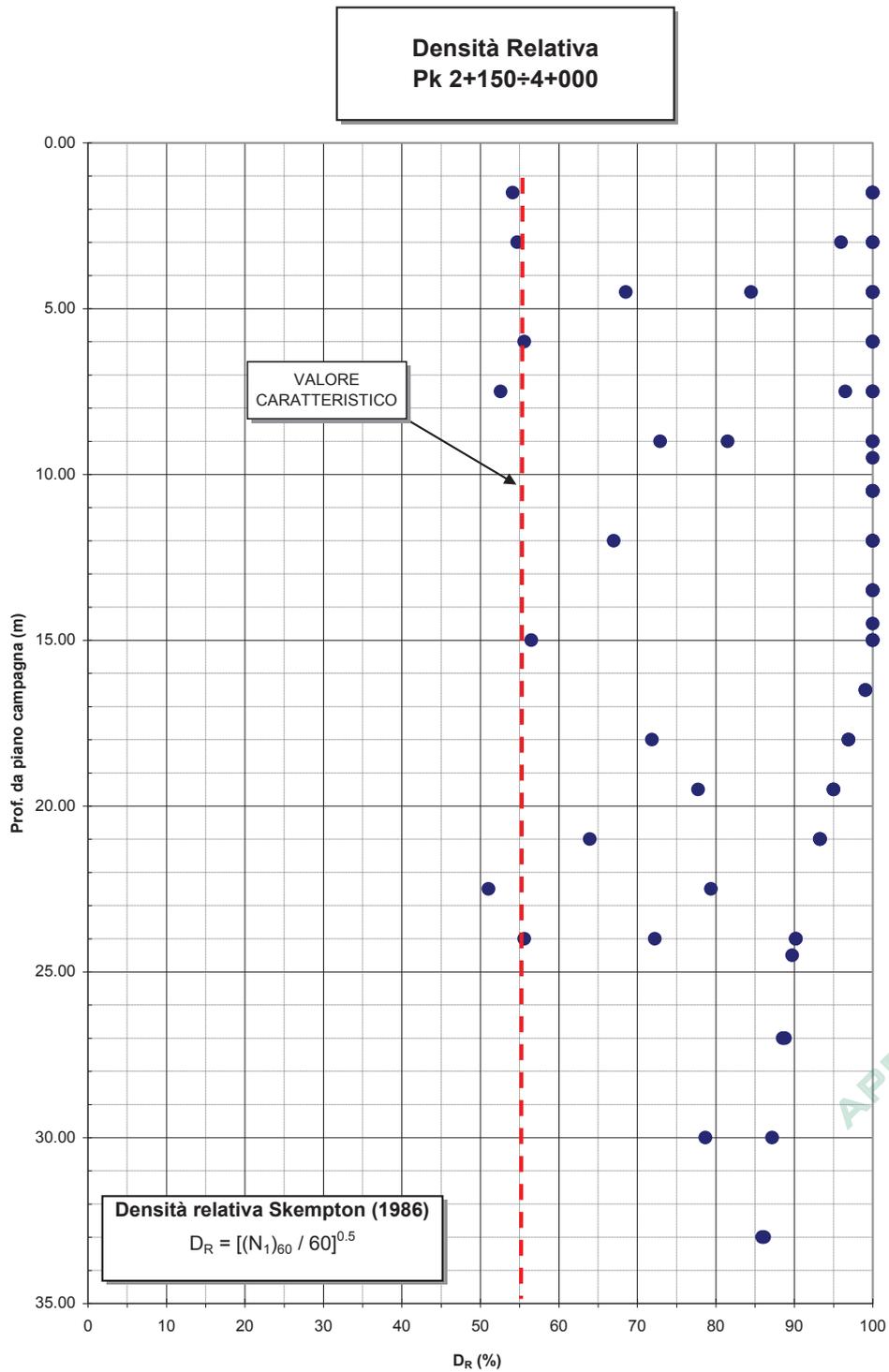
\* La permeabilità è stimata sulla base della granulometria / descrizione stratigrafica e, quando disponibili, su prove di permeabilità in sito.

\*\* Per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali, per strati di materiale fine presenti nei primi 4+5m da P.C. si dovrà considerare un valore caratteristico minimo di coesione non drenata pari a 30+40 kPa (si veda §3.3.1).

**Tabella 4.2 – Profilo di progetto tratta Pk 2+150÷4+000**

Società di Progetto  
Brebemi SpA

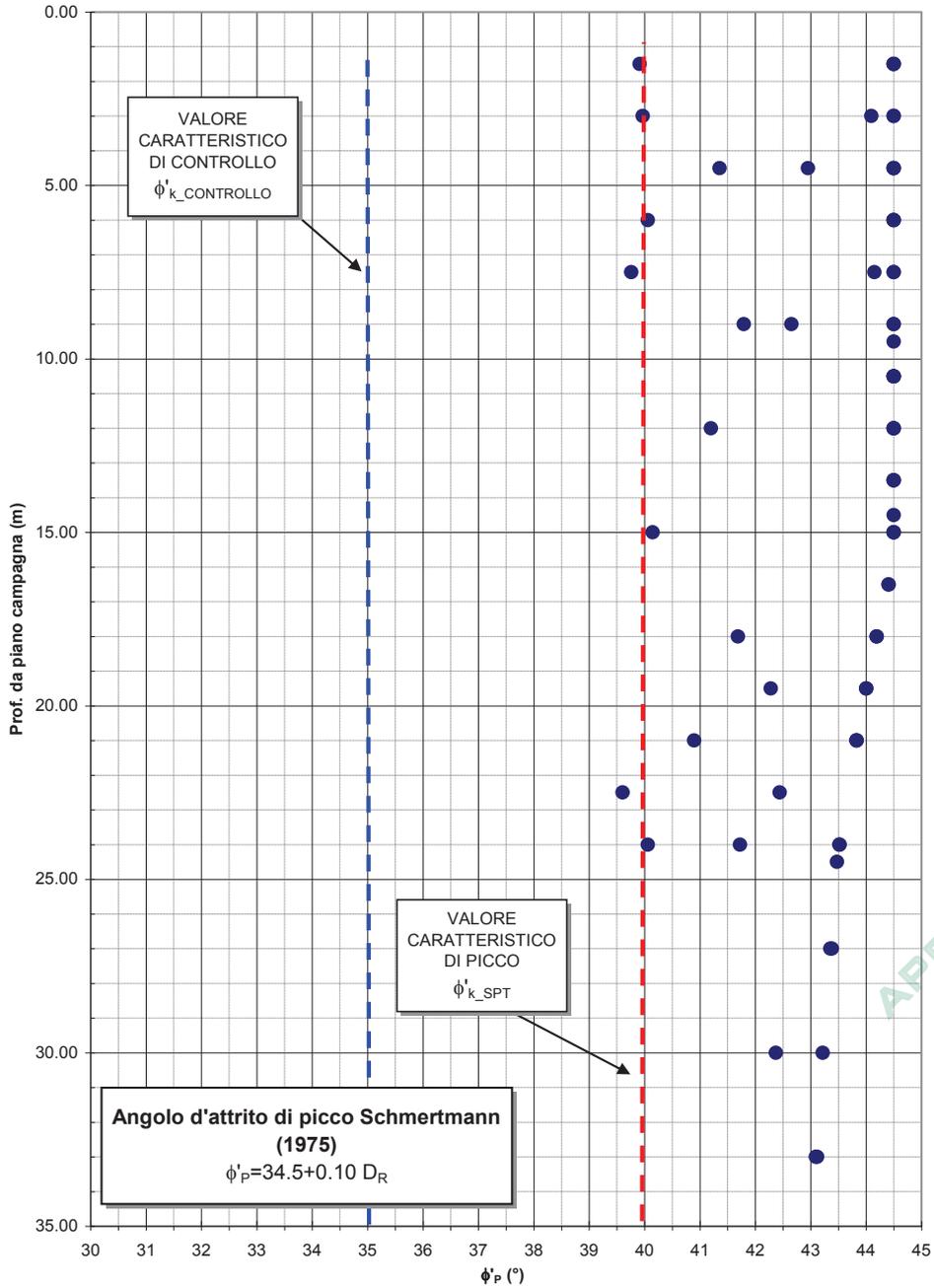




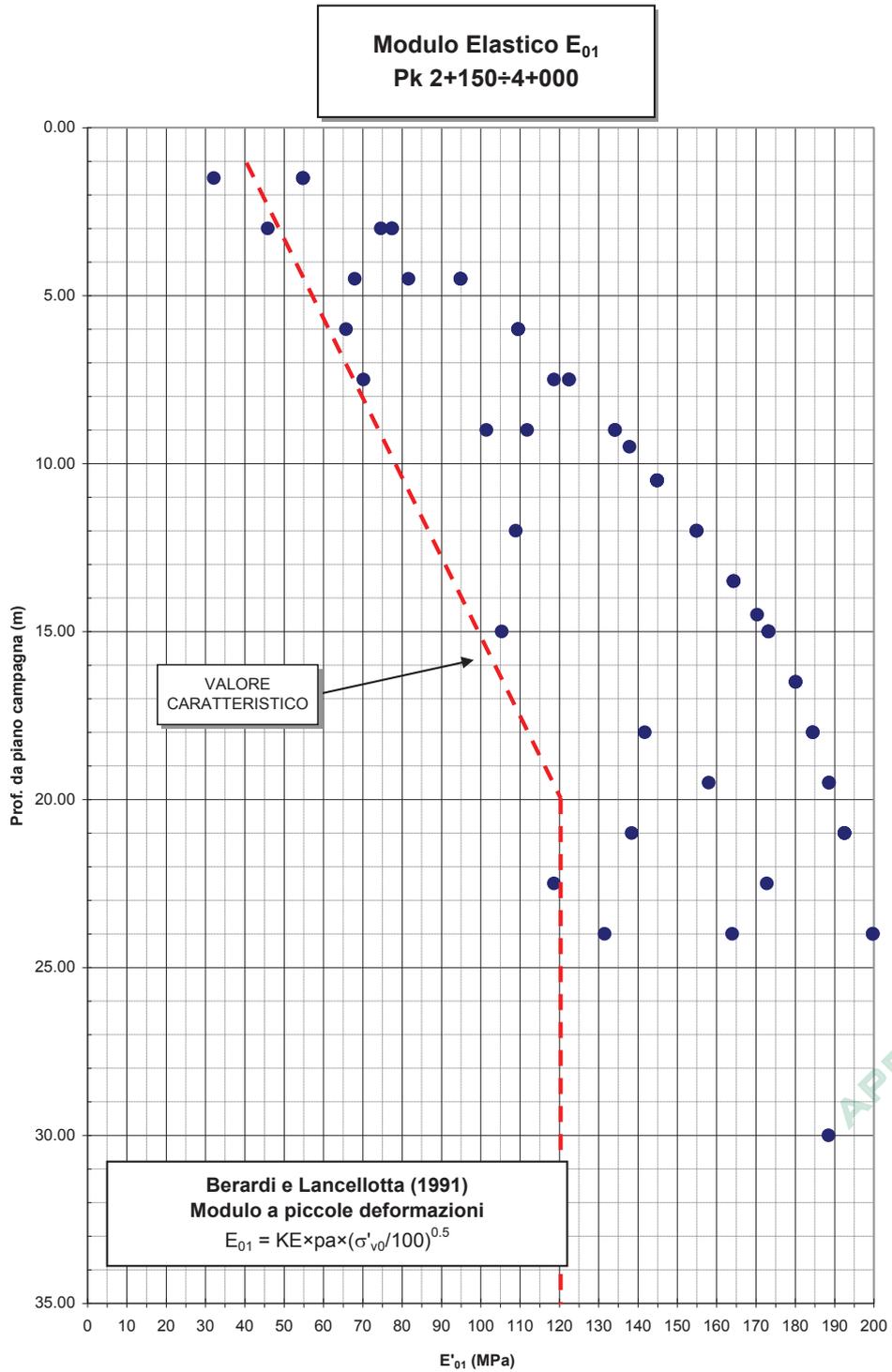
**Figura 4.10** – Pk 2+150÷4+000: Definizione del valore caratteristico di densità relativa della matrice ghiaiosa-sabbiosa.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

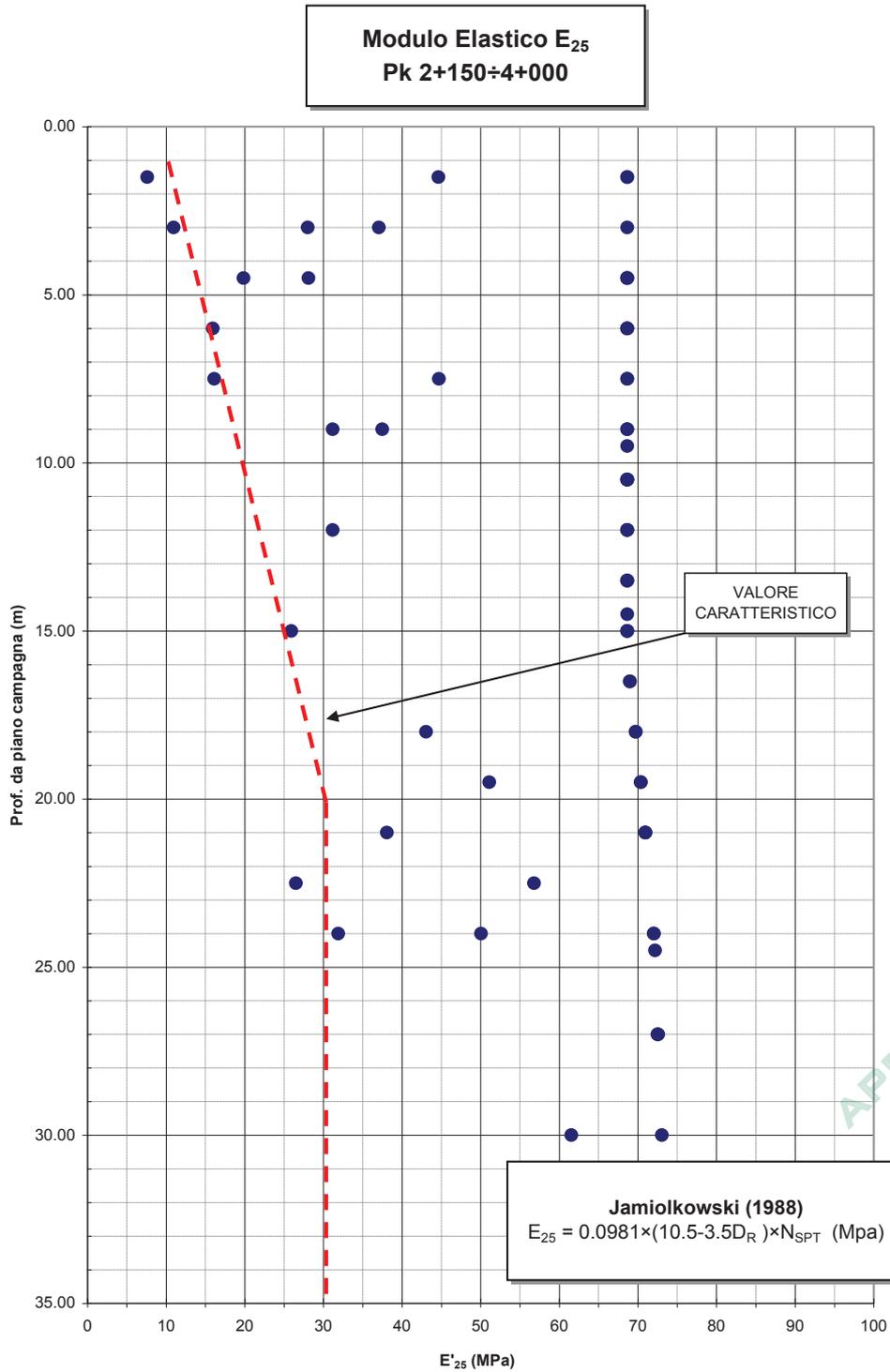
**Angolo d'attrito di picco e operativo  
Pk 2+150÷4+000**



**Figura 4.11** – Pk 2+150÷4+000: Definizione del valore caratteristico di angolo di resistenza al taglio di picco e di controllo.



**Figura 4.12** – Pk 2+150÷4+000: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico  $E_{01}$ .

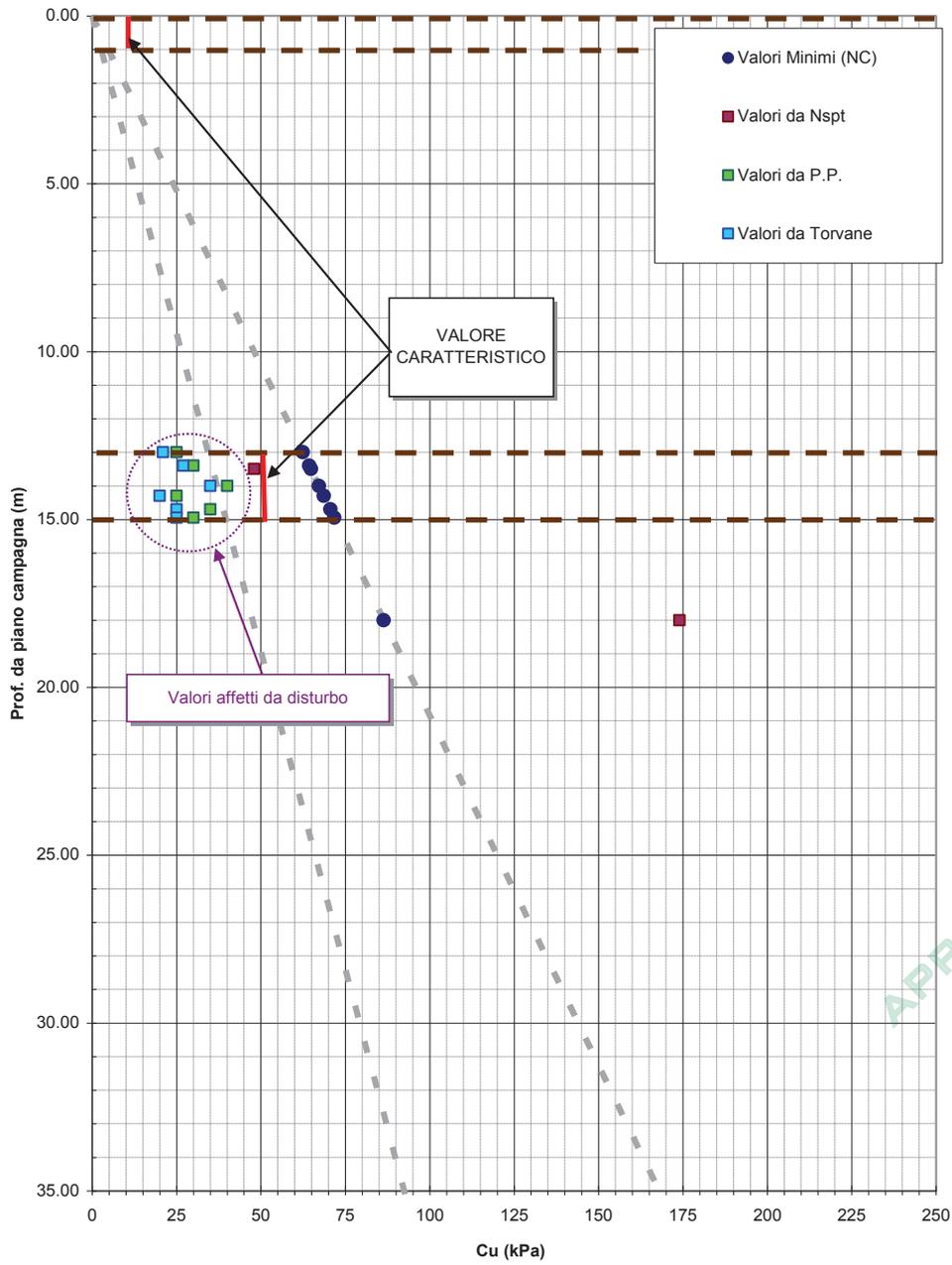


APPROVATO SDP

**Figura 4.13** – Pk 2+150÷4+000: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>25</sub>.



**Coesione non drenata  
Pk 2+150÷4+000**



APPROVATO SDP

**Figura 4.14** – Pk 2+150÷4+000: Definizione del valore caratteristico della coesione non drenata  $C_u$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



#### 4.2.2 Abachi per la definizione del coefficiente di sottofondo

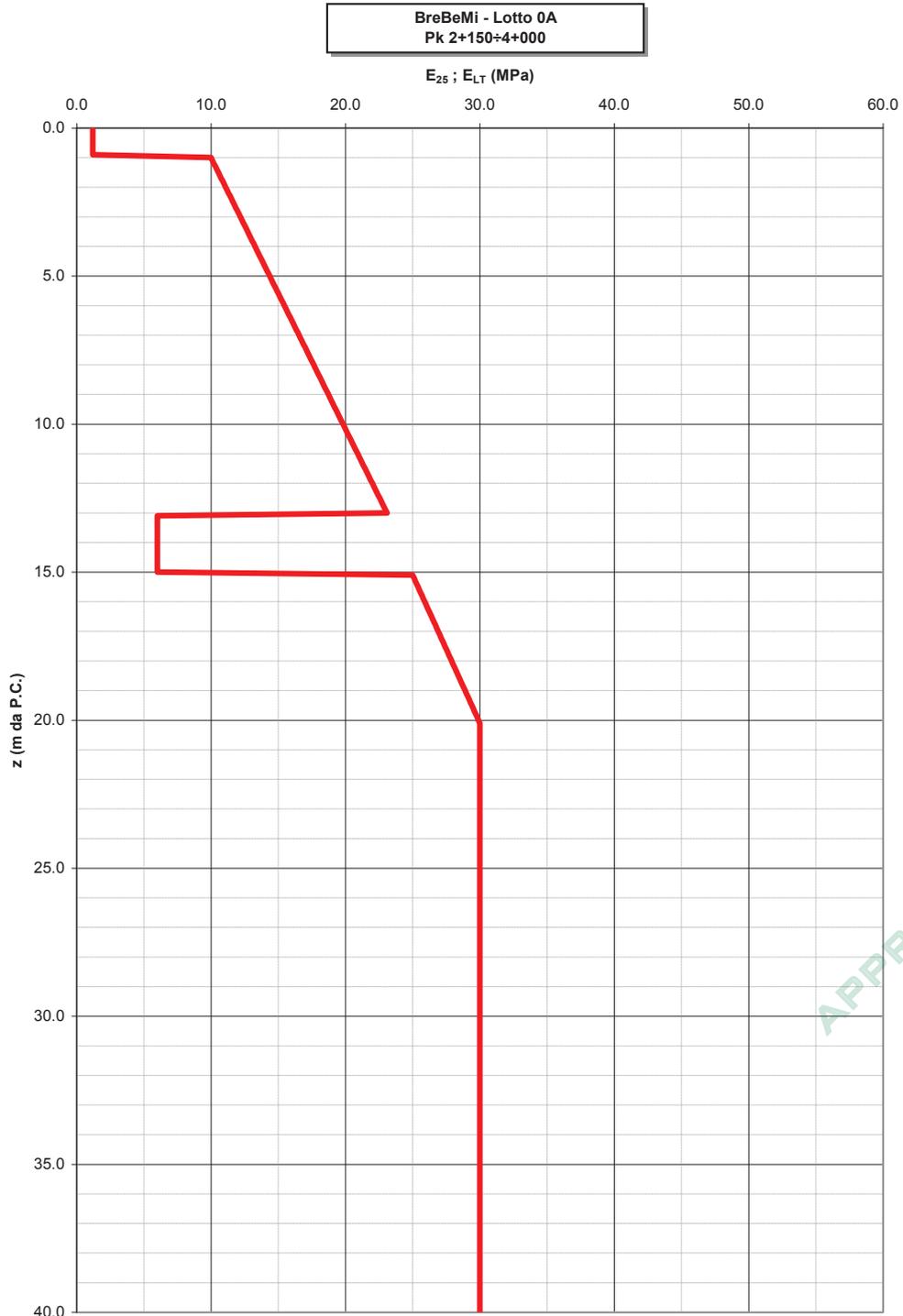


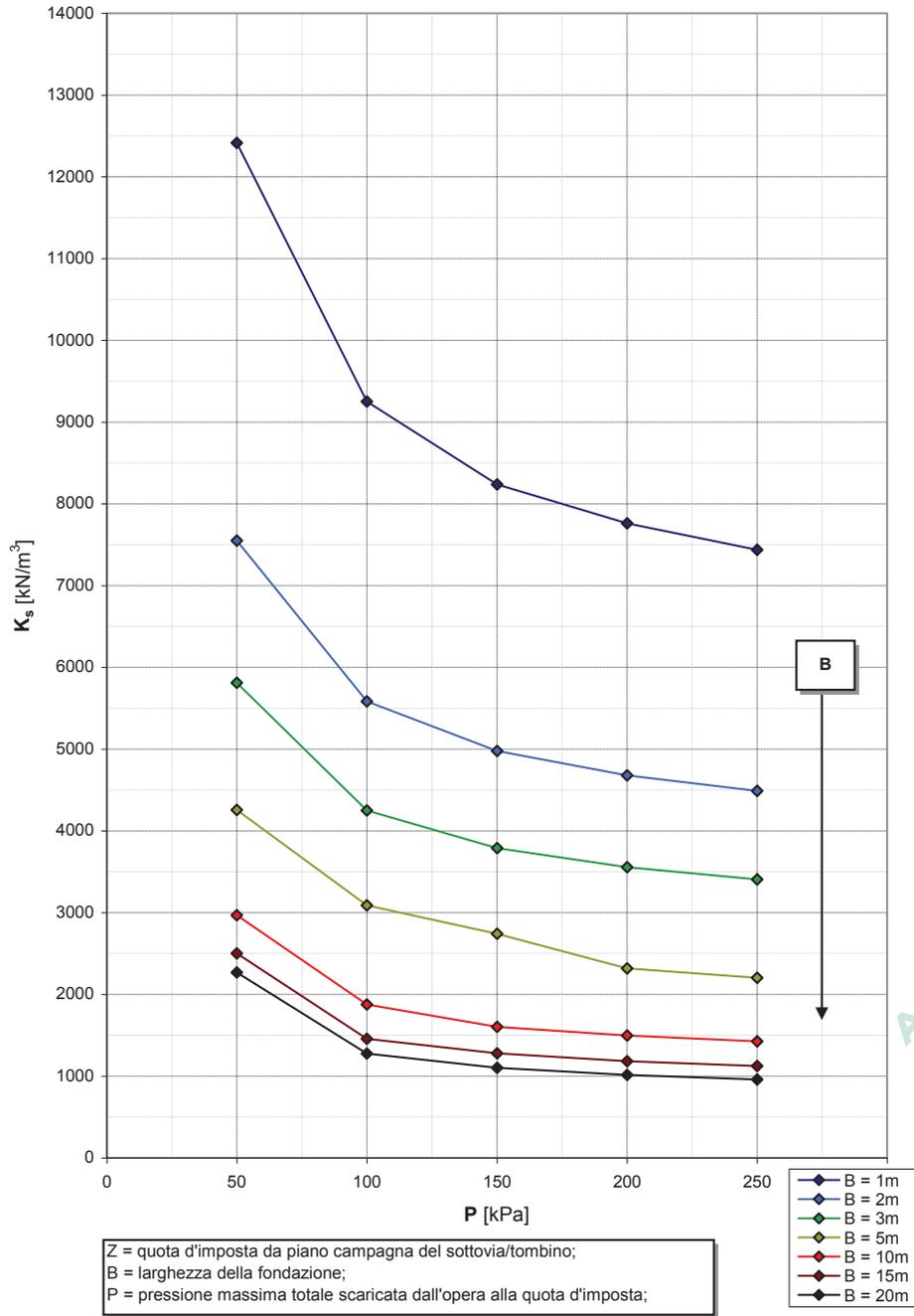
Figura 4.15 – Profilo di rigidezza adottato per la determinazione di  $K_s$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 2+150÷4+000

Z = -1m da P.C.



APPROVATO SDP

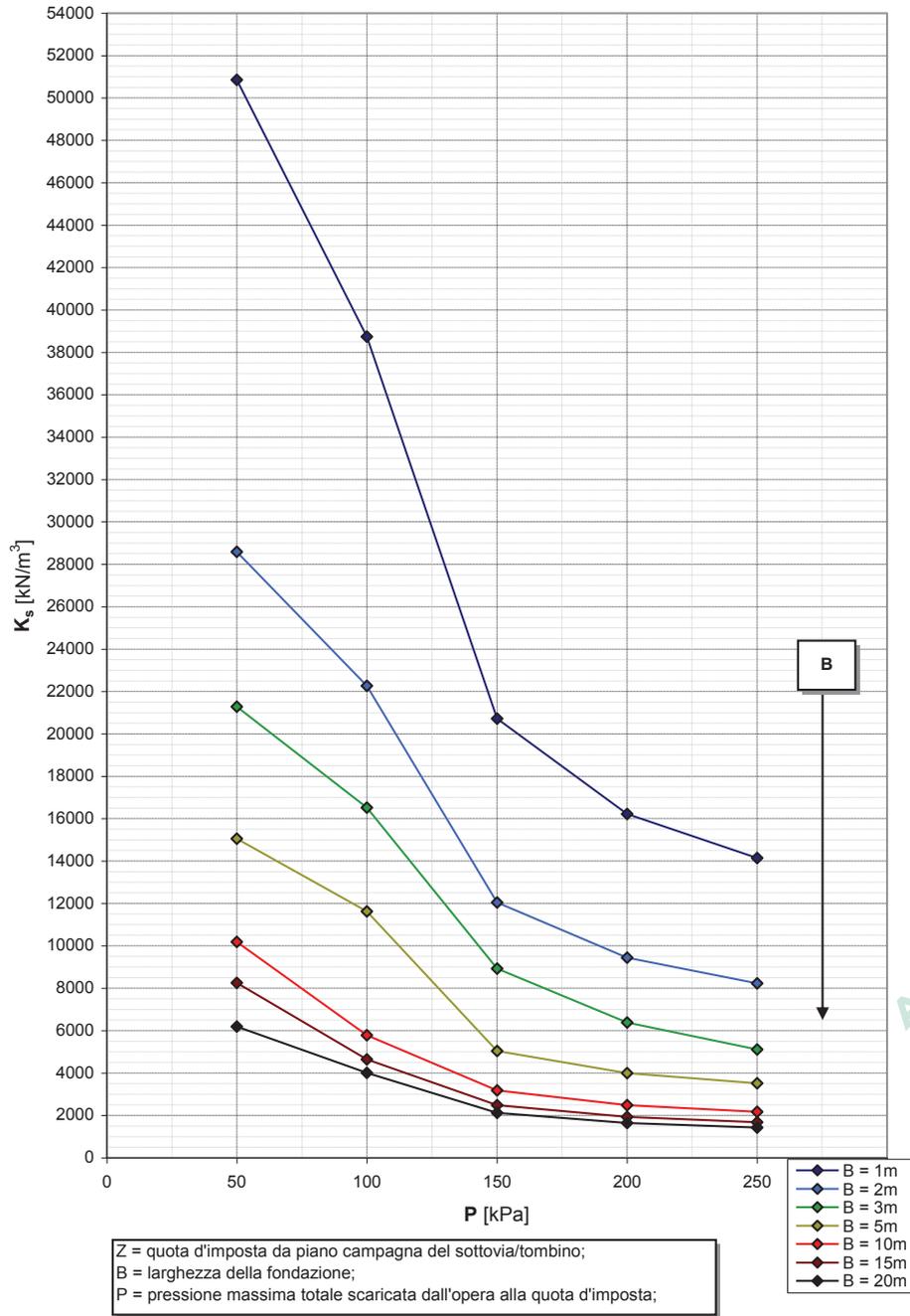
Figura 4.16 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 2+150÷4+000, z = -1m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 2+150÷4+000

Z = -5m da P.C.



APPROVATO SDP

Figura 4.17 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 2+150÷4+000, z = -5m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 2+150÷4+000

Z = -10m da P.C.

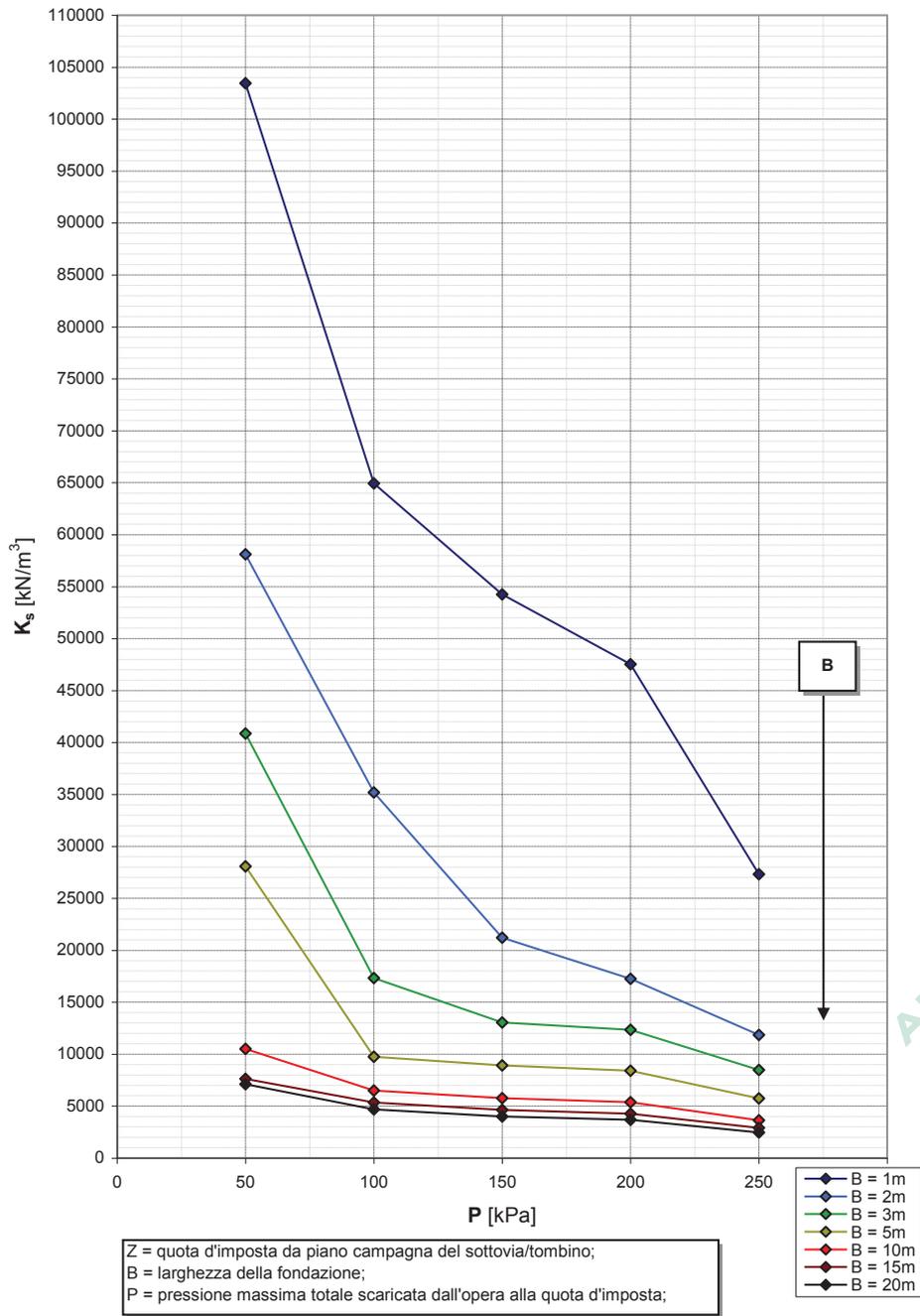


Figura 4.18 – Abaco per la determinazione di Ks: tratta Pk 2+150÷4+000, z = -10m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

### 4.3 Tratta da Pk 4+000 a Pk 5+840

**Breve descrizione della tratta:** Essa è caratterizzata dalla presenza di una matrice ghiaioso-sabbiosa dalle buone proprietà meccaniche costituita principalmente da materiali ricadenti nelle unità II, III e IV. L'unità II risulta localmente cementata. La tratta è caratterizzata dalla presenza di alcuni sottili e discontinui strati di limo e argilla, di spessore per lo più metrico. A profondità rilevanti (circa 25m da p.c. locale) è stata riscontrata la presenza di uno strato discontinuo di materiale limoso fino alle massime profondità investigate (35m).

**Sondaggi di riferimento:** S.010, SE11Apz, S.009, S.008pz.

**Note:** - .

#### 4.3.1 Profilo di Progetto

BreBeMi - Lotto 0A - Pk da 4+000 a 5+840																									
Quota da P.C.		Descrizione	Unità	Parametri in condizioni drenate											Parametri in condizioni non drenate				Peso di volume		Permeabilità* k (m/s)				
da (m)	a			$\phi_{k\_SPT}^{\dagger}$	$\phi_{k\_CONTROLLO}^{\dagger}$	$\phi_k^{\dagger}$	$\phi_{dm1}^{\dagger}$	$\phi_{dm2}^{\dagger}$	$c_k^{\dagger}$	$c_{dm1}^{\dagger}$	$c_{dm2}^{\dagger}$	$E_{01}^{\dagger}$	$E_{25}^{\dagger}$	$E_{LT}^{\dagger}$	$C_{uk}^{**}$	$C_{Udm1}$	$C_{Udm2}$	$E_u$	$\gamma_n$	$\gamma'$					
0.0	0.6	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	1.2	1.2	10	10	7	4	4	20	11	$1 \times E^{-8} + E^{-9}$
0.6	6.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	50	70	10	15	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} + E^{-7}$
6.0	7.5	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	4.8	4.8	40	40	29	16	16	-	-	$1 \times E^{-8} + E^{-9}$
7.5	20.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	75	120	17	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} + E^{-7}$
20.0	25.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	40	35	38	38	32	0	0	0	120	120	30	30	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} + E^{-7}$
25.0	35.0	Limo	V	-	-	30	30	25	0	0	0	-	-	-	-	14.4	14.4	120	120	86	48	48	20	11	$1 \times E^{-8} + E^{-9}$

NOTA: Il profilo è una semplificazione della stratigrafia mediamente incontrata tra le Pk di riferimento definita sulla base dei dati disponibili. Tale stratigrafia è da considerarsi valida per le opere minori (sottovia/tombini) e per i rilevati/trincee per le quali non siano previste particolarità realizzative. Per tutte le altre opere ed i casi particolari si dovrà far riferimento ai profili geotecnici specifici.

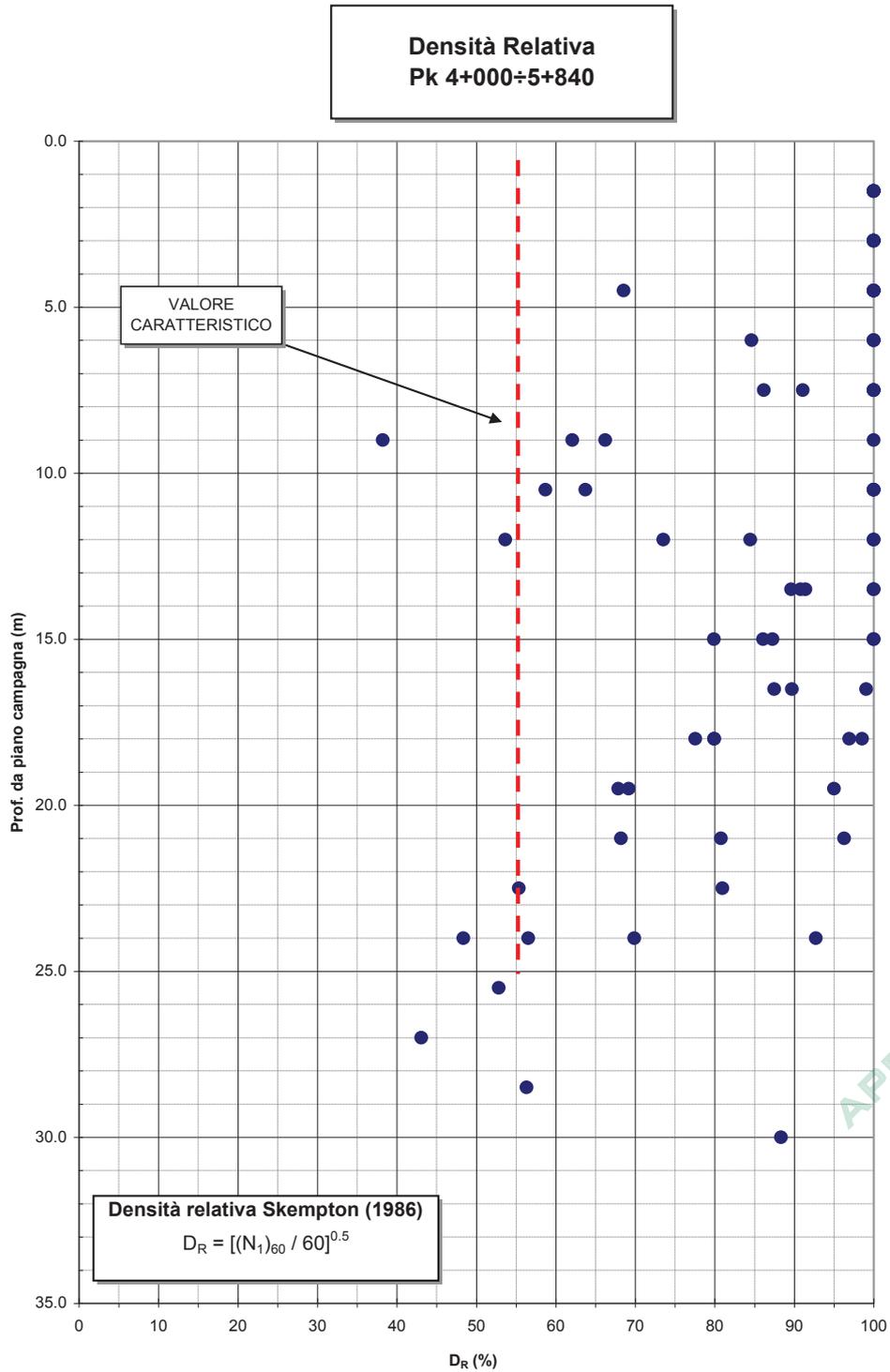
\* La permeabilità è stimata sulla base della granulometria / descrizione stratigrafica e, quando disponibili, su prove di permeabilità in sito.

\*\* Per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali, per strati di materiale fine presenti nei primi 4+5m da P.C. si dovrà considerare un valore caratteristico minimo di coesione non drenata pari a 30+40 kPa (si veda §3.3.1).

Tabella 4.3 – Profilo di progetto tratta Pk 4+000÷5+840

Società di Progetto  
Brebemi SpA



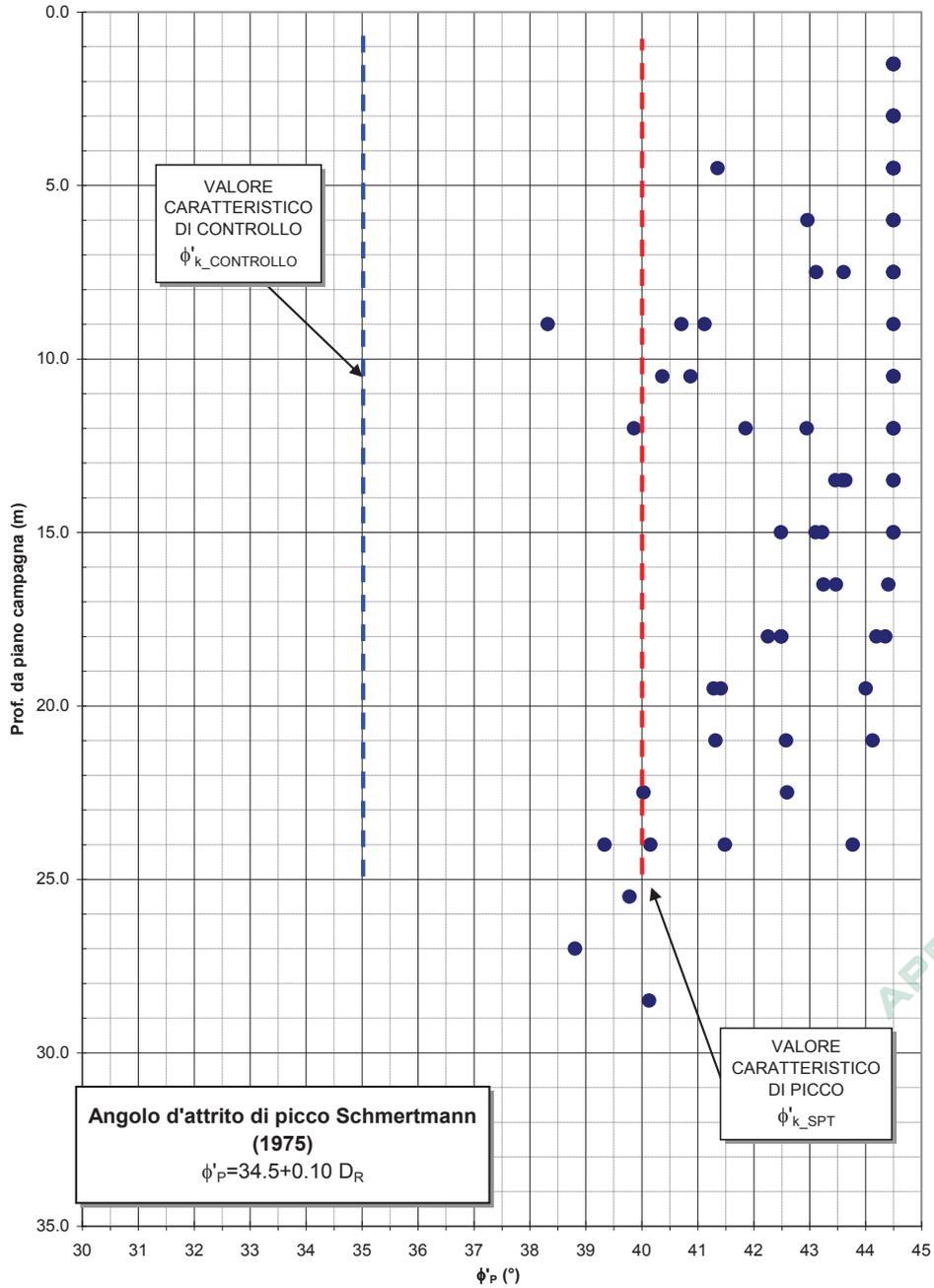


**Figura 4.19** – Pk 4+000÷5+840: Definizione del valore caratteristico di densità relativa della matrice ghiaiosa-sabbiosa.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

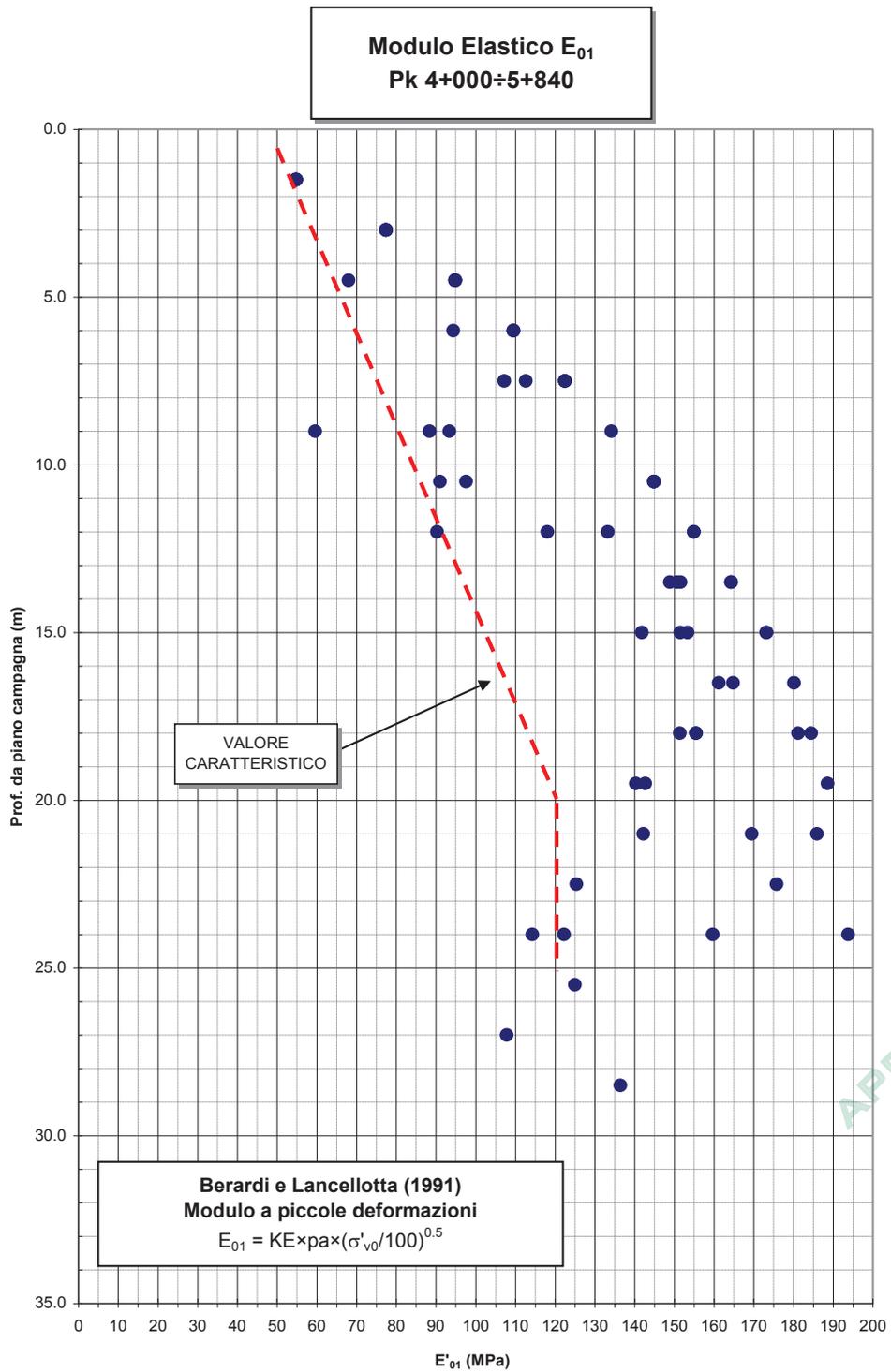


**Angolo d'attrito di picco e operativo  
Pk 4+000÷5+840**



**Figura 4.20** – Pk 4+000÷5+840: Definizione del valore caratteristico di angolo di resistenza al taglio di picco e di controllo.





APPROVATO SDP

**Figura 4.21** – Pk 4+000÷5+840: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico  $E_{01}$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



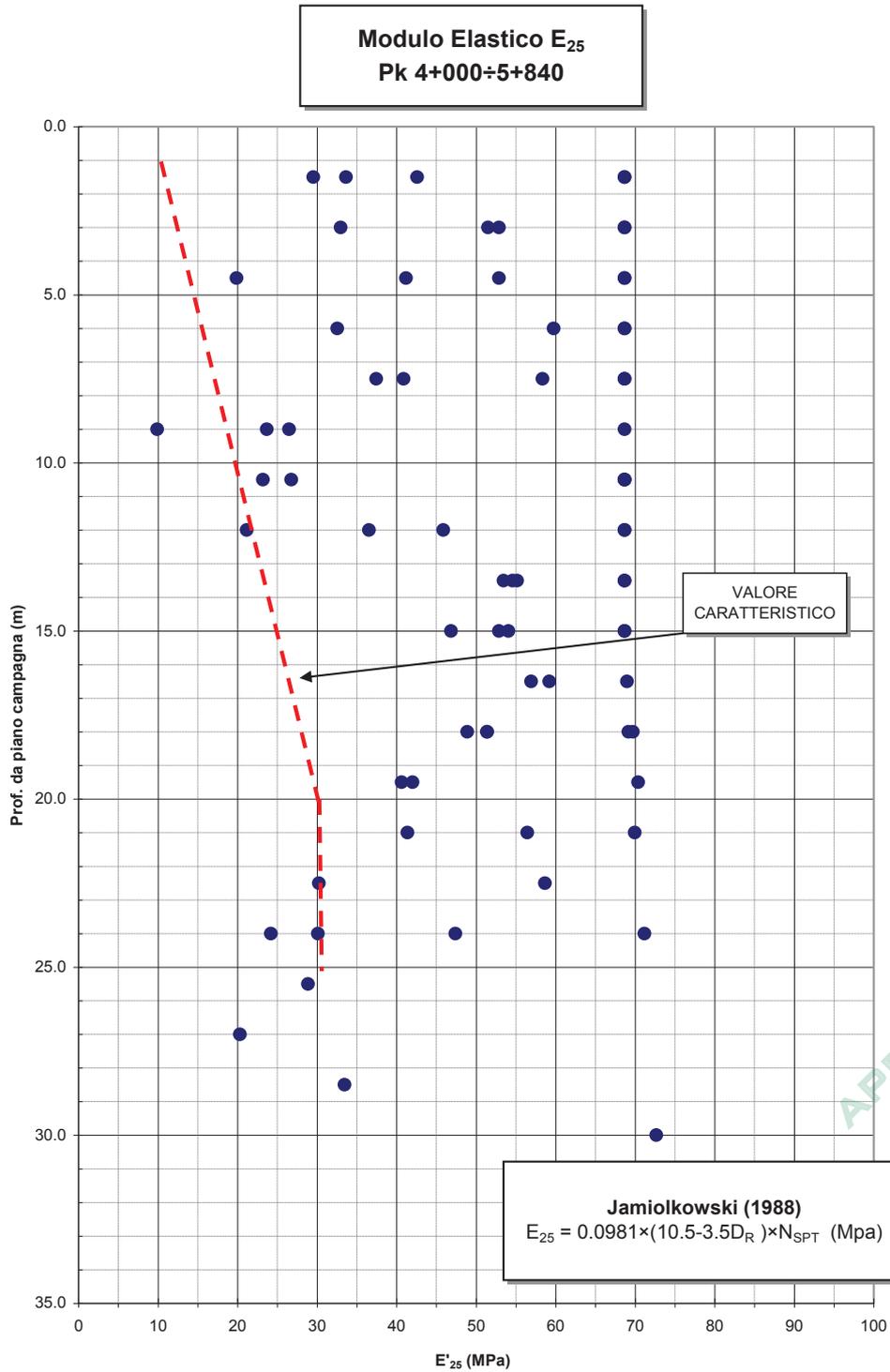
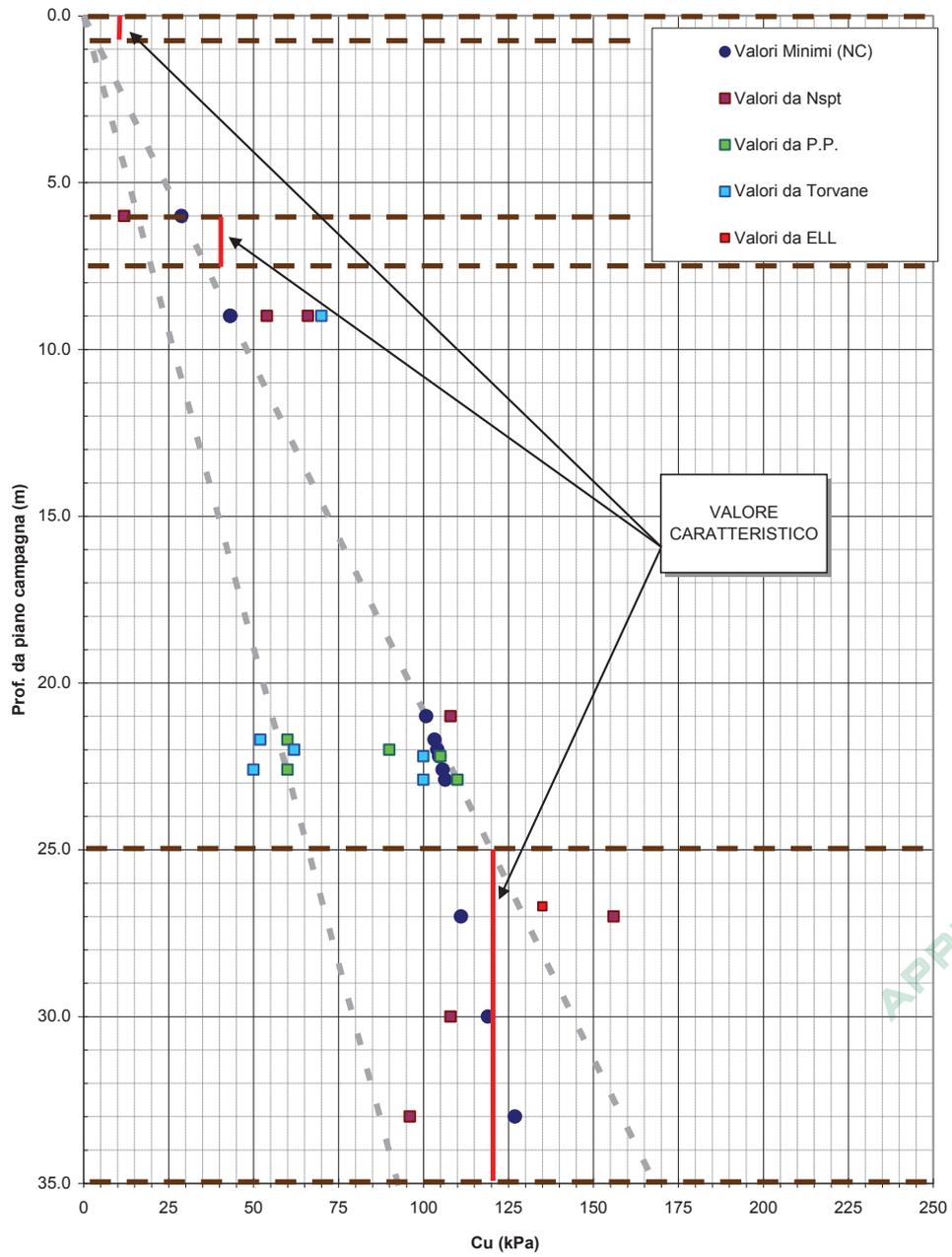


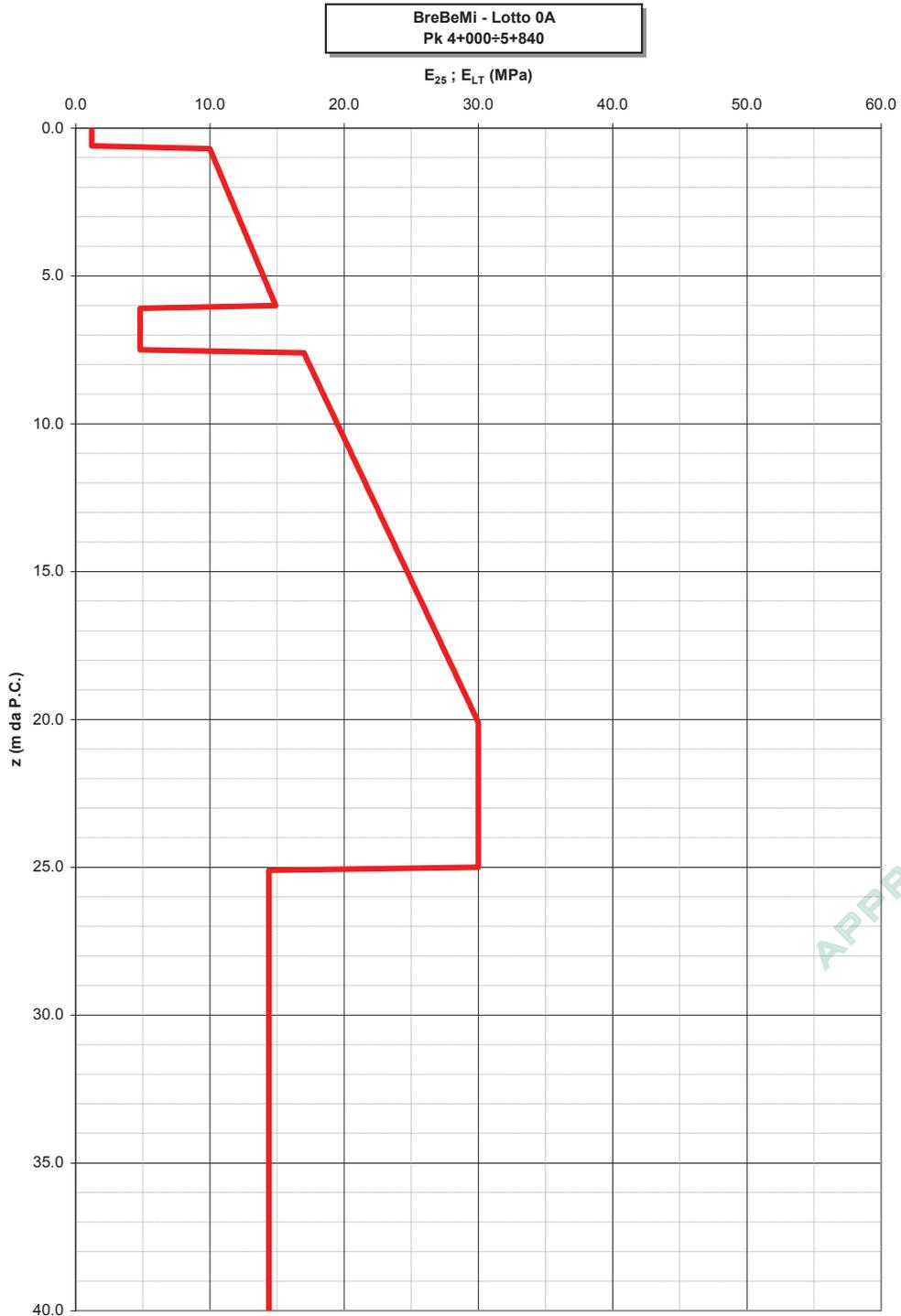
Figura 4.22 – Pk 4+000÷5+840: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>25</sub>.

**Coesione non drenata  
Pk 4+000÷5+840**



**Figura 4.23** – Pk 4+000÷5+840: Definizione del valore caratteristico della coesione non drenata  $C_u$ .

### 4.3.2 Abachi per la definizione del coefficiente di sottofondo



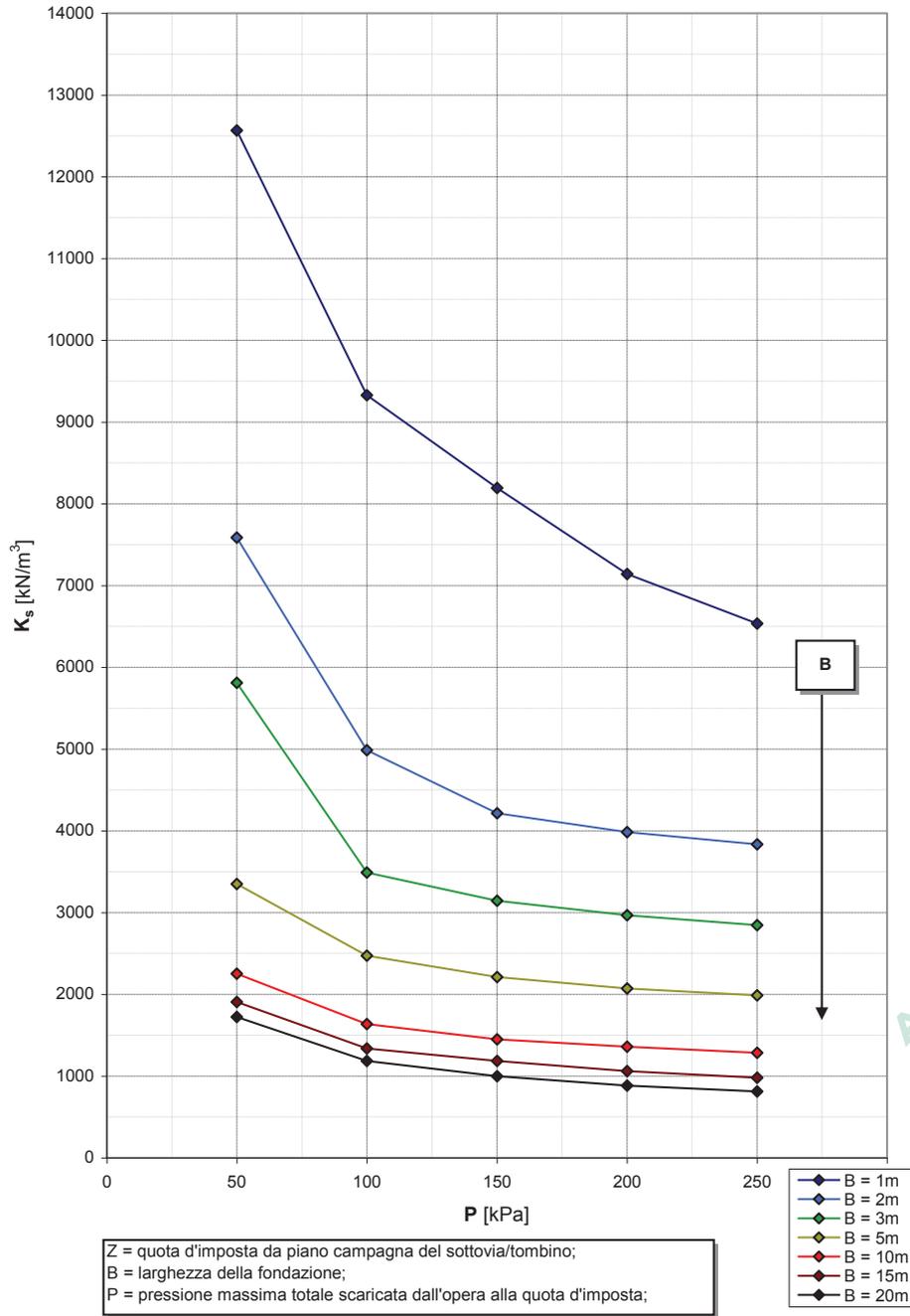
**Figura 4.24** – Profilo di rigidezza adottato per la determinazione di  $K_s$ . Società di Progetto Brebemi SpA

APPROVATO SDP



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 4+000÷5+840

Z = -1m da P.C.



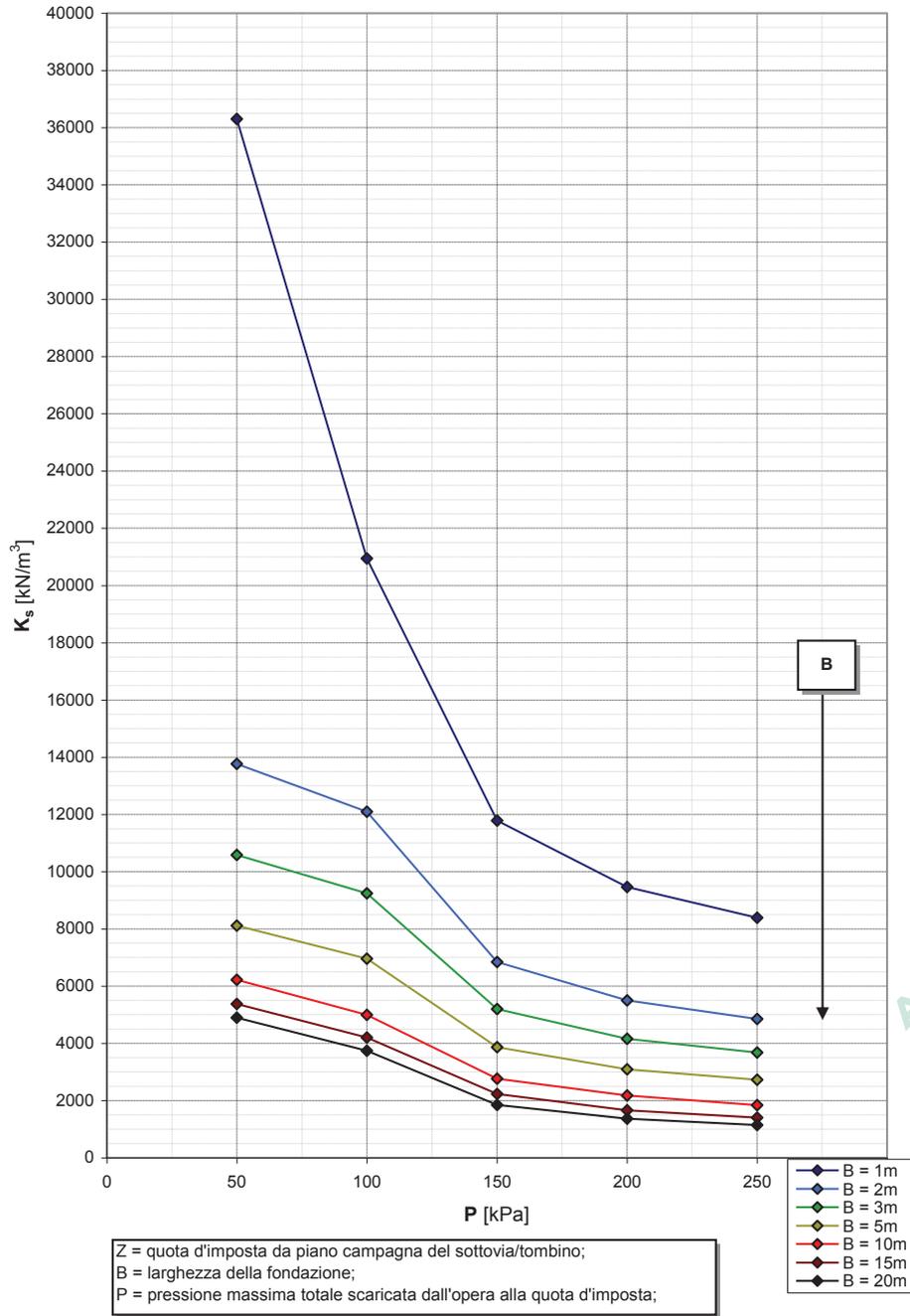
APPROVATO SDP

Figura 4.25 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 4+000÷5+840, z = -1m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 4+000÷5+840

Z = -5m da P.C.



APPROVATO SDP

Figura 4.26 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 4+000÷5+840, z = -5m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 4+000÷5+840

Z = -10m da P.C.

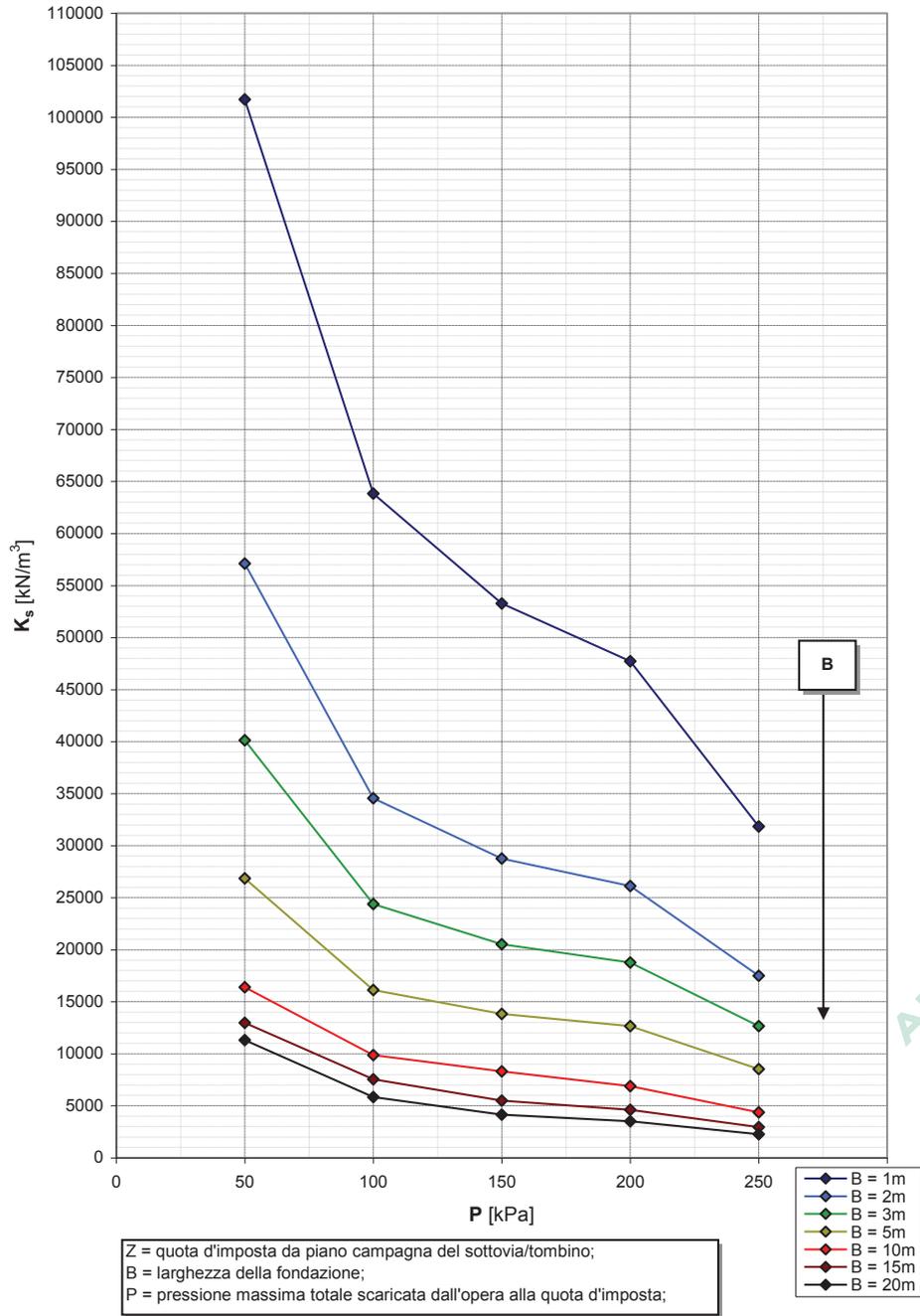


Figura 4.27 – Abaco per la determinazione di Ks: tratta Pk 4+000÷5+840, z = -10m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 52 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

#### 4.4 Tratta da Pk 5+840 a Pk 7+040

**Breve descrizione della tratta:** Essa è caratterizzata dalla presenza di un livello superficiale di materiale coesivo limoso-argilloso sovraconsolidato avente spessore massimo pari a circa 7m. A seguire si incontra un livello ghiaioso-sabbioso, localmente cementato, dalle ottime proprietà meccaniche che si spinge fino a circa 17m da P.C.. Successivamente si incontra un secondo strato di materiali limosi-argillosi che si spinge fino a circa 30m da P.C. Infine, tra 30 e 35m da P.C. si incontra un nuovo deposito ghiaioso-sabbioso dalle ottime proprietà meccaniche.

Si sottolinea che i parametri di rigidità assunti per lo strato superficiale di materiali limosi-argillosi fanno riferimento a livelli di sforzo nel terreno (fino a circa 500kPa) per cui il materiale si trova in condizione di ricarico.

Inoltre, per la definizione dei valori di coesione non drenata da associare agli strati di materiale fine, sono stati trascurati i risultati delle prove in sito (Penetrometro portatile e Vane Test) in quanto estremamente disturbati e dispersi e ci si è basati sui risultati ottenuti dalle prove penetrometriche (SPT) e le prove di laboratorio di compressione ad espansione laterale libera (ELL).

**Sondaggi di riferimento:** SE12Apz, S.335, S.007, SE13Apz, S.006, SE15A, SE14Apz, S.333.

**Note:** - .

APPROVATO SDR

#### 4.4.1 Profilo di Progetto

BreBeMi - Lotto 0A - Pk da 5+840÷7+040																									
Quota da P.C		Descrizione	Unità	Parametri in condizioni drenate											Parametri in condizioni non drenate				Peso di volume		Permeabilità <sup>a</sup>				
da	a			$\phi'_{k\_SPT}$	$\phi'_{k\_CONTROLLO}$	$\phi'_k$	$\phi'_{dM1}$	$\phi'_{dM2}$	$c'_k$	$c'_{dM1}$	$c'_{dM2}$	$E'_{01}$	$E'_{25}$	$E'_{LT}$	$C_{uk}^{**}$	$C_{u,dM1}$	$C_{u,dM2}$	$E_u$	$\gamma_n$	$\gamma'$		$k$			
(m)	(m)	(-)	(°)	(°)	(°)	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)						
0.0	7.0	Limo / Argilla	V / VI	-	-	30	30	25	10	10	8	-	-	-	-	20	20	100	100	71	30	30	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$
7.0	17.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	41	36	40	40	34	0	0	0	90	130	40	40	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$
17.0	30.0	Limo / Argilla	V / VI	-	-	30	30	25	10	10	8	-	-	-	-	12	12	100	100	71	40	40	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$
30.0	35.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa	II / III	41	36	40	40	34	0	0	0	170	170	60	60	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$

NOTA: Il profilo è una semplificazione della stratigrafia mediamente incontrata tra le Pk di riferimento definita sulla base dei dati disponibili. Tale stratigrafia è da considerarsi valida per le opere minori (sottovia/tombini) e per i rilevati/trincee per le quali non siano previste particolarità realizzative. Per tutte le altre opere ed i casi particolari si dovrà far riferimento ai profili geotecnici specifici.

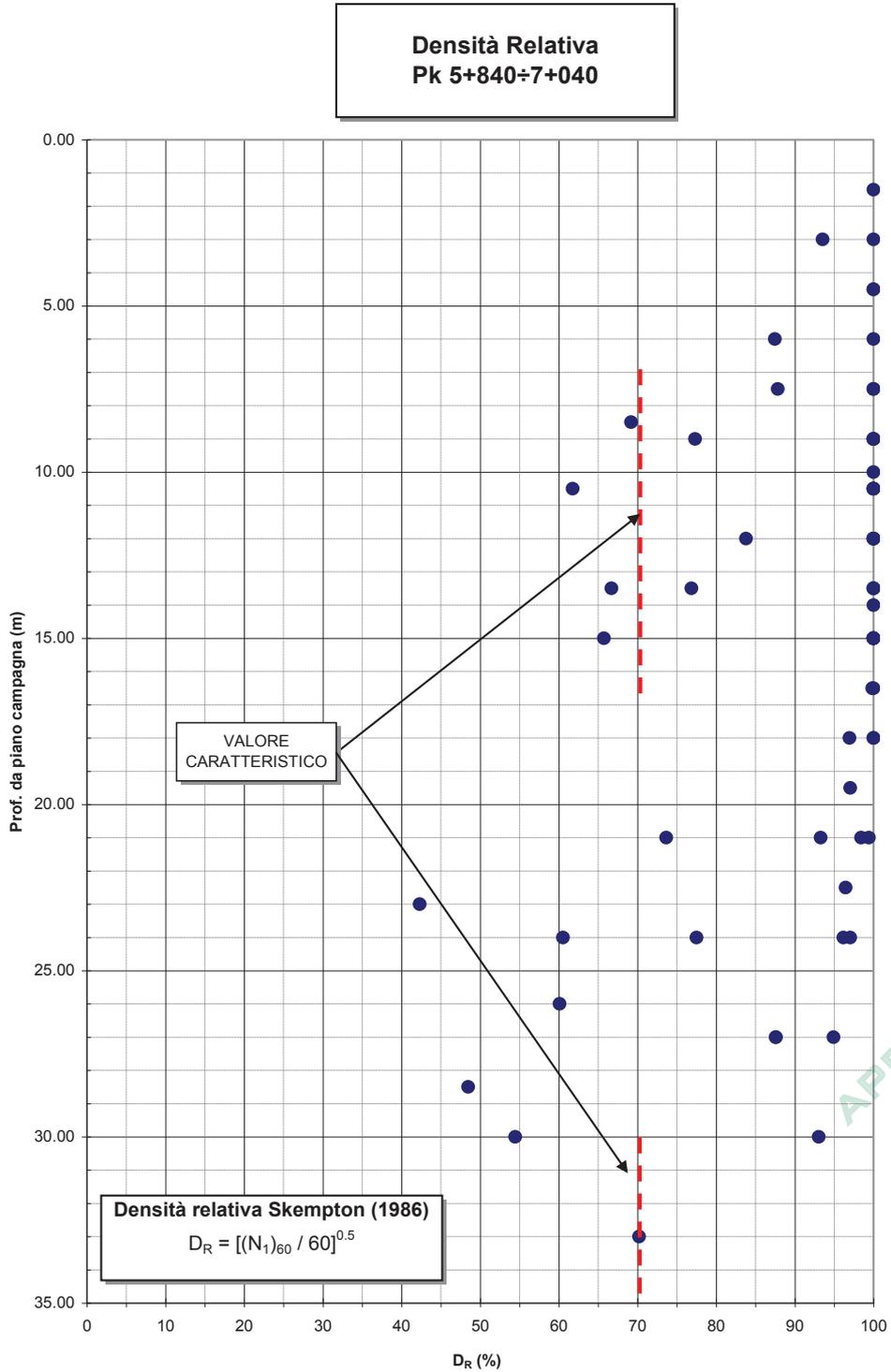
<sup>a</sup> La permeabilità è stimata sulla base della granulometria / descrizione stratigrafica e, quando disponibili, su prove di permeabilità in sito.

\*\* Per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali, per strati di materiale fine presenti nei primi 4÷5m da P.C. si dovrà considerare un valore caratteristico minimo di coesione non drenata pari a 30÷40 kPa (si veda §3.3.1).

Tabella 4.4 – Profilo di progetto tratta Pk 5+840÷7+040

APPROVATO SDR



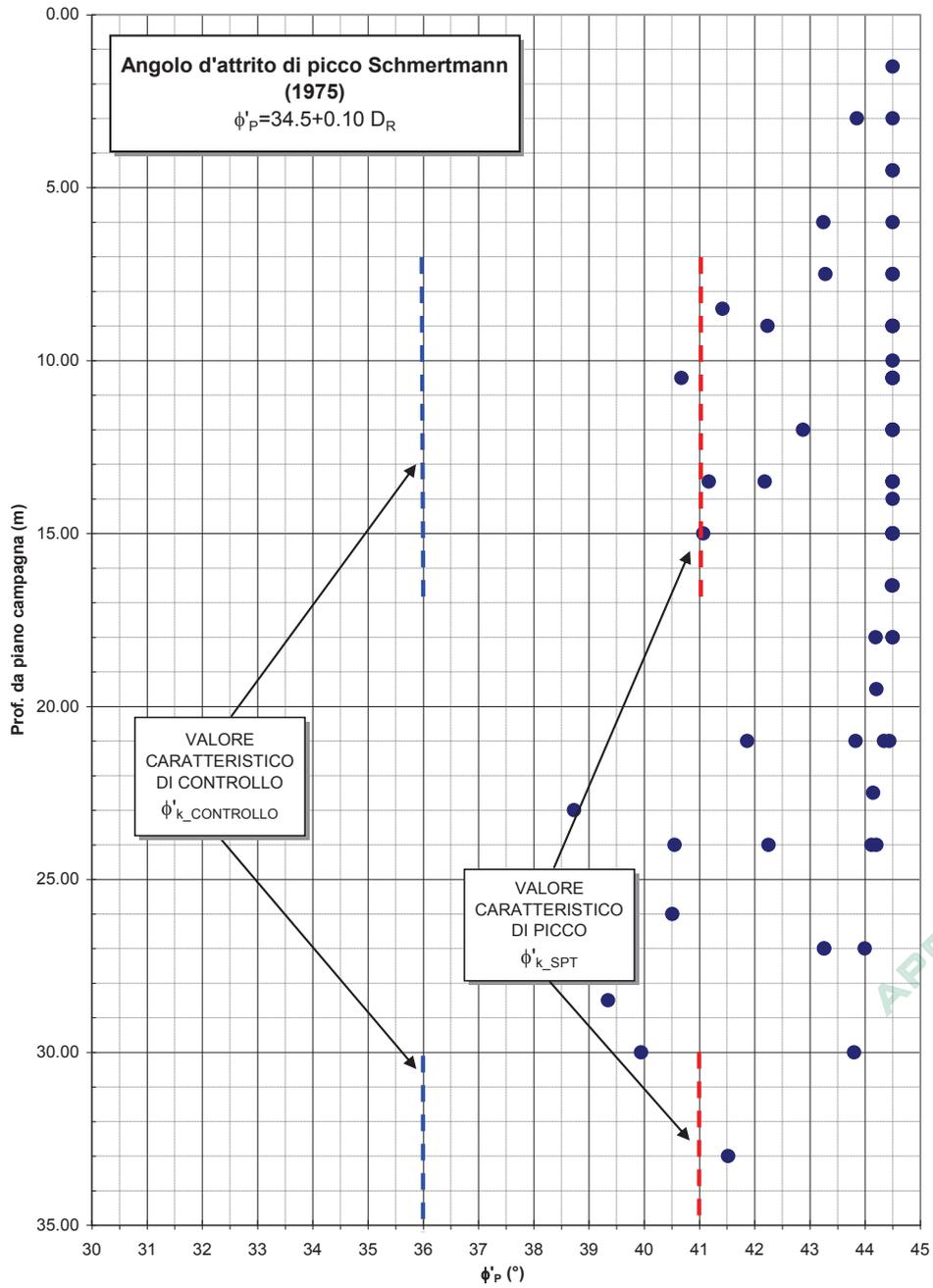


**Figura 4.28** – Pk 5+840÷7+040: Definizione del valore caratteristico di densità relativa della matrice ghiaiosa-sabbiosa.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



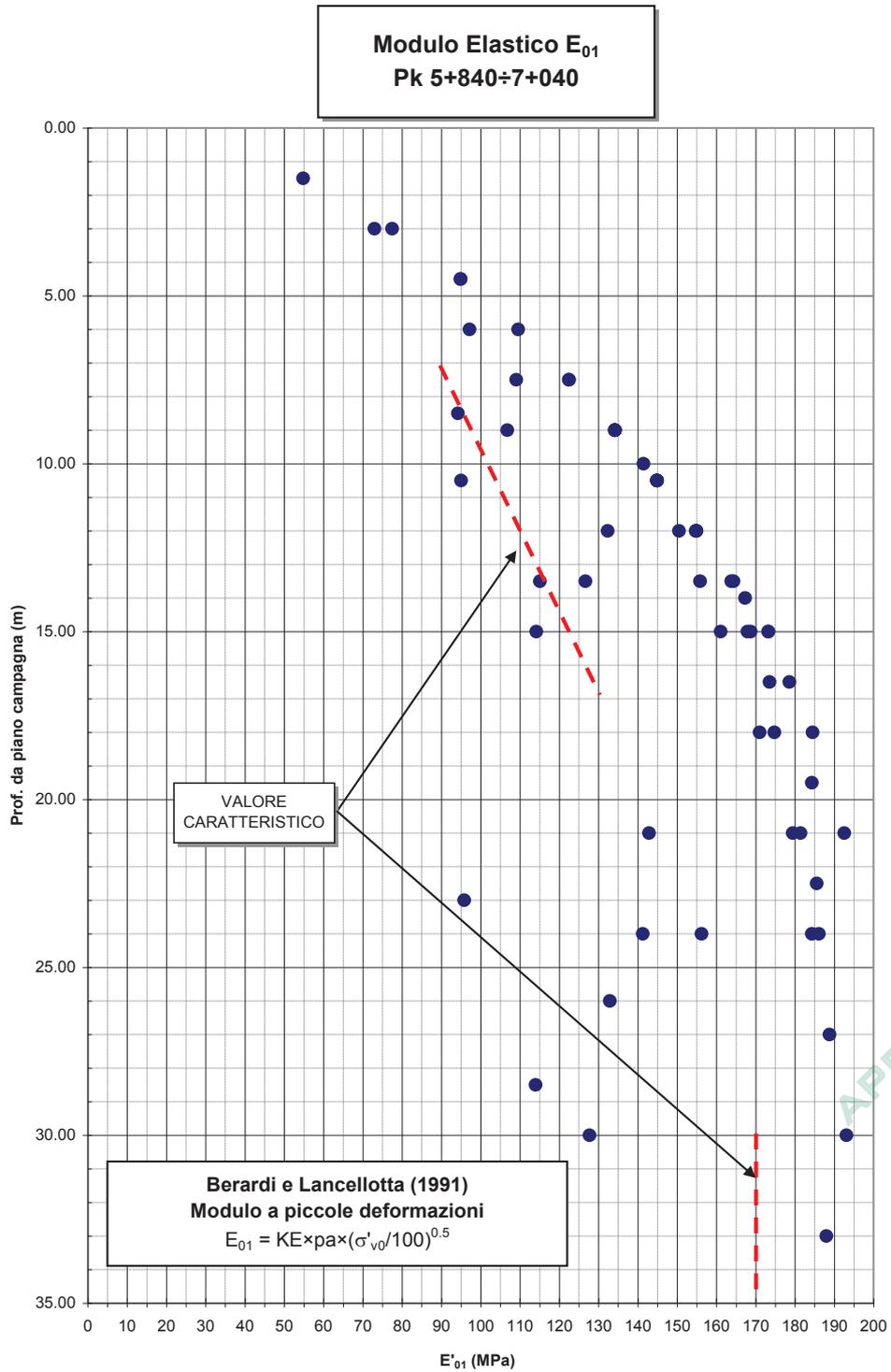
**Angolo d'attrito di picco e operativo  
Pk 5+840÷7+040**



**Figura 4.29** – Pk 5+840÷7+040: Definizione del valore caratteristico di angolo di resistenza al taglio di picco e di controllo.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

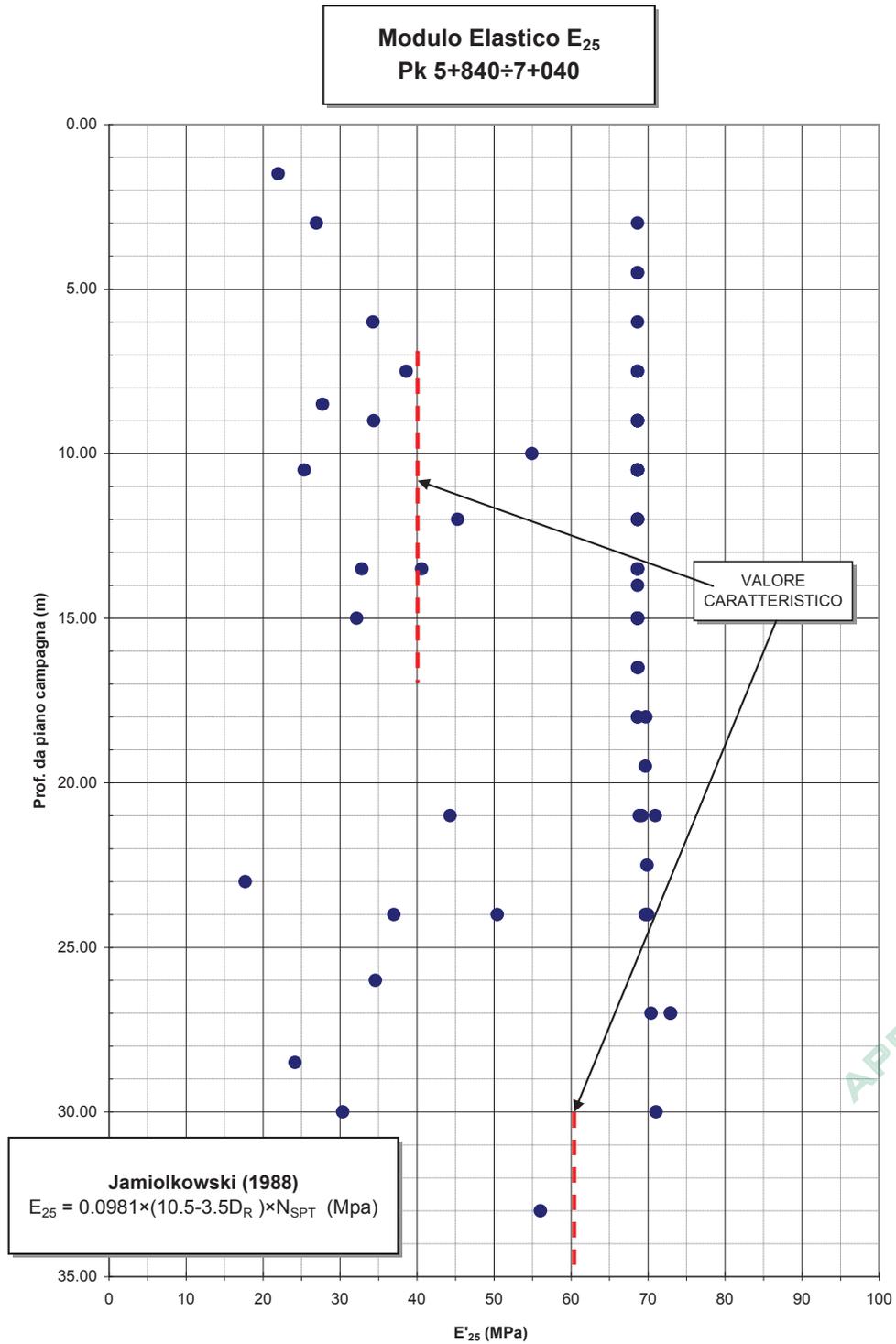




**Figura 4.30** – Pk 5+840÷7+040: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico  $E_{01}$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA

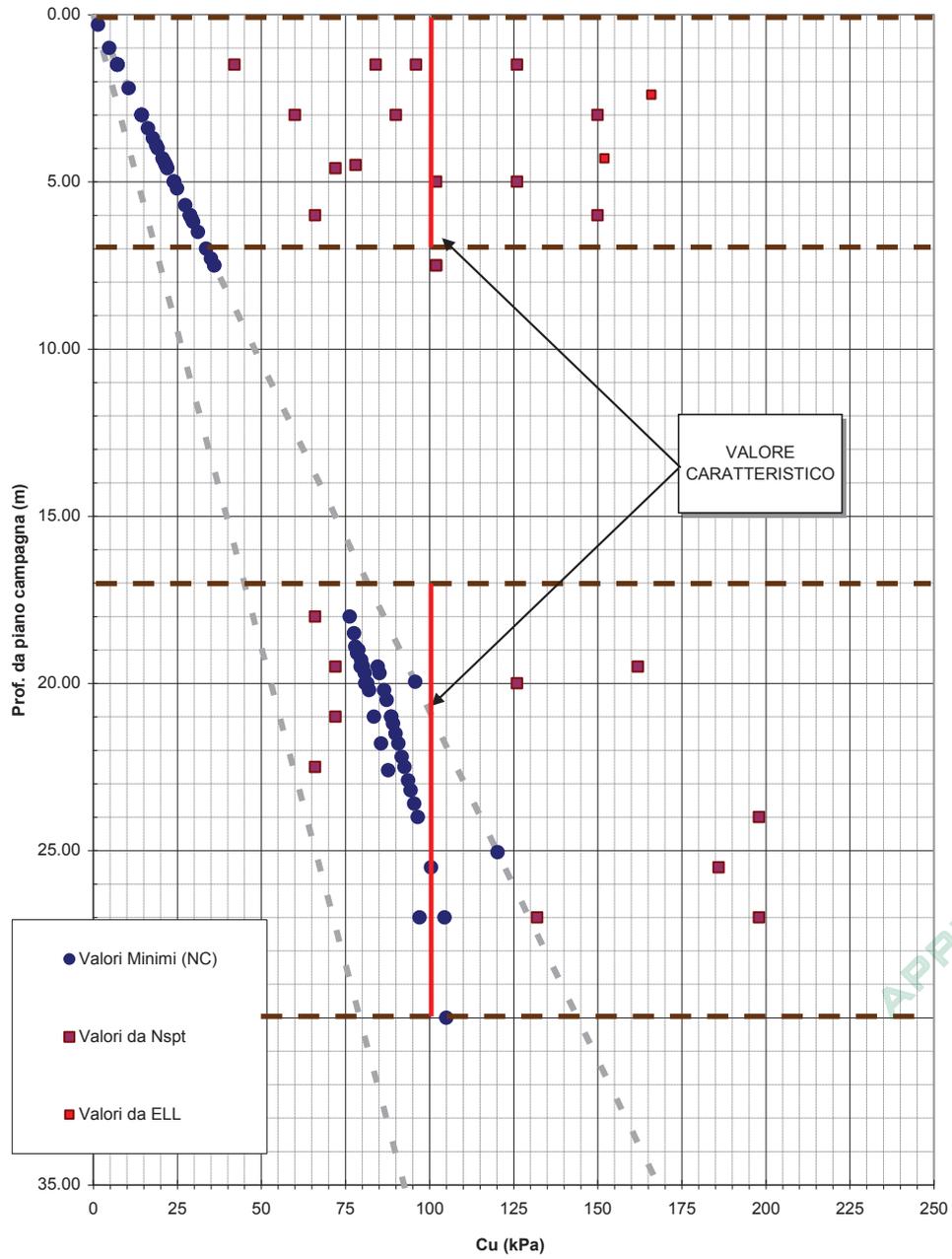




**Figura 4.31** – Pk 5+840÷7+040: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>25</sub>.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

**Coesione non drenata  
Pk 5+840÷7+040**



**Figura 4.32** – Pk 5+840÷7+040: Definizione del valore caratteristico della coesione non drenata  $C_u$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA

#### 4.4.2 Abachi per la definizione del coefficiente di sottofondo

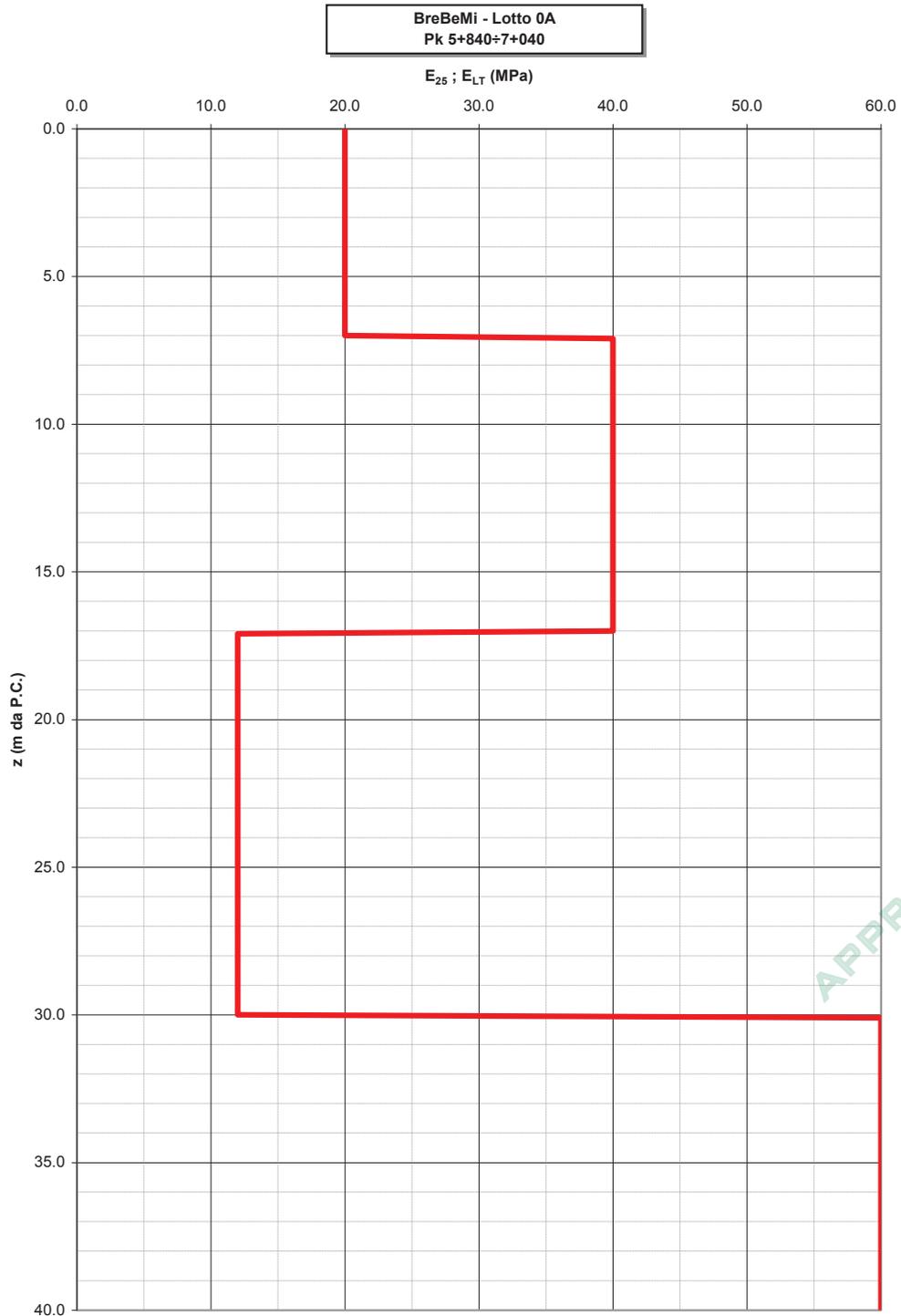


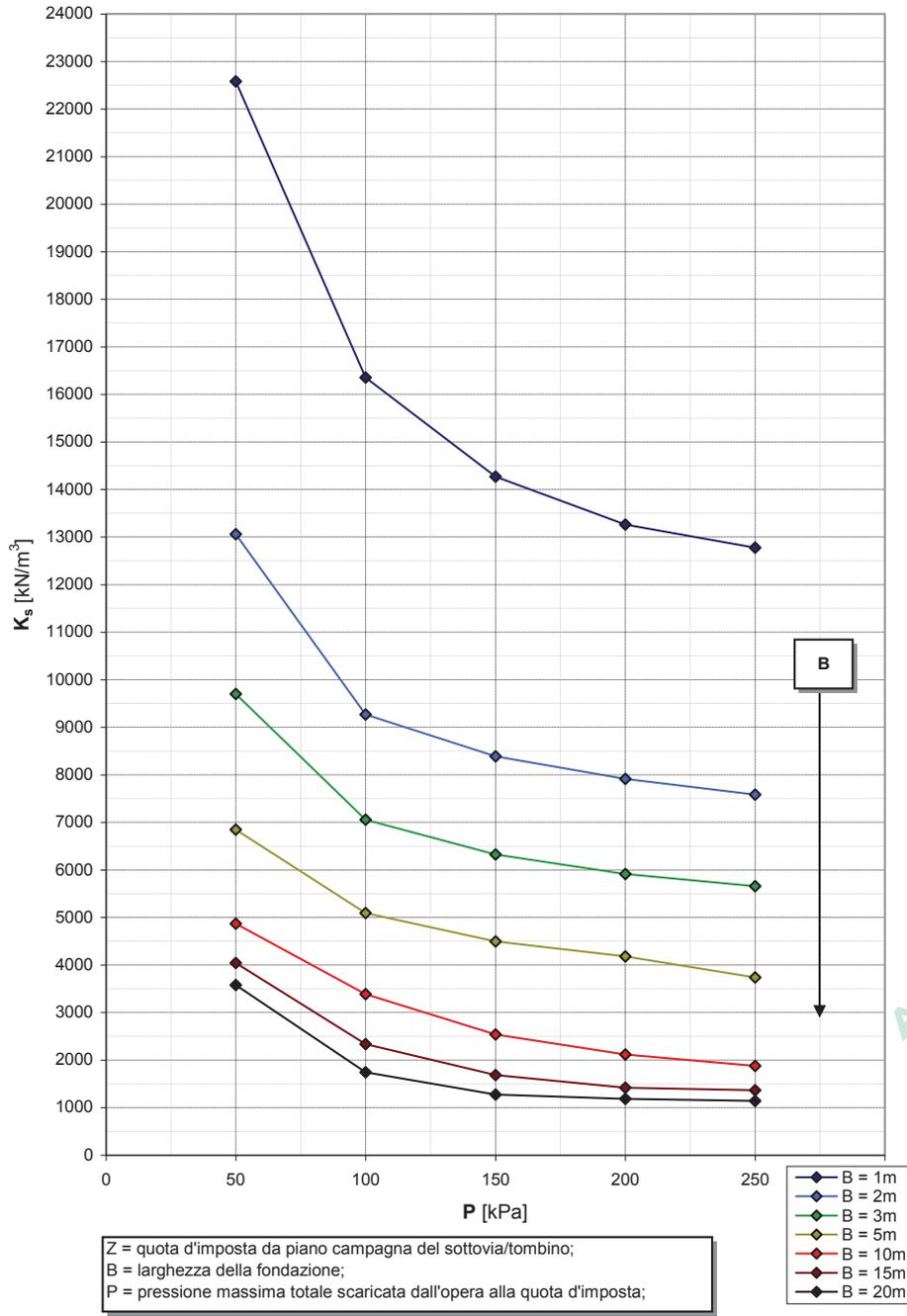
Figura 4.33 – Profilo di rigidezza adottato per la determinazione di  $K_s$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 5+840÷7+040

Z = -1m da P.C.



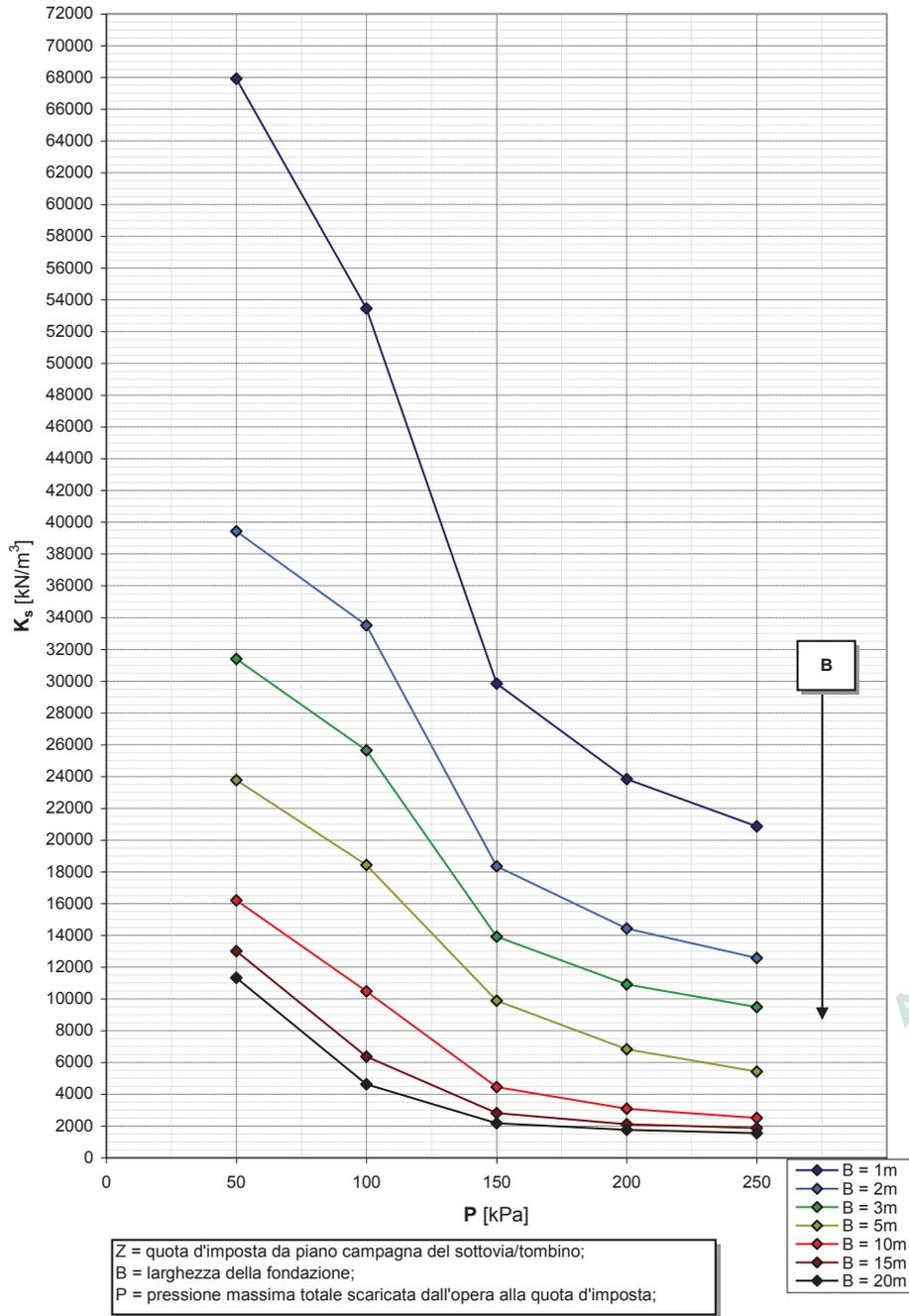
APPROVATO SDP

Figura 4.34 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 5+840÷7+040, z = -1m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 5+840÷7+040

Z = -5m da P.C.



APPROVATO SDP

Figura 4.35 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 5+840÷7+040, z = -5m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 5+840÷7+040

Z = -10m da P.C.

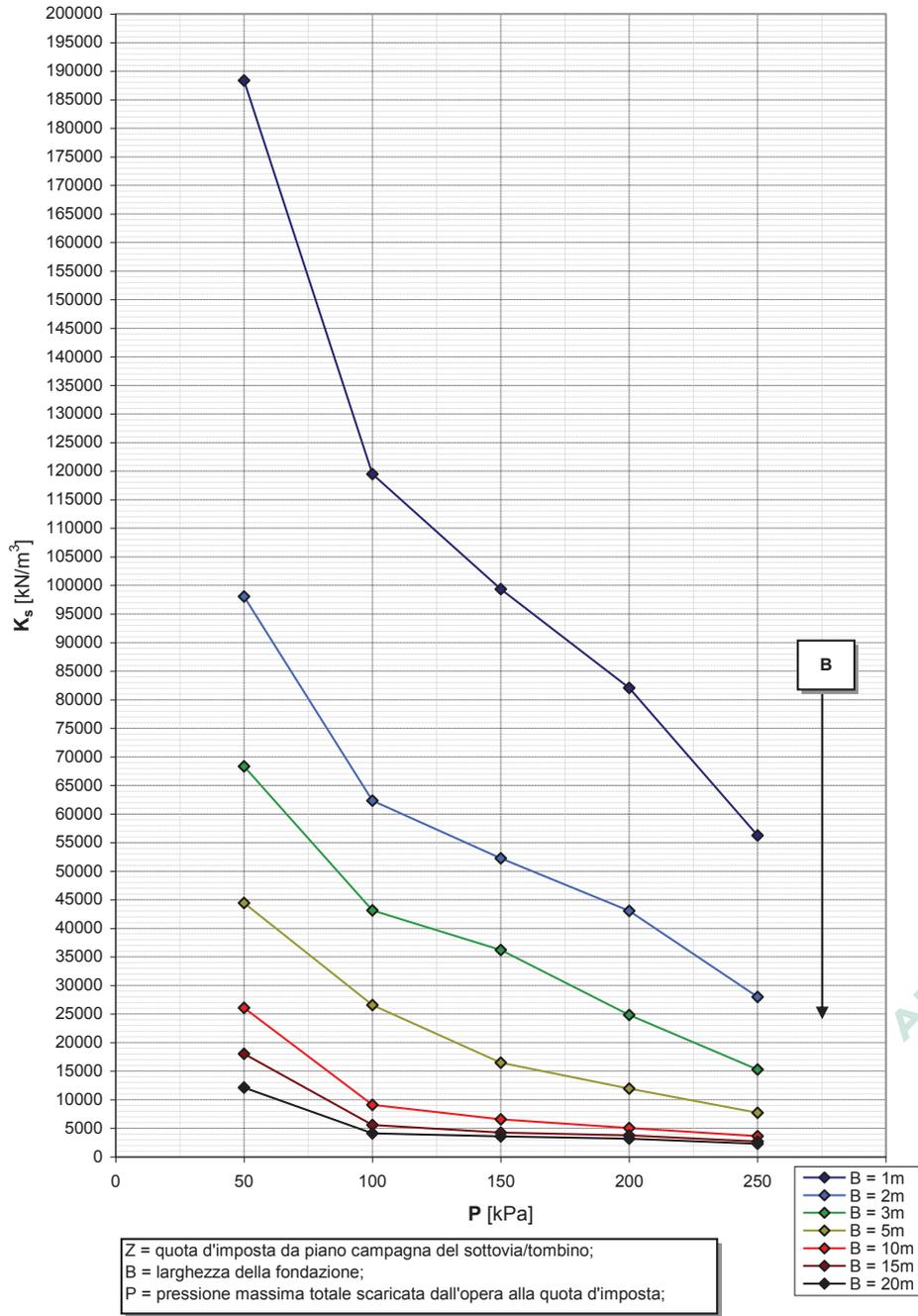


Figura 4.36 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 5+840÷7+040, z = -10m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 63 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

#### 4.5 Tratta da Pk 7+040 a Pk 7+912

**Breve descrizione della tratta:** Essa è caratterizzata dalla presenza di un livello superficiale di materiale coesivo limoso-argilloso sovraconsolidato avente spessore massimo pari a circa 9m. A seguire si incontra un livello ghiaioso-sabbioso dalle ottime proprietà meccaniche costituito principalmente da materiali ricadenti nelle unità II,III e IV, che si spinge fino a circa 16.5m da P.C.. Successivamente si incontra un secondo strato di materiali limosi-argillosi che si spinge fino a circa 30m da P.C. Tra 30 e 35m da P.C. si incontra infine un nuovo deposito ghiaioso-sabbioso dalle ottime proprietà meccaniche.

Si sottolinea che i parametri di rigidità assunti per lo strato superficiale di materiali limosi-argillosi fanno riferimento a livelli di sforzo nel terreno (fino a circa 500kPa) per cui il materiale si trova in condizione di ricarico.

Inoltre, per la definizione dei valori di coesione non drenata da associare agli strati di materiale fine, sono stati trascurati i risultati delle prove in sito (Penetrometro portatile e Vane Test) in quanto estremamente disturbati e dispersi e ci si è basati sui risultati ottenuti dalle prove penetrometriche (SPT) e le prove di laboratorio di compressione ad espansione laterale libera (ELL).

**Sondaggi di riferimento:** SE16Apz, S.005, SE17Apz, S.001, S.332.

**Note:** - .

APPROVATO SDR

#### 4.5.1 Profilo di Progetto

BreBeMi - Lotto 0A - Pk da 7+040÷7+912																									
Quota da P.C		Descrizione	Unità	Parametri in condizioni drenate											Parametri in condizioni non drenate				Peso di volume		Permeabilità <sup>a</sup>				
da	a			$\phi'_{k\_SPT}$	$\phi'_{k\_CONTROLLO}$	$\phi'_k$	$\phi'_{dM1}$	$\phi'_{dM2}$	$c'_k$	$c'_{dM1}$	$c'_{dM2}$	$E'_{01}$	$E'_{25}$	$E'_{LT}$	$C_{uk}^{**}$	$C_{u,dM1}$	$C_{u,dM2}$	$E_u$	$\gamma_n$	$\gamma$		$k$			
(m)	(m)	(-)	(°)	(°)	(°)	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/s)						
0.0	9.0	Limo / Argilla	V / VI	-	-	30	30	25	10	10	8	-	-	-	-	15	15	100	100	71	30	30	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$
9.0	16.5	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	41	36	40	40	34	0	0	0	105	145	40	40	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$
16.5	30.0	Limo / Argilla	V / VI	-	-	30	30	25	10	10	8	-	-	-	-	12	12	100	100	71	40	40	20	11	$1 \times E^{-8} \div E^{-9}$
30.0	35.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa	II / III	42	37	40	40	34	0	0	0	190	190	60	60	-	-	-	-	-	-	-	20	11	$1 \times E^{-5} \div E^{-7}$

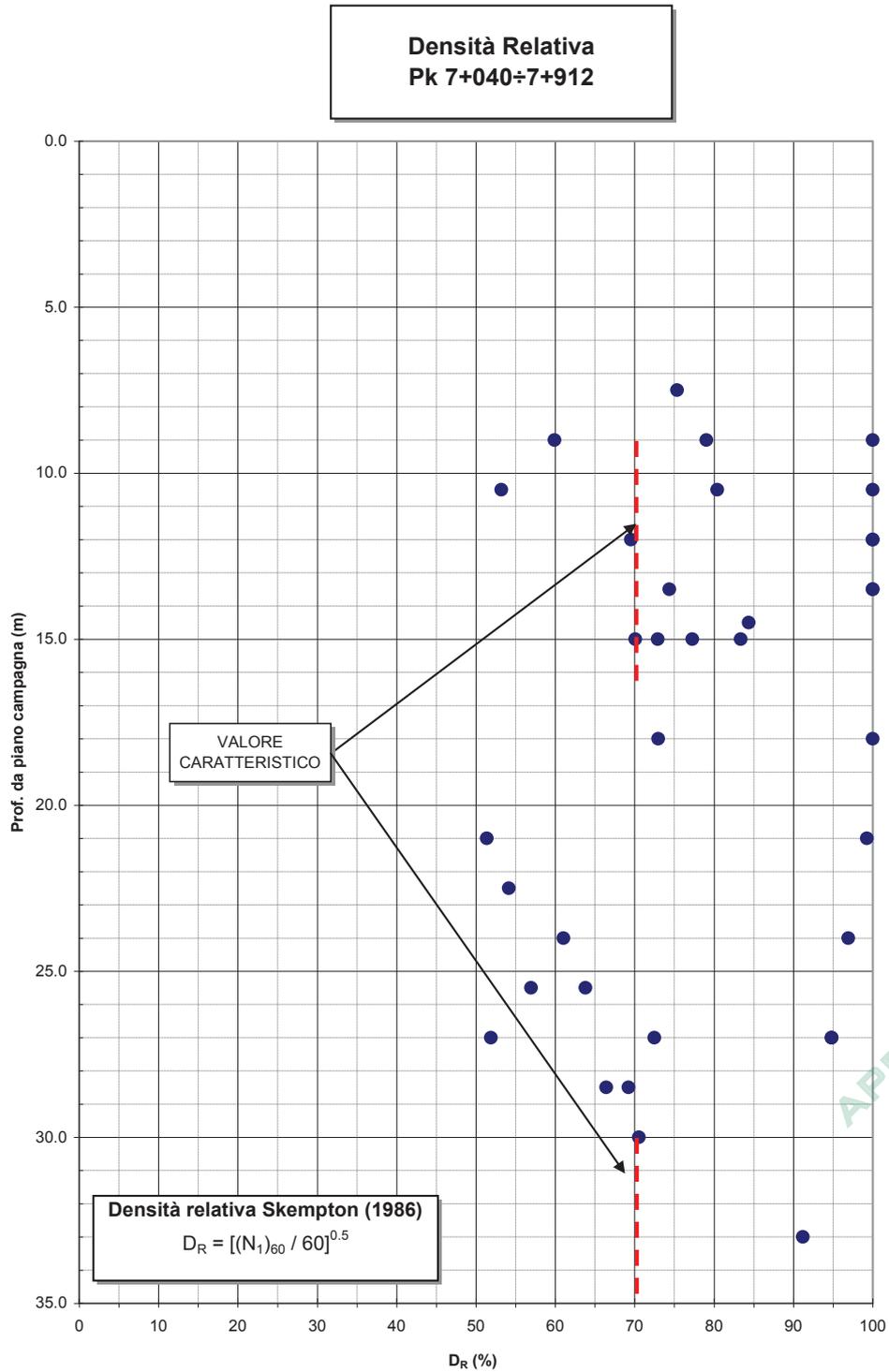
NOTA: Il profilo è una semplificazione della stratigrafia mediamente incontrata tra le Pk di riferimento definita sulla base dei dati disponibili. Tale stratigrafia è da considerarsi valida per le opere minori (sottovia/tombini) e per i rilevati/trincee per le quali non siano previste particolarità realizzative. Per tutte le altre opere ed i casi particolari si dovrà far riferimento ai profili geotecnici specifici.

<sup>a</sup> La permeabilità è stimata sulla base della granulometria / descrizione stratigrafica e, quando disponibili, su prove di permeabilità in sito.

\*\* Per tutte le verifiche di stabilità dei rilevati e di capacità portante delle fondazioni superficiali, per strati di materiale fine presenti nei primi 4\*5m da P.C. si dovrà considerare un valore caratteristico minimo di coesione non drenata pari a 30\*40 kPa (si veda §3.3.1).

Tabella 4.5 – Profilo di progetto tratta Pk 7+040÷7+912

APPROVATO SDR

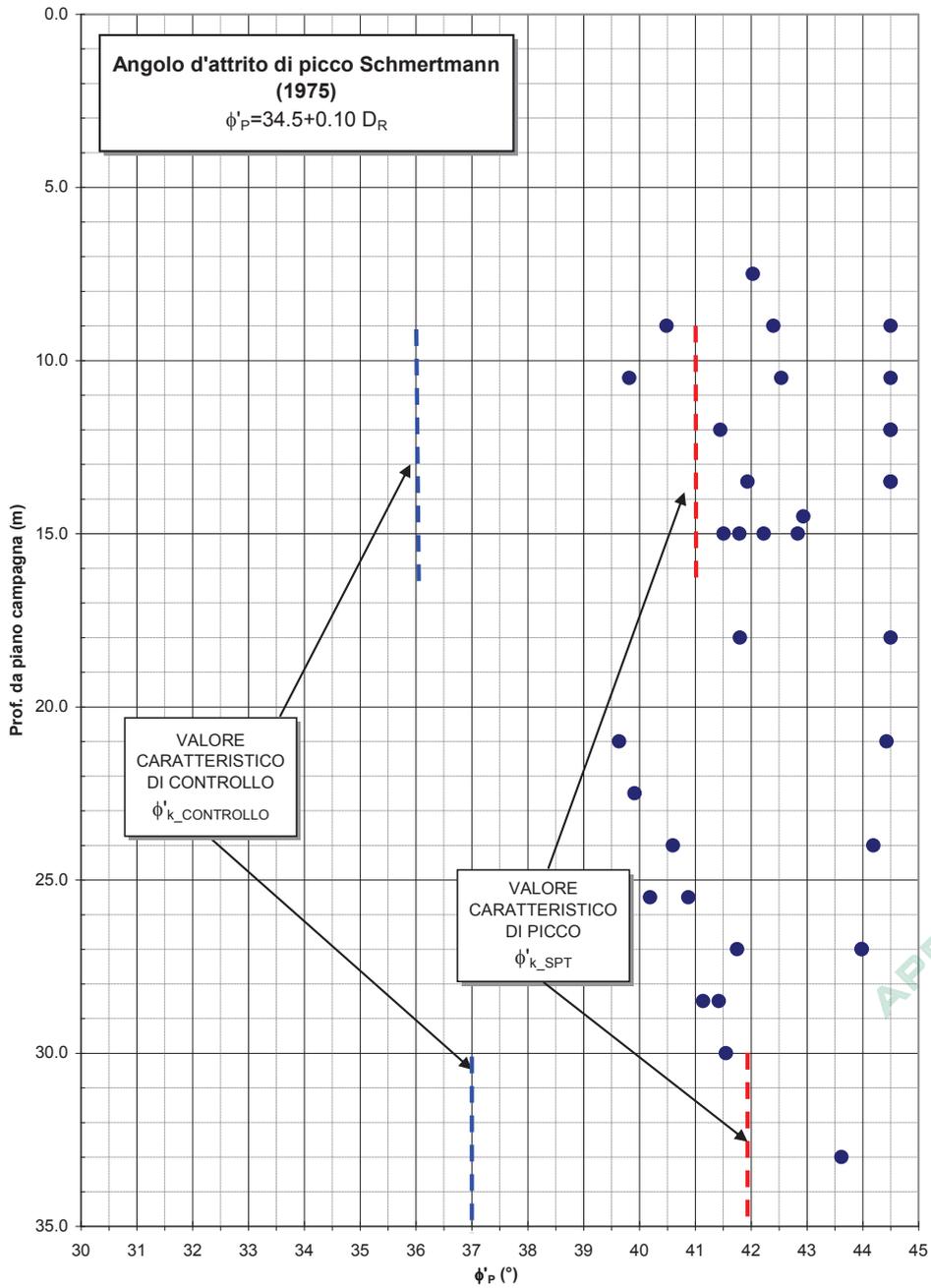


**Figura 4.37** – Pk 7+040÷7+912: Definizione del valore caratteristico di densità relativa della matrice ghiaiosa-sabbiosa.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



**Angolo d'attrito di picco e operativo  
Pk 7+040÷7+912**

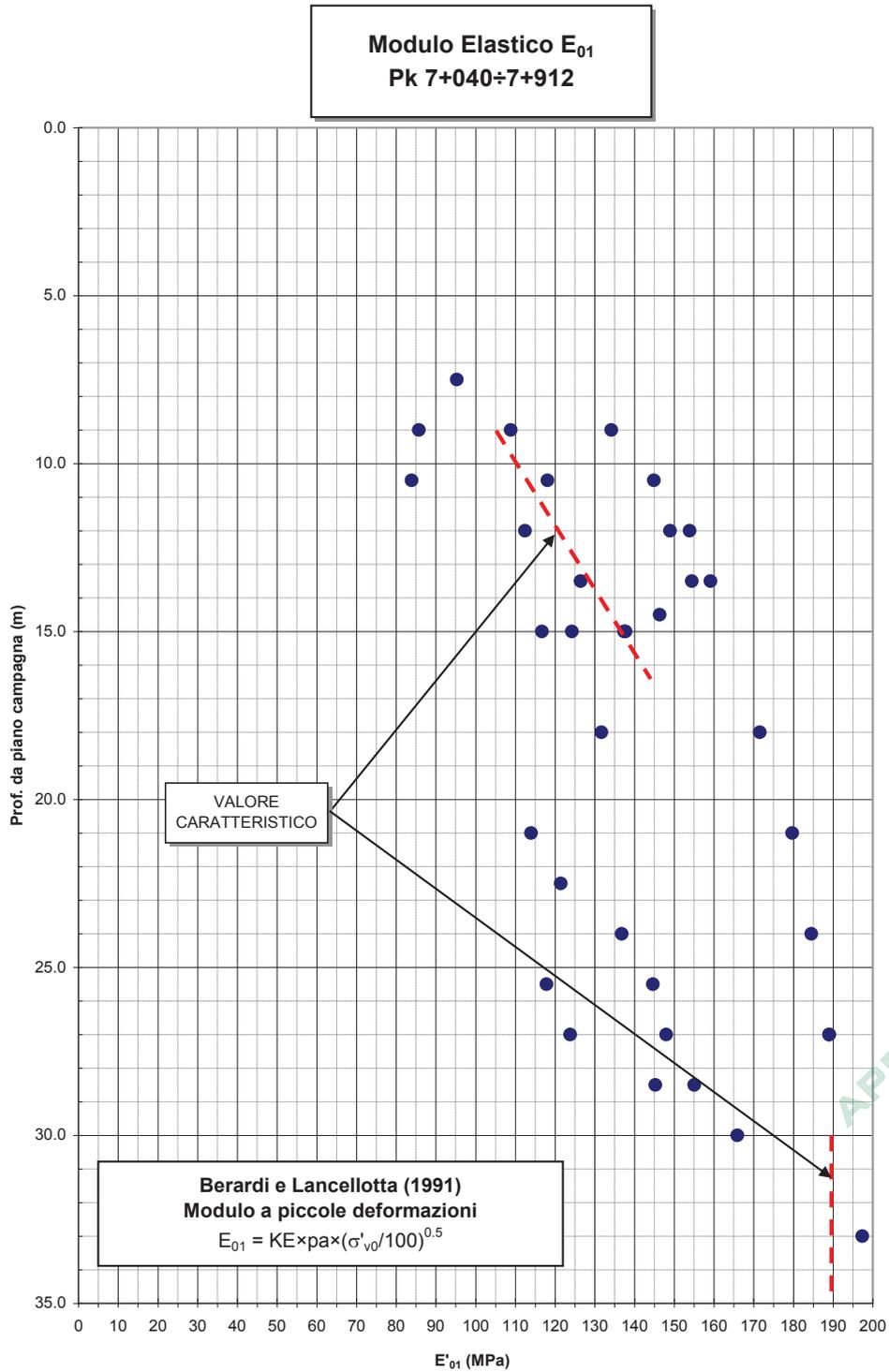


APPROVATO SDP

**Figura 4.38** – Pk 7+040÷7+912: Definizione del valore caratteristico di angolo di resistenza al taglio di picco e di controllo.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

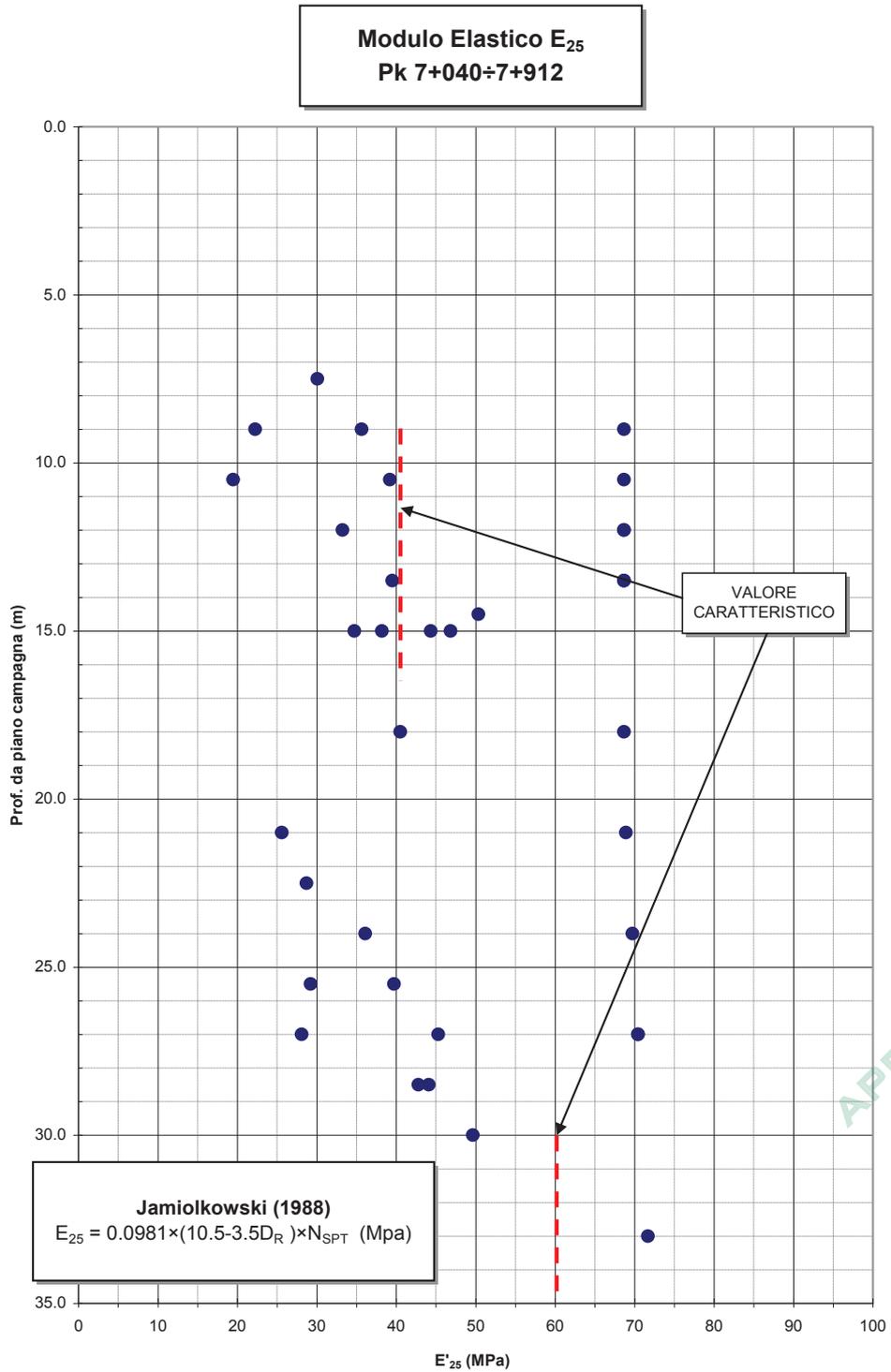




**Figura 4.39** – Pk 7+040÷7+912: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico  $E_{01}$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA

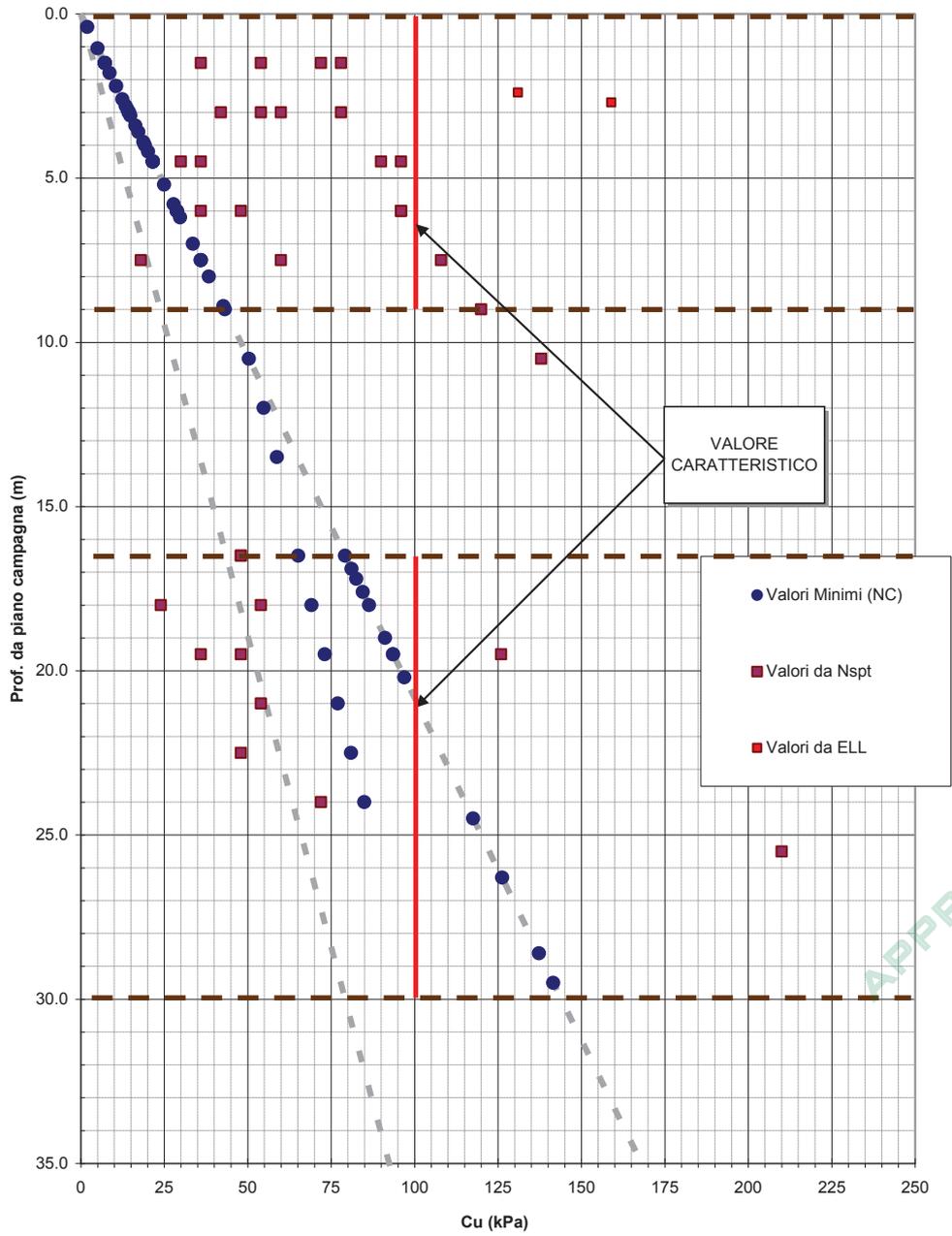




**Figura 4.40** – Pk 7+040÷7+912: Definizione del valore caratteristico del modulo elastico E<sub>25</sub>.

Società di Progetto  
**Brebemi SpA**

**Coesione non drenata  
Pk 7+040÷7+912**



**Figura 4.41** – Pk 7+040÷7+912: Definizione del valore caratteristico della coesione non drenata Cu.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

#### 4.5.2 Abachi per la definizione del coefficiente di sottofondo

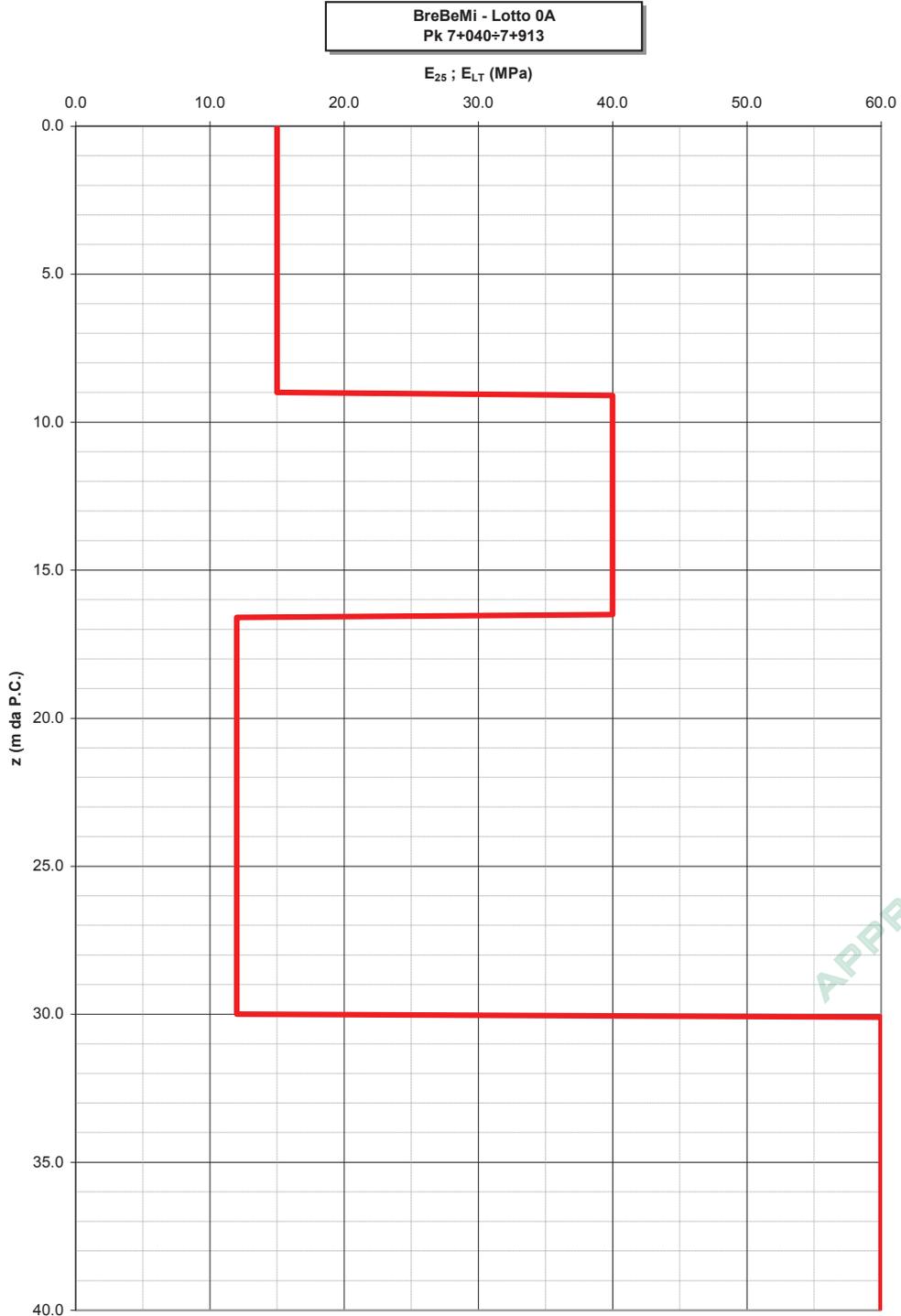


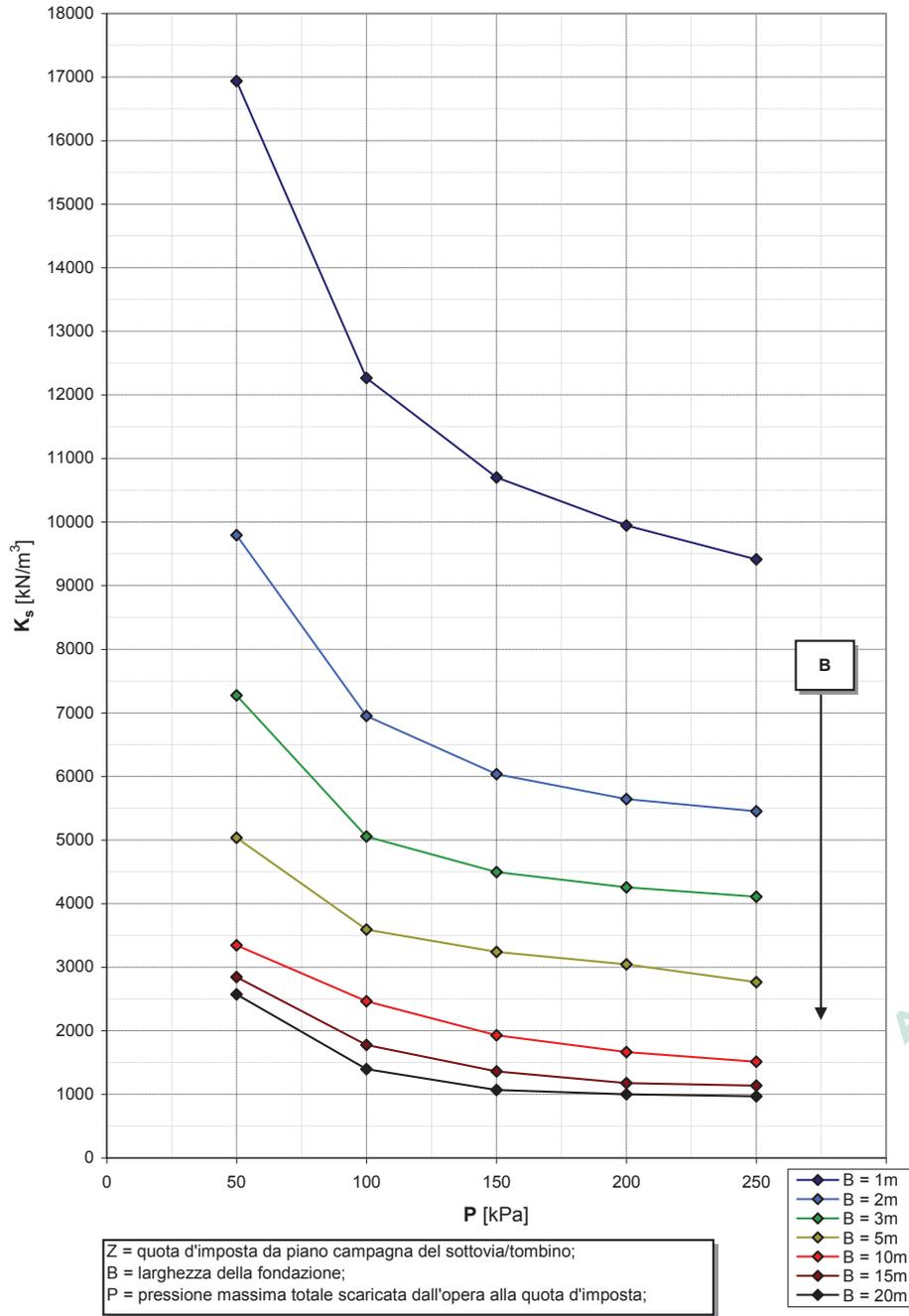
Figura 4.42 – Profilo di rigidità adottato per la determinazione di  $K_s$ .

Società di Progetto  
Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
Pk 7+040÷7+913

Z = -1m da P.C.



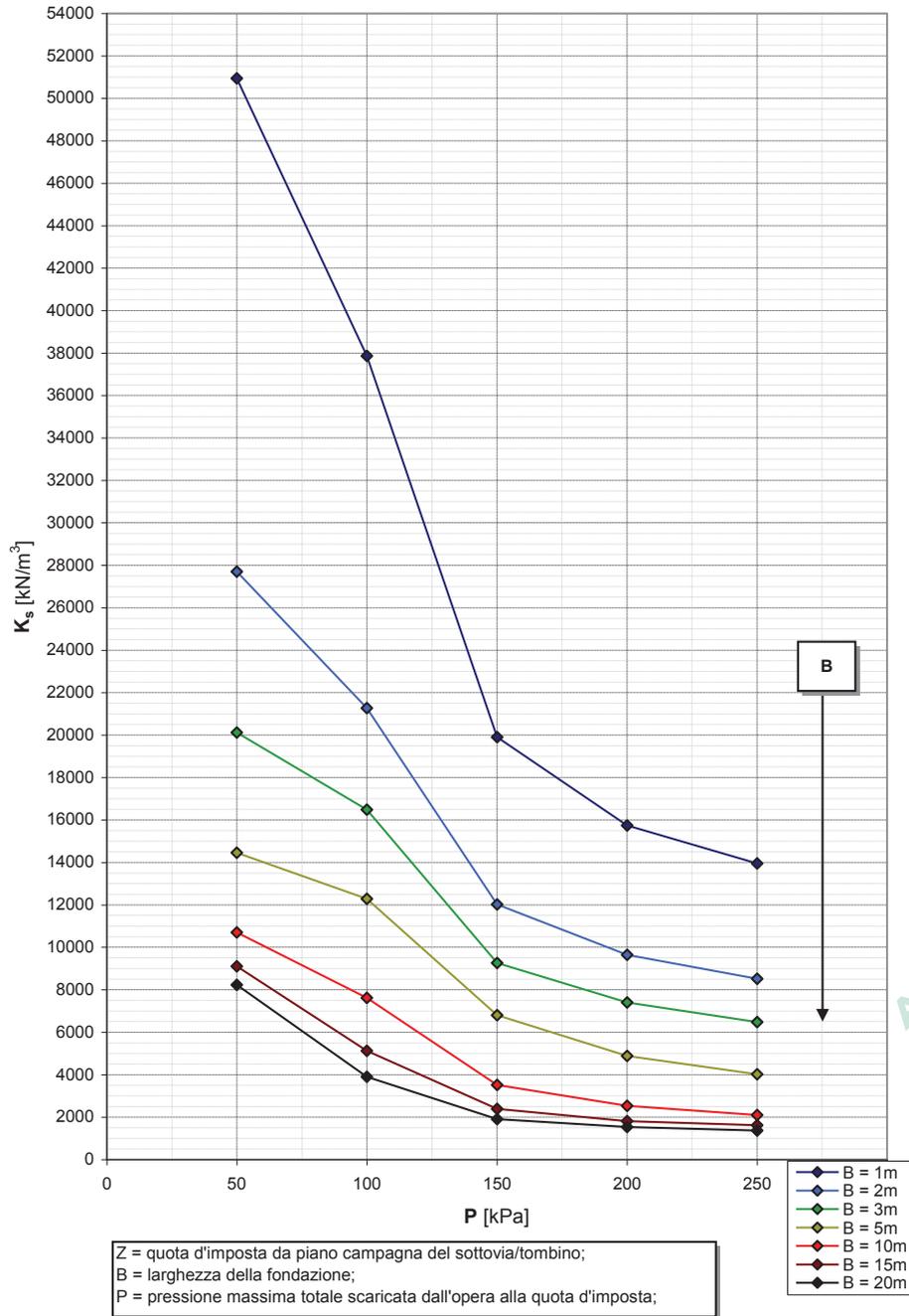
APPROVATO SDP

Figura 4.43 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 7+040÷7+912, z = -1m da P.C.

Società di Progetto  
Brebemi SpA

**BreBeMi - Lotto 0A**  
**Pk 7+040÷7+913**

**Z = -5m da P.C.**



APPROVATO SDP

**Figura 4.44** – Abaco per la determinazione di  $K_s$ : tratta Pk 7+040÷7+912, z = -5m da P.C.

Società di Progetto  
 Brebemi SpA



BreBeMi - Lotto 0A  
 Pk 7+040÷7+913

Z = -10m da P.C.

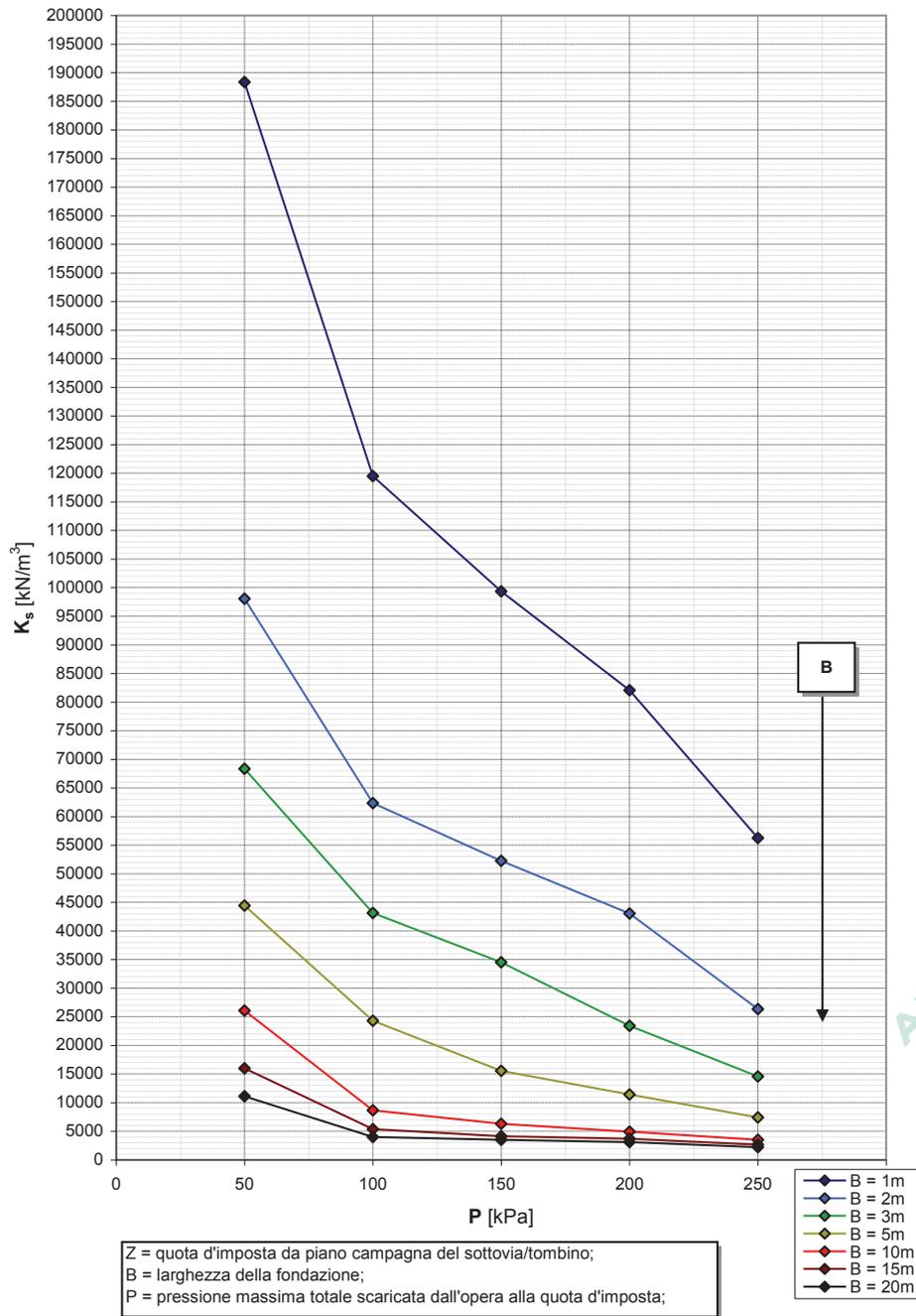


Figura 4.45 – Abaco per la determinazione di  $K_s$ ; tratta Pk 7+040÷7+912, z = -10m da P.C.

Società di Progetto  
 Brebemi SpA



	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	60402-00010-A00.doc		00	74 di 88

	Progressiva		Stratigrafia di progetto				Sondaggi di riferimento	
	da	a	da	a	spessore	Descrizione		Unità Stratigrafica
	(Pk)		(m)	(m)	(m)	(-)		(-)
LOTTO 0A	0+000	2+150	0.0	1.0	1.0	Limo	V	SE18Apz, S.015, SE1Apz, S.014, S.016, SE2A, SE3Apz, SE4Apz, SE5A, S.334pz, SE6Apz, SE7Apz, S.013, SE8A, S.337pz
			1.0	35.0	34.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			35.0	40.0	5.0	Limo	V	
	2+150	4+000	0.0	1.0	1.0	Limo	V	S.012, SE9Apz, SE10A, S.336, S.011
			1.0	13.0	12.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			13.0	15.0	2.0	Limo / Argilla	V / VI	
			15.0	35.0	20.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
	4+000	5+840	0.0	0.6	0.6	Limo	V	S.010, SE11Apz, S.009, S.008pz
			0.6	6.0	5.4	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			6.0	7.5	1.5	Limo	V	
			7.5	25.0	17.5	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			25.0	35.0	10.0	Limo	V	
	5+840	7+040	0.0	7.0	7.0	Limo / Argilla	V / VI	SE12Apz, S.335, S.007, SE13Apz, S.006, SE15A, SE14Apz, S.333
			7	17	10.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			17.0	30.0	13.0	Limo / Argilla	V / VI	
	7+040	7+913	30.0	35.0	5.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa	II / III	SE16Apz, S.005, SE17Apz, S.001, S.332
			0.0	9.0	9.0	Limo / Argilla	V / VI	
			9	16.5	7.5	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa / Sabbia limosa	II / III / IV	
			16.5	30.0	13.5	Limo / Argilla	V / VI	
				30.0	35.0	5.0	Ghiaia sabbiosa / Sabbia ghiaiosa	II / III

Nota: le progressive sono riferite all'asse principale del Lotto 0A

**Tabella 4.6** – Suddivisione in tratte omogenee e sintetica descrizione della relativa stratigrafia di progetto.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 75 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

## 5 PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA DEI RILEVATI

### 5.1 Generale

Nel presente capitolo vengono definiti i valori minimi degli scotici e bonifici da adottarsi in corrispondenza dell'asse principale del tracciato autostradale per preparare il piano di lavoro per la realizzazione dei rilevati e delle trincee.

Inoltre viene fornita un'indicazione sul numero di passaggi di rullo statico da 80-100kN necessari a preparare, ed eventualmente compattare, il piano di posa dei rilevati.

Si intende scotico la rimozione di una porzione di terreno superficiale, atta ad eliminare il terreno vegetale, radici di alberi, arbusti ed ogni elemento vegetale interrato dalle aree su cui vengono fondati i rilevati.

Si intende bonifico un'ulteriore rimozione di materiale superficiale (in aggiunta allo scotico) atta ad eliminare materiali dalle scarse proprietà meccaniche e ad assicurare la necessaria rigidità al piano di fondazione dei rilevati. Gli strati di materiale granulare posti in sostituzione del materiale scotico e bonificato dovranno essere messi in opera seguendo le stesse prescrizioni adottate per i rilevati (si veda Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per dettagli).

Allo scopo di definire con precisione la stratigrafia superficiale in prossimità dell'asse autostradale e stimare la rigidità del piano di posa, sono state eseguite tra PD e PE una serie di pozzetti esplorativi aventi profondità variabile tra 1.2m e circa 3.2m in corrispondenza dei quali sono state eseguite prove di carico su piastra e sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati, successivamente sottoposti a prove granulometriche.

Per il Lotto 0A in totale sono stati eseguiti 21 pozzetti, dei quali 15 disposti lungo l'asse primario del Raccordo SP19 Tangenziale Sud di Brescia, con spaziature in asse autostradale comprese tra 300 e 800m. Per i pozzetti di PD non risultano disponibili i risultati delle prove di laboratorio e delle prove di carico su piastra eseguite (circostanza indicata con la sigla N.D. nella tabella di cui al seguito).

I pozzetti esplorativi e le relative prove in sito e di laboratorio rappresentano l'elemento principale sulla base del quale sono stati definiti gli scotici ed i bonifici. In ogni caso tali dati sono stati confrontati con quelli ricavati dai sondaggi e quando è stata riscontrata una qualche discrepanza ci si è basati sul dato più cautelativo.

La spaziatura con cui vengono definiti scotici e bonifici è stata in certi casi direttamente correlata alla posizione del singolo pozzetto ed alla distanza dai pozzetti prossimi: l'asse principale è stato suddiviso in tratte centrate sulla Pk dei singoli pozzetti ed avente estensioni pari alla semidistanza dal pozzetto successivo e precedente.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 76 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

## 5.2 Criteri

A monte della definizione dei criteri sulla base dei quali fissare lo spessore di scotico e bonifico, è stato necessario definire la tipologia di materiale di sottofondo individuato in corrispondenza dei pozzetti al di sotto dello strato superficiale di materiale vegetale.

La tipologia di materiale è stata definita sulla base dei risultati delle prove granulometriche e, in mancanza di tali dati, sulla descrizione riportata nei log stratigrafici.

Sono state definite le seguenti categorie:

Materiali granulari (G): in cui la percentuale di Limo + Argilla è inferiore o uguale al 20%;

Materiali granulari/coesivi (G/C): in cui la percentuale di Limo + Argilla è compresa tra il 20 ed il 35%;

Materiali coesivi/granulari (C/G): in cui la percentuale di Limo + Argilla è compresa tra il 35 ed il 50%;

Materiali coesivi (C): in cui la percentuale di Limo + Argilla è uguale o superiore al 50%;

A seconda della tipologia di materiale di sottofondo sono stati utilizzati diversi criteri per definire lo spessori di scotico e bonifico.

### 5.2.1 Criteri per materiali di sottofondo granulari o granulari/coesivi (G o G/C)

**Scotico:** Si assume un valore di scotico fisso lungo tutto l'asse autostradale pari a 30cm;

**Bonifico:** Pari al complementare a 30cm dello spessore del terreno vegetale nel caso in cui questo sia superiore al valore di scotico sopra definito. In altre parole, il bonifico provvederà a rimuovere l'eventuale parte di vegetale eccedente i primi 30 cm;

**Rullatura** Se il valore di modulo di rigidezza M ottenuto dalla prova di carico su piastra è superiore a 15MPa, si dovranno eseguire 1÷2 passate di rullo da 80÷100kN per regolarizzare il piano a cui si giunge con scotico+bonifico, altrimenti si dovranno realizzare 8÷10 passate di rullo avendo cura di modificare il grado di umidità delle terre fino a raggiungere il grado di umidità ottima prima di eseguire la compattazione.

Gli strati di materiale granulare posti in sostituzione del materiale scotico e bonificato dovranno essere messi in opera seguendo le stesse prescrizioni adottate per i rilevati (si veda Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per dettagli).

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 77 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

### 5.2.2 Criteri per materiali di sottofondo coesivi o coesivi/granulari (C o C/G)

**Scotico:** Si assume un valore di scotico fisso lungo tutto l'asse autostradale pari a 30cm;

**Bonifico:** Dato dalla somma di due termini Bonifico = V + B, in cui:

V = complementare a 30cm dello spessore del terreno vegetale nel caso in cui questo sia superiore al valore di scotico sopra definito. In altre parole, V è l'eventuale parte di vegetale eccedente i primi 30 cm;

B = per materiali di sottofondo aventi modulo di rigidità M ottenuto dalla prova di carico su piastra inferiore a 15 MPa, è lo spessore necessario per ottenere con il metodo del Bi-strato di Burmister (Rif.7.3.8) un modulo di rigidità alla quota d'imposta del rilevato pari a 15 MPa.

**Rullatura** Si dovranno eseguire 1÷2 passate di rullo da 80÷100kN per regolarizzare il piano a cui si giunge con scotico+bonifico.

Gli strati di materiale granulare posti in sostituzione del materiale scotico e bonificato dovranno essere messi in opera seguendo le stesse prescrizioni adottate per i rilevati.

### 5.2.3 Altri criteri generali

Oltre ai criteri definiti nei due paragrafi precedenti, sono stati adottati i seguenti criteri di carattere generale:

- Sono stati eventualmente adottati aggiustamenti di 10cm a raccordare il valore di scotico+bonifico tra una tratta e la successiva;
- Per i tratti di trincea aventi altezza inferiore a 50cm si dovranno adottare i valori di scotico+bonifica definiti per il più vicino tratto in rilevato;
- Per i tratti di trincea aventi altezza superiore ai 50 cm lo scotico sarà nullo e si definirà l'eventuale bonifico seguendo gli stessi criteri descritti ai §§5.2.1 e 5.2.2;
- Per tratti in cui il piano campagna abbia pendenza considerevoli (inclinazione maggiore di 25°) lo scotico+bonifico dovrà essere realizzato per gradonature aventi altezza di 1÷1.5m e formate in modo che la pendenza media massima longitudinale del piano di posa sia 2:3 (V:H). Il fronte di scavo del singolo gradino dovrà invece avere pendenza massima 3:2 (V:H);
- Il bonifico, in alternativa alla rimozione e sostituzione con terreno idoneo, potrà essere eseguito con trattamento di stabilizzazione a calce e/o cemento;
- Nel progetto, nei tratti dove è necessario il bonifico, è prevista la posa di un telo di geotessuto, con funzione di separazione nel caso in cui il bonifico non sia sufficiente a rimuovere lo strato deformabile limoso/argilloso sottostante.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Antebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 78 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

### 5.3 Elaborazione dati e risultati

In **Tabella 5.1** sono riportati i dati di progetto sulla base dei quali sono stati definiti in prima istanza gli spessori di scotico+bonifica (pozzetti e relative indagini in sito e prove di laboratorio).

In **Tabella 5.2** sono riportati i valori di scotico e bonifico di progetto, definiti a partire dai dati di cui sopra integrati con i dati riportati nei profili geotecnici di progetto e considerando la livelletta di progetto per determinare la presenza di rilevato o trincea. In tale tabella sono riportate anche delle ulteriori note.

I valori di scotico e bonifico così definiti valgono in un intorno ragionevole del tracciato principale e quindi possono essere applicati con gli stessi criteri riportati nei §§5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3 anche per le rampe di svincolo.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



P.E.	Progressiva	Spessore Vegetale	Pozzetto Esplorativo			Granulometria						Tipo Sottofondo	Spessore vegetale	Prova di Carico su Piastra		
			Stratigrafia (oltre il vegetale)			Profondità Campione rimaneggiato	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Limo + Argilla			Profondità	Primo Ciclo (0.05-0.15MPa)	Scarico (0.05-0.15MPa / 0.05-0.20MPa)
			Da	a	Descrizione	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			(m)	(MPa)	(MPa)
-	(m)	(m)														
TE002A	0+321	0.30	0.30	0.90	Ghiaia in matrice limo-argillosa	0.4	58.8	30.6	5.5	5.1	10.6	G	0.30	0.50	18.2	314.0
			0.90	2.50	Ghiaia in matrice sabbiosa	0.8	63.8	29.5	6.7	6.7	3.0					
PE307	1+038	0.20	0.20	0.30	Ghiaia in matrice limosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G	0.20	N.D.	N.D.	N.D.
			0.30	2.20	Ghiaia in matrice sabbiosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.					
TE003A	1+514	0.40	0.40	0.50	Ciottoli in matrice limoso - argillosa	0.4	79.1	16.6	1.3	1.3	1.3	G	0.40	0.80	22.0	843.8
			0.50	1.20	Sabbia e ghiaia	0.8	73.6	25.3	1.1	1.1	1.8					
TE004A	1+977	0.40	0.40	0.90	Ciottoli in matrice limoso - argillosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G/C	0.40	0.80	8.1	162.7
			0.90	1.20	Sabbia e ghiaia	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.					
TE005A	2+341	1.00 (*)	0.4	1.20	Sabbia e ghiaia	0.4	74.2	25.4	0.4	0.4	0.4	G	1.00 (*)	1.20	7.5	190.1
			0.8	1.20	Sabbia e ghiaia	0.8	73.1	26.1	0.8	0.8	0.3					
PE306	2+691	0.30	0.30	1.70	Ghiaia in matrice limosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G	0.30	N.D.	N.D.	N.D.
			1.70	2.50	Ghiaia in matrice sabbiosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.					
PE305	3+483	1.00	1.00	2.40	Ghiaia sabbiosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G	1.00	N.D.	N.D.	N.D.
PE304	4+308	1.20	1.20	2.60	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G	1.20	N.D.	N.D.	N.D.
TE006A	4+649	0.30	0.30	0.80	Ghiaia in matrice limoso - argillosa	0.4	82.5	13.4	4.1	4.1	4.1	G	0.30	0.70	2.3	110.7
			0.80	1.20	Sabbia e ghiaia	0.8	82.8	13.8	2.4	2.4	1.0					
TE007A	5+188	0.3 (*)	0.30	0.80	Ciottoli in matrice sabbioso - limosa	0.4	68.8	27.1	4.1	4.1	4.1	G	0.30 (*)	0.50	23.6	329.3
			0.80	1.20	Sabbia e ghiaia	0.8	69.7	27.4	2.9	2.9	2.9					
TE008A	5+619	0.40	0.40	1.10	Ghiaia in matrice limoso - argillosa	0.4	70.2	20.4	5.3	4.1	9.4	G	0.40	0.60	3.4	94.4
			1.10	1.20	Sabbia e ghiaia	0.8	68.3	21.6	5.3	4.8	10.1					
PE003	6+141	1.20	1.20	3.20	Ghiaia con sabbia	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	G	1.20	N.D.	N.D.	N.D.
TE009A	6+602	0.40	0.40	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	0.4	29.2	60.1	6.7	4.0	10.7	G	0.40	0.70	13.1	51.3
			1.2	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	1.2	37.1	52.7	5.5	4.7	10.2					
TE011A	7+070	0.30	0.30	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	0.4	3.1	57.9	24.2	14.8	39.0	C/G	0.30	0.60	8.0	48.0
			0.8	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	0.8	3.0	56.4	26.2	14.4	40.6					
TE012A	7+609	0.40	0.40	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	C	0.40	0.60	9.8	44.7
			N.D.	1.20	Limo argilloso con rari ciottoli	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.					

(\*) : Materiale di riporto da rimuovere completamente ove rinvenuto

Tabella 5.1 – Dati di progetto da pozzetti esplorativi e relative indagini in sito e prove di laboratorio

		Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 80 di 88
---	--	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

da Pk (m)	a Pk (m)	Rilevato/Trincea (-)	Tipo Sottofondo (1) (m)	Spessore vegetale (m)	Scotico (2) (m)	Spessore Bonifica (3) (m)	Passaggi rullo su terreno scoticato e bonificato (n°)	Spessore di progetto (Scotico+Bonifica) (m)
-----------------	----------------	-------------------------	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------	------------------------------------	---	---

LOTTO 0A	0+000	0+100	Rilevato	G	0.00	0.30	0.20	1÷2	0.50
	0+100	2+750	Trincea (*)	G	0.00	0.00	0.00	1÷2	0.00
	2+750	5+700	Rilevato	G	0.40	0.30	0.10	8÷10	0.40
	5+700	6+370	Rilevato	C	0.30	0.30	0.20	1÷2	0.50
	6+370	6+700	Rilevato	G (C)	0.40	0.30	0.20	8÷10	0.50
	6+700	7+913	Rilevato	C	0.40	0.30	0.20	1÷2	0.50

(1) Tipo di terreno di sottofondo definito sulla base della percentuale di Limo+Argilla come segue:  
 Se L+A < 20% --> Tipo G  
 Se 20% ≤ L+A < 35% --> Tipo G/C  
 Se 35% < L+A < 50% --> Tipo C/G  
 Se L+A > 50% --> Tipo C

(2) Il valore di progetto deve essere inteso come minimo, in fase esecutiva l'effettivo spessore di scotico andrà eventualmente corretto in relazione all'effettivo spessore del terreno vegetale di modo da assicurare la completa rimozione di quest'ultimo.

(3) la bonifica potrà essere eseguita in alternativa con scavo e riempimento in misto granulare o trattamento a calce del terreno in sito

(\*) Nel caso di trincea con profondità < di 1.20m da p.c. locale prevedere in ogni caso la rimozione di 0.50m di materiale al di sotto del piano di posa della nuova sede stradale

Tabella 5.2 – Scotici e bonifici di progetto

APPROVATO SDR

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 81 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

## 6 MATERIALI DI RISULTA DAGLI SCAVI

Al fine di valutare la possibilità di utilizzare per la costruzione dei rilevati i terreni provenienti dagli scavi dei tratti in trincea, vengono di seguito classificati secondo la norma CNR 10006 (2002) i campioni rimaneggiati prelevati in quelle aree.

È stata considerata la tratta in trincea ubicata da Pk 0+000 a 2+800 circa, dove l'altezza è variabile con massimi dell'ordine di  $\cong 10$ m da p.c..

In **Tabella 6.1** sono riportati i risultati delle prove granulometriche eseguite in corrispondenza delle Pk e delle quote sopra definite (campioni ricavati da sondaggi e pozzetti esplorativi) e la relativa classificazione dei terreni.

Sulla base delle prove granulometriche si è verificato che nella totalità dei casi i materiali di risulta degli scavi appartengono alla categoria A1 (come definita nella norma sopra citata), risultando pertanto adeguati per la costruzione di rilevati.

Questo risultato è in ottimo accordo con le stratigrafie di progetto che hanno evidenziato la presenza di una diffusa matrice ghiaioso-sabbiosa ad esclusione di uno strato superficiale (di spessore circa  $\cong 1$ m) di materiale fine limoso.

Alla luce delle evidenze sopra riportate i materiali di risulta dagli scavi delle tratte sopra definite potranno essere utilizzati per la costruzione dei rilevati solo a valle di un controllo che consenta di selezionare ed eliminare le componenti di materiale fine che saranno eventualmente trovate.

APPROVATO SDP

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	60402-00010-A00.doc		00	82 di 88

Sondaggio / Pozzetto di Riferimento	H <sub>trincea</sub> (indicativa) (m)	Quota campione (m)	Granulometria passante al setaccio:			Classificazione C.N.R. U.N.I. 10006 (-)
			2mm UNI2332 (%)	0.42mm UNI2332 (%)	0.075mm UNI2332 (%)	
(-)	(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(-)
SE1Apz	5.0	1.95	49.5	28.8	18.6	A1
		4.05	36.3	11.5	1.3	A1
S.015	8.5	6.25	45.5	32.1	22.1	A1
S.014	8.0	4.75	22.7	13.8	7.9	A1
SE2A	8.0	1.05	36.9	17.9	10.9	A1
		4.95	61.5	39.1	18.0	A1
		7.05	29.6	11.6	2.5	A1
SE3Apz	7.0	1.95	44.8	12.8	4.2	A1
		2.95	32.6	10.3	2.6	A1
		7.05	32.5	10.4	2.8	A1
SE4Apz	8.0	2.05	40.1	20.6	6.5	A1
		5.95	32.3	13.6	5.8	A1
SE5A	8.0	2.95	56.0	28.6	11.1	A1
		3.95	58.5	28.7	10.8	A1
S.334pz	9.0	4.75	49.2	29.9	9.2	A1
		9.25	42.7	26.1	16.2	A1
SE6Apz	9.0	0.95	15.9	4.2	1.2	A1
		4.05	31.6	15.9	5.5	A1
		6.95	33.1	6.7	1.0	A1
TE003A	9.0	0.40	20.9	7.7	1.7	A1
		0.80	26.4	9.2	1.5	A1
		1.10	28.9	9.4	2.2	A1
S.013	10.5	3.25	32.3	17.5	8.8	A1
SE7Apz	10.0	1.95	40.4	24.4	15.5	A1
		3.95	24.2	6.0	0.6	A1
		6.95	43.8	16.6	1.0	A1
SE8A	9.5	2.95	38.2	20.1	10.4	A1
		7.05	42.8	22.1	10.8	A1
S.337pz	9.5	4.75	49.8	25.6	16.4	A1
		9.75	54.4	35.6	24.0	A1
TE005A	8.0	0.40	25.8	2.2	0.5	A1
		0.80	23.9	2.9	0.9	A1
		1.20	24.5	1.8	0.4	A1
SE9Apz	7.0	1.95	34.4	12.9	1.4	A1
SE10A	7.5	2.05	26.4	8.6	0.9	A1

Tabella 6.1 – Classificazione terreni di risulta dagli scavi delle tratte in trincea.

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 83 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

## 7 BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 7.1 Normative e raccomandazioni

7.1.1 D.M. 14/1/08 - "Norme tecniche per le costruzioni – Testo Unico"

### 7.2 Documentazione di progetto

7.2.1 Consorzio B.B.M. – Interconnessione A35-A4 – Progetto Definitivo  
"Addendum alla Relazione Geotecnica – Indagini Geognostiche in sito / Prove di laboratorio"

7.2.2 Consorzio B.B.M. – Interconnessione A35-A4 – Progetto Definitivo  
"Relazione metodologica"

7.2.3 Consorzio B.B.M. – Interconnessione A35-A4 – Progetto Definitivo  
"Profilo Geotecnico longitudinale con nuovo asse autostradale " 6 tavole

7.2.4 Consorzio B.B.M. – Interconnessione A35-A4 – Progetto Definitivo –  
"Profilo idrogeologico longitudinale con nuovo profilo stradale " 2 tavole

7.2.5 Consorzio B.B.M. – Interconnessione A35-A4 – Progetto Definitivo  
"Relazione idrogeologica"

### 7.3 Riferimenti bibliografici

7.3.1 Berardi R., Lancellotta R., "Stiffness of Granular Soils from Field Performance" ; 1991, Geotechnique

7.3.2 Berardi R., "Non linear elastic approaches in foundation design" ; 1999, Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema

7.3.3 Skempton, A. W. (1986), "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation". Geotechnique 36, n°2

7.3.4 Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) –  
"New correlations of penetration tests for design practice", Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando

Società di Progetto  
Brebemi SpA



	Doc. N. 60402-00010-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO	REV. 00	FOGLIO 84 di 88
---	--------------------------------	--------------------	------------	--------------------

- 7.3.5 Naval Facilities Engineering Command (1986) “ Design Manual 7.02 – Foundation & Earth Structures” 200 Stovall Street – Alexandria, Virginia 22332-2300
- 7.3.6 Burland, J.B., Burbidge, M.C. (1985) "Settlement of Foundations on Sand and Gravel"- Proc. Inst. Civ. Engrs., Part 1, 78, 1325-1381
- 7.3.7 R.Paolucci, A.Pecker (1997) “ Seismic bearing capacity of shallow strip foundations on dry soils” Soil and Foundations Vol. 37, No. 3, 95-105, Sept. 1997
- 7.3.8 D.M.Burmister, “The General Theory of Stresses and Displacement in layered systems”, Journal of applied physics, vol.16 February 1945
- 7.3.9 Schmertmann, J.H. (1975), “Measurement of in situ shear strength, keynote lecture, Proceedings of the conference on in-situ measurement of soil properties”, June 1-4, 1975, vol. II, American Society of Civil Engineers.
- 7.3.10 [www.ingv.it](http://www.ingv.it) – sito Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia
- 7.3.11 CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION, “The design and construction of sheet-piled cofferdams”, CIRIA and Thomas Telford, London, 1993, 85pp. ISBN 0 7277 1980 7, London, 1993, 85pp
- 7.3.12 Timoshenko S.P. and Gere J.M., “Theory of Elastic Stability”, McGrawHill, 1961
- 7.3.13 Jamiolkowski M., Ladd C. C., Germaine J.T., Lancellotta R.. (1985) – “New development in Field and Laboratory testing of Soils”, Proceedings of 11th international conference on soil mechanics and foundation engineering
- 7.3.14 EPRI EL-6800, “Manual on estimating Soil properties for foundation design” 1990

	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	60402-00010-A00.doc		00	85 di 88

## APPENDICE A – ESEMPIO DI DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO $K_s$

Nel seguito si riporta un esempio pratico di determinazione del coefficiente  $K_s$  per una ipotetica fondazione avente lato minore  $B = 6m$ , quota d'imposta  $z = -3m$  da P.C. e pressione massima esercitata sul suolo  $P = 180kPa$ .

Si ipotizza che tale opera sia posta nella tratta compresa tra la Pk 20+700 e la Pk 23+900 e si valuta  $K_s$  per interpolazione lineare dei valori ottenuti dagli abachi di cui sopra.

1 – Utilizzando l'abaco per  $z = -1m$  si determina il valore di  $K_s$  corrispondente ad una pressione  $P = 180kPa$  per i due casi  $B = 5m$  e  $B = 10m$  (Figura 1). Si ottiene:

$$K_s(B = 5m; P = 180kPa; z = -1m) = 1800 \frac{kN}{m^3};$$

$$K_s(B = 10m; P = 180kPa; z = -1m) = 1200 \frac{kN}{m^3}$$

2 – Per interpolazione lineare si calcola il valore di  $K_s$  corrispondente ad una pressione  $P = 180kPa$  per una fondazione avente lato  $B = 6m$ :

$$K_s(6m; 180kPa; -1m) = K_s(5m; 180kPa; -1m) + \frac{[K_s(5m; 180kPa; -1m) - K_s(10m; 180kPa; -1m)]}{5 - 10} \times (6 - 5)$$

$$K_s(6m; 180kPa; -1m) = 1800 - \frac{1800 - 1200}{5} \times 1 = 1680 \frac{kN}{m^3}$$

3 – Si ripetono i punti 1 e 2 utilizzando l'abaco corrispondente alla quota d'imposta  $z = -5m$  da P.C. (Figura 2), da cui si ottiene:

$$K_s(6m; 180kPa; -5m) = 3000 - \frac{3000 - 2000}{5} \times 1 = 2800 \frac{kN}{m^3}$$

4 – Per interpolazione lineare tra i due valori ottenuti al punto 2 e 3 per  $z = -1m$  e  $z = -5m$  si calcola il valore di  $K_s$  corrispondente ad una quota d'imposta  $z = -3m$  da P.C.:

$$K_s(6m; 180kPa; -3m) = K_s(6m; 180kPa; -5m) + \frac{[K_s(6m; 180kPa; -5m) - K_s(6m; 180kPa; -1m)]}{-5 - (-1)} \times (-3 - (-5))$$

$$K_s(6m; 180kPa; -3m) = 2800 - \frac{2800 - 1680}{4} \times 2 = 2240 \frac{kN}{m^3}$$

Società di Progetto  
Brebemi SpA



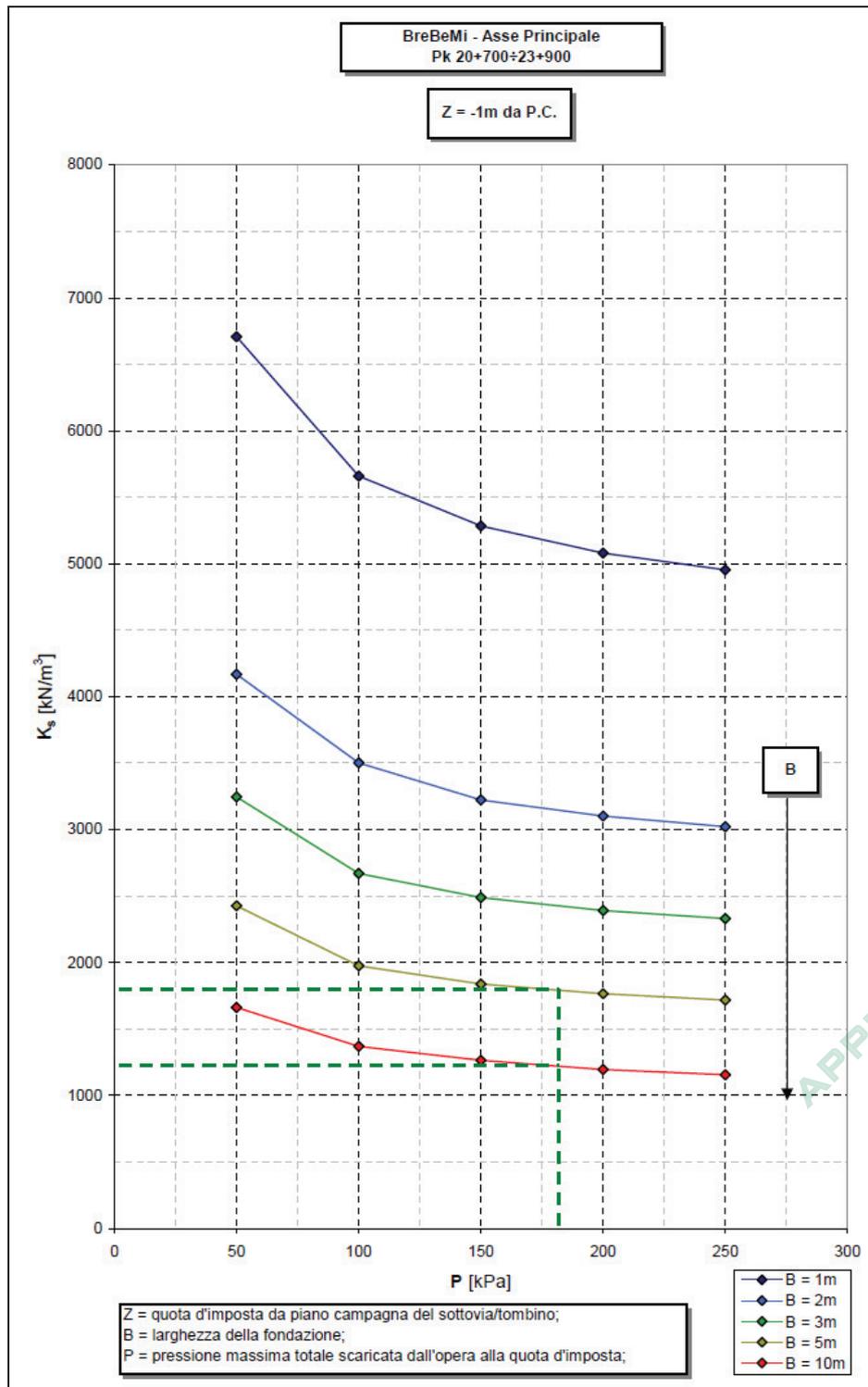
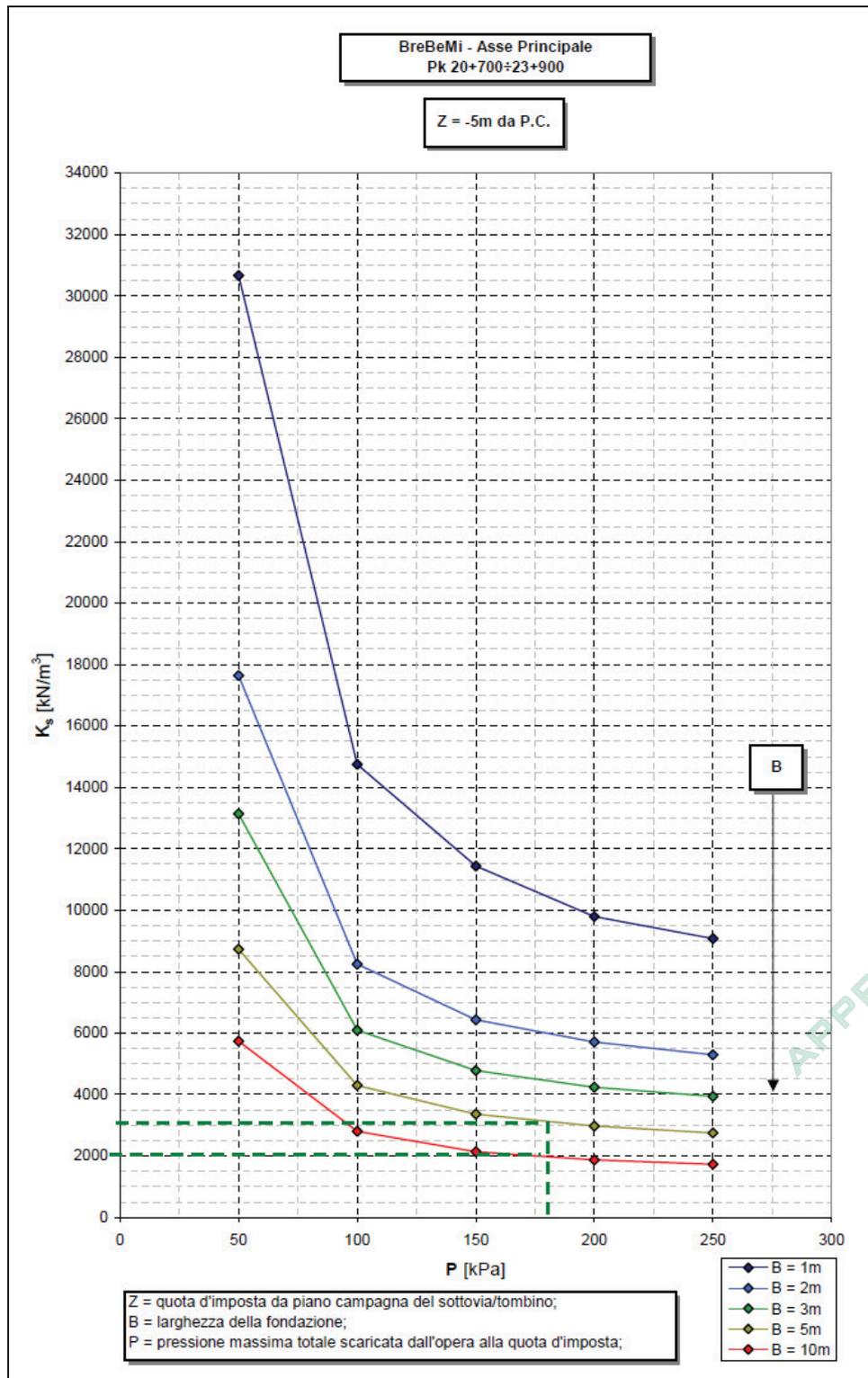


Figura 1 – Determinazione di  $K_s$  per  $P = 180\text{kPa}$ ,  $B = 5\text{m} \div B = 10\text{m}$  e  $z = -1\text{m}$  da P.C.;



**Figura 2** – Determinazione di  $K_s$  per  $P = 180\text{kPa}$ ,  $B = 5\text{m} \div B = 10\text{m}$  e  $z = -5\text{m}$  da P.C.;