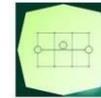


CONCEDENTE



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 C.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 19/2016

INTERCONNESSIONE A35-A4
PROGETTO ESECUTIVO

O-PARTE GENERALE

00-GENERALE

00009 - GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA
RELAZIONE SISMICA

PROGETTAZIONE:



VERIFICA:

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

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:
	EMITE	TIPO	FASE	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PARTI	PROGR.	PART. DOC.	STATO	REV.	LUG	2016
66005	04	RA	E	I	11	00	009	00	00	001	00	A	00	SCALA:	

ELABORAZIONE PROGETTUALE	REVISIONE									
	N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO	
IL PROGETTISTA PIACENTINI INGEGNERI S.R.L. DOTT. ING. LUCA PIACENTINI ORDINE DEGLI INGEGNERI DI BOLOGNA N. 4152	A	00	EMISSIONE	29/07/2016	PIACENTINI	29/07/2016	MAZZOLI	29/07/2016	MAZZOLI	

	IL CONCEDENTE 	IL CONCESSIONARIO Società di Progetto Brebemi SpA
--	--------------------------	---

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

	Doc. N. 66005-00009-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RAEII100009000000100	REV. A00	FOGLIO I di 30
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

INDICE

1.	PREMESSA	2
2.	CARATTERISTICHE SISMICHE.....	3
2.1	INQUADRAMENTO SIMOGENETICO	3
2.2	SISMICITÀ	4
3.	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO	9
3.1	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	9
3.2	PERICOLOSITÀ SISMICA	9
3.3	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	10
3.4	AZIONI DI PROGETTO.....	25
4.	ANALISI DI LIQUEFAZIONE.....	28
5.	BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	29
5.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	29
5.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	29
5.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	29

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA




	Doc. N. 66005-00009-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RAEII100009000000100	REV. A00	FOGLIO 2 di 30
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

1. PREMESSA

La presente relazione è redatta a supporto del Progetto Esecutivo delle opere nell'ambito del progetto esecutivo del raddoppio di carreggiata del lotto 0A della autostrada BreBeMi e dell'interconnessione A35 - A4.

Lo scopo del documento è di definire le azioni sismiche di progetto per le verifiche delle opere ai sensi delle NTC-2008 (Rif. 5.1.2).

In particolare vengono trattati i seguenti temi:

- zonazione sismica, magnitudo di riferimento;
- determinazione della pericolosità sismica al sito;
- determinazione delle categorie di sottosuolo;
- definizione delle azioni sismiche di progetto;
- analisi del potenziale di liquefazione dei terreni.

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



2. CARATTERISTICHE SISMICHE

2.1 Inquadramento sismogenetico

In accordo ai più recenti studi condotti sull'intero territorio nazionale nel quadro della costruzione di un modello delle sorgenti sismogenetiche, il Raccordo alla Tangenziale Sud di Brescia risulta interamente compreso nella ZS 907, come graficamente riportato nella sottostante figura 2.1.

Nella descrizione della zona sorgente ZS9 (Appendice 2 in Rif. 5.3.1) è riportato quanto segue:

“La zona 907 include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino, evento del 1802, a cui viene assegnata una magnitudo M_w intorno a 5.9 (si veda Albinì et al., 2002, per gli aspetti sismogenetici)”.

L'area in esame risulta inoltre in prossimità di altre zone sismogenetiche, caratterizzate da un tasso di sismicità annuo moderatamente maggiore (parametro v in tabella 2.1) ma da una magnitudo massima relativamente bassa.

A parte la ZS 906 del Garda-Veronese, caratterizzata da terremoti di magnitudo massima intorno a 6.5-6.6, nelle altre ZS non si ritiene che possano avvenire terremoti di magnitudo superiore a circa 6.

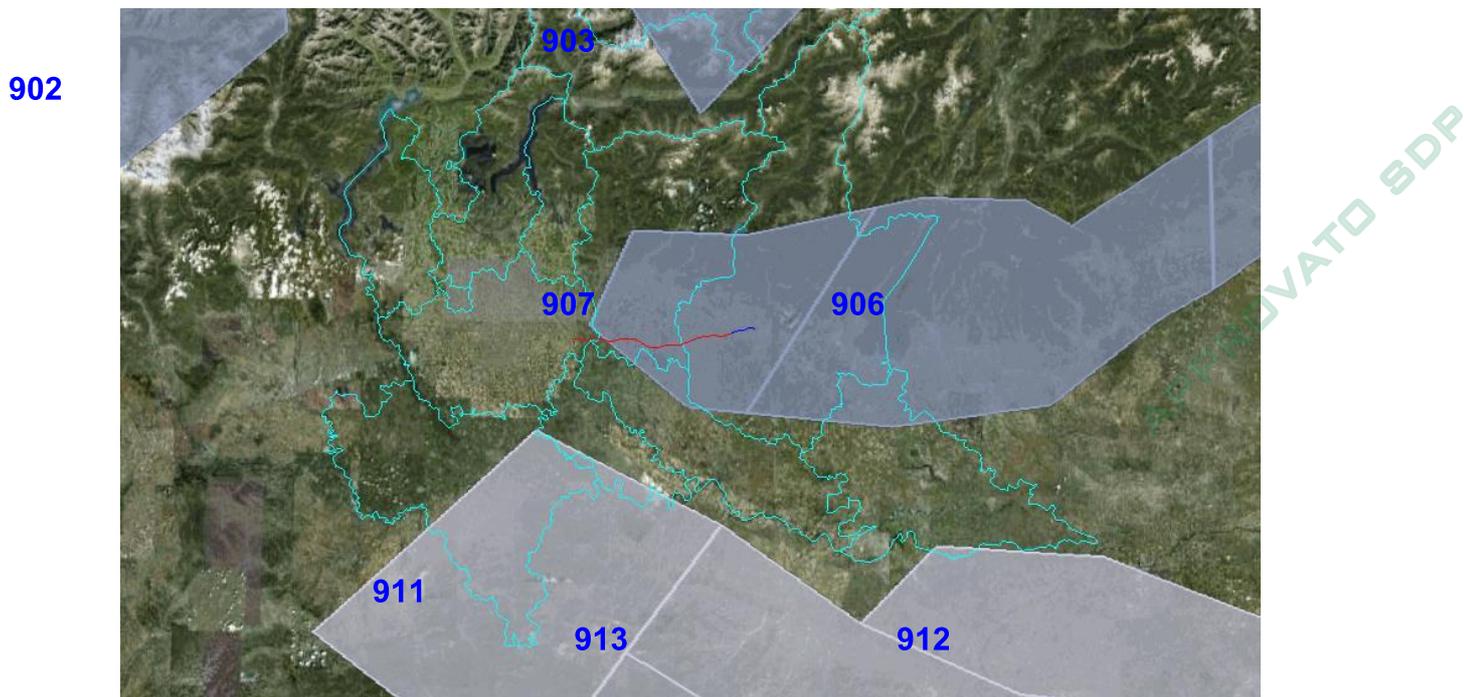


Figura 2.1 – Mappa delle zone sismogenetiche nel Centro-Nord Italia (in rosso il tracciato autostradale Brebemi, in blu il Raccordo alla Tangenziale Sud di Brescia) (Rif. 5.3.1).

Nome ZS	#	$M_{w_{min}}$	$M_{w_{max}}$	b	v
GARDA - VERONESE	906	4.76	6.60	-1.14	0.11

BERGAMASCO	907	4.76	5.91	-1.71	0.04
TORTONA - BOBBIO	911	4.76	5.68	-1.47	0.05
DORSALE FERRARESE	912	4.76	6.14	-1.35	0.12
APPENNINO EMIL.-ROM.	913	4.76	5.91	-1.80	0.07

Tabella 2.1 – Principali parametri adottati per l'elaborazione probabilistica ai fini della redazione della mappa di pericolosità del territorio italiano per le ZS adiacenti al tracciato del Raccordo alla Tangenziale Sud di Brescia: $M_{w_{min}}$ =magnitudo minima considerata nel catalogo; $M_{w_{max}}$ =magnitudo massima per la ZS; b =parametro della relazione di Gutenberg-Richter; v =numero di terremoti per anno di magnitudo superiore da $M_{w_{min}}$ (da Rif. 5.3.1).

2.2 Sismicità

Come si può ricavare dalla sottostante figura 2.2, secondo le elaborazioni di cui al Rif. 5.3.1, in corrispondenza del tracciato autostradale, il valore medio della accelerazione massima al suolo (in condizione di sito roccioso) con probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni (periodo di ritorno $T_R=475$ anni) risulta compreso tra 0.125 g e 0.150 g.

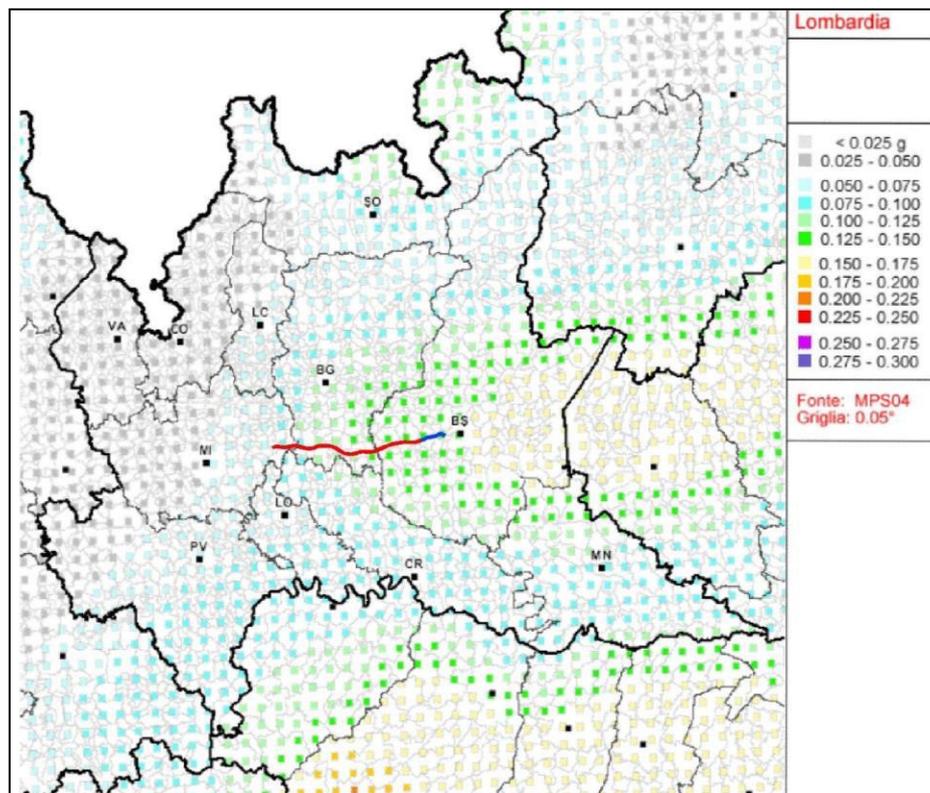


Figura 2.2 – Valori di accelerazione massima al suolo rigido in regione Lombardia (in rosso il tracciato autostradale Brebemi, in blu il Raccordo alla Tangenziale Sud di Brescia).

Nelle tabelle seguenti sono invece riportati gli eventi sismici rilevanti per il territorio in esame estratti dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI, 2004 Rif. 5.3.2) che hanno avuto epicentro entro una distanza di circa 100 km dall'asse stradale e magnitudo maggiore di 5.0.

Società di Progetto

Anno	Me.	Gi.	Area epicentrale	Lat.	Lon.	Imx	Io	Maw	Brebemi SpA Daw	ZS9
------	-----	-----	------------------	------	------	-----	----	-----	--------------------	-----



1065	3	27	BRESCIA	45.550	10.220	80	70	5.17	0.30	907
1117	1	3	VERONESE	45.330	11.200	90	95	6.49	0.15	906
1197			BRESCIA	45.550	10.220	65	65	5.03	0.33	907
1222	12	25	BASSO BRESCIANO	45.480	10.680	90	85	6.05	0.13	906
1276	7	28	ITALIA SETTENT.	45.080	9.550	55	60	5.11	0.12	911
1396	11	26	MONZA	45.580	9.270	75	75	5.37	0.30	907
1438	6	11	PARMENSE	44.850	10.230	80	80	5.62	0.17	913
1572	6	4	PARMA	44.851	10.422	70	70	5.13	0.23	913
1593	3	8	BERGAMO	45.694	9.670	65	65	5.03	0.33	907
1606	8	22	BERGAMO	45.694	9.670	65	65	5.03	0.33	907
1628	11	4	PARMA	44.801	10.329	70	70	5.17	0.3	913
1642	6	13	BERGAMO	45.694	9.670	65	65	5.03	0.33	907
1661	3	12	MONTECCHIO	45.730	10.070	75	70	5.17	0.30	907
1683	5	25	V. GIUDICARIE	46.024	10.864	65	65	5.00	0.26	
1693	7	6	GOITO	45.280	10.644	70	70	5.27	0.14	906
1738	11	5	PARMA	44.906	10.028	70	70	5.40	0.20	913
1781	9	10	CARAVAGGIO	45.497	9.6440	65	65	5.03	0.33	907
1783	7	28	VAL DI LEDRO	45.878	10.808	65	65	5.03	0.33	906
1786	4	7	PIACENZA	45.298	9.5950	70	65	5.31	0.16	911
1799	5	29	CASTENEDOLO	45.403	10.271	65	65	5.06	0.18	906
1802	5	12	VALLE DELL'OGLIO	45.420	9.850	85	80	5.67	0.09	907
1806	2	12	NOVELLARA	44.862	10.671	70	70	5.26	0.16	912
1810	12	25	NOVELLARA	44.898	10.712	70	70	5.28	0.10	912
1818	12	9	LANGHIRANO	44.668	10.286	75	75	5.57	0.10	913
1829	9	6	CREMONA	45.136	10.024	65	65	5.03	0.33	
1831	9	11	REGGIANO	44.750	10.550	75	75	5.48	0.13	912
1832	3	13	REGGIANO	44.770	10.470	75	75	5.59	0.07	913
1857	2	1	PARMENSE	44.749	10.480	65	65	5.26	0.12	913
1866	8	11	MONTE BALDO	45.727	10.783	70	70	5.17	0.30	906
1877	10	1	MALCESINE	45.764	10.809	70	65	5.03	0.33	906
1882	9	18	MONTE BALDO	45.720	10.770	70	70	5.17	0.30	906
1885	2	26	SCANDIANO	45.208	10.169	60	60	5.22	0.10	
1891	6	7	VALLE D'ILLASI	45.570	11.170	90	85	5.71	0.05	906
1892	8	9	TREGNAGO	45.567	11.167		70	5.17	0.30	906
1894	2	9	TREGNAGO	45.567	11.150		70	5.17	0.30	906
1901	10	30	SALO'	45.580	10.500	80	80	5.67	0.07	906
1908	3	15	CRESPADORO	45.623	11.207	60	60	5.01	0.15	906
1915	10	10	REGGIO EMILIA	44.732	10.469	65	60	5.01	0.08	913

Tabella 2.2a – Estratto dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI, 2004) degli eventi con epicentro entro 100 km dall'asse stradale. Imx=intensità massima; Io=intensità epicentrale; Maw=magnitudo momento; Daw=errore associato alla stima di Maw; ZS9=zona sorgente.

Anno	Me.	Gi.	Area epicentrale	Lat.	Lon.	Imx	Io	Maw	Daw	ZS9
1918	4	24	LECCHESE	45.778	9.631	60	60	5.07	0.07	907
1932	2	19	MONTE BALDO	45.630	10.73	80	75	5.01	0.10	906
1951	5	15	LODIGIANO	45.254	9.550	60	65	5.24	0.07	911
1971	7	15	PARMENSE	44.820	10.350	80	75	5.61	0.07	913
1979	2	9	TREZZO SULL'ADDA	45.617	9.467			5.03	0.18	907
1980	12	23	VERNASCA	44.817	9.850			5.03	0.18	913

1983	11	9	PARMENSE	44.765	10.270	70	65	5.10	0.18	913
1987	5	2	REGGIANO	44.797	10.697	60	60	5.05	0.07	912
1996	10	15	CORREGGIO	44.782	10.683	70	70	5.44	0.18	912

Tabella 2.2b – Estratto dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI, 2004) degli eventi con epicentro entro 100 km dall'asse stradale. Imx=intensità massima; Io=intensità epicentrale; Maw=magnitudo momento; Daw=errore associato alla stima di Maw; ZS9=zona sorgente.

Un quadro sintetico della sismicità storica in regione Lombardia è riportato nella figura sottostante, che illustra le mappe delle massime intensità MCS osservate e dalla quale si conferma che le aree interessate dal tracciato stradale hanno subito storicamente risentimenti non superiori al VIII grado della scala MCS.

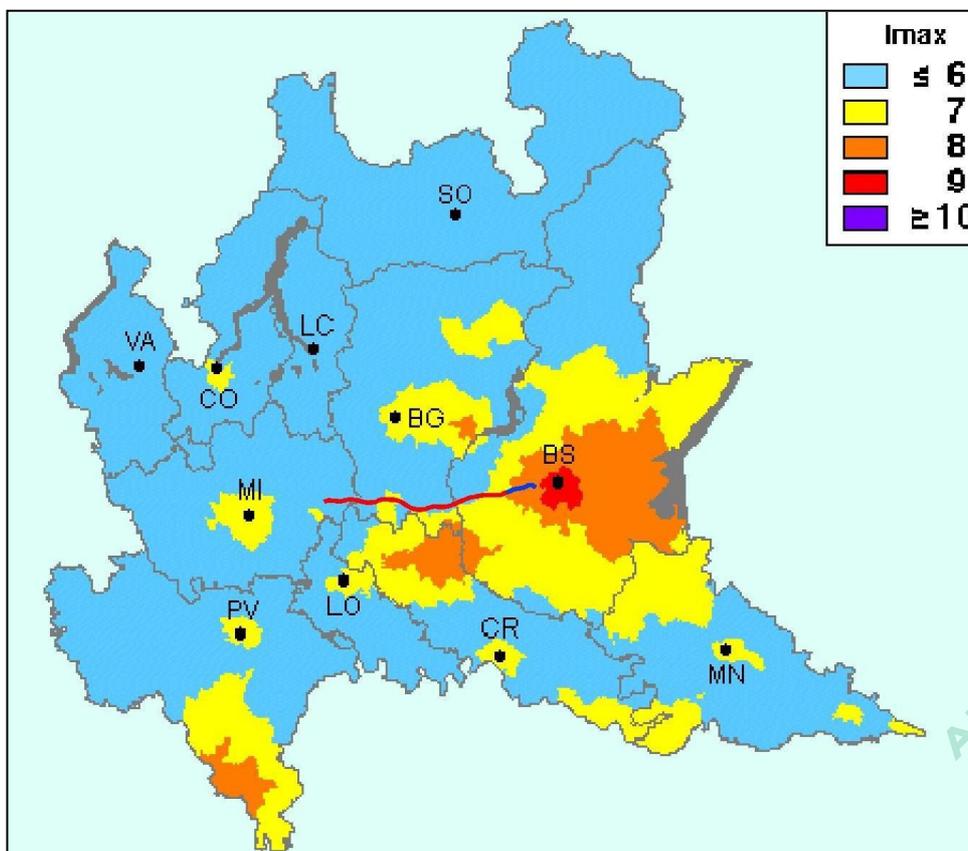


Figura 2.3 – Mappa delle massime intensità nella scala MCS osservate in Lombardia (Rif. 5.3.4).

Per quanto attiene alla definizione della magnitudo dell'evento sismico con assegnata probabilità di non superamento nell'intervallo temporale considerato, da utilizzare per le verifiche del potenziale di liquefazione di cui al successivo paragrafo 4, è stato fatto riferimento alle analisi di disaggregazione della pericolosità sismica in termini di magnitudo-distanza (Rif. 5.3.5) condotte nell'ambito degli studi per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 e disponibili ai nodi della griglia adottata al sito internet <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

A questo riguardo, nelle figure seguenti sono rappresentati i grafici dei contributi specifici di magnitudo-distanza alla pericolosità sismica con $T_R = 975$ anni per differenti progressive lungo il tracciato.

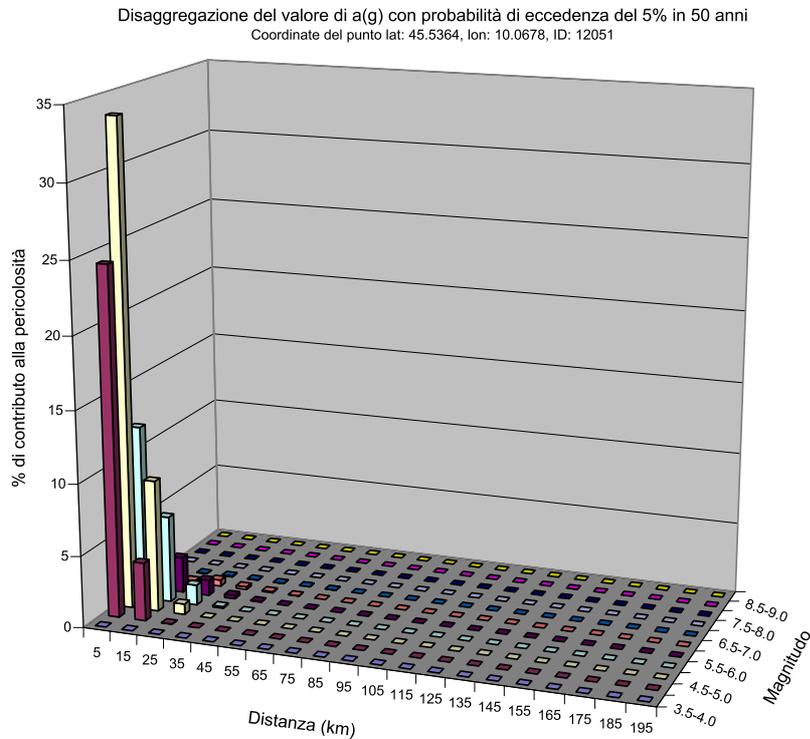


Figura 2.4 – Contributi specifici magnitudo-distanza alla pericolosità sismica circa a pk. 0+000.

APPROVATO SDP

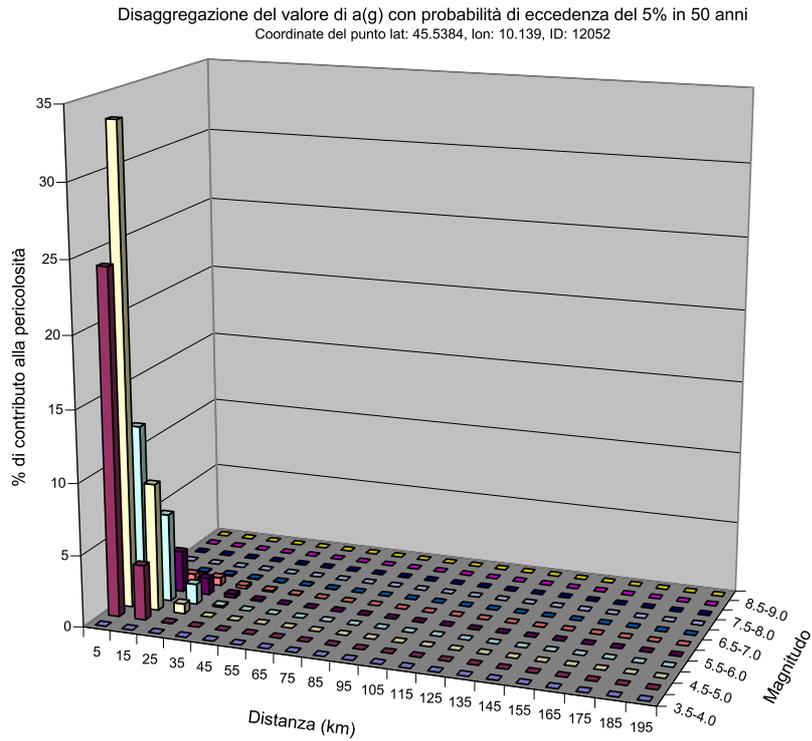


Figura 2.5 – Contributi specifici magnitudo-distanza alla pericolosità sismica circa a pk. 7+900.

APPROVATO SDP

3. AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

3.1 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

Con riferimento a quanto esposto al paragrafo 4.5 dalla Relazione Generale di Progetto Esecutivo (Rif. 5.2.1), la vita nominale e la classe d'uso dell'opera sono state assegnate in accordo alle seguenti valutazioni:

“Tutte le opere d'arte (viadotti, sottovia, tombini e cavalcavia) delle Viabilità Connesse e Compensative (lotti 0A, 0B, 0C, 0D, 0E, 0F, 0G, 0H, 0I, 0L, 0M, 0N) previste in progetto, assumono la vita nominale $V_n=50$ anni, in quanto si tratta di opere ordinarie di “importanza normale”. La classe d'uso (IV) è stata adottata per tenere conto delle conseguenze d'un eventuale collasso dell'opera in caso di un evento sismico, ai fini del mantenimento delle vie di comunicazione attraversate e classificate ai sensi del D.M. 5 novembre 2001 di tipo “A”, “B” e “C”. Ne consegue quindi che il periodo di riferimento per l'azione sismica è considerato pari a $V_R = V_n \times C_u = 100$ anni”.

Per l'intero lotto in oggetto risulta quindi $V_R = 100$ anni.

La strategia di progettazione per i differenti stati limite di cui al punto 3.2.1 delle NTC-2008 è quindi ricavata dalla seguente formula dell'allegato A delle NTC-2008, in funzione delle probabilità di superamento P_{V_R} indicate in tabella 3.2.I nel periodo di riferimento V_R :

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

$T_{R(SLO)}$	60	anni
$T_{R(SLD)}$	101	anni
$T_{R(SLV)}$	949	anni
$T_{R(SLC)}$	1950	anni

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.1 – Tabella 3.2.I da NTC-2008, probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R per differenti stati limite.

3.2 Pericolosità sismica

Nell'allegato B delle NTC-2008 sono forniti, secondo un *reticolo di riferimento* e per differenti *intervalli di riferimento*, i parametri a_g , F_0 e T_C^* su sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2 delle NTC-2008) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del *reticolo di riferimento*, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei

valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del *reticolo di riferimento*, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Inoltre, qualora le tabelle di pericolosità sismica su *reticolo di riferimento* non contemplino il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} prefissati, il valore del generico parametro p (a_g , F_0 , T_c) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione a partire dai dati relativi di T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando la seguente espressione, in allegato A alle NTC-2008:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse al T_R desiderato;
- T_{R1} T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori di p_1 e p_2 del generico parametro p .

In figura 3.1 sono riportati gli andamenti dell'accelerazione orizzontale massima su substrato roccioso in funzione della progressiva chilometrica per i due T_R considerati.

Si evidenzia, come peraltro facilmente desumibile dalle figure in paragrafo 2, come la pericolosità sismica lungo questo tracciato autostradale sia sostanzialmente costante.

3.3 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Le categorie di sottosuolo sono definite al punto 3.2.2 delle NTC-2008 sulla base del parametro di velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$ relativo ai primi 30 metri di profondità.

È altresì specificato che *“Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione”*.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata; è peraltro previsto che, nel caso in cui la misura diretta della V_S non sia disponibile, è possibile effettuare la classificazione sulla base del valore dei numeri di colpi equivalente della prova penetrometrica dinamica $N_{SPT,30}$ per i terreni a grana grossa e sulla base della coesione non drenata equivalente $c_{u,30}$ per quelli a grana fine.

A tale fine, lungo il tracciato sono disponibili:

- 29 sondaggi di Progetto Definitivo di BreBemi, con esecuzione di prove SPT in foro e misure della c_u in sito e in laboratorio;
- 21 sondaggi di Progetto Esecutivo di BreBemi, con esecuzione di prove SPT in foro e misure della c_u in sito e in laboratorio;
- 5 prove sismiche di tipo Cross-hole di Progetto Esecutivo di BreBemi;
- 7 sondaggi di Progetto Esecutivo per il raddoppio di carreggiata del lotto 0A dell'autostrada BreBeMi e dell' Interconnessione A35–A4, con esecuzione di prove SPT in foro e misure della c_u in sito;
- 2 prove sismiche di tipo Masw di Progetto Esecutivo dell' interconnessione A35 - A4.

In riferimento alle misure dirette della velocità di taglio, si chiarisce che queste sono state eseguite per meglio caratterizzare il tracciato stradale sotto il profilo sismico.

Nelle figure da 3.2 a 3.10 sono raffigurate le categorie di sottosuolo determinate da prove SPT, misure della c_u e prove Cross-hole per le verticali indagate.

L'assegnazione delle categorie di sottosuolo lungo il tracciato è stata inoltre svolta con riguardo alle seguenti considerazioni:

- necessità, specificamente nel caso di opere in linea, di definire tratte omogenee, ovvero di evitare ricorrenti variazioni della categoria di sottosuolo non coerenti con la natura delle opere (i.e.: viadotti, rilevati);
- assegnazione di una maggiore rilevanza tecnica alle misure dirette delle velocità di propagazione delle onde di taglio ricavate mediante prove Cross-hole;
- necessità di evitare un'applicazione "acritica" delle espressioni $N_{SPT,30}$ e/o $c_{u,30}$, ad esempio scartando valori di SPT puntuali affetti con ogni probabilità da errori nella esecuzione della prova (e.g.: eccessivamente bassi per rifluimento del fondo foro, eccessivamente alti e/o a rifiuto strumentale per presenza di ciottoli di grandi dimensioni, ecc.);
- opportunità di correlare le caratteristiche geologiche e stratigrafiche con la categoria di sottosuolo;
- nei tratti caratterizzati da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili, per la definizione della categoria di sottosuolo, come da punto 3.2.2. delle NTC-2008, è stata adottata la categoria di sottosuolo più cautelativa.

Le categorie di sottosuolo suddivise in tratte omogenee sono indicate in tabella 3.2 e 3.3 nelle tavole di progetto di cui al Rif. 5.2.3.

In aggiunta a quanto sopra, si chiarisce altresì che:

- nel caso di opere posizionate in sovrapposizione a tratte con differenti categorie di sottosuolo, si suggerisce di riferirsi alla categoria più cautelativa, anche laddove questa non risulti prevalente sulla estensione dell'opera;
- la categoria di sottosuolo in tabella 3.2 è sempre riferita al piano campagna;

Da pk	a pk	Categoria di sottosuolo
0+000	5+840	B

	Doc. N.	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	66005-00009-A00.doc	04RAEII100009000000100	A00	12 di 30

5+840	6+250	D
6+250	6+550	B

Tabella 3.2 – Categorie di sottosuolo (da piano campagna) per tratte omogenee lungo l'Allargamento del lotto 0A e l'Interconnessione A35-A4

Da pk	a pk	Categoria di sottosuolo
0+000	0+390	B
0+390	1+200	C

Tabella 3.3 – Categorie di sottosuolo (da piano campagna) per tratte omogenee lungo il ramo A4 - BreBeMi dell'Interconnessione A35-A4

Per quanto attiene infine al coefficiente di amplificazione topografica, ai sensi del punto 3.2.2 delle NTC-2008 si assume che le aree in esame siano sempre riferibili alla categoria T1, ovvero quali “*superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.3 – Tabelle 3.2.II e 3.2.III da NTC-2008, definizione delle categorie di sottosuolo.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di S_s e di C_c*

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

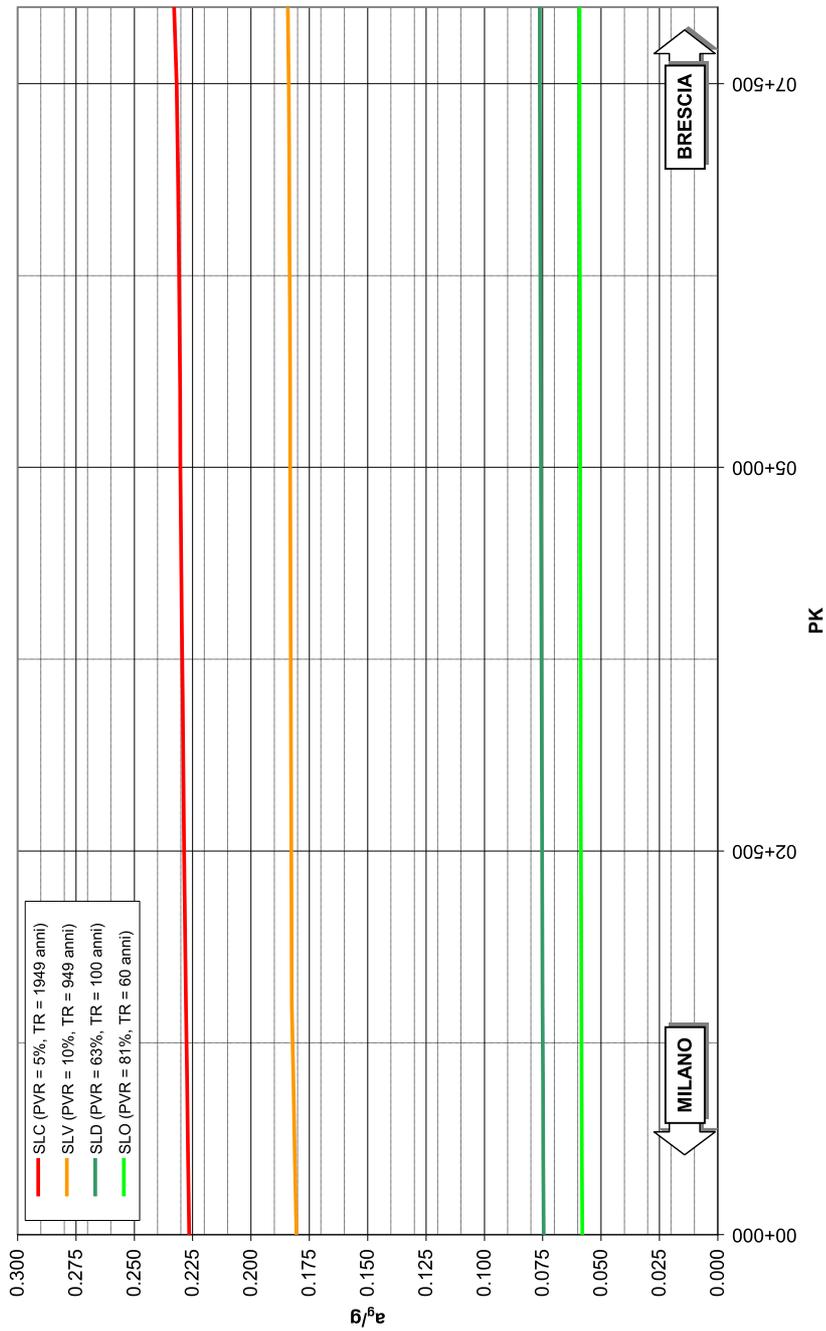
Tabella 3.4 – Tabella 3.2.V da NTC-2008, definizione parametri S_s e C_c .

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

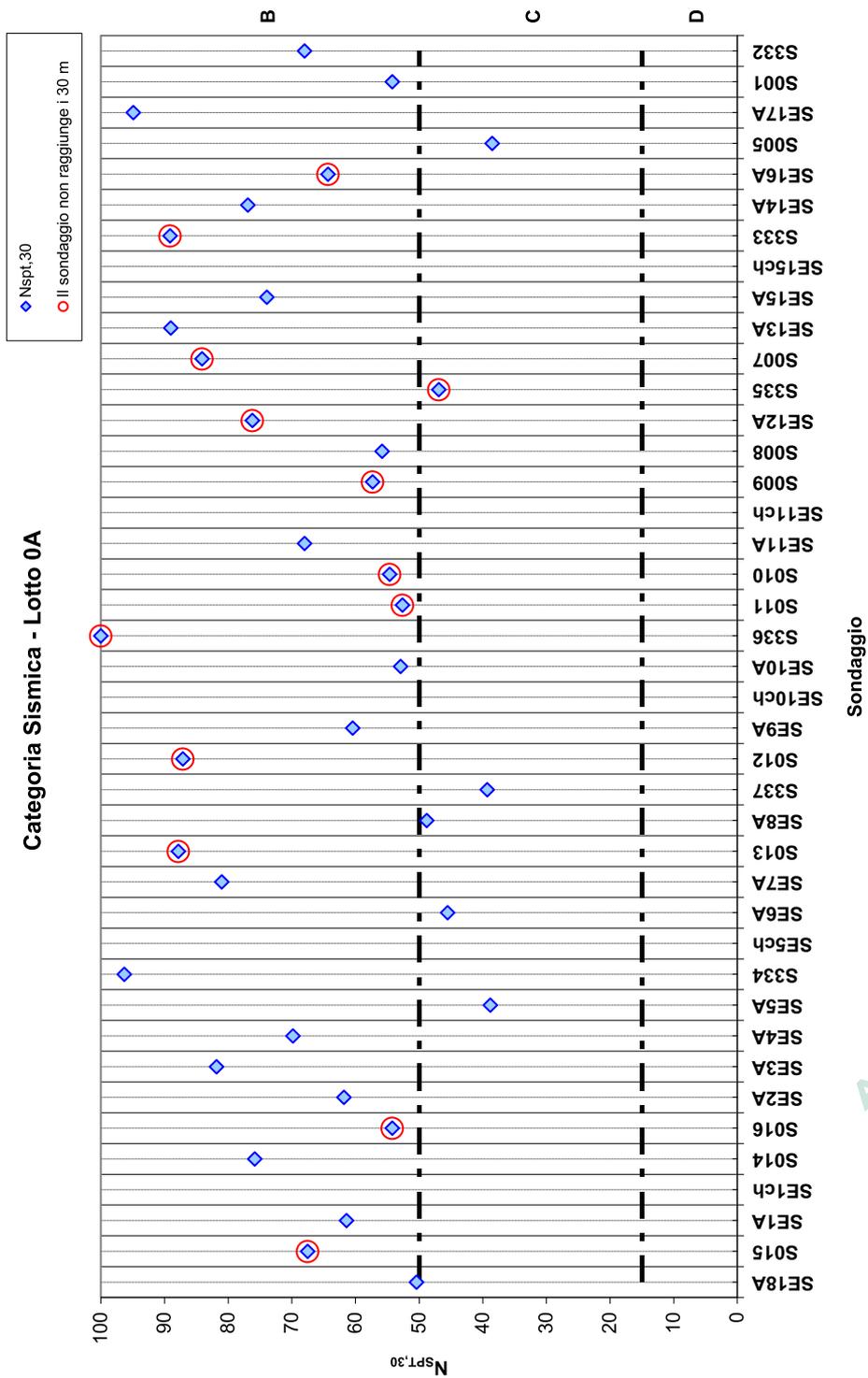
Tabella 3.5 – Tabella 3.2.VI da NTC-2008, definizione del parametro S_T .

APPROVATO SDP



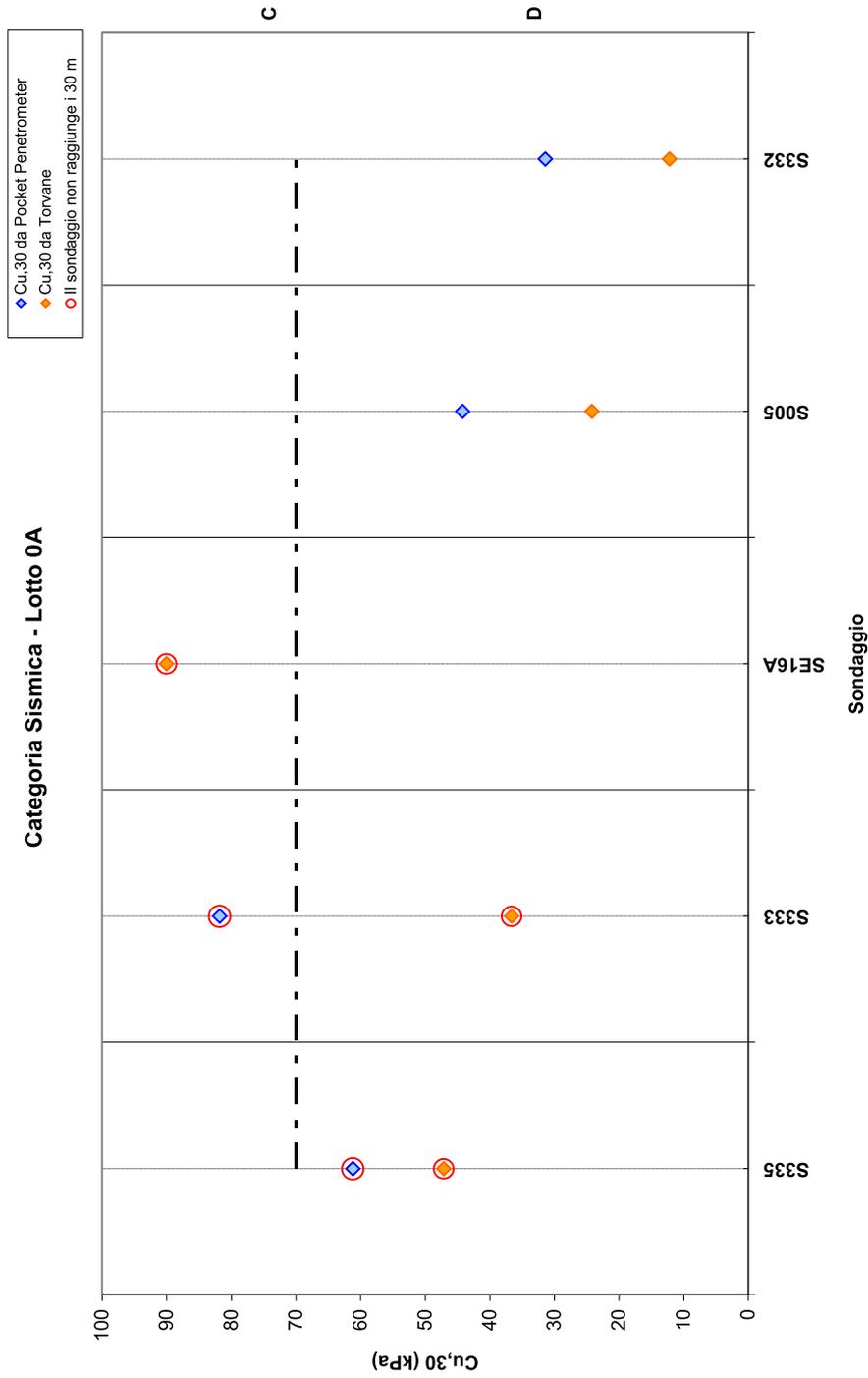
APPROVATO SDP

Figura 3.1 – Accelerazioni orizzontali massime su substrato roccioso in funzione della progressiva chilometrica per $V_R = 100$ anni.



APPROVATO SDP

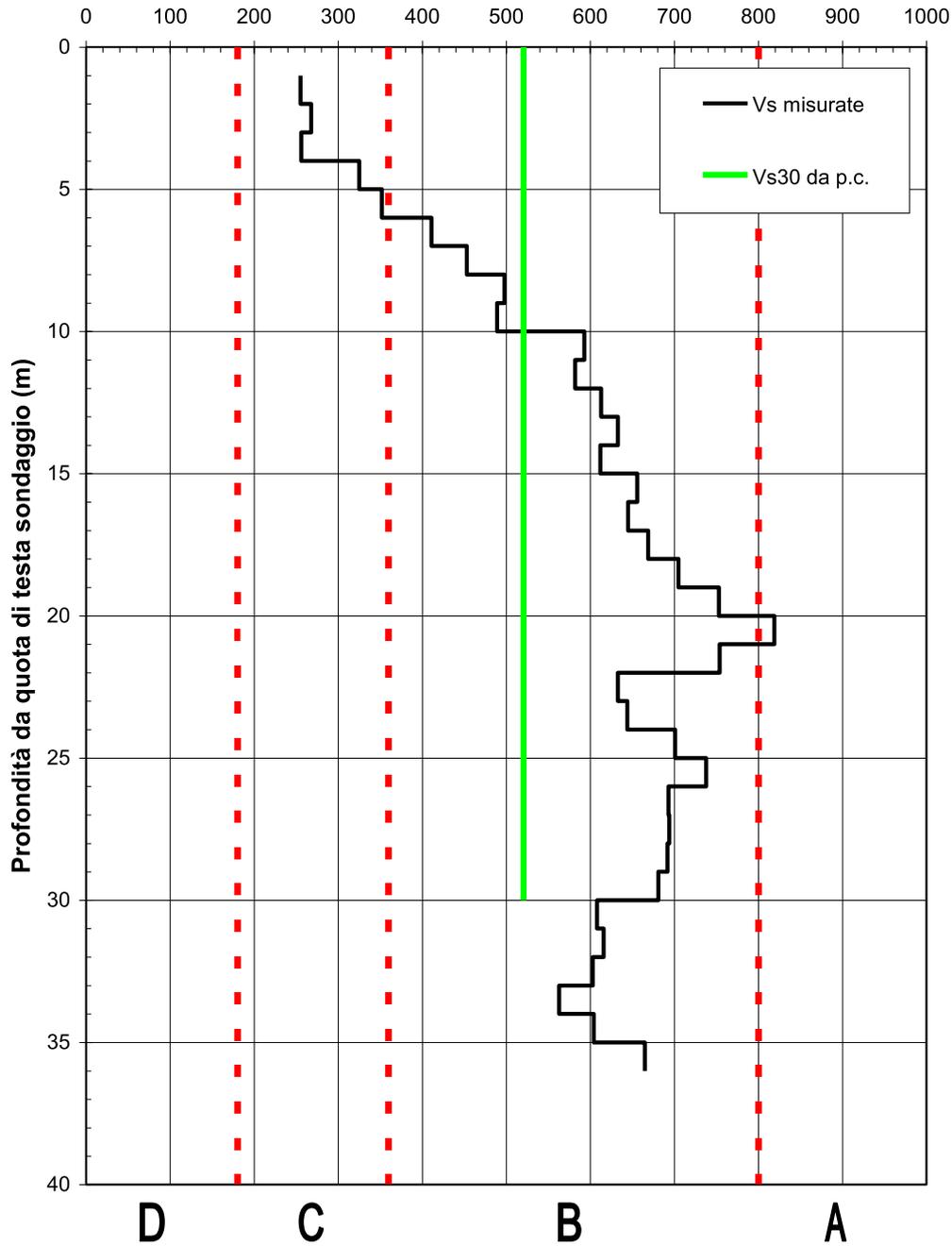
Figura 3.2 – Lotto 0A: categoria di sottosuolo da $N_{SPT,30}$ in corrispondenza delle verticali indagate.



APPROVATO SDP

Figura 3.3 – Lotto 0A: categoria di sottosuolo da cu_{30} in corrispondenza delle verticali indagate.

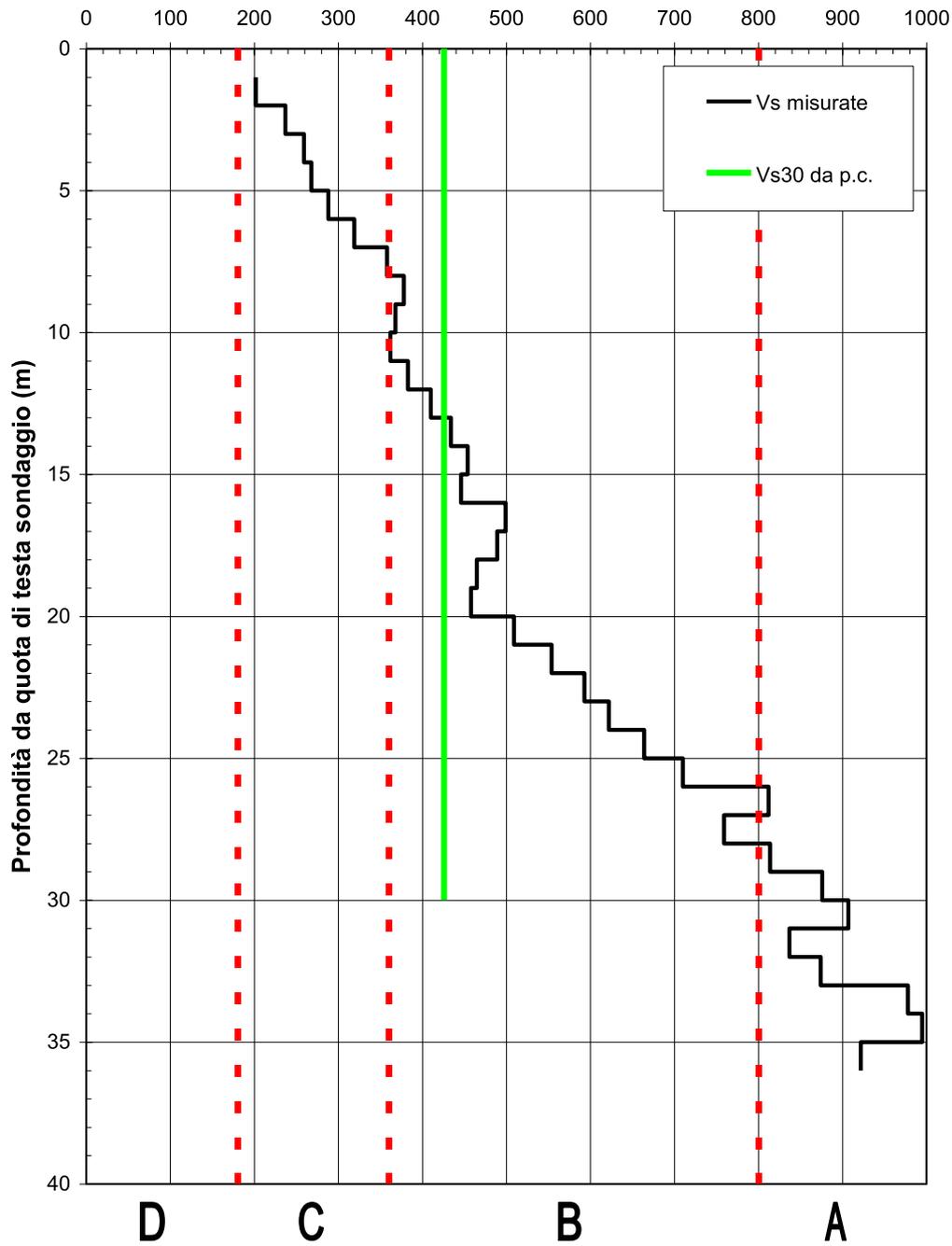
Misura velocità onde elastiche trasversali V_s (m/s)



APPROVATO SDP

Figura 3.4 – Prova Cross-Hole SE1Ach: andamento delle V_s , $V_{s,30}$ e categoria di sottosuolo.

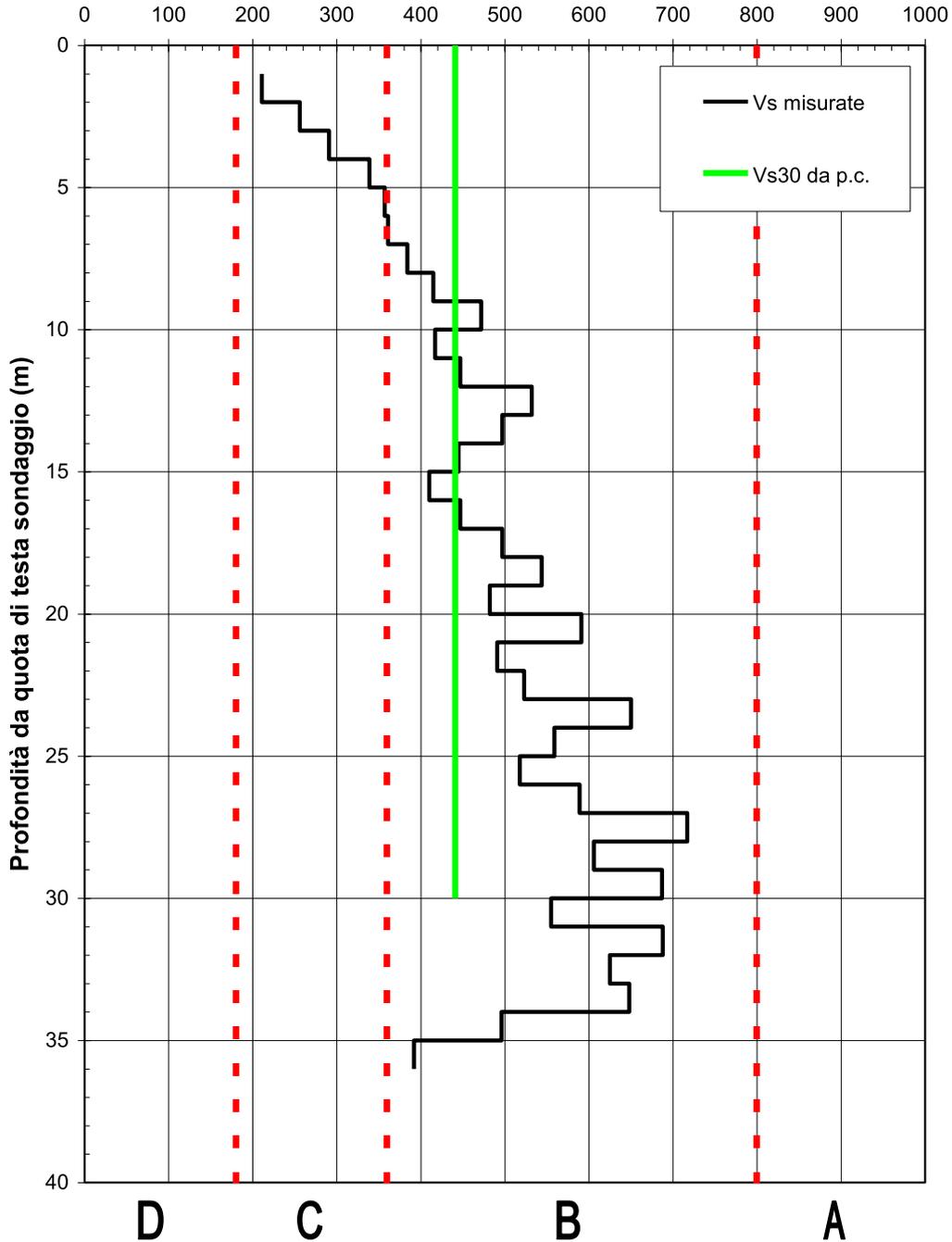
Misura velocità onde elastiche trasversali V_s (m/s)



APPROVATO SDP

Figura 3.5 – Prova Cross-Hole SE5Ach: andamento delle V_s , $V_{s,30}$ e categoria di sottosuolo.

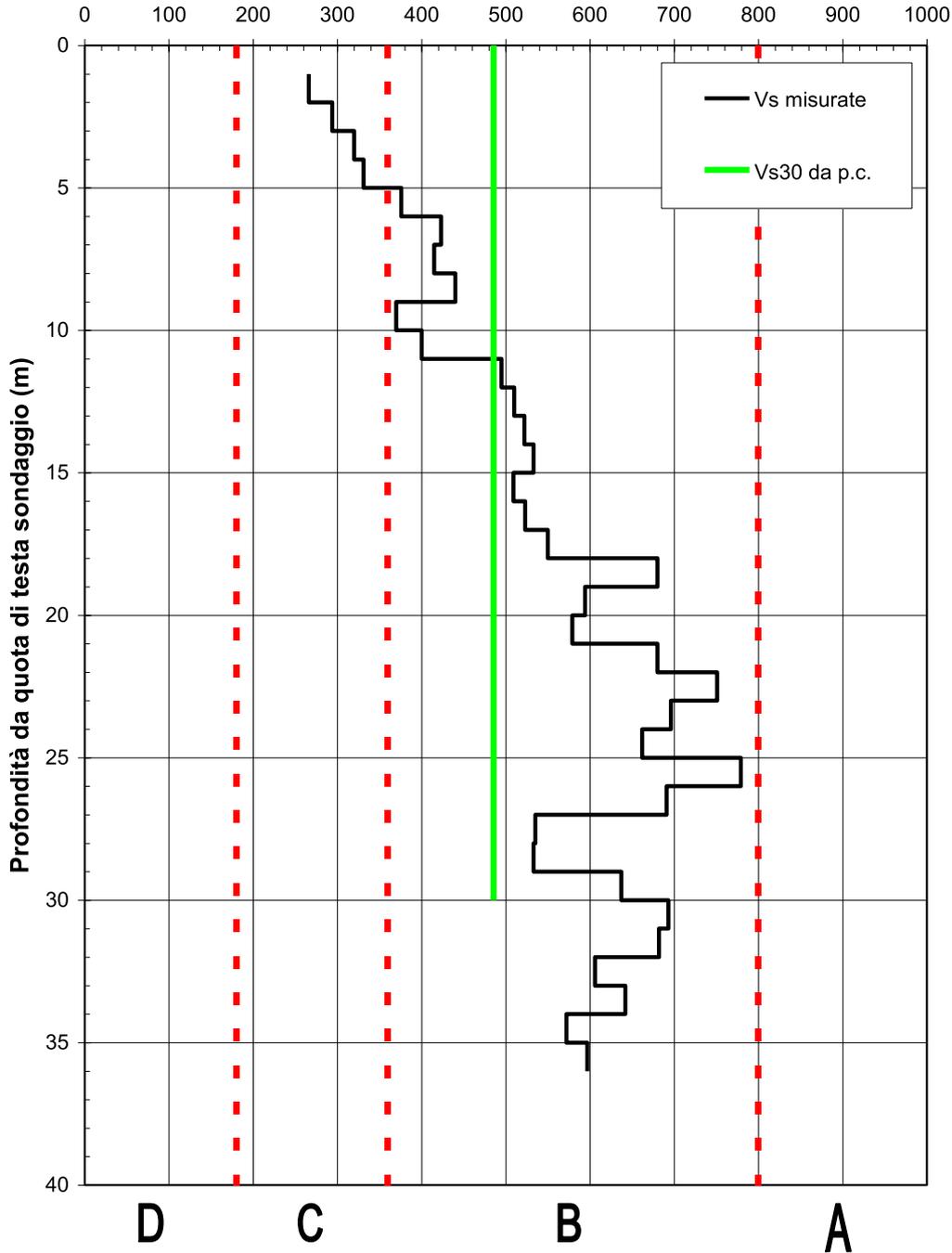
Misura velocità onde elastiche trasversali V_s (m/s)



APPROVATO SDP

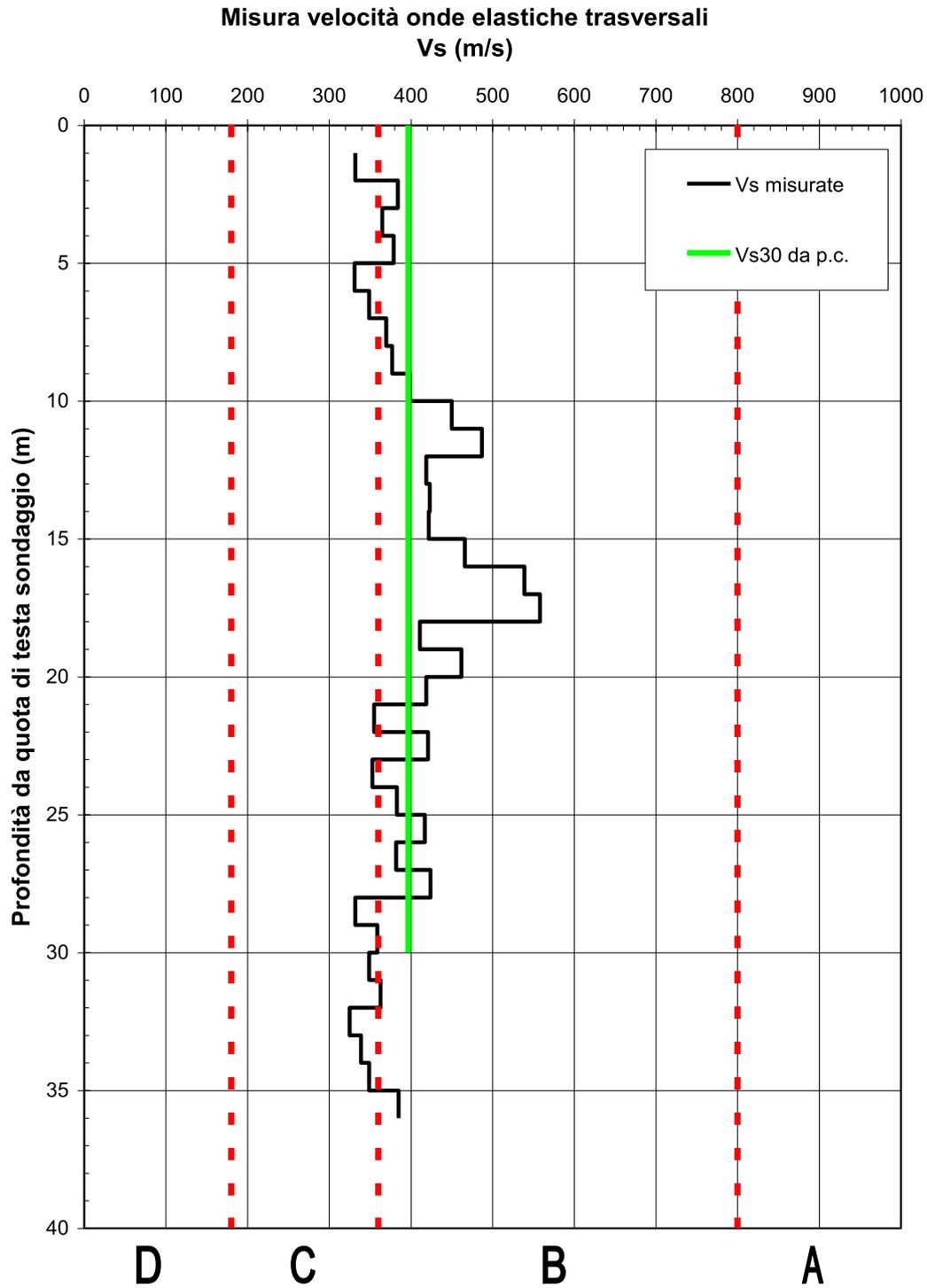
Figura 3.6 – Prova Cross-Hole SE10Ach: andamento delle V_s , $V_{s,30}$ e categoria di sottosuolo.

Misura velocità onde elastiche trasversali
 V_s (m/s)



APPROVATO SDP

Figura 3.7 – Prova Cross-Hole SE11Ach: andamento delle V_s , $V_{s,30}$ e categoria di sottosuolo.

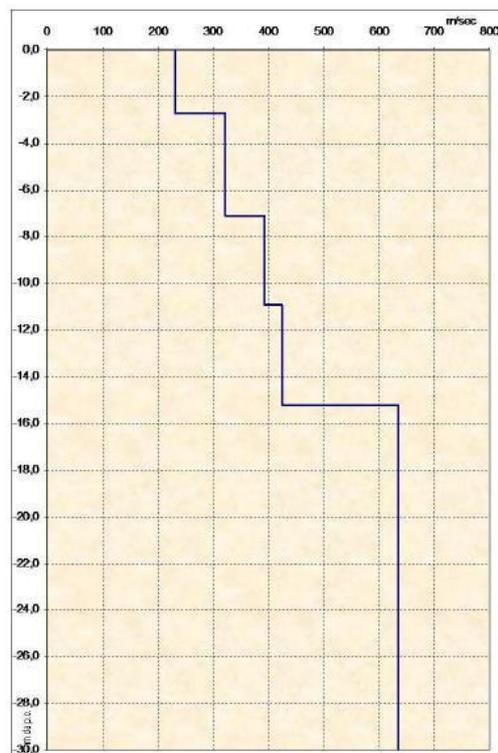


APPROVATO SDP

Figura 3.8 – Prova Cross-Hole SE15Ach: andamento delle V_s , $V_{s,30}$ e categoria di sottosuolo.

Profondità da p,c, (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-2,7	2,7	232
-7,1	4,4	322
-10,9	3,8	393
-15,2	4,3	425
-30,0	14,8	635

- Sismostratigrafia -



- Grafico velocità Vs/profondità -

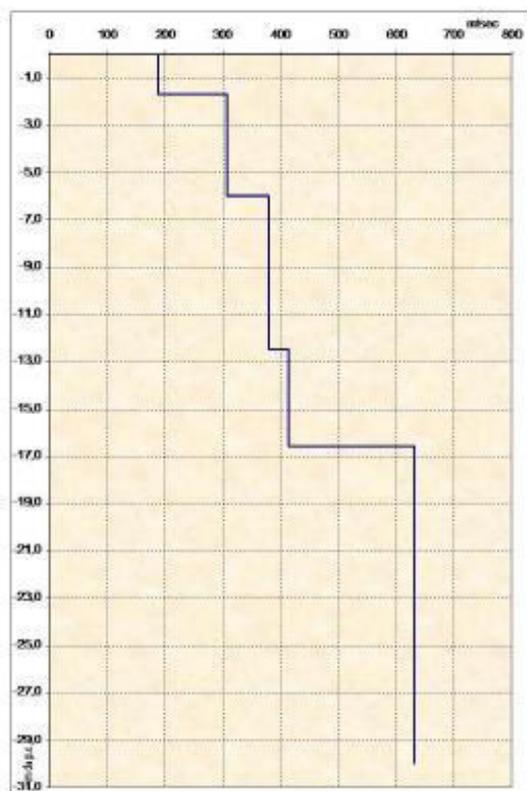
Il valore V_{S30} è 439 m/sec,

Secondo normativa la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B.

Figura 3.9 – Valori delle velocità delle onde di taglio alle varie profondità misurate dalla prova Masw 1

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-1,7	1,7	187
-6,0	4,3	307
-12,5	6,5	379
-16,6	4,1	413
-30,0	13,4	632

- Sismostratigrafia -



- Grafico velocità Vs/profondità -

Il valore V_{S30} è 420 m/sec.

Secondo normativa la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B:

APPROVATO SDP

Figura 3.10 – Valori delle velocità delle onde di taglio alle varie profondità misurate dalla prova Masw 2

La categoria sismica del tratto da pk 0+390 a pk 1+200 del ramo A4 - BreBeMi è stata condotta facendo riferimento al sondaggio S3. E' stato calcolato il valore di $N_{SPT,30}$ facendo riferimento ai valori di N_{SPT} del sondaggio stesso.

Come richiesto da Normativa vigente al paragrafo 3.2.2, vale quanto segue:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

Si riporta per completezza di seguito i valori N_{SPT} degli strati considerati e i relativi spessori utilizzati nel calcolo di $N_{SPT,30}$.

$N_{spt,i}$	h_i (m)
33	3,8
4	2
8,7	4,8
7	3
26	1
51	15,4

$N_{spt,30}$ 15,5

Il terreno di fondazione risulta quindi di categoria C.

APPROVATO SDP

	Doc. N. 66005-00009-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RAEII100009000000100	REV. A00	FOGLIO 25 di 30
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

3.4 Azioni di progetto

Le azioni sismiche di progetto sono definite sulla base dei dati derivanti dalla pericolosità sismica (a_g , F_0 , T_c^*), della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito come definite al paragrafo 3.2.2 delle NTC-2008.

Da questi valori possono essere calcolati gli spettri di risposta elastici in accelerazione (paragrafo 3.2.3.2 delle NTC-2008) e gli spettri di progetto (paragrafi 3.2.3.4 e 3.2.3.5 delle NTC-2008).

Le azioni di progetto sono state ricavate mediante il programma "Spettri NTCver.1.0.3.xls" disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp/>.

In particolare sono state calcolate le accelerazioni massime di progetto a_{max} lungo tutto il tracciato autostradale con una spaziatura al massimo di 500 m per i quattro stati limite di tipo sismico previsti dalle NTC-2008, per il periodo di riferimento indicato al precedente paragrafo 3.1.

Questi valori di accelerazione possono essere utilizzati per eseguire analisi sismiche semplificate di tipo pseudostatico.

Nel caso di opere di rilevante importanza, per le quali le analisi di tipo pseudostatico siano ritenute insufficienti, è possibile definire spettri di risposta elastici per i diversi stati limite di interesse utilizzando lo stesso programma. Tale analisi sono eventualmente riportate negli elaborati specifici delle singole opere.

Nella tabella 3.6 e 3.7 sono riportati i valori dei parametri di pericolosità sismica di sito, i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica e la conseguente accelerazione massima al sito in funzione della progressiva chilometrica lungo il tracciato autostradale e dell'Interconnessione A34-A4, per il tempo di riferimento $TR = 100$ anni.

APPROVATO SDP

Progressiva (km)	CATEGORIA SOTTOSUOLO	V _R = 100 anni																							
		SLC (P _{VR} = 5%)				SLV (P _{VR} = 10%)				SLD (P _{VR} = 63%)				SLO (P _{VR} = 81%)											
		a _g [g]	F ₀ [-]	T [*] _c (s)	Ss [-]	St [-]	a _{max} [g]	a _g [g]	F ₀ [-]	T [*] _c (s)	Ss [-]	St [-]	a _{max} [g]	a _g [g]	F ₀ [-]	T [*] _c (s)	Ss [-]	St [-]	a _{max} [g]						
00+000	B	0.226	2.477	0.299	1.176	1	0.266	0.181	2.444	0.288	1.200	1	0.217	0.075	2.397	0.254	1.200	1	0.089	0.068	2.395	0.239	1.200	1	0.070
00+500	B	0.227	2.477	0.300	1.175	1	0.267	0.181	2.440	0.288	1.200	1	0.217	0.075	2.398	0.254	1.200	1	0.090	0.068	2.395	0.239	1.200	1	0.070
01+000	B	0.227	2.476	0.300	1.175	1	0.267	0.182	2.437	0.288	1.200	1	0.218	0.075	2.398	0.254	1.200	1	0.090	0.068	2.395	0.239	1.200	1	0.070
01+500	B	0.228	2.476	0.300	1.174	1	0.268	0.182	2.433	0.288	1.200	1	0.219	0.075	2.399	0.254	1.200	1	0.090	0.068	2.395	0.239	1.200	1	0.070
02+000	B	0.228	2.475	0.300	1.174	1	0.268	0.183	2.434	0.288	1.200	1	0.219	0.075	2.400	0.254	1.200	1	0.090	0.069	2.396	0.239	1.200	1	0.070
02+500	B	0.229	2.475	0.300	1.174	1	0.268	0.183	2.437	0.288	1.200	1	0.219	0.075	2.401	0.254	1.200	1	0.090	0.069	2.398	0.239	1.200	1	0.070
03+000	B	0.229	2.474	0.300	1.173	1	0.269	0.183	2.440	0.288	1.200	1	0.219	0.075	2.402	0.254	1.200	1	0.090	0.069	2.400	0.239	1.200	1	0.070
03+500	B	0.229	2.474	0.299	1.173	1	0.269	0.183	2.442	0.288	1.200	1	0.219	0.075	2.403	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.402	0.239	1.200	1	0.070
04+000	B	0.230	2.473	0.299	1.173	1	0.269	0.183	2.445	0.288	1.200	1	0.220	0.076	2.405	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.403	0.239	1.200	1	0.071
04+500	B	0.230	2.473	0.299	1.173	1	0.270	0.183	2.448	0.287	1.200	1	0.220	0.076	2.406	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.405	0.239	1.200	1	0.071
05+000	B	0.230	2.473	0.299	1.172	1	0.270	0.183	2.450	0.287	1.200	1	0.220	0.076	2.407	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.407	0.239	1.200	1	0.071
05+500	B	0.230	2.473	0.299	1.172	1	0.270	0.183	2.452	0.287	1.200	1	0.220	0.076	2.408	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.408	0.239	1.200	1	0.071
06+000	D	0.231	2.474	0.299	1.544	1	0.356	0.183	2.454	0.287	1.725	1	0.316	0.076	2.409	0.254	1.800	1	0.137	0.069	2.409	0.239	1.800	1	0.106
06+500	B	0.231	2.474	0.288	1.172	1	0.271	0.183	2.456	0.287	1.200	1	0.220	0.076	2.410	0.254	1.200	1	0.091	0.069	2.411	0.239	1.200	1	0.071

APPROVATO SDP

Tabella 3.6 – Lotto 0A: categoria di sottosuolo, valore dei parametri di pericolosità sismica su sito di riferimento rigido orizzontale, coefficiente di sottosuolo e topografico e accelerazione orizzontale di progetto in funzione della progressiva chilometrica e dello stato limite considerato per V_R=100 anni.

		V _R = 100 anni																							
		SLC (P _{VR} = 5%)					SLV (P _{VR} = 10%)					SLD (P _{VR} = 63%)					SLO (P _{VR} = 81%)								
Progressiva (Km)	CATEGORIA SOTTOSUOLO	a _g [g]	F ₀ [-]	T* _c [-]	S _s [-]	S _t [-]	a _{max} [g]	a _g [g]	F ₀ [-]	T* _c [-]	S _s [-]	S _t [-]	a _{max} [g]	a _g [g]	F ₀ [-]	T* _c [-]	S _s [-]	S _t [-]	a _{max} [g]	a _g [g]	F ₀ [-]	T* _c [-]	S _s [-]	S _t [-]	a _{max} [g]
0+100	B	0,195	2,447	0,292	1,200	1	0,234	0,152	2,438	0,287	1,200	1	0,182	0,061	2,478	0,262	1,200	1	0,073	0,048	2,474	0,241	1,200	1	0,058
0+300	B	0,195	2,447	0,292	1,200	1	0,234	0,152	2,439	0,287	1,200	1	0,182	0,061	2,478	0,262	1,200	1	0,073	0,048	2,474	0,241	1,200	1	0,058
0+600	C	0,195	2,447	0,292	1,413	1	0,276	0,152	2,439	0,287	1,478	1	0,225	0,061	2,478	0,262	1,500	1	0,092	0,048	2,473	0,241	1,500	1	0,072
0+800	C	0,196	2,448	0,292	1,413	1	0,277	0,152	2,439	0,287	1,478	1	0,225	0,061	2,477	0,262	1,500	1	0,092	0,048	2,473	0,241	1,500	1	0,072

APPROVATO SDP

Tabella 3.7 – Ramo A4-BreBeMi: categoria di sottosuolo, valore dei parametri di pericolosità sismica su sito di riferimento rigido orizzontale, coefficiente di sottosuolo e topografico e accelerazione orizzontale di progetto in funzione della progressiva chilometrica e dello stato limite considerato per V_R=100 anni.

	Doc. N. 66005-00009-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RAEII100009000000100	REV. A00	FOGLIO 28 di 30
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

4. ANALISI DI LIQUEFAZIONE

Secondo quanto stabilito al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC-2008 (Rif. 5.1.2), la verifica a liquefazione può essere omessa "...quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. *eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;*
2. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
3. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
4. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
5. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ ".*

A questo riguardo, si osserva che i valori di magnitudo massima da considerare per le verifiche del potenziale di liquefazione dei terreni possono essere definiti sulla base delle stesse prescrizioni utilizzate per la definizione delle accelerazioni di progetto.

In particolare, le analisi di liquefazione possono essere associate ad uno stato limite di salvaguardia della vita (SLV) cui corrisponde una probabilità di superamento dell'evento nel periodo di riferimento del 10%.

Con riferimento a quanto specificato al paragrafo 3.1 della presente relazione, si può assumere un periodo di riferimento V_R pari a 100 anni quindi definire il parametro di progetto "tempo di ritorno dell'azione sismica" T_R , in accordo con quanto prescritto nelle NTC-2008, come:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = -\frac{100}{\ln(1-0.1)} = 950 \text{ anni}$$

Con riferimento alle analisi di disaggregazione della pericolosità sismica in termini di magnitudo-distanza riportate al paragrafo 2.2 della presente relazione, è possibile definire la magnitudo di riferimento dell'evento sismico considerando le stesse prescrizioni normative utilizzate per la definizione delle accelerazioni di progetto. In questo modo il valore di magnitudo utilizzato per le analisi di liquefazione del terreno e le accelerazioni di progetto sono tra loro compatibili e associate alla stessa soglia di rischio.

Si è riscontrato come per l'area, al tempo di ritorno di progetto 950 anni corrispondano valori di magnitudo inferiori a 5.

Nel caso in esame, nella totalità del tracciato si riscontrano le condizioni previste al sopra richiamato punto 1 al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC-2008 e le verifiche di liquefazione non trovano pertanto applicazione.

	Doc. N. 66005-00009-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04RAEII100009000000100	REV. A00	FOGLIO 29 di 30
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

5. BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

5.1 Normative e raccomandazioni

5.1.1 O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. Gazzetta Ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003 (Suppl. Ordinario n. 72).

5.1.2 D.M. 14 Gennaio 2008. “Nuove norme tecniche per le costruzioni”. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 (Suppl. Ordinario n. 30).

5.1.3 Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”. Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 (Suppl. Ordinario n. 27).

5.2 Documentazione di progetto

5.2.1 Consorzio B.B.M. – Progetto Esecutivo “Relazione generale”

5.2.2 Consorzio B.B.M. – Progetto Esecutivo “Relazione geotecnica generale “

5.2.3 Consorzio B.B.M. – Progetto Esecutivo “Profilo geotecnico longitudinale con nuovo profilo stradale – Lotto 0A”

5.3 Riferimenti bibliografici

5.3.1 Gruppo di Lavoro MPS (2004). “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile”. INGV, Milano-Roma. <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

5.3.2 Gruppo di lavoro CPTI (2004). “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani”. INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>.

5.3.3 Stucchi M. et alii (2007). “DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04”. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>.

5.3.4 Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). “Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani”. http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html.

5.3.5 Spallarossa D., Barani S. (2007). “Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε”. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14. <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>.