






CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 1 di 45	Rev. 0

Metanodotto
“Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera
DN 200 (8”), DP 75 bar”
ed opere connesse

Verifica Sismica
Provincia di Modena

0	Emissione	Onori	Guidotti	Napolitano	Lug.'15
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data




CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 2 di 45	Rev. 0

I N D I C E

1	GENERALITA'	3
1.1	Premessa	3
1.2	Scopo del lavoro	3
2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SIMICITA'	5
2.1	Inquadramento geologico strutturale	5
2.2	Sismicità storica	7
2.3	Caratterizzazione sismogenetica	11
2.3.1	Zonazione Sismogenetica ZS9	11
2.3.2	DISS "Database of Individual Seismogenic Sources"	15
2.3.3	Interazioni con il metanodotto in progetto	17
2.4	Caratterizzazione della sismicità	20
3	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	24
3.1	Risposta sismica locale	28
3.2	Caratterizzazione del sottosuolo	31
4.	EFFETTI INDOTTI DAL SISMA	40
4.1	Scuotimento sismico	40
4.2	Zone potenzialmente soggette a liquefazione	42
5	CONCLUSIONI	45

ALLEGATI

Appendice 1 VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 3 di 45	Rev. 0

1 GENERALITA'

1.1 Premessa

La presente Relazione descrive gli esiti dello studio sismico sviluppato per il progetto denominato "Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar ed opere connesse", al fine di ottenere la compatibilità urbanistica dell'opera ai sensi della LR Emilia Romagna 20/2000 e ss.mm.ii.. I gasdotti in progetto sono situati nella parte centrale del settore emiliano della Pianura Padana, ed interessano i territori comunali di Modena e Soliera (MO).

La progettazione e verifica sismica di condotte interrato non è esplicitamente affrontata dalla normativa italiana (NTC), che rimanda a riguardo all'Eurocodice 8 – Parte 4 (EC8) e alle relative appendici nazionali.

In questo documento si farà quindi riferimento all'EC8, per gli aspetti riguardanti la progettazione sismica della condotta, mentre per quanto riguarda la valutazione dell'input sismico e dei fenomeni indotti (frane e liquefazione) si farà riferimento anche alle NTC, alla normativa regionale contenuta nel D.A.L. (Decreto Assemblea Legislativa) n. 112/2007 della Regione Emilia Romagna ed alle ASCE nel 2001/2005 con la "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe".

La progettazione e verifica sismica di condotte interrato deve considerare due tipi di azione sismica (EC8-Parte4, 6.3.1):

- (a) quella derivante dal passaggio delle onde sismiche lungo la condotta, principalmente legata allo spostamento differenziale tra i diversi punti della condotta stessa;
- (b) quella derivante da spostamenti permanenti del suolo indotti dal sisma, in termini frane, liquefazione, o cedimenti differenziali, etc..




La raccomandazione dell'EC8-Parte 4, di rapportare l'azione sismica al requisito prestazionale richiesto e alle conseguenze di un possibile mancato raggiungimento della prestazione, viene recepito dalle NTC 2008 e dall'Appendice Nazionale mediante la definizione della vita nominale dell'opera (V_N), del coefficiente d'uso (C_U), della vita di riferimento ($V_R=V_N \cdot C_U$), e del periodo di ritorno (T_R) associato alla probabilità di superamento di un certo stato limite nella vita di riferimento della struttura.

Poiché l'opera si sviluppa in un'area completamente pianeggiante, priva di versanti, la verifica degli effetti indotti dall'azione sismica sui terreni riguarderà esclusivamente la liquefazione e le deformazioni permanenti da essa derivate, tralasciando i fenomeni di instabilità.

L'area è storicamente interessata da un tasso di sismicità definibile come medio-basso in quanto risente degli scuotimenti sismici delle aree limitrofe come verificatosi in occasione del recente sisma emiliano del 2012.




1.2 Scopo del lavoro

Il presente documento, coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente e in particolar modo dalle NTC 2008 e successivamente alla raccolta di tutti i dati

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 4 di 45	Rev. 0

bibliografici e alla consultazione dei database nazionali, ha lo scopo di effettuare l'inquadramento sismico dell'area in cui ricadono i metanodotti in studio, di definire i parametri sismici per la verifica allo scuotimento della condotta e di procedere con la microzonazione sismica di secondo livello valutando anche le interferenze tra metanodotto e zone potenzialmente liquefacibili.

Data la natura lineare dell'opera, si è adottato un approccio areale progressivo di microzonazione sismica, finalizzato al riconoscimento delle condizioni locali che, in caso di sisma, possono provocare amplificazioni del moto sismico e indurre fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali ecc.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 5 di 45	Rev. 0

2 CARATTERIZZAZIONE DELLA SIMICITA'



2.1 Inquadramento geologico strutturale

La Pianura Padana si è originata da una complessa evoluzione del bacino perisuturale delimitato dall'arco alpino e da quello appenninico settentrionale nel periodo di tempo compreso tra l'età del Pliocene inferiore e l'attuale.

Il bacino si è formato in seguito alla frammentazione ed alla subsidenza di una successione carbonatica d'età meso-cenozoica, sulla quale si sono depositati sedimenti terrigeni d'avanfossa d'età oligo-miocenica. Su questi terreni, nelle ultime fasi di sollevamento della fascia esterna della catena, è continuata una sedimentazione di tipo episuturale fino al Pliocene inferiore che ha determinato la deposizione di una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Nella Pianura emiliano-romagnola, è presente un sistema strutturale sepolto che costituisce la fascia più esterna dell'Appennino Settentrionale: infatti, la struttura tettonica dell'Appennino prosegue, sepolta in pianura, per una quarantina di chilometri, fino a Nord di Ferrara. All'interno di questa fascia si è verificato un impressionante accumulo di depositi, soprattutto plio-pleistocenici, legato al cospicuo affossamento strutturale. Il bordo appenninico esterno e la fascia di pianura antistante sono stati sede di ingenti duplicazioni tettoniche per faglie inverse e sovrascorrimenti a basso-medio angolo che hanno contribuito ad intensificarne la tendenza all'affossamento.

Questo settore padano, proprio per le sue caratteristiche tettonico-deposizionali, ha il carattere di una marcata fossa tettonica, ed in particolare di un'avanfossa ensialica (da Società Geologica Italiana, 1992).

Le ricerche svolte dal servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, basandosi sull'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive, evidenti per la loro espressione sia morfologica che geologica, unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) ed alla ricostruzione delle isobate delle due principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente 450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), hanno permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito dell'intera regione i cui risultati sono riportati nella "Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna" scala 1:250 000 e nelle relative Note illustrative.

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 6 di 45	Rev. 0

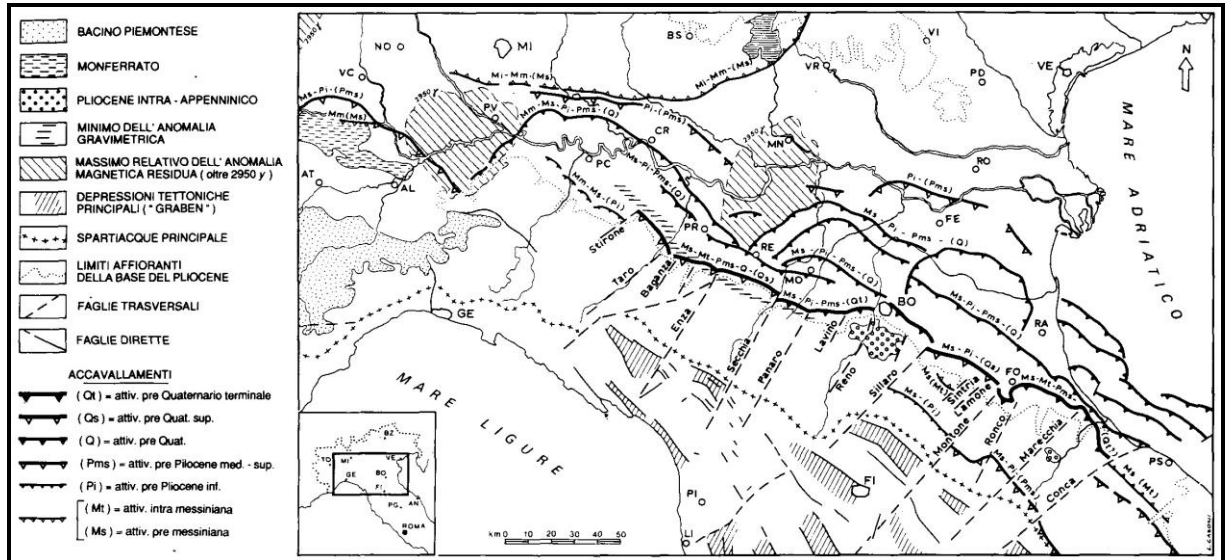


Fig. 2.1/A: Struttura tettonica semplificata e sintetica di parte dell'Appennino settentrionale e dell'Avanfossa padano-adriatica sepolta (in Società Geologica Italiana, 1992).

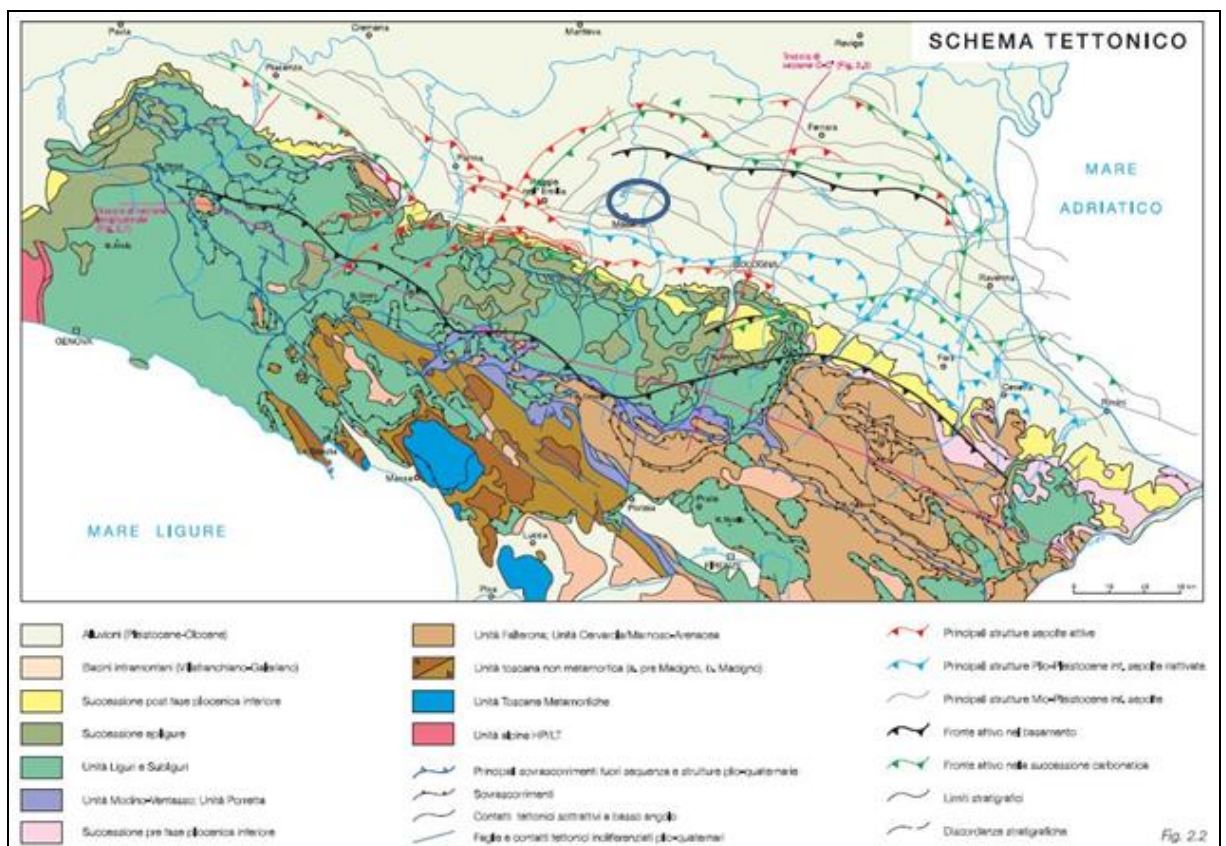




Fig. 2.1/B: Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna (fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Nel circolo blu è evidenziata l'area interessata dall'opera in progetto

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 7 di 45	Rev. 0

2.2 Sismicità storica

La sismicità storica dell'area in esame è stata analizzata consultando il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2011 (CPTI11) redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2011 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI11 va dal 1000 d. C. circa a tutto il 2006, ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della zona sorgente (ZS9), della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI11 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

La Figura 2.2/A e la Figura 2.2/B mostrano la mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI11. In particolare, la Figura 2.2/A mostra la distribuzione dei terremoti nel periodo temporale compreso tra il 1000 d.C ed il 1899 mentre la Figura 2.2./B mostra quelli avvenuti tra il 1900 ed il 2006.

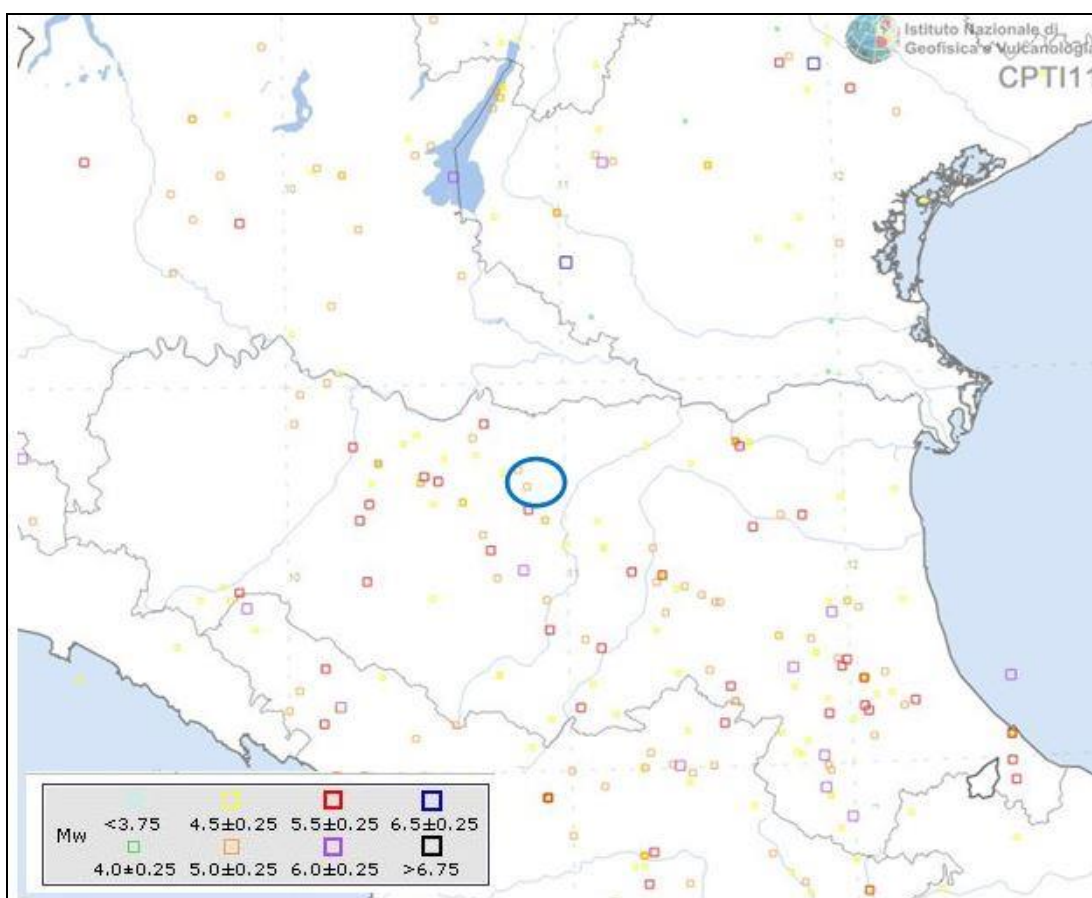





Fig. 2.2/A: Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani nel periodo 1000.d.C. - 1899 catalogati nel CPTI11 (INGV). Nel circolo è evidenziata l'area interessata dal tracciato in progetto

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 8 di 45	Rev. 0

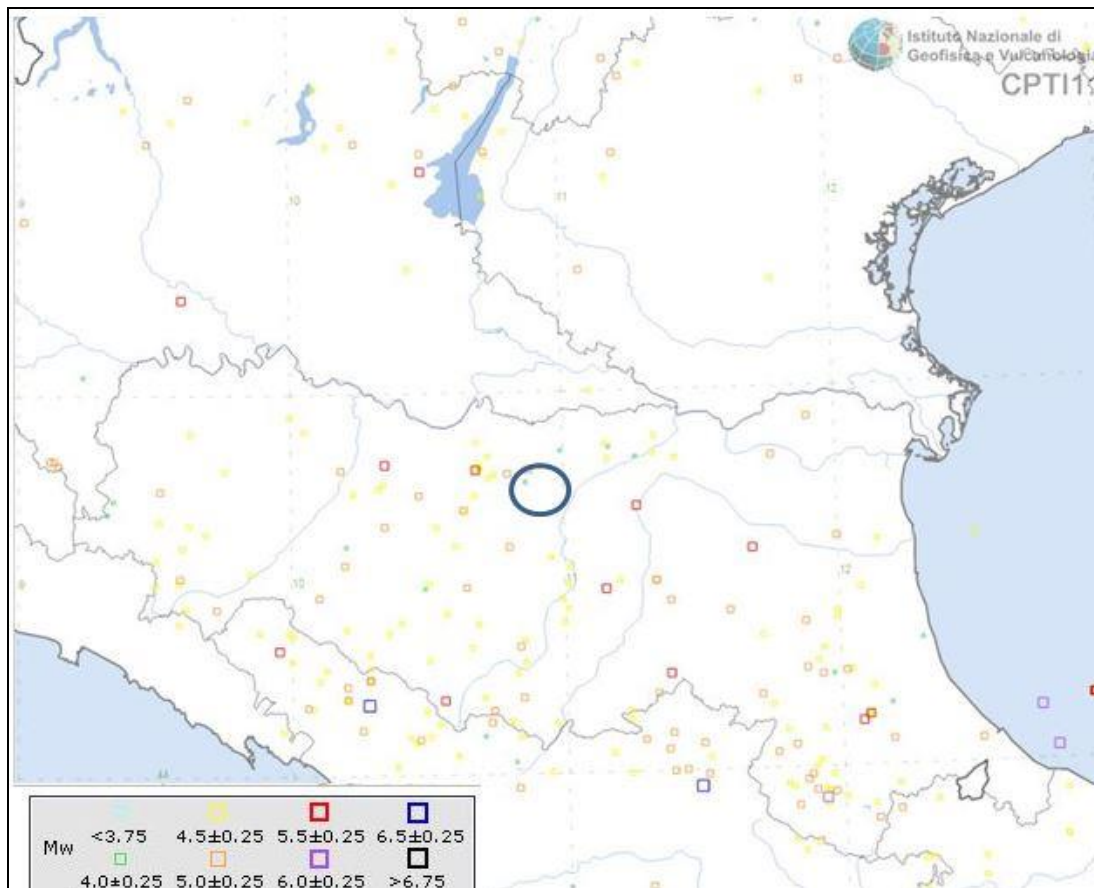





Fig. 2.2/B: Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani nel periodo 1900 - 2006 catalogati nel CPTI11 (INGV). Nel circolo è evidenziata l'area interessata dal tracciato in progetto

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse estratti dal catalogo CPTI11 dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un indice di sismicità medio-bassa, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

La storia sismica dell'area esaminata è stata desunta dal Database macrosismico dell'INGV DBMI11 che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11). I maggiori eventi sismici che, in epoca storica, hanno interessato il territorio sono riassunti in Tab.2.2/A. Dalla lettura della tabella si evince che i massimi eventi sismici censiti sono quelli verificatisi il 15 luglio 1971, con epicentro nel parmense ed il 15 ottobre 1996 con epicentro a Correggio e caratterizzati da un'intensità del V-VI grado della scala MCS e da valori di magnitudo M_w compresi tra 5.64 ± 0.09 e 5.41 ± 0.09 .

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 9 di 45	Rev. 0



Tab. 2.2/A: Eventi sismici i cui effetti si sono risentiti nel territorio interessato dal metanodotto. Da DBMI11 (INGV).

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
4	1967 04 03 16:36	Reggiano	47	5-6 4.69 ±0.19
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1971 09 11 23:18	Correggio	15	5 4.23 ±0.31
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
5	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
NF	1992 04 17 11:59	Montevoglio	56	4-5 4.32 ±0.18
5-6	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5 4.22 ±0.27
4	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17
4-5	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

Nel maggio 2012, il settore centro-occidentale della pianura emiliana, limitrofo al settore di pianura interessato dalla linea in progetto, è stato interessato da un'importante sequenza sismica che ha riguardato una vasta porzione di territorio compreso tra le province Ferrara e Reggio nell'Emilia ed in particolare il Modenese ed il Ferrarese (Fig. 2.2/C). La prima forte scossa , di ML=5.9 è avvenuta il 20 maggio con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia seguita, il 29 maggio, da una seconda importante scossa di ML= 5.8 con epicentro tra Mirandola e Medolla. La sequenza sismica, tra il 20 maggio ed il 3 giugno 2012) ha registrato in totale 7 terremoti di magnitudo superiore a 5.

Fino ad allora, la zona della Pianura Padana interessata dalla sequenza sismica è stata caratterizzata da una modesta sismicità storica infatti nel raggio di 30-40 km dagli epicentri delle scosse principali del 20 e 29 maggio, le informazioni storiche contenute nei più recenti cataloghi sismici non riportano eventi significativi, con la sola eccezione del forte terremoto che colpì la zona di Ferrara il 17 novembre 1570.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, sulla base del citato Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e dei più recenti eventi sismici verificatisi nell'area, ha elaborato una carta riportante gli epicentri dei terremoti più significativi distinti per classi di magnitudo (Fig. 2.2/D). In azzurro i terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 5,5; in rosso i terremoti di magnitudo maggiori di 5,5. Sono evidenziati anche i terremoti principali del 20 e 29 maggio 2012. Nel circolo l'area interessata dal tracciato.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 10 di 45	Rev. 0

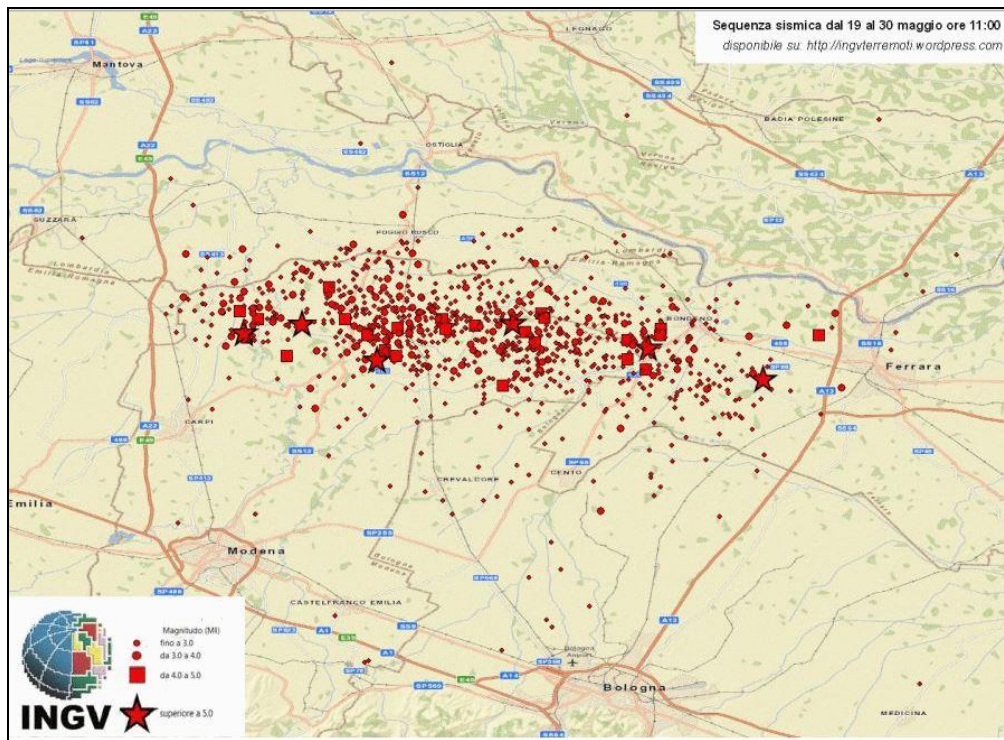


Fig. 2.2/C: Sequenza sismica della pianura emiliana del maggio 2012 (fonte: INGV)

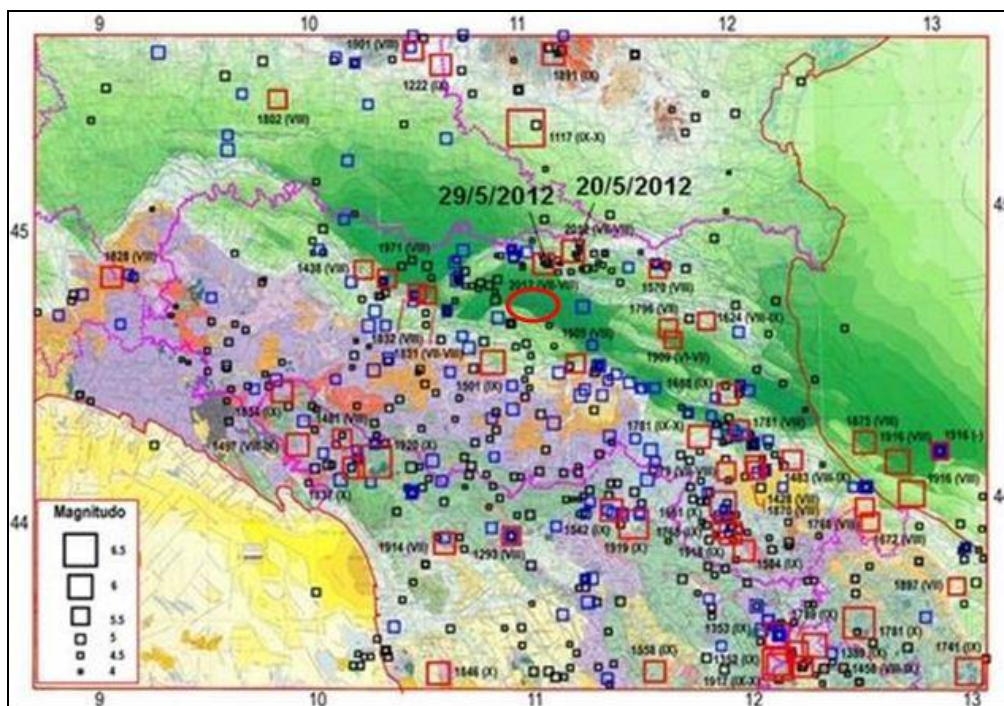




Fig. 2.2/D: Localizzazione degli epicentri dei principali terremoti con magnitudo maggiore di 4 (fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna)

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 11 di 45	Rev. 0

Da queste informazioni risulta evidente l'attività sismica presente nella regione Emilia-Romagna.

Nella figura 2.2/E è evidenziata la relazione tra le zone che risentono maggiormente dei terremoti e la presenza di strutture tettoniche attive anche sepolte (Fig.2.2/E)

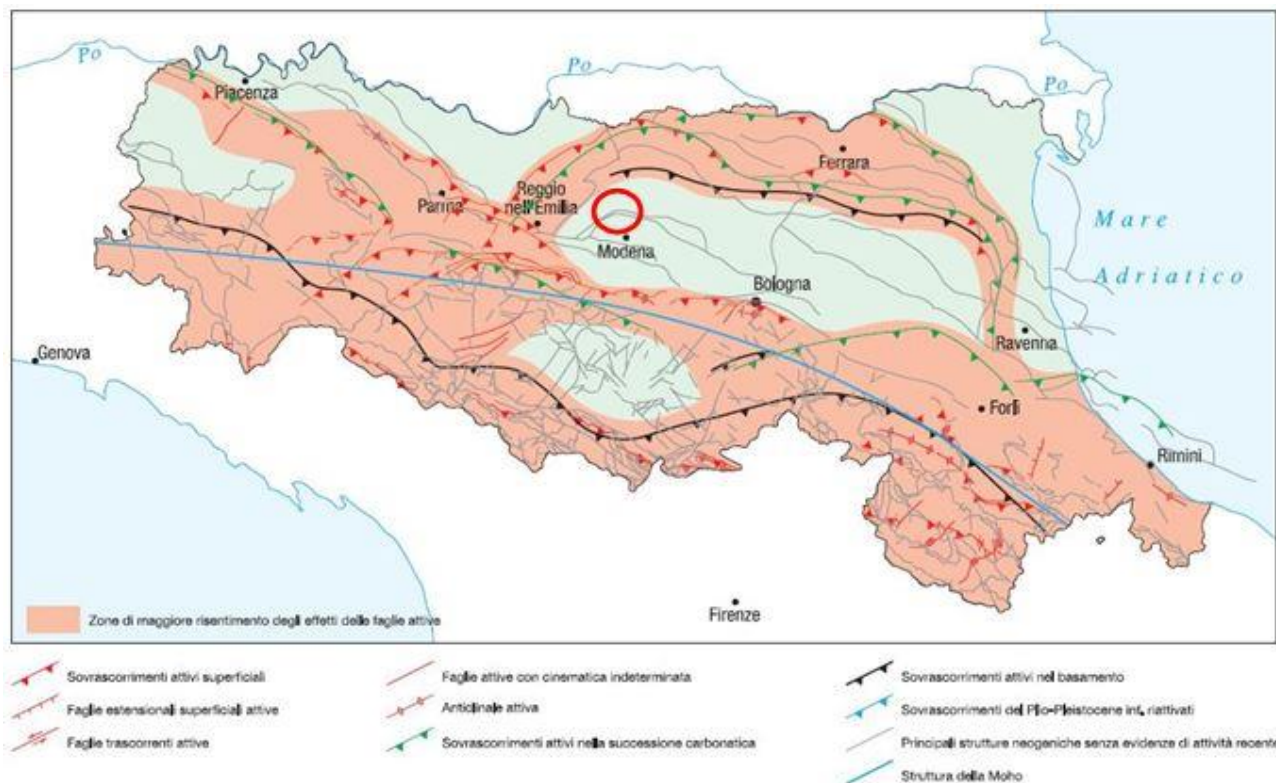




Fig. 2.2/E: Mappa con la zonazione delle aree che maggiormente risentono delle faglie attive (fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Nel circolo è evidenziata l'area interessata dall'opera in progetto

2.3 Caratterizzazione sismogenetica

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata in base alla Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9 (Meletti C. e Valensise G., 2004) ed alla consultazione del DISS, ("Database of Individual Seismogenic Sources), un database georiferito che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleosismiche al fine di caratterizzare al meglio le sorgenti sismogenetiche localizzate sul territorio nazionale. Entrambe le fonti sono elaborate a cura dell'INGV.

2.3.1 Zonazione Sismogenetica ZS9

Gli studi sulla pericolosità sismica condotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9. Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 36 zone-sorgente, individuate mediante l'osservazione delle

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 12 di 45	Rev. 0

caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche.

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale prevede una distinzione delle aree sorgenti mediante limiti di colore diverso. I limiti di colore nero separano aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, mentre i limiti di colore blu dividono zone con uno stesso stile deformativo, ma con differenti caratteristiche di sismicità, quali: distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc (vedi Fig. 2.3/A).

In particolare il territorio considerato si colloca nella zona sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese) caratterizzata da terremoti di magnitudo media o medio-bassa, riconducibili alla presenza delle strutture sepolte attive.

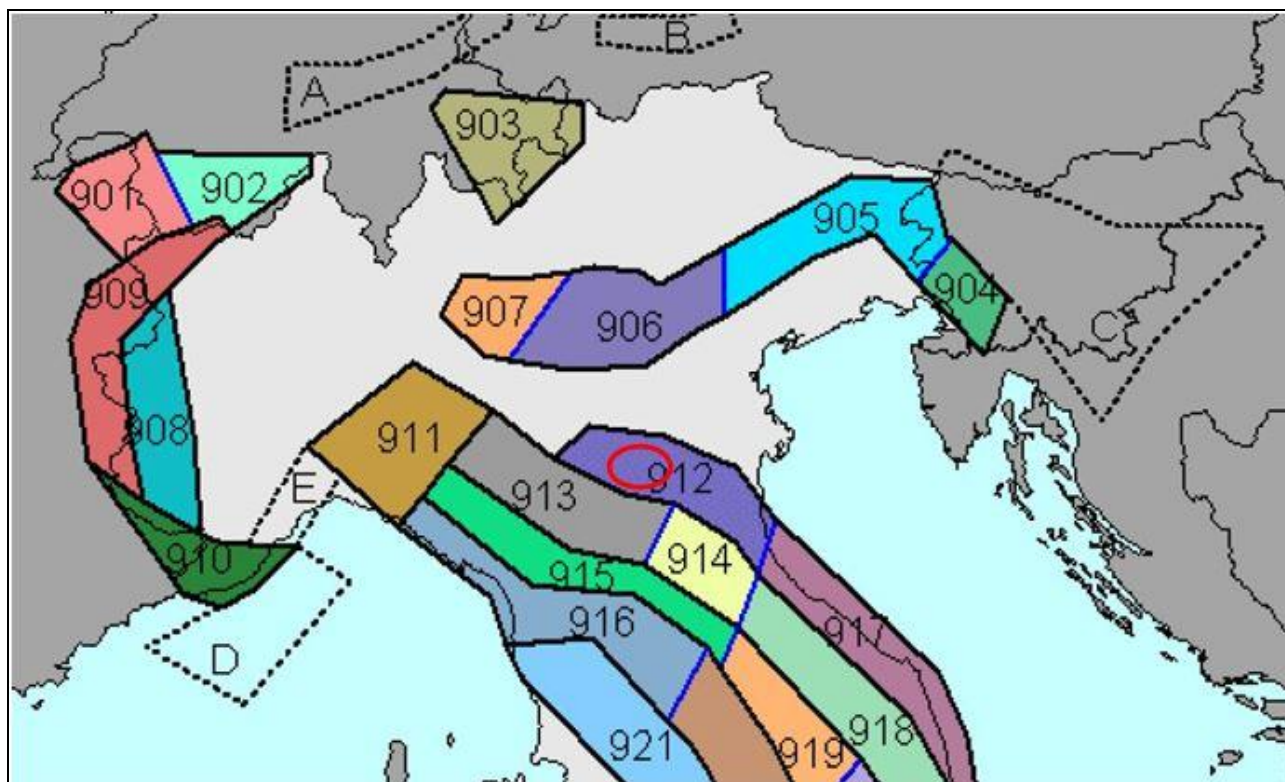





Fig. 2.3/A: Zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero, il colore non è significativo (modif. da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel circolo rosso l'area in cui ricade il tracciato in progetto.

La zona 912, insieme alla zona 917, rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. La zona 917 include le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna (strutture compressive, prevalentemente di tipo thrust), a cui è possibile associare la sismicità della costa romagnola e marchigiana (Valensise e Pantosti, 2001). Il numero di terremoti che ricadono nella zona 917 è decisamente inferiore a quello degli eventi della zona 912.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 13 di 45	Rev. 0




Per ogni zona è stato definito uno strato sismogenetico e ad esso associata una "profondità efficace", ossia la profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità sismica della zona (Meletti C. e Valensise G., 2004).

Lo strato sismogenetico è stato definito come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero l'intervallo in cui presumibilmente avverranno i prossimi eventi sismici. Questi strati sono stati definiti da un'analisi del catalogo della sismicità strumentale (1983-2002) dell'INGV e indicano l'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi storici che ricadono all'interno di ogni zona.

Per considerare le incertezze e il fatto che un unico valore di profondità può non essere rappresentativo dell'intero strato, è stata proposta una suddivisione dell'intero strato sismogenetico in quattro classi di profondità comprese tra: 1-5 km, 5-8 km, 8-12 km, e 12-20 km. In Figura 2.3/B sono mostrate le classi di profondità efficace per ciascuna zona.

La sismicità che caratterizza la zona 912, è relativamente superficiale (5-8 km di profondità).

Nello studio di Meletti e Valensise (2004) è stato indicato anche un meccanismo di fagliazione prevalente per ciascuna zona. Per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi. L'assegnazione è stata basata su una combinazione dei meccanismi focali osservati con dati geologici a varie scale e dai meccanismi focali dei terremoti significativi avvenuti in epoca strumentale tratti da un ampio e recente database nazionale. In Figura 2.3/C è mostrato uno stralcio della mappa nazionale, con in evidenza la zona interessata dall'opera in progetto.

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 14 di 45	Rev. 0

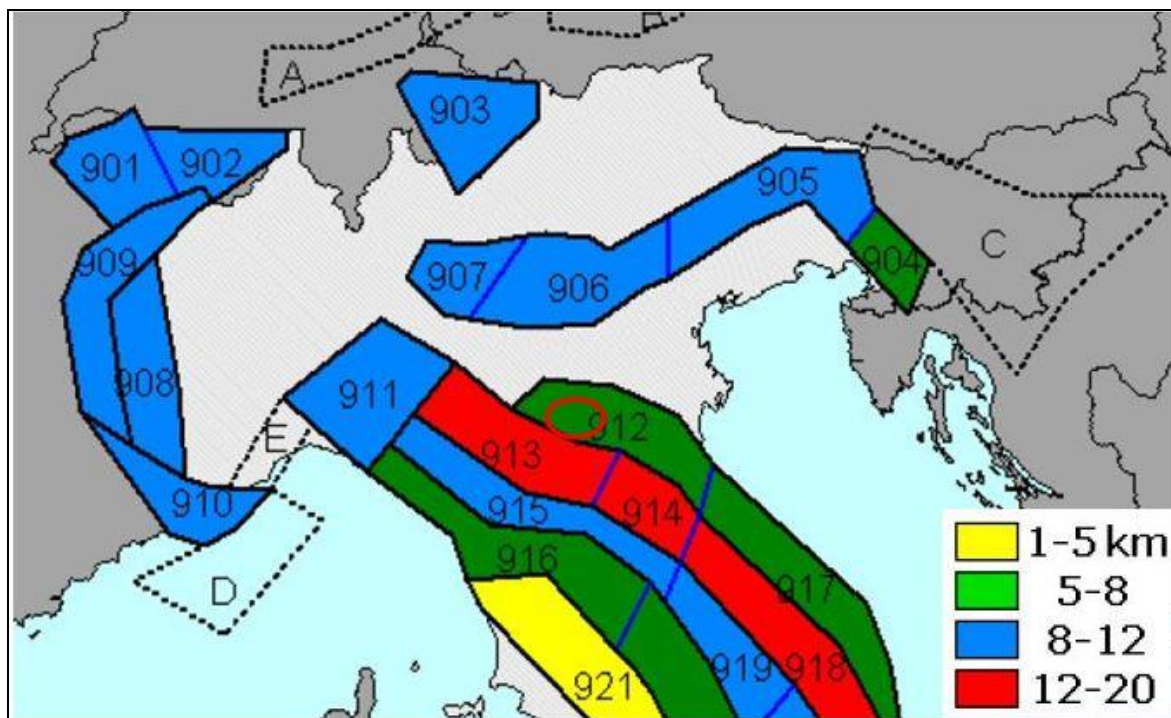


Fig. 2.3/B: Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel circolo rosso l'area in cui ricade il tracciato in progetto.

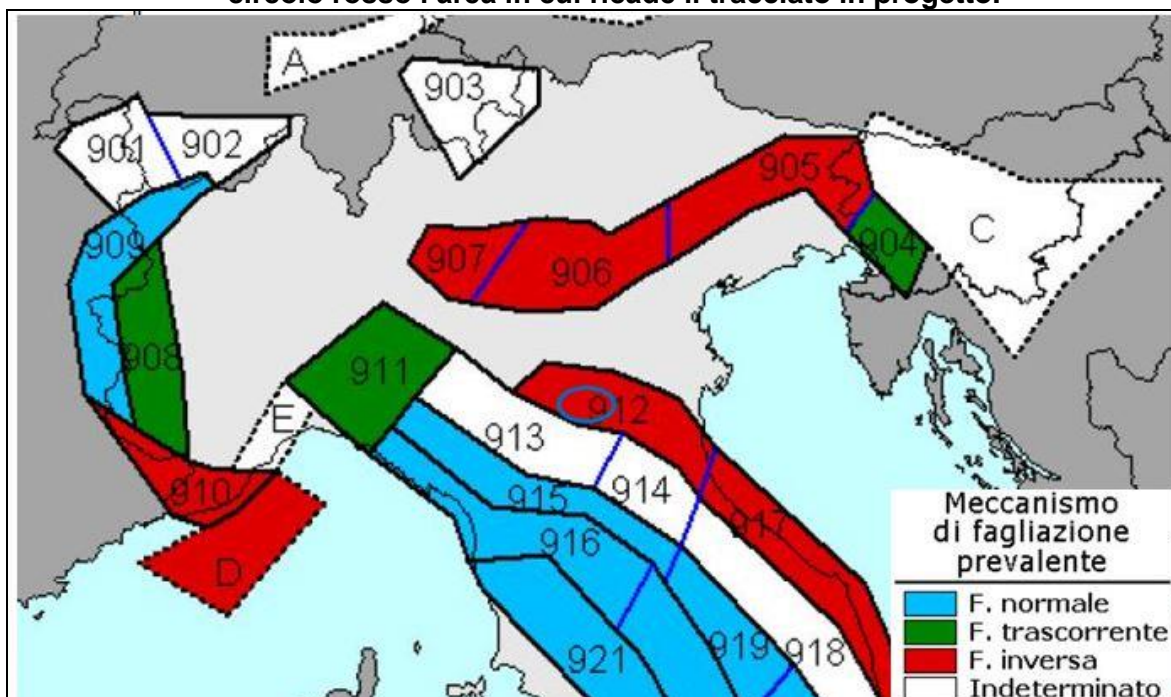




Fig. 2.3/C: Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche di ZS9 (modif. da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel circolo blu l'area in cui ricade il tracciato in progetto.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 15 di 45	Rev. 0

La sismicità della zona 912 mostra caratteristiche di fagliazione di tipo “Faglia Inversa”, rappresentative dell’attuale regime tettonico compressivo.

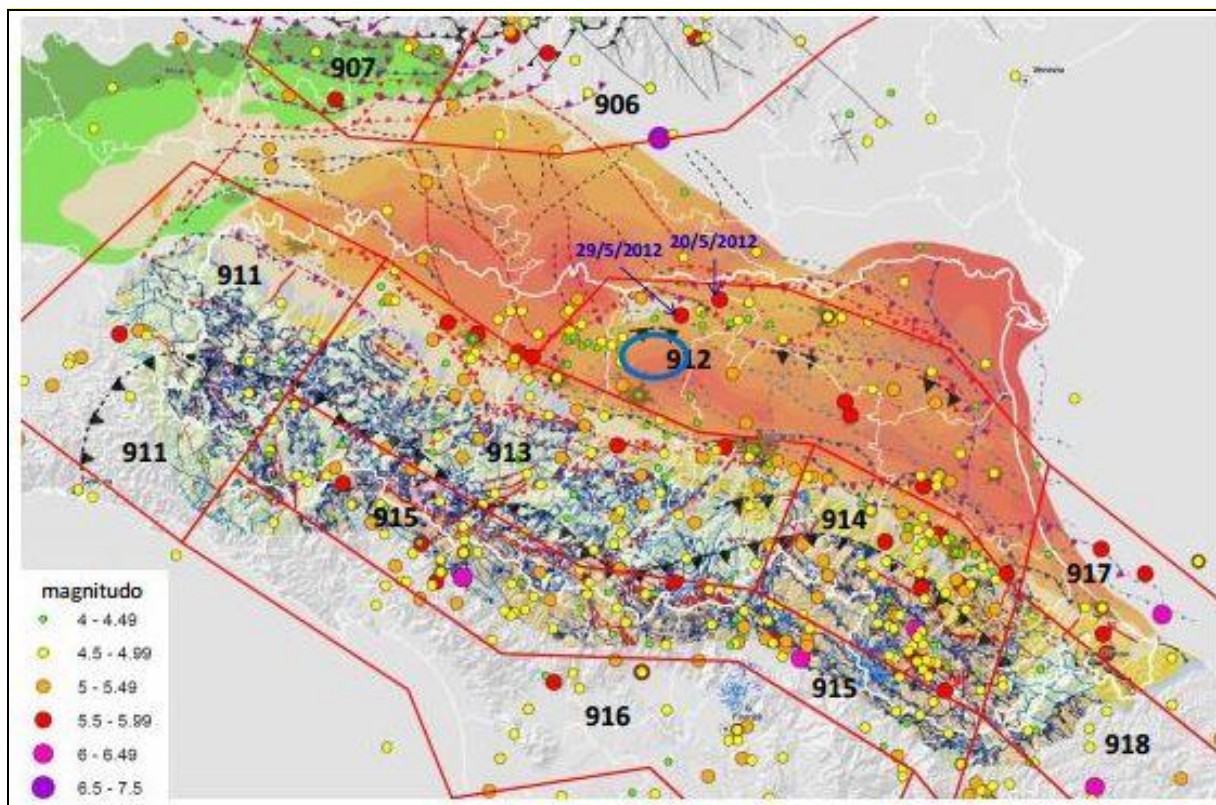




Figura 2.3/D: Schema tettonico dell’Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale (da: Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (da: Meletti e Valensise, 2004), e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l’Emilia-Romagna (dati INGV) (fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Nel circolo blu, l’area in cui ricade il tracciato in progetto

2.3.2 DISS “Database of Individual Seismogenic Sources”

A partire da luglio 2010, l’INGV ha messo a disposizione la banca dati DISS, (Database of Individual Seismogenic Sources versione 3.1.1), un database georiferito che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleosismiche al fine di caratterizzare al meglio le sorgenti sismogenetiche localizzate sul territorio nazionale.

Al fine di approfondire ed integrare l’analisi sismogenetica e neotettonica del territorio esaminato si è proceduto alla consultazione di questo database.

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 16 di 45	Rev. 0

Il DISS include le seguenti categorie di sorgenti sismogenetiche:

- Sorgenti sismogenetiche individuali, ovvero una rappresentazione semplificata e tri-dimensionale del piano di faglia (vedi fig. 2.3/E). Si assume che le sorgenti individuali esibiscano comportamenti caratteristici rispetto alla lunghezza/larghezza di rottura ed alla magnitudo attesa. Le sorgenti sismogenetiche individuali sono definite da dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da un set completo di parametri geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (velocità) e sismologici (spostamento per evento singolare, magnitudo, slip rate, intervallo di ricorrenza). Si assume che le sorgenti sismogenetiche individuali abbiano ricorrenze strettamente periodiche rispetto alla rottura. Le sorgenti sismogenetiche individuali vengono comparate a database a livello mondiale, per valutarne la consistenza in termini di lunghezza, larghezza, spostamento da singolo evento e magnitudine. Questa categoria fornisce le più accurate informazioni disponibili per le sorgenti meglio identificate.

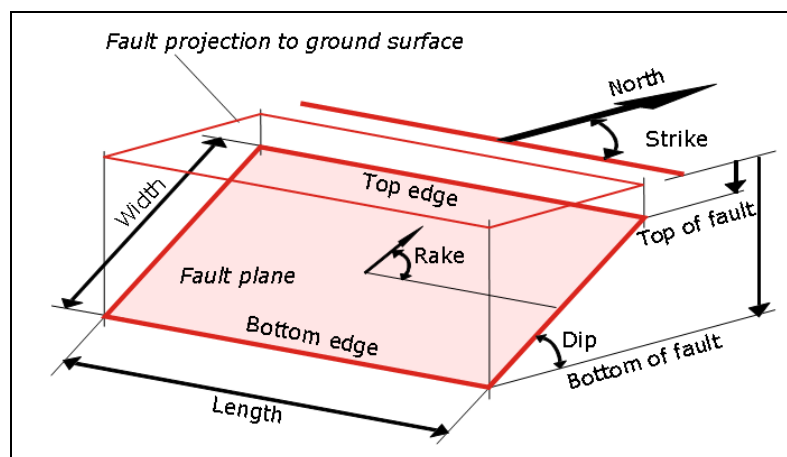




Fig. 2.3/E: Schematizzazione di sorgente sismogenetica individuale (fonte: DISS 3.1.1)

- Sorgenti sismogenetiche composte (precedentemente definite zone sismogenetiche); si tratta di regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti sismogenetiche (vedi fig. 2.3/F). Le sorgenti sismogenetiche composte non sono associate ad uno specifico set di terremoti o a distribuzioni di terremoti; sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici e cinematici. Una sorgente sismogenetica composta è sostanzialmente una struttura dedotta sulla base dei dati geologici regionali di superficie e profondi. Tipicamente una sorgente sismogenetica composta comprende un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta. Il potenziale sismico di questa categoria di sorgenti può essere stimato dai cataloghi sismici esistenti.
- Sorgenti sismogenetiche "dibattute", ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come sorgenti sismogenetiche potenziali ma che non sono state considerate abbastanza affidabili da essere introdotte nel database.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 17 di 45	Rev. 0

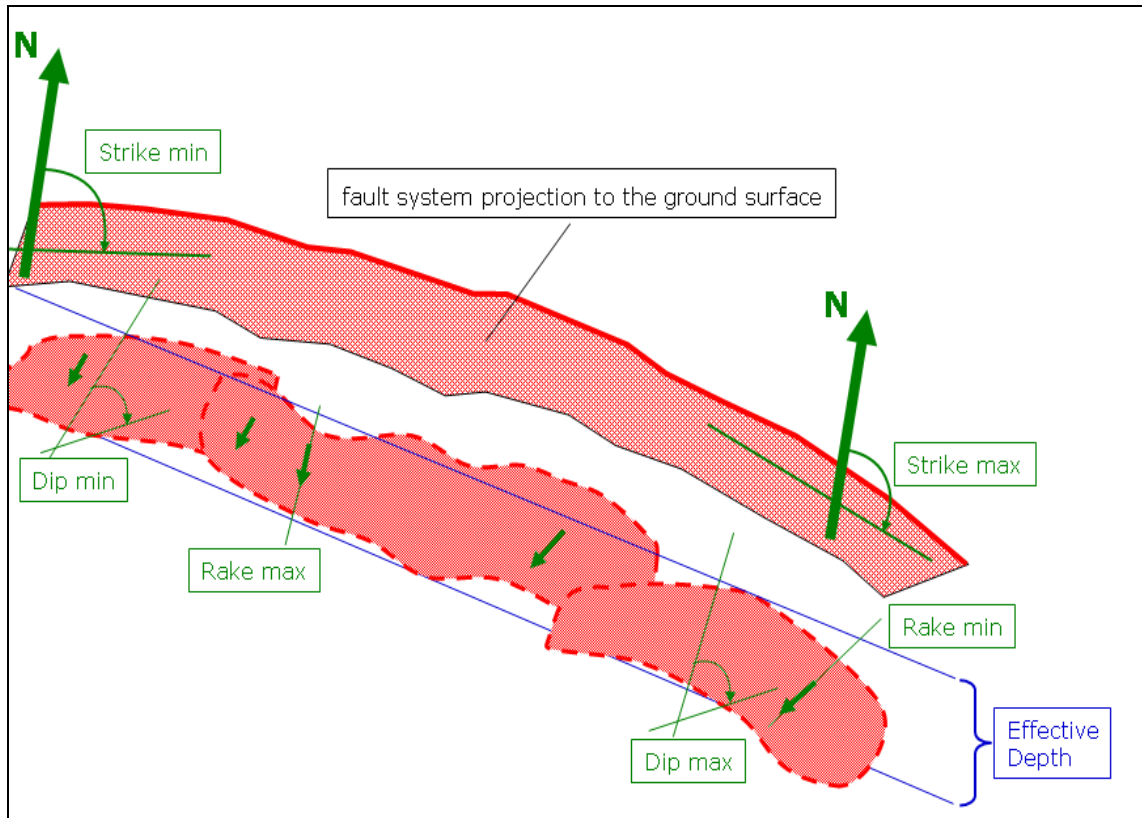





Fig. 2.3/F: Schematizzazione di una sorgente sismogenetica composta (fonte: DISS 3.1.1)

2.3.3 Interazioni con il metanodotto in progetto

I sistemi sismogenetici sopra descritti, individuati con shape file nella banca dati DISS 3.1.1 (<http://diss.rm.ingv.it/diss/Version311.html>), sono stati caricati nell'applicativo di Google earth; in tal modo è stato possibile verificare le interazioni tra il metanodotto in progetto e le sorgenti sismogenetiche.

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 18 di 45	Rev. 0

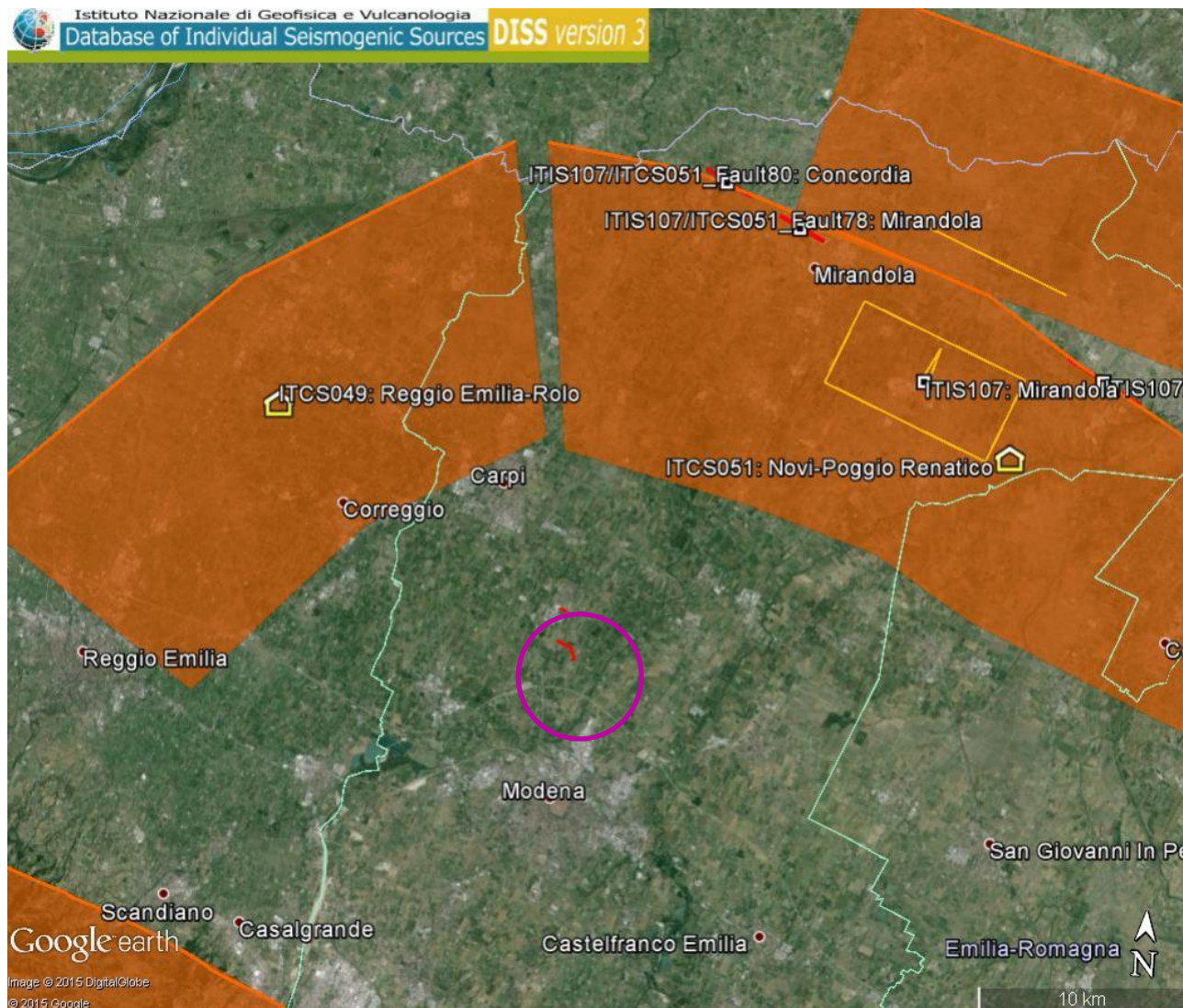





Fig. 2.3/G: Le sorgenti sismogenetiche composte in campo arancione e perimetrate in giallo le sorgenti sismogenetiche individuali (da classificazione DISS 3.1.1). Nel circolo l'opera in progetto.

Come evidenziato dalla figura 2.3/G, l'opera in progetto non interessa sorgenti sismogenetiche pur essendo in prossimità delle sorgenti sismogenetiche composte ITCS049 Reggio Emilia-Rolo ed ITCS051 Novi-Poggio Renatico.

I parametri che caratterizzano tali sorgenti sono descritti nelle seguenti tabelle:

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 19 di 45	Rev. 0




Tab. 2.3/A: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta ITCS049 "Reggio Emilia-Rolo" (Fonte: DISS 3.1.1)

Codice	ITCS049		
Nome	Reggio Emilia - Rolo		
Descrizione	Parametri	Qual	Fonte
Minima profondità (km)	3	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Massima profondità (km)	10	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Strike (deg)	35 - 65	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Dip (deg)	30 - 50	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Rake (deg)	60 - 90	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Slip Rate (mm/y)	0.1 – 0.5	EJ	Derivato da dati geologici riguardanti le strutture adiacenti.
Massima magnitudo (Mw)	5.5	EJ	Derivata da dati sismologici regionali
Q-keys	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		

Tab. 2.3/B: Parametri geometrici e sismici caratterizzanti la sorgente sismogenetica composta ITCS051 "Novi-Poggio Renatico" (Fonte: DISS 3.1.1)

Codice	ITCS051		
Nome	Novi Poggio Renatico		
Descrizione	Parametri	Qual	Fonte
Minima profondità (km)	3	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Massima profondità (km)	10	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Strike (deg)	95 - 125	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Dip (deg)	25 - 45	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Rake (deg)	80 - 100	OD	Basata su dati strutturali e sismologici da vari autori.
Slip Rate (mm/y)	0.25 – 0.5	OD	Basato su dati geologici (da Scrocca et al. (2007).
Massima magnitudo (Mw)	5.9	OD	Derivata dalla massima magnitudo associata a sorgenti individuali
Q-keys	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement		

Nella figura 2.3/H è evidente la stretta relazione tra la distribuzione dei terremoti storici e recenti e le sorgenti sismogenetiche.

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 20 di 45	Rev. 0

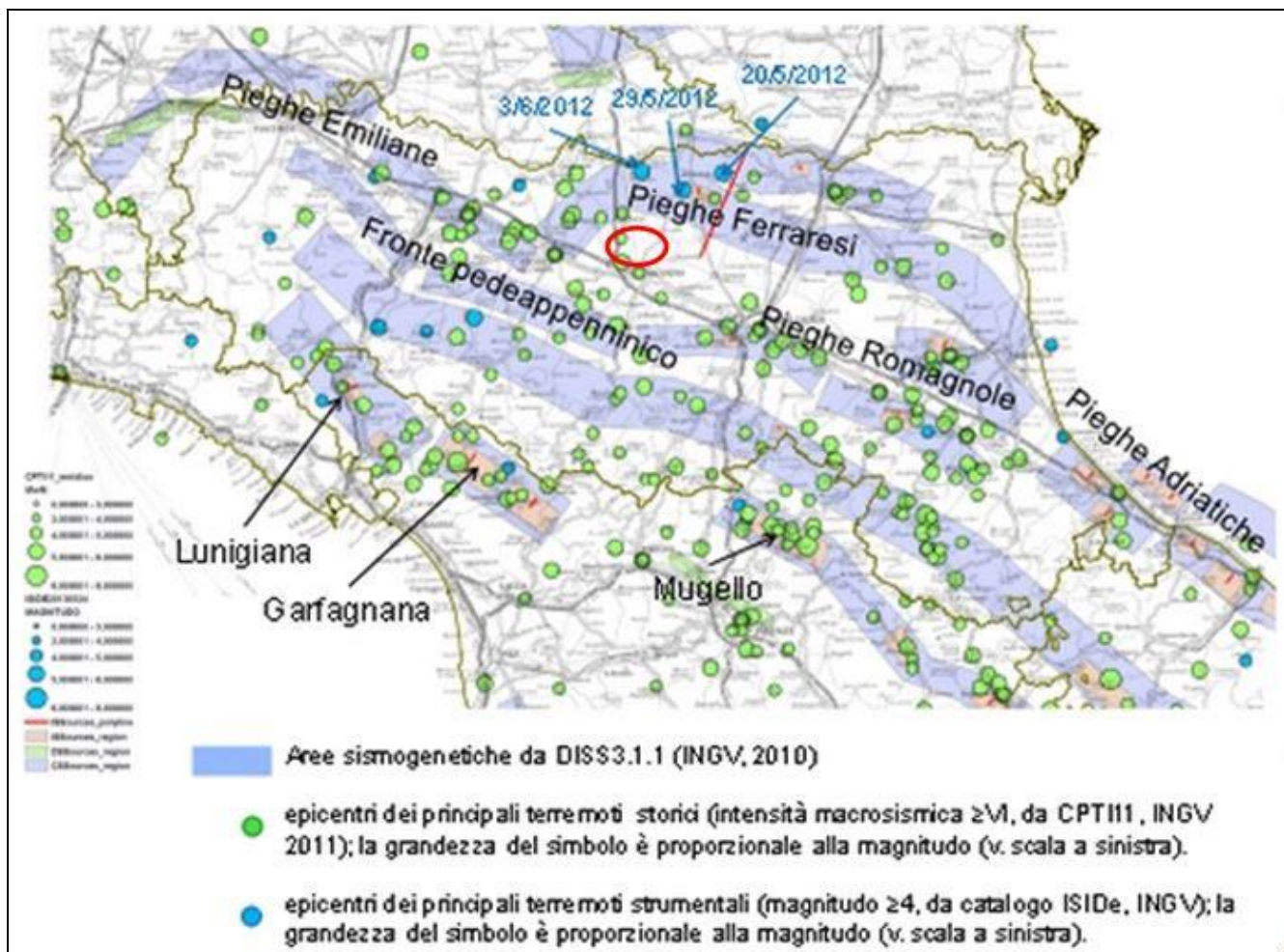





Fig. 2.3/H: Epicentri dei principali terremoti e principali aree sismogenetiche dell'Emilia-Romagna e aree limitrofe (fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Nel circolo rosso l'area in cui ricade il tracciato in progetto.

2.4 Caratterizzazione della sismicità

In considerazione di quanto sopra descritto, i tracciati si sviluppano in aree con sismicità medio-bassa correlabile, nella gran parte, al fronte compressivo appenninico che si estende sotto la Pianura Padana.

Dai dati ricavati dalla ZS9 riguardo la zona 912 in cui ricadono i tracciati (Fig. 2.4/A), in base alla consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e del DISS 3.1.1, per quanto riguarda le limitrofe sorgenti sismogenetiche composte ITCS049 Reggio Emilia-Rolo ed ITCS051 Novi-Poggio Renatico (Tabelle 2.3/A e 2.3/B), risulta che l'area interessata dai tracciati è caratterizzata da magnitudo massima $M_w=6.1$.

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 21 di 45	Rev. 0

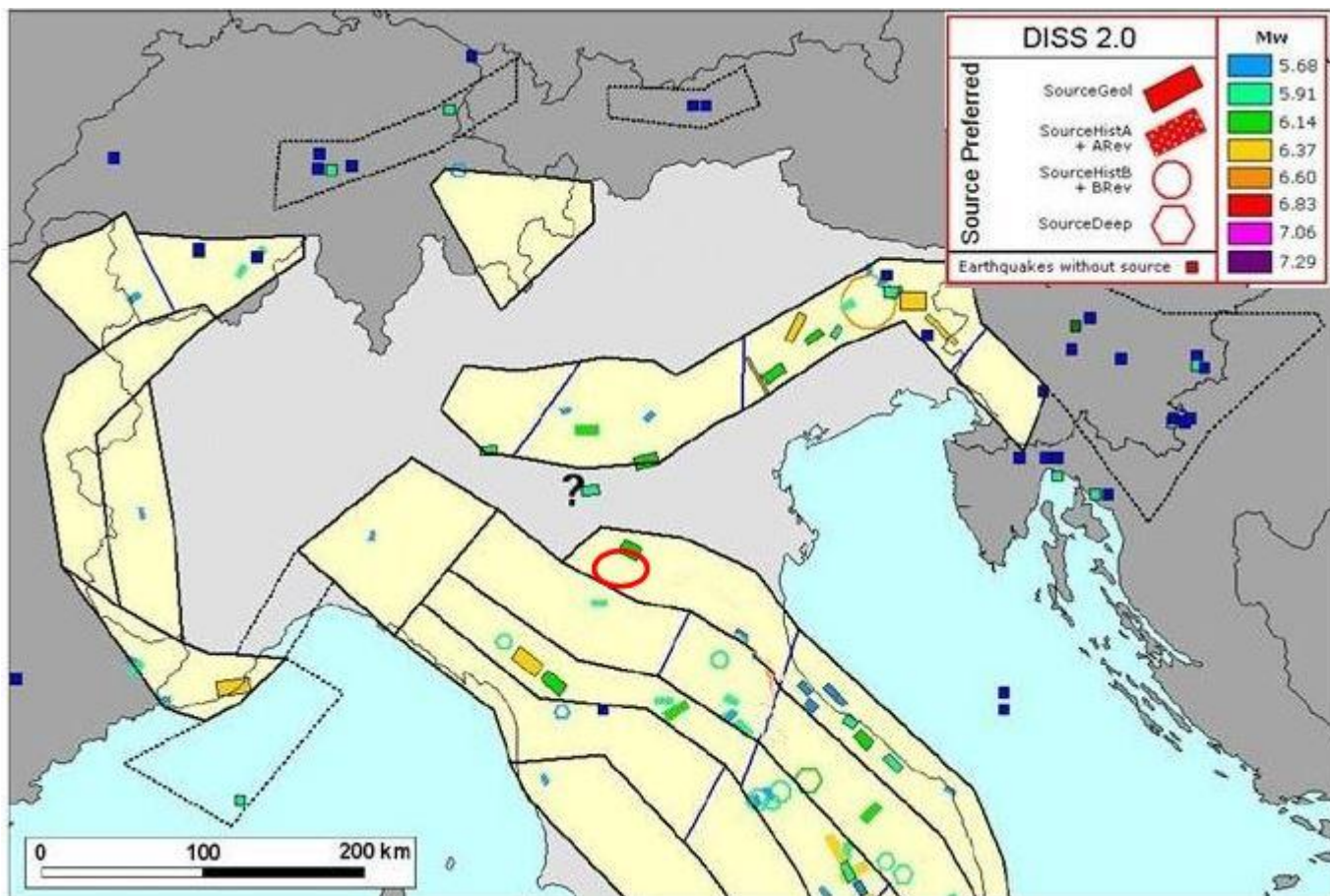




Fig.2.4/A: Zonazione sismogenetica ZS9 a confronto con la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel DISS 2.0. (da Meletti C. e Valensise G., 2004 mod.) (Fonte: INGV). Nel circolo l'area interessata dai tracciati in progetto.

In termini di pericolosità, facendo riferimento alla O.P.C.M. n° 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" dove ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (Mappa di pericolosità sismica su scala nazionale), l'area in esame è caratterizzata da valori di PGA compresi tra 0.150 g e 0.175 g per un tempo di ritorno di 475 anni (Fig.2.4/A).

Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), infatti, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni opera ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-83016
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar		Fg. 22 di 45

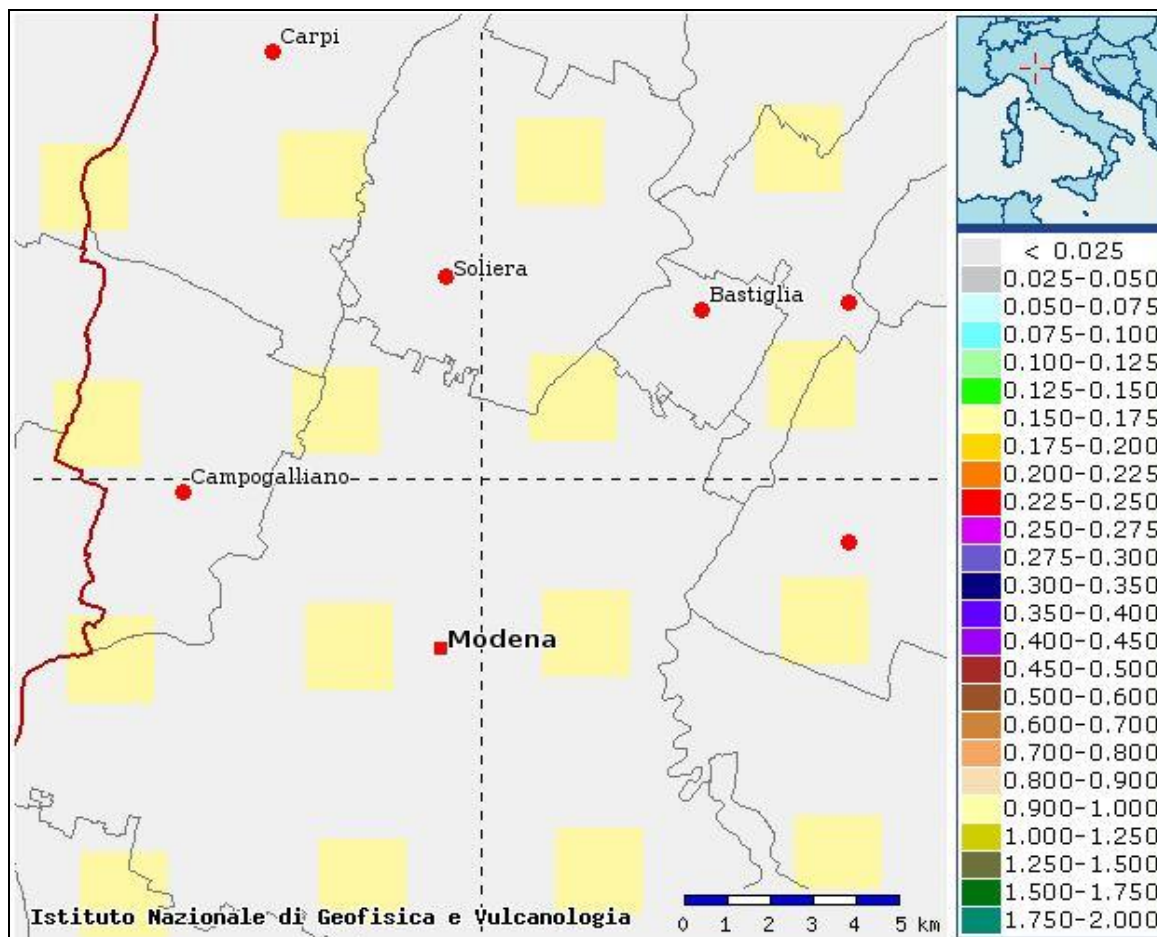


Fig.2.4/A: Stralcio della Mappa di pericolosità sismica dell'area in studio espressa in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno (ag) per un tempo di ritorno di 475 anni

Bisogna evidenziare che, per quanto riguarda il settore di Pianura Padana interessato dal sisma del 2012, limitrofo a quello dell'area studiata, secondo le mappe interattive di pericolosità sismica di riferimento per la progettazione (cfr siti web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>), l'accelerazione massima attesa, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, su suolo di riferimento, cioè rigido e pianeggiante (categoria sottosuolo A, NTC 2008), varia da 0,116 g a 0,158 g; in occasione dei terremoti di maggiore intensità di maggio-giugno 2012 (Tab.2.4/A) sono state registrate accelerazioni orizzontali al sito che hanno superato in varie aree 0,2 g e, localmente, anche 0,3 g (Fig. 2.4/B) (da: *Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012* - Relazione illustrativa a cura di L. Martelli e M. Romani).




CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 23 di 45	Rev. 0

Tabella 2.4/A: Scosse ML>5 della sequenza sismica emiliana 2012 (dati da <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>). Fonte Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna

Data	Ora locale	Lat.	Long.	M _L	Comune
20 maggio 2012	04:03:52	11.23	44.89	5.9	Finale Emilia (MO)
20 maggio 2012	04:07:31	11.37	44.86	5.1	Bondeno (FE)
20 maggio 2012	15:18:02	11.49	44.83	5.1	Vigarano Mainarda (FE)
29 maggio 2012	09:00:03	11.09	44.85	5.8	Medolla (MO)
29 maggio 2012	12:55:57	11.01	44.89	5.3	S. Possidonio (MO)
29 maggio 2012	13:00:25	10.95	44.88	5.2	Novi di Modena (MO)
3 giugno 2012	21:20:43	10.94	44.90	5.1	Novi di Modena (MO)

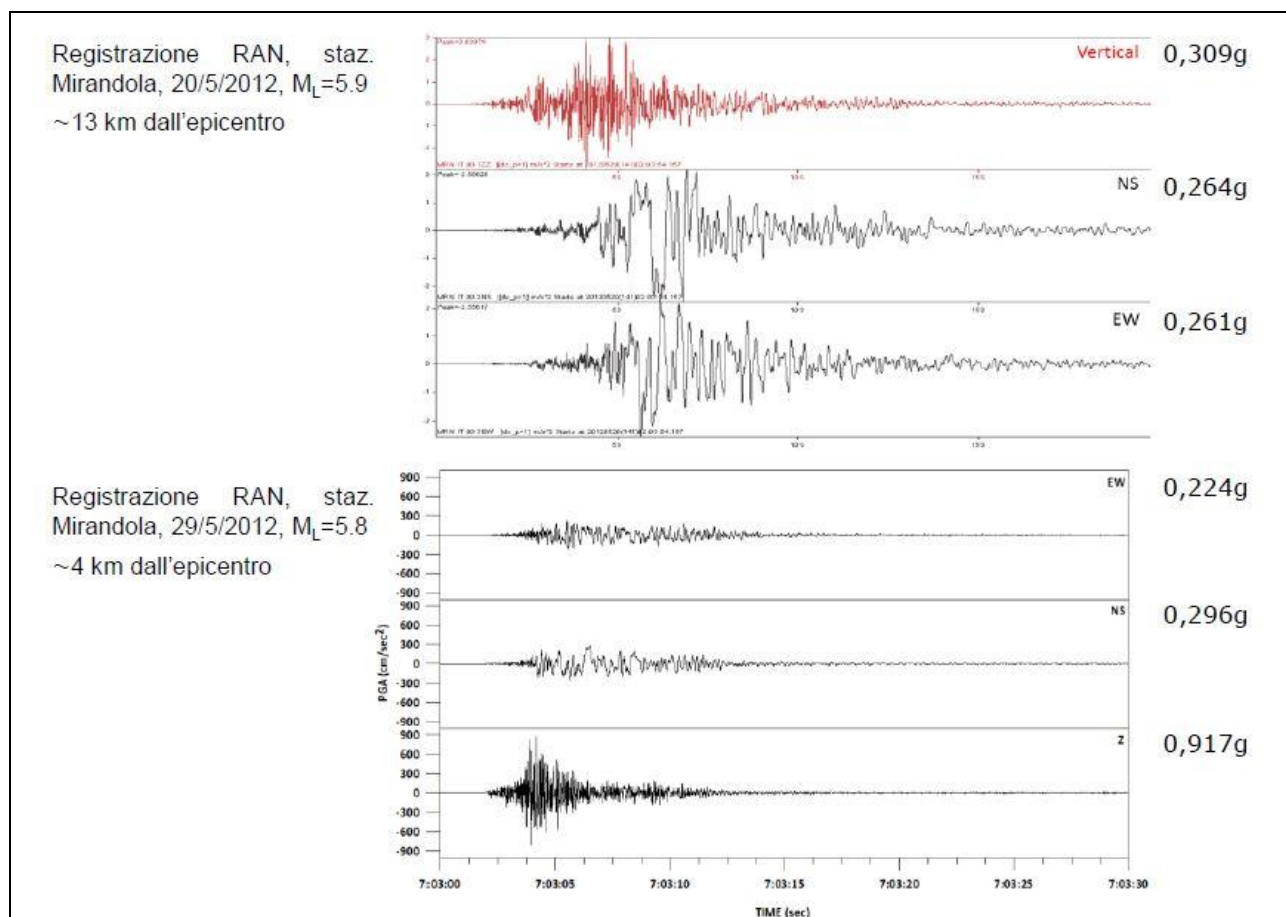





Fig. 2.4/B: RegISTRAZIONI accelerometriche delle scosse principali del 20 e 29 maggio, stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (da <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/ran.wp>). Fonte Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 24 di 45	Rev. 0

3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) DM 14/01/2008 introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno, T_R).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2008 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di 0.05 gradi, per un totale di 10.751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

a_g *accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in g/10);*




F_o *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;*

T_c^* *periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.*

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento. Le accelerazioni orizzontali a_g , infatti, non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove l'opera sarà realizzata. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati dalla pericolosità sismica i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento i valori dei parametri d'interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g , F_o , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. La formula proposta dalle NTC 2008, tuttavia, è valida per opere puntuali (quali edifici o impianti) e difficilmente può applicarsi ad opere lineari come i metanodotti.

E' stato necessario, quindi, implementare un algoritmo di calcolo fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del Ministero delle Infrastrutture (Spettri-NTC, ver. 1.03) in ambiente GIS per discretizzare la fascia di territorio interessata dal progetto in tratti elementari di lunghezza nota (0.1 km) e valutare i parametri per ogni tratto mediante metodi di interpolazione più complessi (polinomi di Lagrange).

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 25 di 45	Rev. 0

Le NTC 2008 definiscono l'azione sismica considerando anche un periodo di ritorno (T_R) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_R) si ottiene dal prodotto tra la vita nominale (V_N), che è funzione del tipo di opera, e il coefficiente d'uso (C_u), funzione della classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008). Cautelativamente, in questo studio, è stato assunto un periodo di vita nominale (V_N) di 100 anni e un coefficiente d'uso 2 (opera strategica), da cui si ottiene un periodo V_R pari a 200 anni.

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R) sono funzione dell'importanza dell'opera e, di conseguenza, dello stato limite considerato (cfr. paragrafo 7.1 delle NTC 2008).

Data l'importanza dell'opera, ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2008, sono stati considerati due stati limite:

Stato Limite di Danno, **SLD** (in esercizio);

Stato Limite di salvaguardia della Vita, **SLV** (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento (P_{VR}) sono forniti dalla Tabella 3.2.I delle NTC 2008 (Fig. 3/A).

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

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

Fig. 3/A: Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.I delle NTC 2008); in rosso sono evidenziati gli stati limite considerati.



Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3/a)$$

da cui si ottengono i seguenti corrispettivi periodi di ritorno T_R (Fig. 3/B):

T_R pari a **201** anni per uno Stato Limite di Danno (SLD);

T_R pari a **1898** anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 26 di 45	Rev. 0

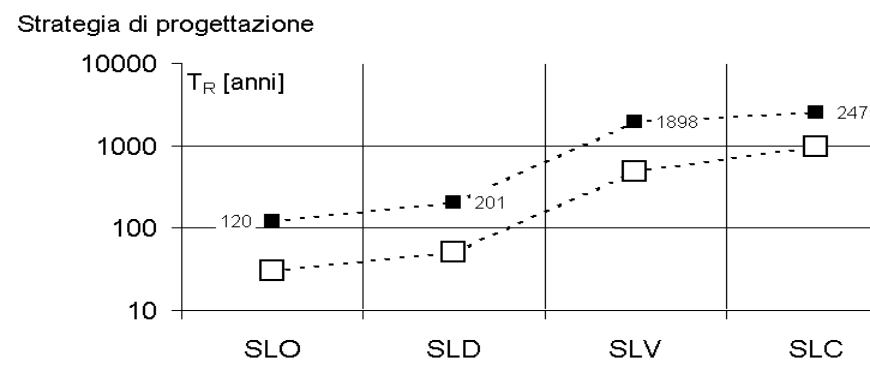


Fig. 3/B: Tempi di ritorno al variare dello stato limite considerato per una vita di riferimento $V_R = 200$ anni

Calcolati i periodi di ritorno per i due stati limite SLD ed SLV è stato determinato l'andamento dei valori di accelerazione orizzontale massima (a_g , espressi in g), attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale, lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.

Le accelerazioni al bedrock così calcolate sono state rapportate a quelle fornite utilizzando la normativa regionale dell'Emilia Romagna DAL112/2007 (a_{refg}).

I grafici di Fig. 3/C-1 e Fig. 3/C-2 e la tabella Tab. 3/A riportano le accelerazioni al bedrock (a_g) calcolate secondo le NTC2008 per $T_R = 201$ anni, $T_R = 475$ anni e $T_R = 1898$ anni e le accelerazioni al bedrock (a_{refg}) fornite dalla Regione Emilia Romagna DAL112/2007 lungo i tracciati di progetto.

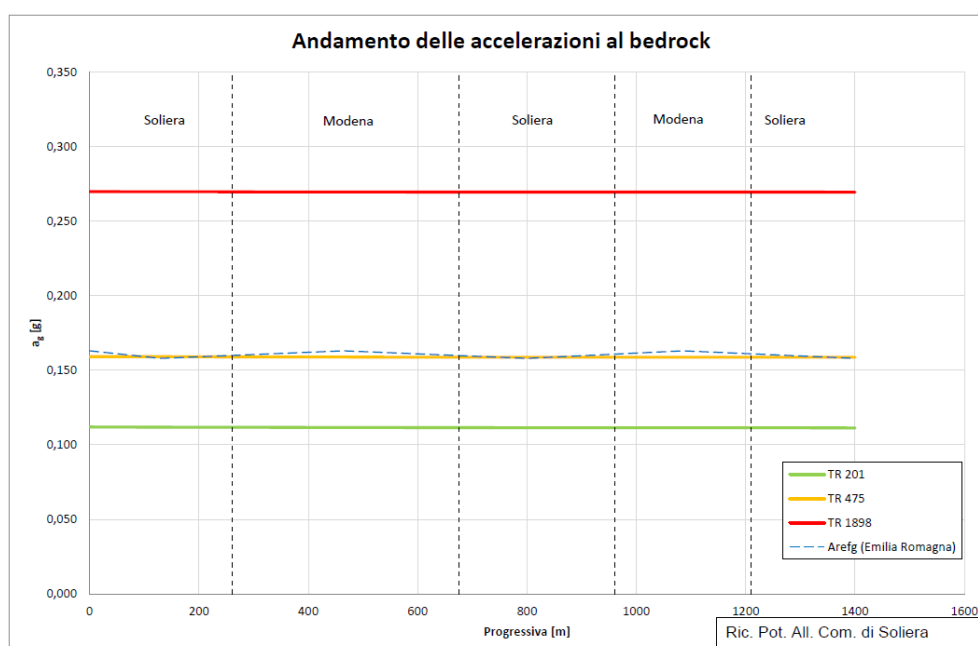




Fig. 3/C-1: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al bedrock lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (Var. Pot. All. Com. Soliera).

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 27 di 45	Rev. 0

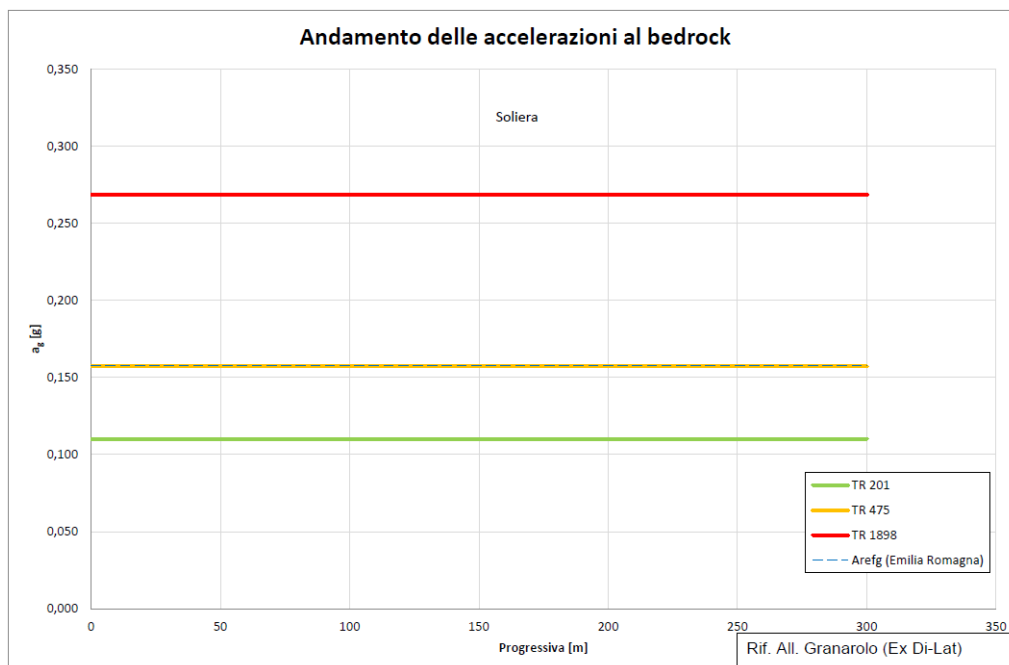





Fig. 3/C-2: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al bedrock lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (All. Granarolo).

L'andamento spaziale delle accelerazioni (grafico) è stato determinato soltanto per i metanodotti più lunghi di 100 m, che rappresenta l'interasse scelto per la valutazione dei parametri sismici. La caratterizzazione dei parametri sismici per i metanodotti più corti, invece, è stata rappresentata in forma tabellare.

Tab. 3/A: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al bedrock lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.

Metanodotto	Accelerazioni al bedrock [a_g] (g)			
	a_g [$T_R = 201$]	a_g [$T_R = 475$]	a_g [$T_R = 1898$]	a_{refg} [$T_R = 475$]
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	0,110	0,157	0,269	0,158

Si può notare che i valori forniti dalla DAL112/2007 sono allineati alla curva delle accelerazioni calcolate con le NTC2008 utilizzando un periodo di ritorno T_R 475 anni.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 28 di 45	Rev. 0

3.1 Risposta sismica locale

Come noto, le azioni sismiche di progetto sono generalmente definite in termini di uno spettro di risposta elastico di progetto, eventualmente ridotto per tenere conto degli effetti della duttilità strutturale agli stati limite ultimi. Tale spettro ha il significato di luogo dei valori di accelerazione massima subita da un oscillatore armonico di dato periodo fondamentale di vibrazione e smorzamento pari al 5% del critico.

L'ordinata spettrale a periodo di vibrazione nulla corrisponde all'accelerazione di picco del suolo (Peak Ground Acceleration, PGA). Risulta pertanto implicito, in questa definizione dell'azione sismica, che il suo oggetto principale è una struttura fuori terra che risponde al terremoto secondo le sue caratteristiche inerziali e di rigidità.

Una condotta interrata tende invece a muoversi solidalmente con il terreno circostante, trascurando in prima approssimazione le differenze legate alla rigidità relativa tra condotta e terreno circostante. Le sollecitazioni massime sulla condotta sono pertanto non soltanto riconducibili ai valori massimi di spostamento, velocità e accelerazione del suolo, per effetto della sollecitazione dinamica, ma anche ai valori di spostamento massimo che la condotta può subire per effetto di risposta fortemente non-lineare del suolo, con deformazioni permanenti potenzialmente legate a fenomeni di rottura di faglia, frane, liquefazione o compattazione del terreno.

La normativa italiana, come del resto la normativa europea e i più recenti codici internazionali, ha modificato l'approccio alla valutazione della sismicità di un'area. Come descritto nel paragrafo precedente, essa è definita da una osservazione del fenomeno sismico "dal basso" e "a priori":




- *dal basso, poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera;*
- *a priori, poiché la pericolosità sismica di base tiene conto esclusivamente del movimento sismico atteso (in termini di accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito.*

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

Le NTC 2008 definiscono la risposta sismica locale di un sito attraverso la stima di due parametri:

- categoria di sottosuolo;
- condizione topografica.

La Regione Emilia Romagna ha approvato nel maggio 2007 (Delibera Assemblea Legislativa n.112/2007) le norme di indirizzo per gli studi di microzonazione sismica nella Regione Emilia Romagna. Tali norme sono contenute nell'Allegato alla Delibera: "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 29 di 45	Rev. 0

Per la definizione degli studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e di Microzonazione Sismica (MZS) la Delibera 112/2007 individua un percorso metodologico che identifica due distinte e successive fasi:



- *I fase:* definisce gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identifica le parti di territorio suscettibili di effetti locali e il tipo di effetti attesi (amplificazione, cedimenti, instabilità dei versanti); per ogni scenario di pericolosità vengono definite le successive indagini di approfondimento (II fase);
- *II fase:* permette la valutazione della risposta sismica locale e la microzonazione sismica del territorio indagato.

La prima fase è richiesta nella predisposizione del P.T.C.P. e del Piano Strutturale Comunale (PSC), nel caso in cui lo strumento sovraordinato non vi abbia ancora provveduto o quale ulteriore specificazione nel passaggio dalla scala territoriale a quella comunale. La specifica cartografia di sintesi si identifica nel cosiddetto "Rischio sismico" che riporta le zone suscettibili di effetti locali e d'instabilità dei terreni in concomitanza di sisma, in cui sono evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi. Essa costituisce il primo livello di valutazione della suscettività sismica delle diverse parti del territorio nonché contributo propedeutico di supporto alla pianificazione urbanistica comunale per orientare le proprie previsioni verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica. Compete poi al PSC dare attuazione agli indirizzi dettati dalla pianificazione sovraordinata realizzando una nuova cartografia della pericolosità sismica locale, ad una scala di maggior dettaglio, che individua le parti del territorio caratterizzate dai differenti scenari di pericolosità sismica locale e per ciascuna di queste, interessate da processi di trasformazione, predisporre o prevedere le indagini di successivo e ulteriore approfondimento.

In ottemperanza alla Delibera Assemblea Legislativa n.112/2007, per quanto riguarda i territori attraversati dal tracciato, la provincia di Modena ha proceduto all'elaborazione degli studi di pericolosità sismica preliminare del territorio di propria competenza.

Gli esiti di tali studi, contenuti all'interno del PTCP 2009, mostrano che il territorio non è soggetto a potenziale liquefazione (Fig. 3.1/A).

In ogni caso, il Sondaggio indicato in Figura 3.1/A, eseguito per la caratterizzazione del Metanodotto Poggio Renatico-Cremona nel 2007, è stato considerato al fine di valutare le caratteristiche dei terreni attraversati, di verificarne l'effettiva liquefacibilità ed i cedimenti da essa eventualmente indotti.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 30 di 45	Rev. 0

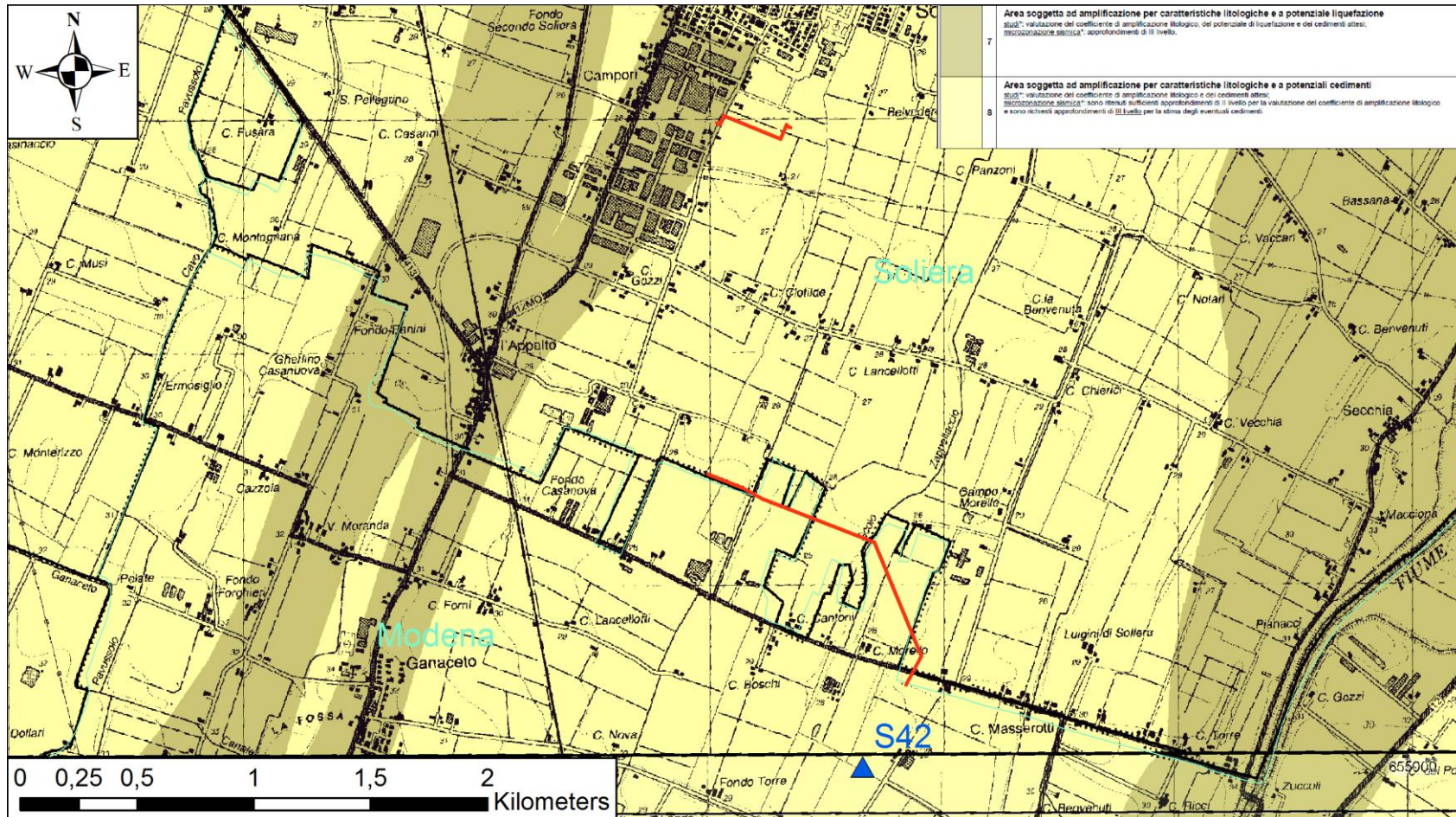





Fig. 3.1/A: Estratto dalla Carta degli effetti attesi per il Rischio Sismico (2.2.a.1) del PTCP 2009 redatto dalla Provincia di Modena.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 31 di 45	Rev. 0

3.2 Caratterizzazione del sottosuolo

Le NTC 2008 suddividono il sottosuolo considerando cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. I diversi tipi di sottosuolo inducono modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza, secondo la rappresentazione schematica mostrata nella seguente Fig. 3.2/A.

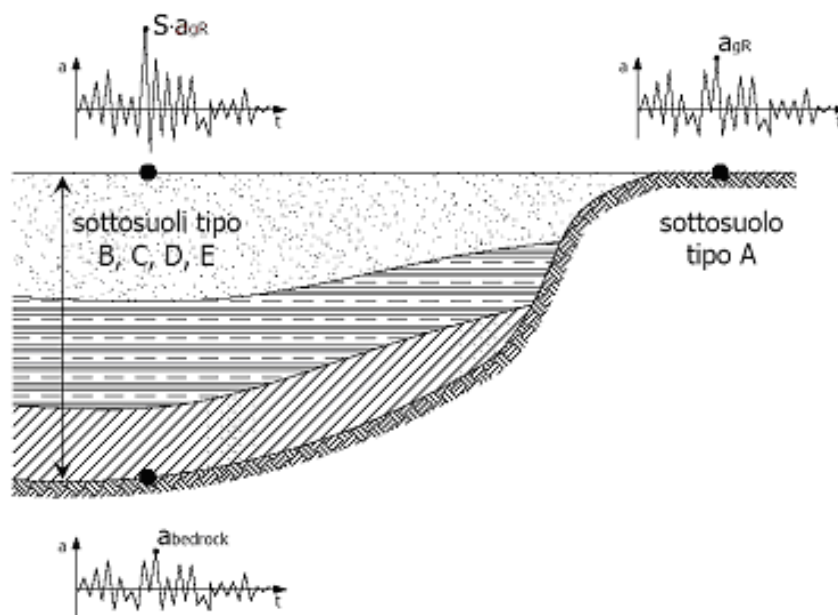





Fig. 3.2/A: Rappresentazione schematica del significato delle accelerazioni (al bedrock ed in superficie) e delle classi di sottosuolo secondo le NTC 2008.

La classificazione individua sottosuoli a rigidità decrescente, partendo dal sottosuolo tipo A, costituito praticamente da roccia affiorante o ricoperta da uno strato meno rigido, con spessore massimo di 3 m, fino a sottosuoli molto deformabili e suscettibili di fenomeni di rottura per la sola azione sismica. Per maggior chiarezza si riportano di seguito le categorie di sottosuolo secondo le NTC 2008:

- A** - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m;
- B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT\ 30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina);
- C** - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30}

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 32 di 45	Rev. 0

compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT\ 30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina);

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT\ 30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu,30 < 70$ kPa nei terreni a grana fina);

E - Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s);

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu,30 < 20$ 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 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:



$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

in cui h_i e V_i indicano, rispettivamente, lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

In particolare, al fine di valutare l'amplificazione sismica locale, si è proceduto all'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento, attraverso la seguente procedura:

- *Raccolta delle informazioni geologiche dalle differenti fonti disponibili:*
Cartografia geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia Romagna (shp)
Carta delle Unità geologiche
Carta delle coperture quaternarie
- *Omogeneizzazione ed elaborazione delle informazioni geologiche raccolte (shp)*

Si sono considerate le informazioni geologiche all'interno di un buffer largo 1000 metri a cavallo della linea di tracciato della condotta in esame. Tali informazioni sono state analizzate e si è proceduto all'elaborazione di un unico file digitale che includesse in maniera ponderata quanto necessario alla caratterizzazione dei terreni del sottosuolo.

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 33 di 45	Rev. 0

- *Verifica delle indagini geognostiche*

Le analisi eseguite utilizzando i dati provenienti dalla campagna di indagini precedentemente svolte (Sondaggio a carotaggio continuo S42 e relative indagini di laboratorio), hanno permesso la verifica dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera ed i relativi spessori, fornendo dati utili per la classificazione del sottosuolo e per la definizione della suscettibilità all'azione sismica.

- *Classificazione del sottosuolo*

Ad ogni formazione geologica ed alle coltri identificate è stata assegnata una categoria, in accordo con le NTC08. La classificazione è stata eseguita considerando le indagini geognostiche eseguite e la distribuzione dei differenti litotipi lungo il buffer oggetto dello studio.

Definita la categoria di sottosuolo è possibile calcolare i seguenti coefficienti:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S), necessario per calcolare l'accelerazione di picco al suolo (a_{gS} o PGA);
- coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (C_C), necessario per il calcolo del periodo T_C e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo (V_g o PGV) (Tabella 3.2.V delle NTC 2008).

Condizioni topografiche



La condizione topografica di un sito nella NTC 2008 è definita mediante l'attribuzione ad esso di una categoria topografica.

Le categorie sono definite sulla base delle caratteristiche semplificate della superficie topografica (pendenza media e morfologia) e dell'ubicazione del sito (base, sommità, ecc.) rispetto a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali (creste o dorsali allungate), con altezze maggiori di 30 metri.

Le NTC 2008 assegnano a ciascuna categoria un coefficiente di amplificazione topografica (S_T) (cfr. Tab. 3.2.VI delle NTC 2008), riportato in Tab. 3.2/A:

Tab. 3.2/A: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (DM 14/01/2008)

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

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 34 di 45	Rev. 0

Questo coefficiente, insieme al coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s) precedentemente determinato, è necessario per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

Le categorie topografiche del tracciato sono state stimate negli stessi nodi definiti per la valutazione delle accelerazioni al bedrock (a_g) e delle categorie di sottosuolo, secondo la Tabella 3.2.IV delle NTC 2008.



La stima dell'accelerazione orizzontale di picco in superficie (a_{gS} o PGA) lungo il territorio di interesse si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale (S) e l'accelerazione massima orizzontale attesa al suolo rigido (a_g). Il coefficiente S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s * S_T$$

in cui S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (cfr. Tabella 3.2.V del DM 14/01/2008) ed S_T è il coefficiente di amplificazione topografica (cfr. Tab. 3.2.VI delle NTC 2008).

Per i depositi e le forme che possono determinare effetti locali, la DAL 112/2007 propone la definizione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione locale semplificata (secondo livello di approfondimento). I fattori di amplificazione, sono desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock. Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale (fattore FA) sono la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo V_{S30} e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico.

I grafici di Fig. 3.2/A-1 e Fig. 3.2/A-2 e lo schema in Tab. 3.2/B riportano i valori di accelerazione orizzontale massima attesi in superficie (a_{gS} o PGA) lungo i tracciati di progetto per $T_R = 201$ anni, $T_R = 475$ anni e $T_R = 1898$ anni, confrontandoli con la PGA calcolata in accordo con la DAL112/2007 (definita PGA_{ER}) considerando un fattore di amplificazione FA dell'accelerazione al bedrock (a_{refg}) pari ad 1.5, relativo a profili stratigrafici di "PIANURA 2" con velocità V_{S30} di 250 m/s (DAL 112/2007, A2.1.2).

CLIENTE 	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 35 di 45	Rev. 0

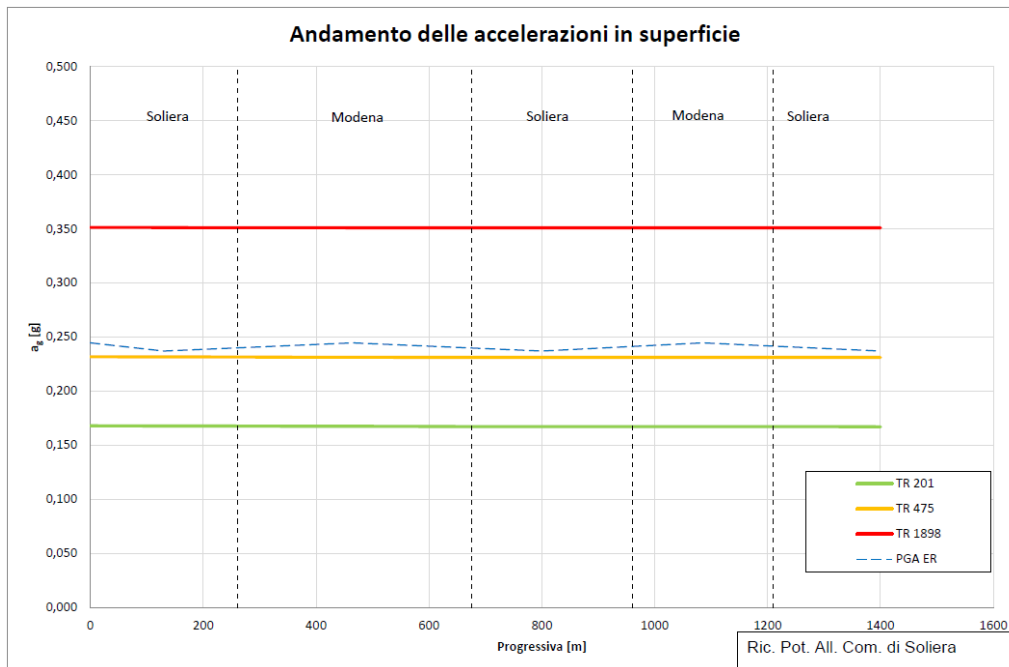


Fig. 3.2/A-1: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi in superficie ($S_T=1$), lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (Var. Pot. All. Com. Soliera).

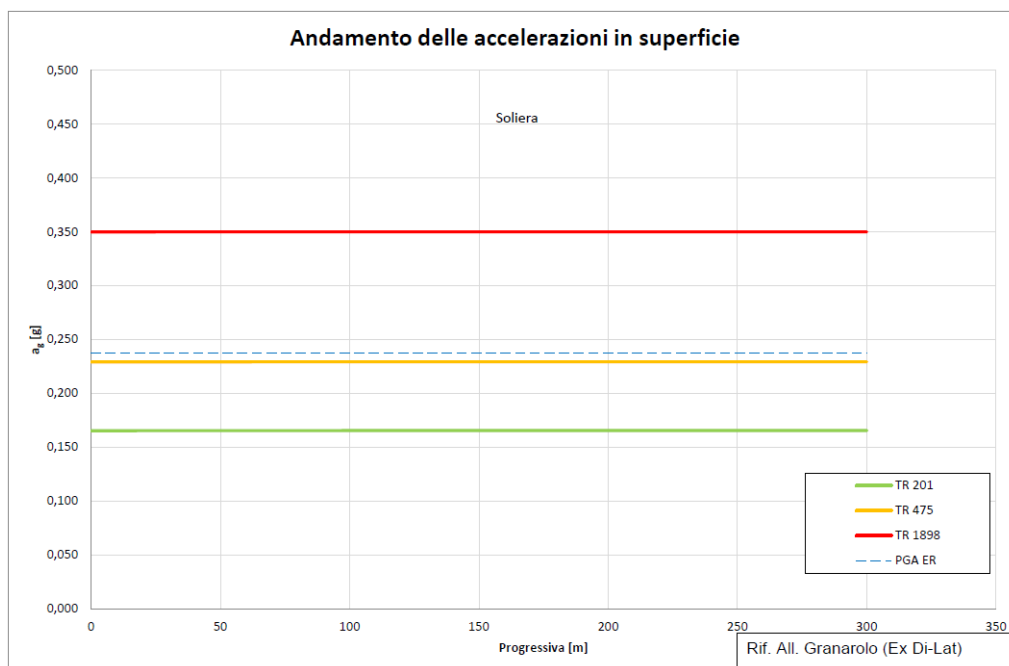




Fig. 3.2/A-2: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi in superficie ($S_T=1$), lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (All. Granarolo).

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 36 di 45	Rev. 0

Tab. 3.2/B: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi in superficie lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.

Metanodotto	Accelerazioni in superficie [PGA, a _{gs}] (g)			
	PGA [T _R = 201]	PGA [T _R = 475]	PGA [T _R = 1898]	PGA _{ER} [T _R = 475]
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	0,165	0,229	0,350	0,237

Si nota che, per T_R = 475 anni, gli effetti di amplificazione sismica ottenuti partendo dalle accelerazioni al bedrock fornite dalla DAL112/2007 dell'Emilia Romagna forniscono valori di PGA in linea con quelli ottenuti partendo dalle NTC2008. Si noti altresì, che i valori di PGA così ottenuti sono sempre inferiori a quelli per T_R = 1898 anni.

Ai fini progettuali si assume cautelativamente (Tab. 3.2/C), per ciascun metanodotto, il valore massimo di accelerazione atteso in superficie desumibile dai grafici di Fig. 3.2/A1 e Fig. 3.2/A2 e dalla tabella Tab. 3.2/B considerando lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV (T_R = 1898 anni).

Tab. 3.2/C: Valori progettuali per l'accelerazione orizzontale massima in superficie lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.

Metanodotto	PGA, a _{gs} (g) T _R = 1898
Var. Pot. All. Com. Soliera	0.351
All. Granarolo	0.350
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	0.350

Una completa analisi dell'azione sismica attesa in un sito (o lungo un tracciato) prevede anche la stima della massima velocità orizzontale al suolo (V_g o PGV) per gli stati limite considerati. Le norme tecniche per le costruzioni NTC 2008 riportano, nel paragrafo 3.2.3.3, la relazione per il calcolo di tale velocità:



$$V_g = PGV = 0.16 * a_g * S * T_c$$

in cui:

a_g: accelerazione di picco attesa al bedrock (espressa in g);

S: fattore di risposta sismica locale;

T_c: periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 37 di 45	Rev. 0

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_C * T_c^*$$

essendo

T_c^* definito, insieme al valore di a_g , per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2008);

C_C un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.V delle NTC 2008).

La formula per la PGV, proposta circa 20 anni fa sulla base di una disponibilità di dati accelerometrici a quel tempo molto limitata, trova la sua giustificazione in un legame empirico tra accelerazione massima e velocità massima in corrispondenza del periodo d'angolo T_c (si ricorda che $0.16 \approx 1/2\pi$).

Mediante tale relazione sono stati calcolati i valori di velocità orizzontale massimi attesi al suolo lungo i tracciati in esame (Fig. 3.2/B-1, Fig. 3.2/B-2, Tab. 3.2/D).

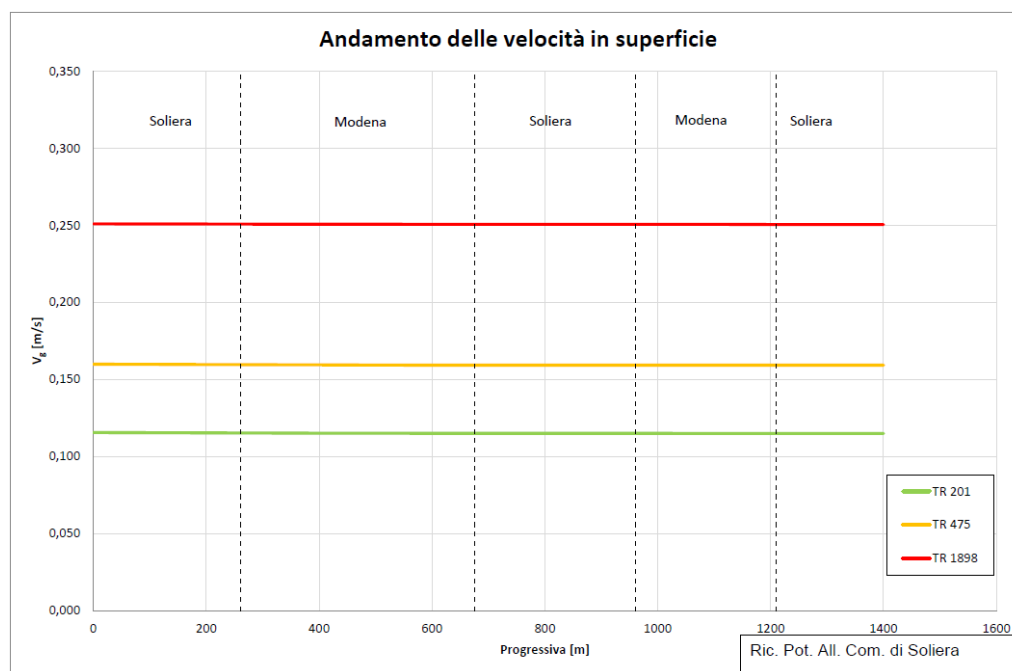




Fig. 3.2/B-1: Valori di velocità orizzontale massima attesi in superficie ($S_T=1$), lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (Var. Pot. All. Com. Soliera).

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 38 di 45	Rev. 0

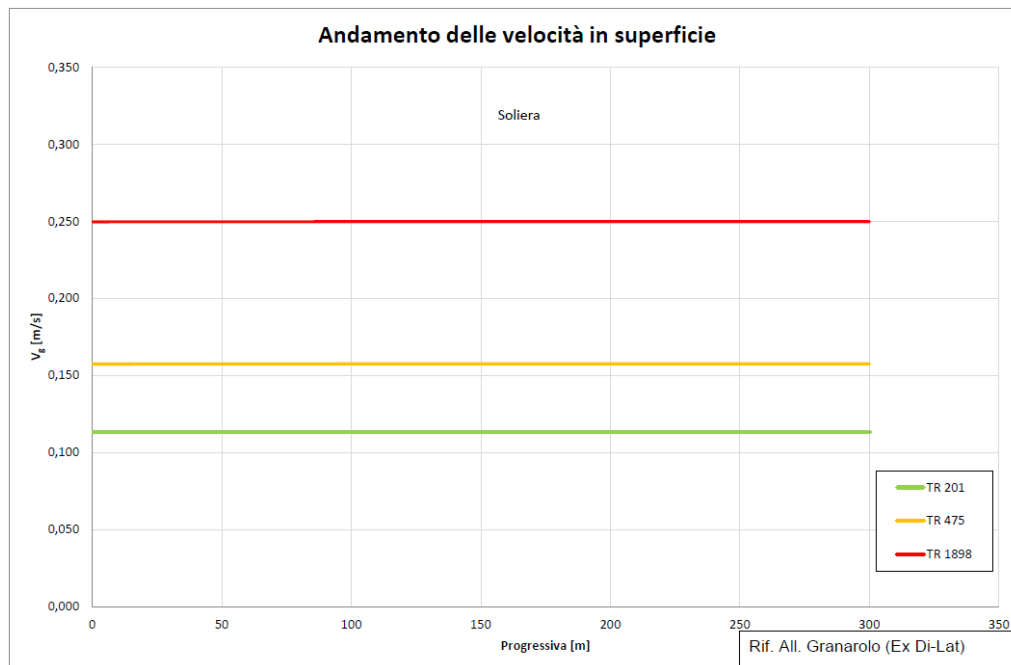





Fig. 3.2/B-2: Valori di velocità orizzontale massima attesi in superficie ($S_T=1$), lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (All. Granarolo).

Tab. 3.2/D: Valori di velocità orizzontale massima attesi in superficie lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.




Metanodotto	Velocità in superficie [PGV, V_g] (m/s)		
	PGV [$T_R = 201$]	PGV [$T_R = 475$]	PGV [$T_R = 1898$]
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	0,113	0,157	0,250

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 39 di 45	Rev. 0

Ai fini progettuali si assumono cautelativamente come valori di velocità i massimi attesi in superficie (Tab. 3.2/E).

Tab. 3.2/E: Valori progettuali per la velocità orizzontale massima in superficie lungo la fascia di territorio interessata dal progetto.

Metanodotto	PGV (m/s) $T_R = 1898$
Var. Pot. All. Com. Soliera	0.251
All. Granarolo	0.250
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	0.250

CLIENTE 	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 40 di 45	Rev. 0

4. EFFETTI INDOTTI DAL SISMA

In questo capitolo sarà affrontato il tema della valutazione del rischio sismico di condotte interrata in relazione al passaggio di onde sismiche (shaking) e degli effetti causati dalla potenziale liquefazione dei terreni.

4.1 Scuotimento sismico

Come noto, le azioni sismiche di progetto sono generalmente definite in termini di uno spettro di risposta elastico di progetto, eventualmente ridotto per tenere conto degli effetti della duttilità strutturale agli stati limite ultimi. Tale spettro ha il significato di luogo dei valori di accelerazione massima subita da un oscillatore armonico di dato periodo fondamentale di vibrazione e smorzamento pari al 5% del critico. L'ordinata spettrale a periodo di vibrazione nulla corrisponde all'accelerazione di picco del suolo (PGA). Risulta pertanto implicito, in questa definizione dell'azione sismica, che il suo oggetto principale è una struttura fuori terra che risponde al terremoto secondo le sue caratteristiche inerziali e di rigidità.




Una tubazione interrata tende invece a muoversi solidalmente con il terreno circostante, trascurando (in prima approssimazione e conservativamente) le differenze legate alla rigidità relativa tra condotta e terreno circostante. Le sollecitazioni massime sulla tubazione sono pertanto non solamente riconducibili ai valori massimi di spostamento, velocità e accelerazione del suolo dovuti alla sollecitazione dinamica, ma anche al trascinarsi che la condotta può subire per effetto di risposta fortemente non-lineare del suolo, quali le deformazioni permanenti legate a potenziali fenomeni di rottura di faglia, frane, di liquefazione o compattazione del terreno. Per quanto concerne le deformazioni transitorie (dinamiche), esse sono dipendenti dalla velocità di picco (PGV), determinata empiricamente sulla base delle ordinate spettrali.

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi della tubazione in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per gli spessori previsti per le condotte in esame (Tab.4.1/A).

Tab. 4.1/A: Diametri e spessori dei metanodotti di progetto.

Metanodotto	Diametro nominale [mm (")]	Spessore [mm]
Var. Pot. All. Com. di Soliera	200 (8")	7.0
All. Granarolo	100 (4")	5.2
Var. inserimento nuovo PIDA su 4340071	200 (8")	7.0

Lo shaking è provocato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrata a deformarsi come il terreno. Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo sia con la direzione di propagazione del movimento sismico rispetto l'asse della condotta.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 41 di 45	Rev. 0

Secondo le indicazioni di studi presentati nella letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento del terreno circostante il tubo permette di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy e Novak, 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali quali: onde di compressione (onde P o primarie), onde di taglio (onde S o secondarie) e onde superficiali (onde R o di Rayleigh). Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P provocano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto; le onde S provocano le massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto (i fenomeni non avvengono quindi contemporaneamente), mentre le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente la direzione di propagazione dell'onda.

Le verifiche sismiche oggetto di questo rapporto sono state eseguite facendo riferimento ai paragrafi 7.4.1.2 e 7.4.1.3 e all'allegato E della norma EN 1594 "Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements".

La metodologia di calcolo e di verifica applicata è congruente con le indicazioni della norma EN 1594 che, nell'annex E con Ref. [2], richiama la "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" delle ASCE, 1984. Quest'ultima è ritenuta sufficientemente conservativa, poiché:

- considera la simultaneità delle azioni (con i relativi effetti massimi) delle onde primarie P, secondarie S e superficiali R;
- verifica l'evento sismico congiuntamente all'operatività massima della condotta;
- trascura (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubazione e terreno che, normalmente, riduce le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta.




L'interazione tubazione-terreno è invece inevitabilmente considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

La "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" del 1984 è stata aggiornata dalle ASCE nel 2001/05 con la "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe".

Quest'ultima appare meno conservativa della precedente non contemplando più la concomitanza degli effetti sismici, la verifica degli elementi curvi e la verifica congiunta con l'operatività del sistema.

Ciononostante, essendo rimasta inalterata la struttura di calcolo per le singole sollecitazioni sismiche e volendosi mantenere la conservatività delle verifiche eseguite in passato, dell'ultima revisione delle ASCE si è accolta solamente l'indicazione relativa alla velocità di propagazione dell'onda sismica nel suolo, c , che è passata da 915 m/sec a 2000 m/sec.

I risultati delle verifiche sono inclusi nell'Appendice 1 del presente documento.

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 42 di 45	Rev. 0

4.2 Zone potenzialmente soggette a liquefazione



Il percorso metodologico proposto per la valutazione del potenziale di liquefazione prende in considerazione quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008), dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, GdL, 2008) e dalle Linee Guida AGI "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" (2005), dalla delibera della Regione Emilia Romagna DAL112/2007.

La metodologia prevede una sequenza di fasi:

- analisi preliminare dell'intera area di studio allo scopo di individuare le aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione tramite la verifica della presenza dei caratteri predisponenti e scatenanti il fenomeno stesso, in base a quanto riportato nelle NTC e nella DAL112/2007.
- successiva verifica dei dati provenienti dalle indagini geognostiche svolte in campo e dalle analisi di laboratorio.

L'attività è stata articolata nei seguenti passi.

1. Analisi dei dati di pericolosità sismica finalizzata all'individuazione dei parametri di pericolosità a_{max} (accelerazione massima attesa in superficie).
2. Verifica preliminare di suscettibilità alla liquefazione; infatti, secondo quanto previsto nelle NTC2008 la verifica alla liquefazione può essere evitata solo qualora si manifesti almeno una delle seguenti condizioni (par. 7.11.3.4.2):
 - eventi sismici con magnitudo attesa M_w inferiore a 5;
 - accelerazione orizzontale massima attesa in superficie in condizioni di campo libero (in assenza di manufatti) minori di 0.1g;
 - profondità media stagionale della falda freatica superiore ai 15 m;
 - distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici liquefacibili riportati nelle norme stesse;
 - depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata maggiore di un certo valore ($(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa).
3. Verifica alla potenziale liquefazione in accordo con i criteri proposti da Bray e Sancho (Assessment of the Liquefaction Susceptibility of Fine-Grained Soils – Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006) per i terreni a grana fine:
 - Terreni fini suscettibili a liquefazione se $W_c/LL > 0.85$ e $IP < 12$;
 - Terreni fini moderatamente suscettibili a liquefazione se $W_c/LL > 0.80$ e $IP < 18$;
 - Terreni fini non suscettibili a liquefazione se $W_c/LL > 0.80$ e/o $IP > 18$;

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 43 di 45	Rev. 0

essendo:

Wc = contenuto di acqua

LL = Limite Liquido

IP = Indice Plastico

La Fig. 4.2/A mostra la stratigrafia del sondaggio S42.

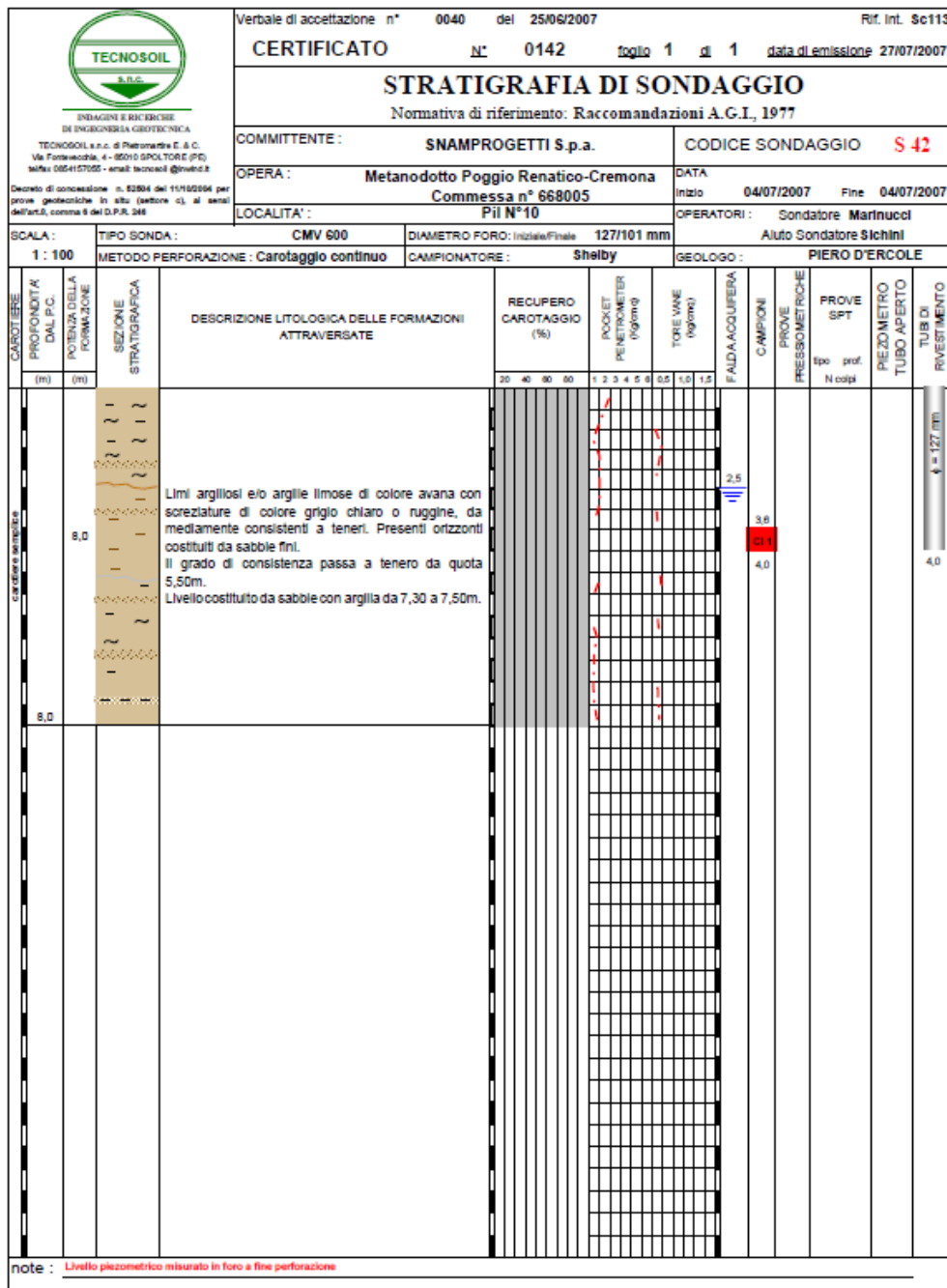




Fig. 4.2/A: Stratigrafia del Sondaggio a carotaggio continuo S42

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  saipem	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 44 di 45	Rev. 0

I risultati delle analisi di laboratorio eseguite sul campione indisturbato prelevato alla profondità di 4 metri sono stati utilizzati per la caratterizzazione dei parametri necessari alla verifica della liquefacibilità potenziale del terreno.

La Tab. 4.2/A riassume tali parametri in accordo con la teoria proposta da Bray e Sancho (2006).

Tab. 4.2/A: Parametri di laboratorio necessari alla verifica di liquefacibilità.

Contenuto di Fine* [%]	Contenuto di Acqua [%]	Limite Liquido [%]	Indice Plastico
97	25.5	53	26

* Passante al setaccio 0.075 mm

La Fig. 4.2/B identifica il campione analizzato all'interno del diagramma di liquefacibilità proposto per i terreni fini.

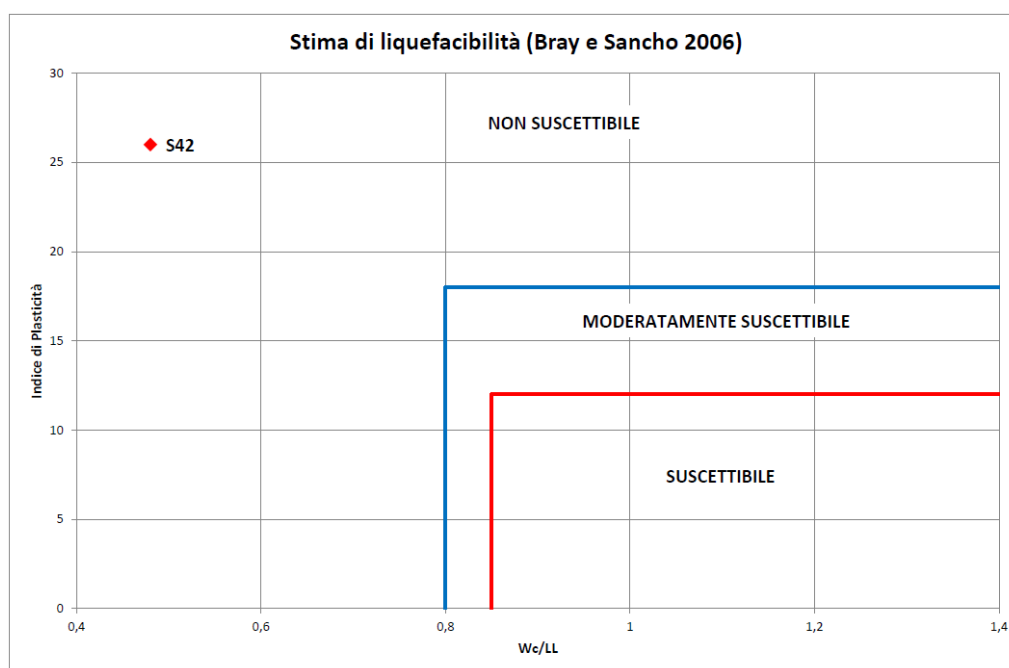





Fig. 4.2/B: Classificazione del campione analizzato

La figura 4.2/B evidenzia che, in accordo con quanto proposto da Bray e Sancho 2006, il campione analizzato non è soggetto a potenziale liquefazione

CLIENTE  SNAM RETE GAS	PROGETTISTA  	COMMESSA 023050	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-83016	
	PROGETTO Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar	Fg. 45 di 45	Rev. 0

5 CONCLUSIONI

Il presente documento descrive la metodologia seguita per la caratterizzazione sismica di secondo livello dei tracciati dei metanodotti che si sviluppano nella Provincia di Modena nell'ambito del seguente progetto:

Metanodotto "Variante Potenziamento Allacciamento Comune di Soliera DN 200 (8"), DP 75 bar" ed opere connesse.

Lo scenario sismico alla base della stima degli effetti indotti dal sisma sui terreni attraversati dalle condotte è stato definito in accordo alle NTC 2008 ed alla normativa della Regione Emilia Romagna (DAL112/2207).

In particolare, si sono eseguite le seguenti attività:

- Valutazione dello scuotimento sismico in superficie per eseguire le verifiche strutturali della condotta stessa;
- Verifica della potenziale liquefacibilità dei terreni interessati dai lavori.

I risultati delle analisi strutturali sulla condotta hanno evidenziato l'idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l'evento sismico.

In ogni caso, la trattazione completa dello studio e le relative conclusioni sono riportate in Appendice 1 della presente relazione.

I tracciati dei metanodotti in esame si sviluppano in aree pianeggianti della pianura Padana e, in accordo a quanto presente all'interno del PTCP della Provincia di Modena, non attraversano terreni potenzialmente liquefacibili.

Ciononostante, sono state effettuate verifiche di liquefacibilità sulla base dei risultati di indagini di campo (sondaggi a carotaggio continuo) eseguite nel corso di precedenti fasi progettuali che hanno interessato il Metanodotto Poggio Renatico – Cremona.

I terreni attraversati dalle condotte in progetto sono caratterizzati da un elevato contenuto di materiale fine. La verifica di liquefacibilità è stata effettuata sulla base di quanto proposto da Bray e Sancho 2006, secondo cui il terreno può essere classificato come non suscettibile a liquefazione.