



Eni S.p.A.
Exploration

Doc. N° GEOM-2016035-MS-RT-01

TIPOLOGIA DI
DOCUMENTO:

RAPPORTO TECNICO

TITOLO:

Permesso CARISIO
Pozzo CARPIGNANO SESIA – 1 DIR
Studio Monitoraggio Sismico e Plano-altimetrico

DISTRIBUZIONE:

A: GEOES/CS

NOTE:

DATA EMISSIONE: 14/10/2016

“Servizi di Geologia e Geofisica”

GEOM

“Geodinamica e Monitoraggio Geofisico”

00
Rev.

66
Pagine

Redatto da: GEOM

A. Pozzoli
Alice Pozzoli
L. Vetri
L. Vetri
A. Orefice
Antonella Orefice
E. Norelli
E. Norelli
G. Roncari
G. Roncari
L. Barzaghi
L. Barzaghi

Verificato da: GEOM

F. Ferulano
F. Ferulano
G. Dell'Elce
G. Dell'Elce
R. De Paulis
R. De Paulis

Approvato da: GEOM

M. Mileti
M. Mileti



Eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO
CARPIGNANO SEISA”

DOC. N.
GEOM-2016035-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 2 DI 66

Foglio Revisioni

Rev.	Modifiche
00	14/10/2016 Emissione



INDICE

1	Introduzione	4
2	Sintesi risultati	5
3	Geologia.....	7
3.1	Geologia superficiale.....	10
4	Storia sismica dell’Italia Nord-Occidentale e valutazione della pericolosità sismica dell’area di Carpignano Sesia 14	
4.1	Sismicità nell’area di Carpignano Sesia	14
4.1.1	Sismicità storica (1000-2006).....	14
4.1.2	Sismicità strumentale (1981-2016).....	18
4.1.3	Faglie sismogenetiche.....	24
4.1.4	Faglie capaci	25
4.2	Vulnerabilità.....	26
4.2.1	Risentimenti avvertiti nell’area di Carpignano Sesia.....	26
4.2.2	Inquadramento amministrativo e normativa sismica	28
4.2.3	Analisi statistiche.....	30
5	Struttura della rete di monitoraggio sismico	33
5.1	Geometria.....	33
5.2	Strumentazione.....	40
6	Proposta Piano di Monitoraggio plano-altimetrico	45
7	GPS in acquisizione continua	47
7.1	Configurazione S.S.U.....	49
7.2	Rete di monitoraggio proposta	50
7.3	Verifica Gap Analysis rispetto agli ILG.....	51
8	Interferometria Differenziale (SAR).....	53
8.1	Analisi INSAR sull’area d’interesse	53
9	Ipotesi di installazione di assestimetri e piezometri nell’area	61
10	Bibliografia.....	64
10.1	Bibliografia della parte geologica	64
10.2	Bibliografia della parte sismologica.....	65
10.3	Bibliografia della parte plano-altimetrica.....	66
10.4	Bibliografia dei documenti amministrativi.....	66

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 4 DI 66

1 Introduzione

Il prospect Carpignano Sesia è ubicato nella parte nord orientale del permesso CARISIO, prossimo alla sponda destra del fiume Sesia, a NNW della città di Novara. E' in corso l'iter VIA per la realizzazione del pozzo esplorativo Carpignano Sesia – 1 Dir.

L'area è prevalentemente pianeggiante e la quota del piano campagna si aggira sui 200m slm.

Il presente studio è stato eseguito allo scopo di valutare la realizzazione delle reti di monitoraggio sismico e di monitoraggio planoaltimetrico, inquadrando nel contesto geologico, tettonico e sismologico della regione Piemonte, dove si trova ubicato il prospect di Carpignano Sesia. Tale analisi è condotta in accordo con le indicazioni del documento *"Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche"* emesso il 24 Novembre 2014 dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), di seguito indicato con la sigla ILG.

Si tenga presente che allo stato attuale il prospect ha carattere esplorativo, per cui non è sempre agevole utilizzare i concetti degli ILG, pensati per applicazioni su campi in fase di sviluppo. Nel caso di esito minerario positivo e di messa in produzione del giacimento, i presenti risultati andranno precisati nel corso di una successiva progettazione di dettaglio. Infatti, sarà opportuno integrare tutte le informazioni acquisite nel corso della campagna esplorativa.



2 Sintesi risultati

Il prospect di Carpignano Sesia, di cui ancora non si conosce il possibile potenziale minerario di sviluppo, ma le cui caratteristiche sono ben delineate dalle interpretazioni dei dati sismici e geologici utilizzati nella fase di valutazione esplorativa dello stesso, è ubicato al margine sepolto della catena sudalpina.

L'obiettivo minerario è costituito dalla successione carbonatica di età triassica sup. e liassica, che comprende la Dolomia a Conchodon (Retico – Hettangiano) e la Dolomia Principale (Norico – Retico).

La profondità dell'obiettivo è compresa tra 3200 m e 3900 m TVDss (True Vertical Depth Sub Sea), con fondo pozzo a 4300 metri TVDss.

Nell'area di interesse non si individuano sistemi di faglie sismogenetiche nè faglie capaci. Infatti per l'area ristretta intorno a Carpignano Sesia le registrazioni strumentali degli ultimi 30 anni indicano l'esistenza di una scarsa attività sismica con profondità degli ipocentri nei primi 30-40 km della crosta. La magnitudo massima registrata ai limiti dei 30km da Carpignano Sesia negli ultimi due secoli è stata 4.5.

La geologia superficiale dell'area di Carpignano Sesia è caratterizzata da terreni riferibili al Livello Fondamentale della Pianura, di età post wurmiana, che comprende sedimenti continentali clastici a granulometria sabbioso-limosa con episodi di ghiaie più grossolane, terrazzi fluviali.

Questa situazione complessiva ha determinato una catalogazione sismica dell'area di Carpignano Sesia come Zona 4, ossia zona a basso rischio sismico, dove i terremoti sono rari e di bassa energia.

Coerentemente agli ILG si ipotizza la realizzazione di una **rete sismica formata da 6 stazioni**, 3 nel Dominio Interno di rilevazione (area estesa fino a 3 km dal bordo del prospect, così come definito dagli ILG) e 3 nel Dominio Esteso di rilevazione (area estesa fino a 8 km

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO "STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 6 DI 66

dal bordo del prospect). Nell' area circostante il prospect non sono presenti stazioni della Rete Sismica Nazionale.

Al momento si ipotizza che tutte le stazioni abbiano i sensori installati in superficie.

In relazione alle informazioni sulle dimensioni e forma ipotizzate del giacimento (linea oil-water contact) si ritiene che, allo stato attuale, la migliore metodologia per un sistema di monitoraggio plano-altimetrico, in grado di rilevare eventuali deformazioni del suolo, non possa prescindere dall'associazione di due diverse metodologie utilizzate in modo congiunto, quali il sistema GPS in Continuo (CGPS) e il monitoraggio mediante interferometria differenziale Radar satellitare (SAR). Inoltre in una situazione di acquiferi complessi, come quelli dell'area d'interesse, l'installazione di almeno un assestmetro per il monitoraggio di eventuali variazioni altimetriche del suolo risulta poco significativa.

Si propone pertanto una **rete CGPS composta da tre postazioni**, di cui la postazione master verrà ubicata all'interno dell'area pozzo e sarà realizzata nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit, unità che unisce una stazione CGPS, due riflettori artificiali per acquisizioni InSAR con geometria ascendente e discendente e un caposaldo di livellazione), mentre le altre due verranno posizionate esternamente l'area pozzo, in modo tale da realizzare tre vertici di un triangolo il più possibile di forma regolare. Tutte le postazioni saranno equipaggiate con strumentazione di tipo geodetico.

Per quanto riguarda il monitoraggio mediante **interferometria differenziale SAR** potranno essere utilizzati dati provenienti dal **Satellite SENTINEL 1**, con sensore in Banda C e tempo di rivisitazione di 12 giorni, a partire da ottobre 2014. Inoltre per una maggiore consistenza della serie storica riguardante il monitoraggio dell'area, si ritiene opportuno l'utilizzo di immagini acquisite dai satelliti RADARSAT 1 e 2, con una necessaria finestra temporale di sovrapposizione dei dati RADARSAT 2 e Sentinel 1 sufficiente da garantire continuità, precisione ed accuratezza delle analisi. Verranno acquisite entrambe le geometrie (ascendente e discendente) e successivamente al processing dei dati SAR, verranno estrapolate le componenti del moto (verticale ed orizzontale). Per poter rendere il

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO "STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 7 DI 66

dato SAR assoluto, e quindi svincolarlo dal punto di riferimento, la componente verticale del moto verrà successivamente tarata utilizzando i CGPS previsti per il suddetto piano di monitoraggio (in linea con quanto previsto dagli ILG).

3 Geologia

Questa nota vuole fornire una visione schematica della geologia del Piemonte, con lo scopo di contribuire ad individuare e descrivere le aree sismogenetiche, nell'ambito del futuro progetto di realizzazione di una rete di monitoraggio sismico e planoaltimetrico da installare intorno al prospect di Carpignano Sesia.

Nel sottosuolo dell'alta pianura piemontese sono presenti unità strutturali sudalpine sovrascorse, con vergenza a Sud, sulla serie dell'avampaese padano.

Tale struttura è stata evidenziata dai profili di sismica crostale del Progetto CROP (CROP W-ALPS/a).

Nell'unità strutturale più settentrionale la fase tettonica compressiva ha comportato la rimozione di buona parte della serie sedimentaria mesozoica al di sopra del basamento, la quale talora si presenta, nelle sezioni sismiche eseguite per esplorazione mineraria, discontinua e lacunosa. Nelle unità più meridionali, oggetto di interesse minerario, la copertura sedimentaria sembra essere conservata.

Al di sopra di un basamento cristallino ercinico sedimenta, a partire dal Trias, una piattaforma carbonatica estesa, presente su tutto il bordo settentrionale del bacino della Tetide. A partire dal Giurassico, la piattaforma è interessata da una fase di rift, che precede l'apertura della tetide Alpina, e fenomeni di distensione che producono sistemi di faglie normali ad orientazione N130 – N150.

Alla fine del Cretaceo, l'area è interessata dall'orogenesi alpina le cui fasi compressionali producono durante il Terziario fenomeni di inversione tettonica e la formazione di thrust che comprendono parti del basamento e fenomeni di duplex.



I sedimenti eocenici – oligocenici (Scaglia e Marne di Chiasso) e miocenici (Gruppo della Gonfolite), ancora interessati da tettonica alpina (fenomeni di backthrusting), colmano il bacino di avanfossa.

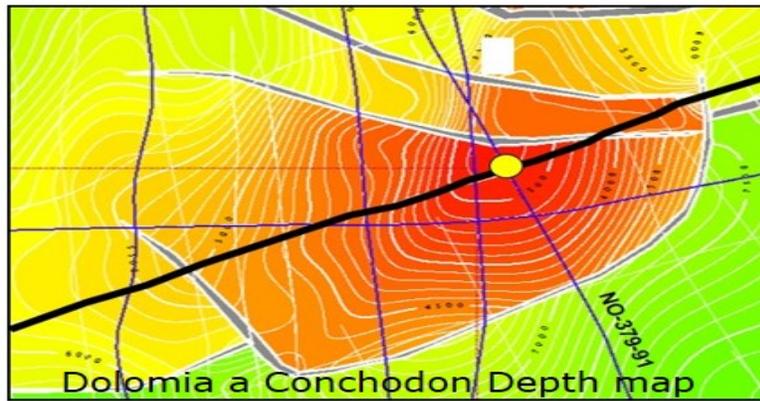
I sedimenti del Messiniano sommitale Sabbie di Sartiranae del Pliocene inferiore (Argille del Santerno) sigillano le precedenti fasi tettoniche.

Al di sopra, ancora in situazione tettonica indisturbata, le Sabbie di Desana (Pliocene) e le Sabbie di Asti (Pliocene – Quaternario) precedono il definitivo riempimento del bacino che termina con i sedimenti prevalentemente continentali riferibili al Pleistocene – Olocene.

La Fig. 1 indica la struttura che verrà indagata dal pozzo Carpignano Sesia 1 Dir. La lunghezza dell'area indicata è circa 18 km. In Fig. 2 è mostrata l'area di prevista ubicazione del pozzo, in relazione alla situazione strutturale sopra accennata.



Prospect Map



Seismic Line

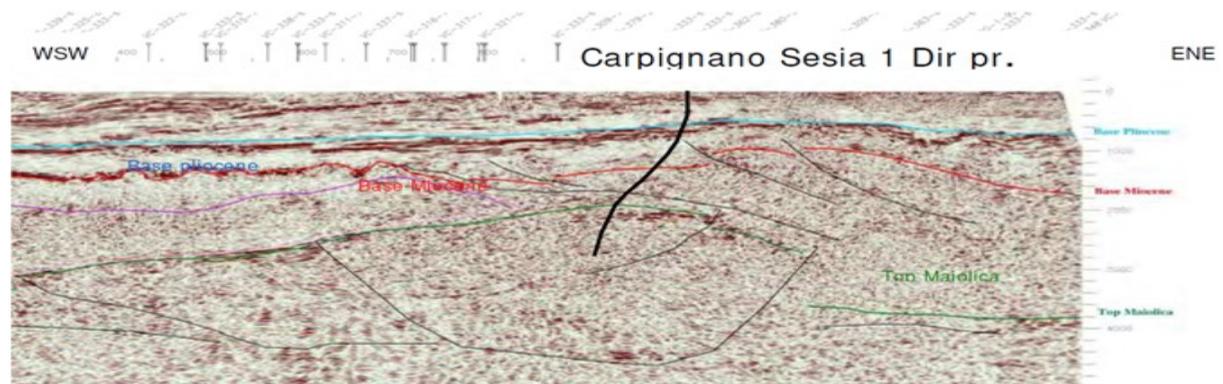


Fig. 1: sezione VC-333_1V in cui è indicata l'area che verrà investigata.

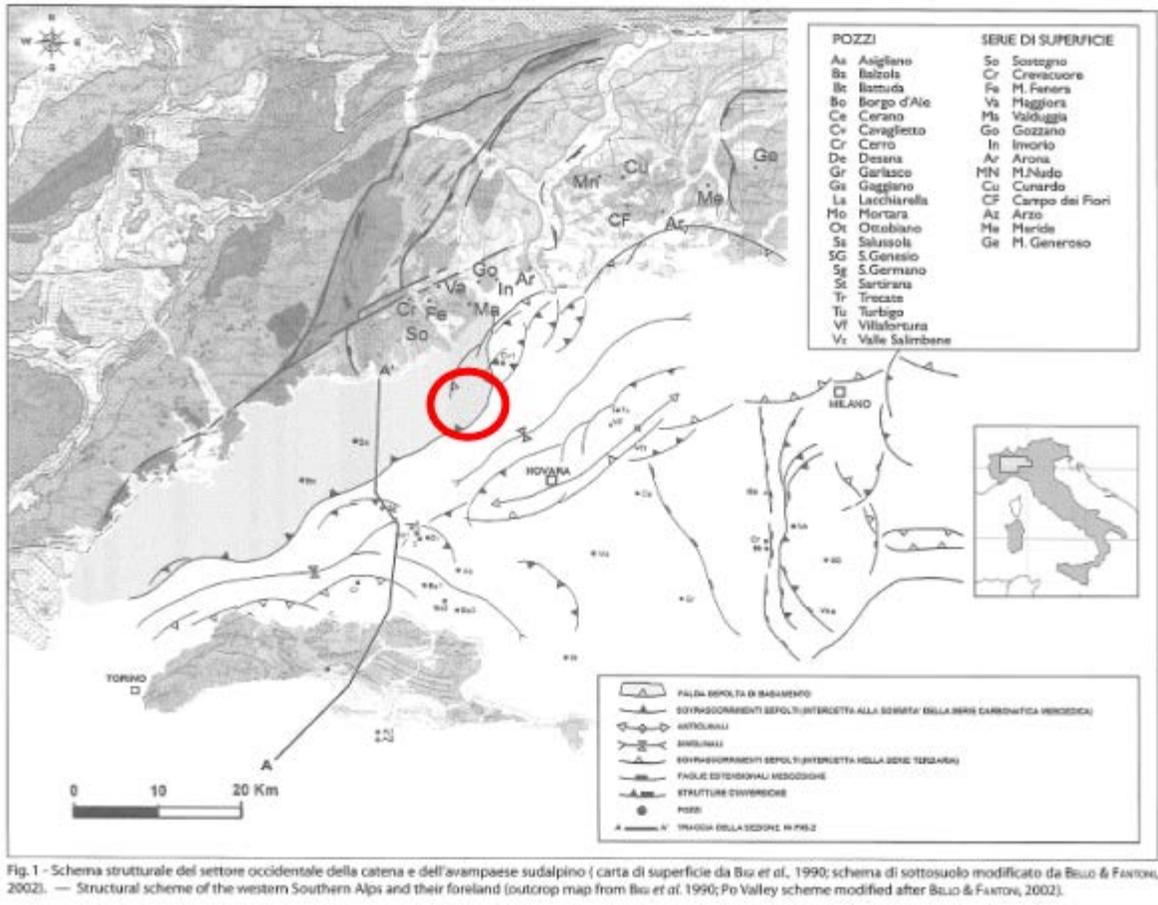


Fig. 2: schema strutturale del settore occidentale della catena e dell'avampase sudalpino (Fantoni et al., 2003).

3.1 Geologia superficiale

L'area, soggetta ad intensa attività agricola, è costituita da terreni riferibili al Livello Fondamentale della Pianura, di età post wurmiana (12 ka BP), che comprende sedimenti continentali clastici a granulometria sabbioso-limosa con episodi di ghiaie più grossolane, terrazzi fluviali.

Il settore di pianura, ove si trova la prevista ubicazione del pozzo, è caratterizzato dalla presenza di depositi sciolti, di genesi fluviale (Olocene) e fluvio-glaciale (Pleistocene sup./Wurm), ospitanti uno o più sistemi di falde. Gli acquiferi a tessitura più grossolana costituiscono il serbatoio più importante.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO "STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 11 DI 66

La parte alta della successione dei terreni è costituita da depositi fluviali e depositi glaciali, sovrapposti ai depositi di transizione di età villafranchiana.

La serie dei Depositi Fluviali, di spessore variabile, mostra età comprese tra il Pliocene superiore e l'attuale e comprende tre complessi principali:

- complesso dei depositi grossolani fluviali: costituito da ghiaie prevalenti e sabbie;
- complesso delle alternanze Fluviali: costituito da alternanze di depositi fini limoso-argillosi e depositi grossolani di natura ghiaiosa e sabbiosa, questi ultimi prevalenti;
- complesso dei depositi fini fluviali: costituito da depositi limoso-argillosi prevalenti.

Per una più immediata descrizione della distribuzione di tali sedimenti in Fig. 3 e Fig. 4 sono riportate due illustrazioni tratte da un lavoro della Regione Piemonte (2003) relativo al Piano di Tutela delle Acque. Le due sezioni, a Nord e a Sud dell'area in oggetto, descrivono la struttura degli acquiferi della parte alta della serie alluvionale fluvio glaciale e fluviale, di età post wurmiana.

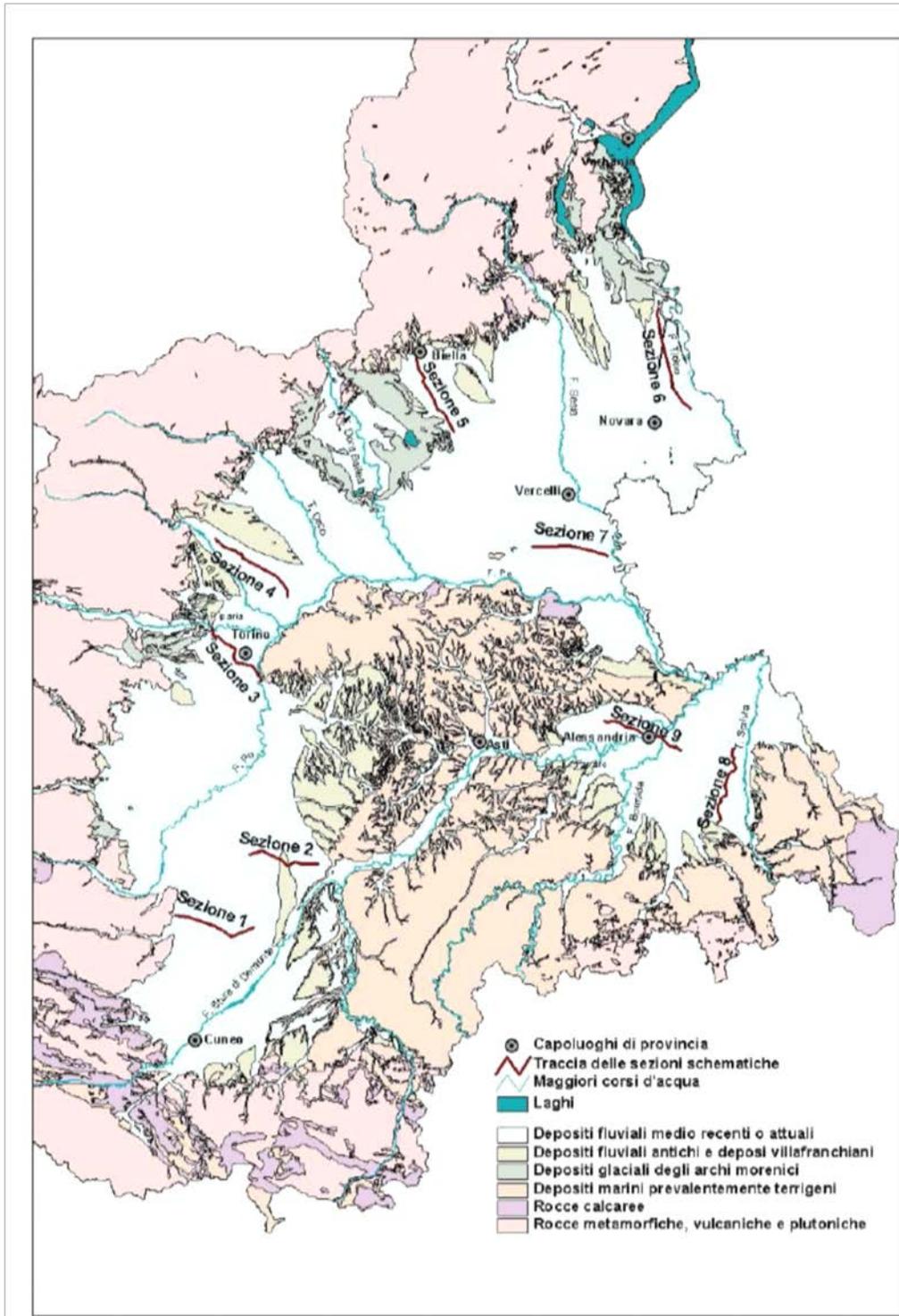


Fig. 3: tracce delle sezioni schematiche (tratto da A.R.P.A Piemonte, 2003).

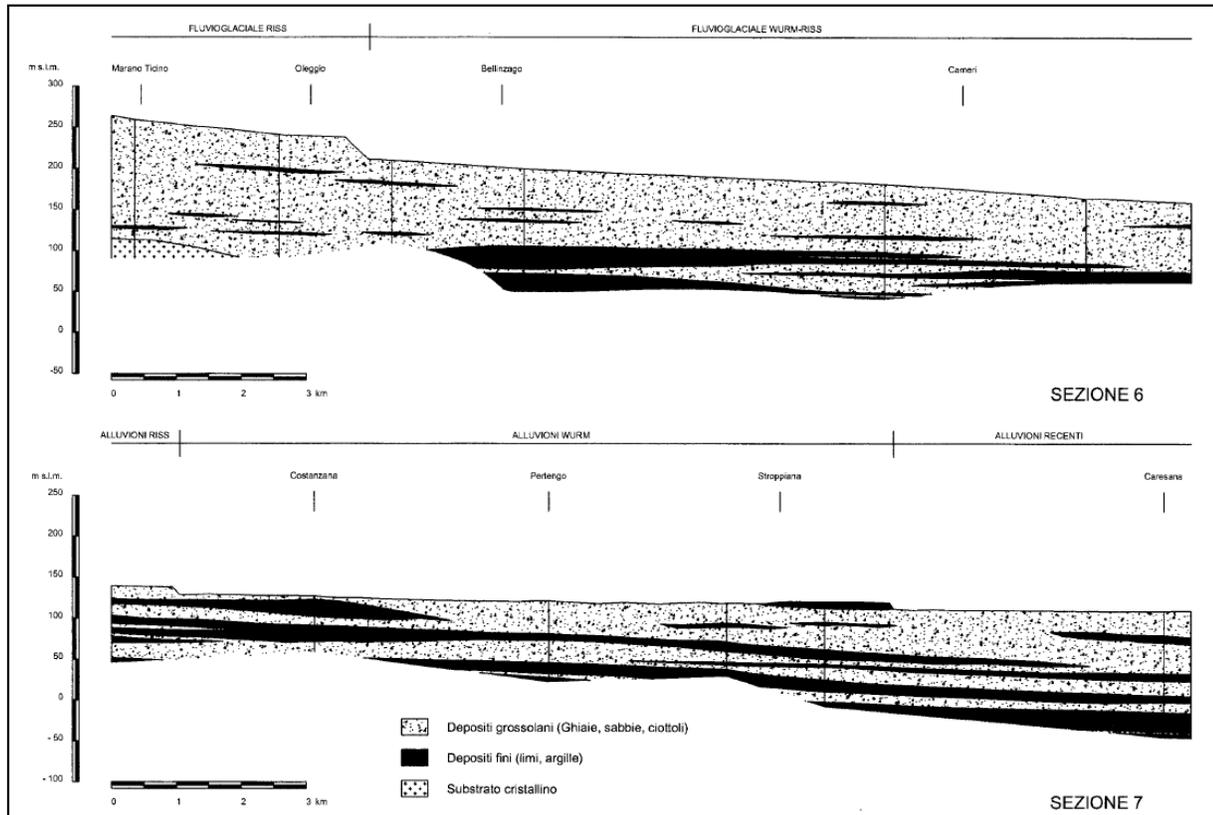


Fig. 4: sezione dei depositi fluviali (tratto da A.R.P.A Piemonte, 2003).

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO “STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA”		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 14 DI 66

4 Storia sismica dell'Italia Nord-Occidentale e valutazione della pericolosità sismica dell'area di Carpignano Sesia

4.1 Sismicità nell'area di Carpignano Sesia

Per valutare correttamente gli obiettivi di una rete sismica è necessario conoscere la sismicità pregressa registrata nell'area da controllare in un intervallo di tempo il più ampio possibile. In Italia i database macrosismici partono generalmente dall'anno 1000 A.D., anche se le informazioni diventano più attendibili per eventi di forte intensità (V della scala MCS - Mercalli) solo alcuni secoli dopo.

La storia sismica è stata studiata all'interno di tre circonferenze di raggio rispettivamente 100, 50 e 30 km centrate sulla zona dove è prevista la perforazione del pozzo esplorativo. Si sono cercate informazioni bibliografiche sui risentimenti che ha subito Carpignano Sesia nel passato, la presenza di faglie considerate sismogenetiche e la pericolosità sismica stimata secondo gli ultimi decreti ministeriali e regionali.

4.1.1 Sismicità storica (1000-2006)

Le informazioni sulla sismicità storica in Italia (1000-2006) sono disponibili nel Data Base CPT15 (Gruppo di Lavoro CPTI – 2015) dell'INGV.

In tale catalogo sono stati riportati in genere sismi con intensità $I_{max} \geq 5$ (scosse forti) e magnitudo stimata $M_w \geq 4.0$. Le informazioni disponibili per eventi fino al 1963 sono solo di tipo macrosismico (effetti di tipo geologico e/o danni al patrimonio immobiliare), fino al 1980 sono miste macrosismiche e strumentali. Dal 1980, con l'ampliarsi della rete sismologica nazionale, le informazioni sono essenzialmente di tipo strumentale.

In Fig. 5 sono stati riportati gli epicentri estratti dal DB CPT15. Al centro dei cerchi di raggio rispettivamente 30, 50 e 100 km (grigio, viola e arancione) si trova l'ubicazione del previsto pozzo esplorativo Carpignano Sesia 1 Dir.



Appare evidente che all'interno dell'area da investigare i sismi sono molto rari nei due cerchi interni ed è presente una moderata sismicità fra i 50 e i 100 km.

In particolare:

- Gli unici due sismi ai limiti dei 30 km da Carpignano Sesia (1908, 1936) presentano un' I_{max} rispettivamente uguale a 4 (scossa moderata) e 7 (scossa molto forte);
- i sismi nella fascia dai 30 a i 50 km sono caratterizzati da I_{max} dai 4 agli 8 gradi, ossia da scosse moderate a scosse rovinose ($I_{max}=7-8$ nel 1892);
- la fascia dai 50 a 100 km presenta in particolare tre sismi di I_{max} 7-8 (1396, 1767, 1828) e un raggruppamento di eventi nella zona del Vallese (Svizzera).

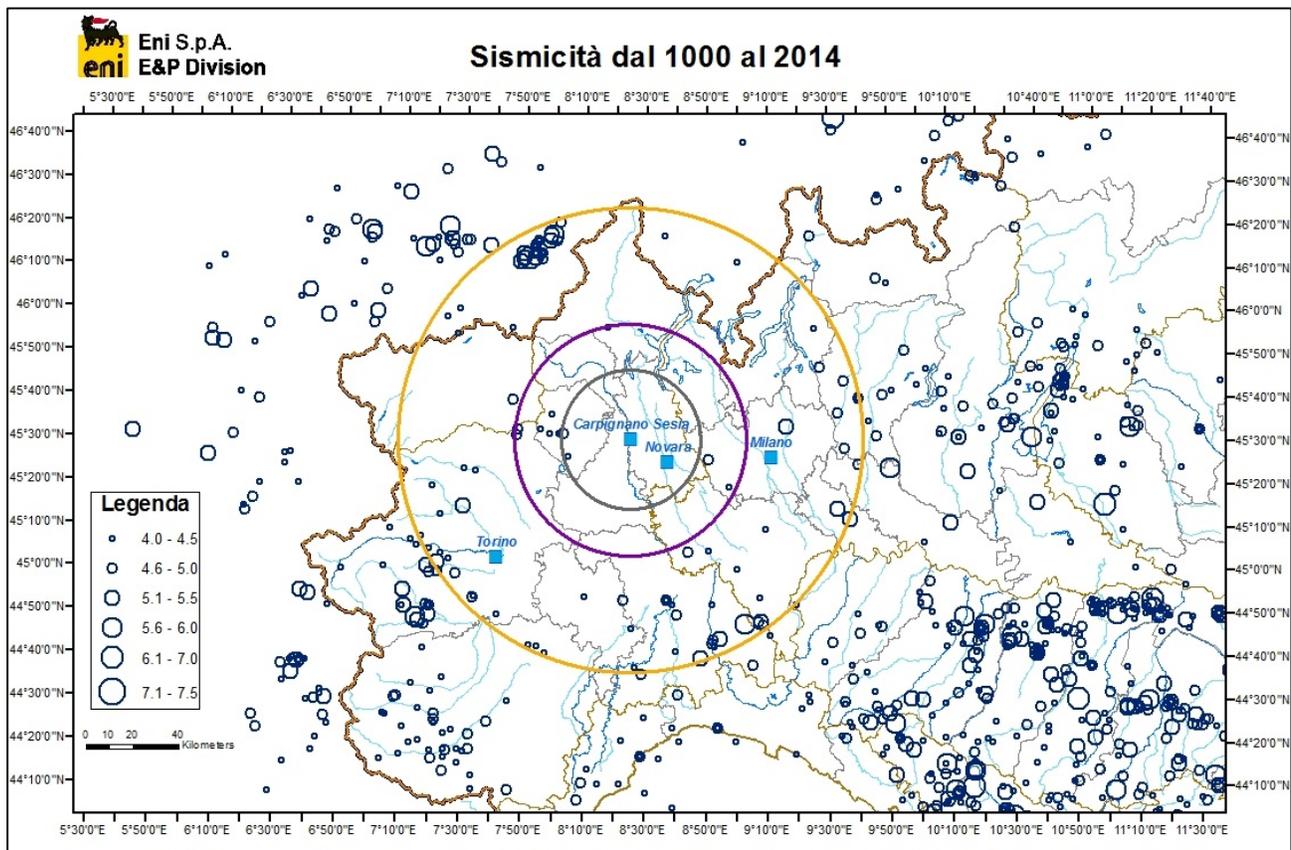


Fig. 5: mappa con gli epicentri di Magnitudo > 4.0 dal 1000 al 2014. In arancio la circonferenza di raggio 100 km, in viola quella di raggio 50 km e in grigio quella di raggio 30 km.



Sono stati studiati con maggior dettaglio i sismi con magnitudo $M \geq 4$ localizzati entro 30 km dal comune di Carpignano Sesia, riportati in Fig. 5.

L'evento più forte di magnitudo 4.5 è accaduto nel 1936 a Biella, con intensità $I_{max}=6-7$. Tale evento è stato risentito fino a Strombino (TO) e Aosta con $I=3-4$, ma non è stato risentito ad Est e quindi a Carpignano Sesia (Fig. 6). Lo stesso vale per l'evento del 1908 di $M_w=4.1$ avvenuto nel Piemonte centro-settentrionale. Tale evento di intensità $I_{max}=4$ è stato avvertito fino a Trecate (NO) e Pont Cavanese (TO) con $I=2-3$ (Fig. 7).

Lo studio storico-bibliografico dei sismi del 1936 e del 1908 e dei relativi effetti nelle varie località sono descritti in Guidoboni et al., 2007, e Camassi et al., 2015, rispettivamente.

Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	AX	TL	LAT	LON	MW	DMW	TMW
1908	5	24	8	37	0	Piemonte centro-sett.	MM	45.464	8.074	4.1	0.28	Mdm
1936	10	17	2	42	0	Biellese	MM	45.554	8.044	4.53	0.32	Mdm

Tabella 1: sismi entro 30 km da Carpignano Sesia. AX= Area dei maggiori effetti. TL=MM epicentro solo macrosismico. DMW= errore associato alla stima della magnitudo momento MW. TMW= Mdm magnitudo determinata da dati di intensità macrosismica.

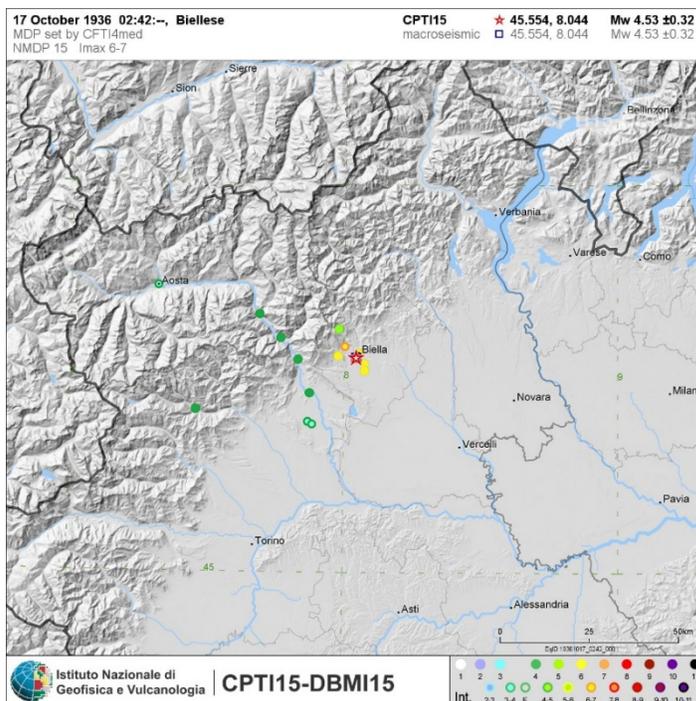


Fig. 6: mappa di intensità per il terremoto del 1936 (estratto da CPT115-DBMI15 INGV su dati di Guidoboni et al,2007).

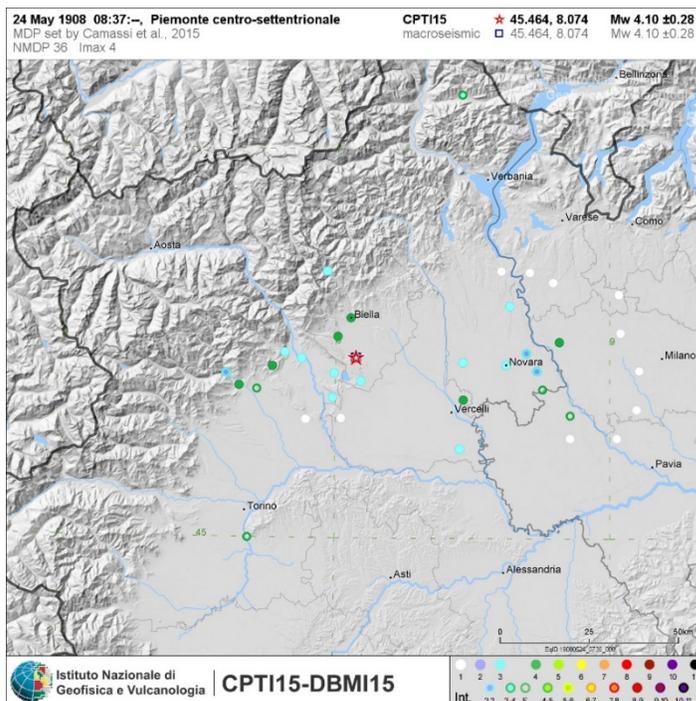


Fig. 7: mappa di intensità per il terremoto del 1908 (estratto da CPT115-DBMI15 INGV su dati di Camassi et al,2015).



4.1.2 Sismicità strumentale (1981-2016)

La sismicità strumentale registrata dal 1981, estratta dai Data Base (di seguito DB) dell'INGV (CSI 1.1 e ISIDE), è visibile per il Nord Ovest di Italia in Fig. 8 e in dettaglio nella Fig. 9.

Si osserva che l'attività sismica entro i 50 km dal pozzo esplorativo è molto scarsa, come già evidenziato nella sismicità storica.

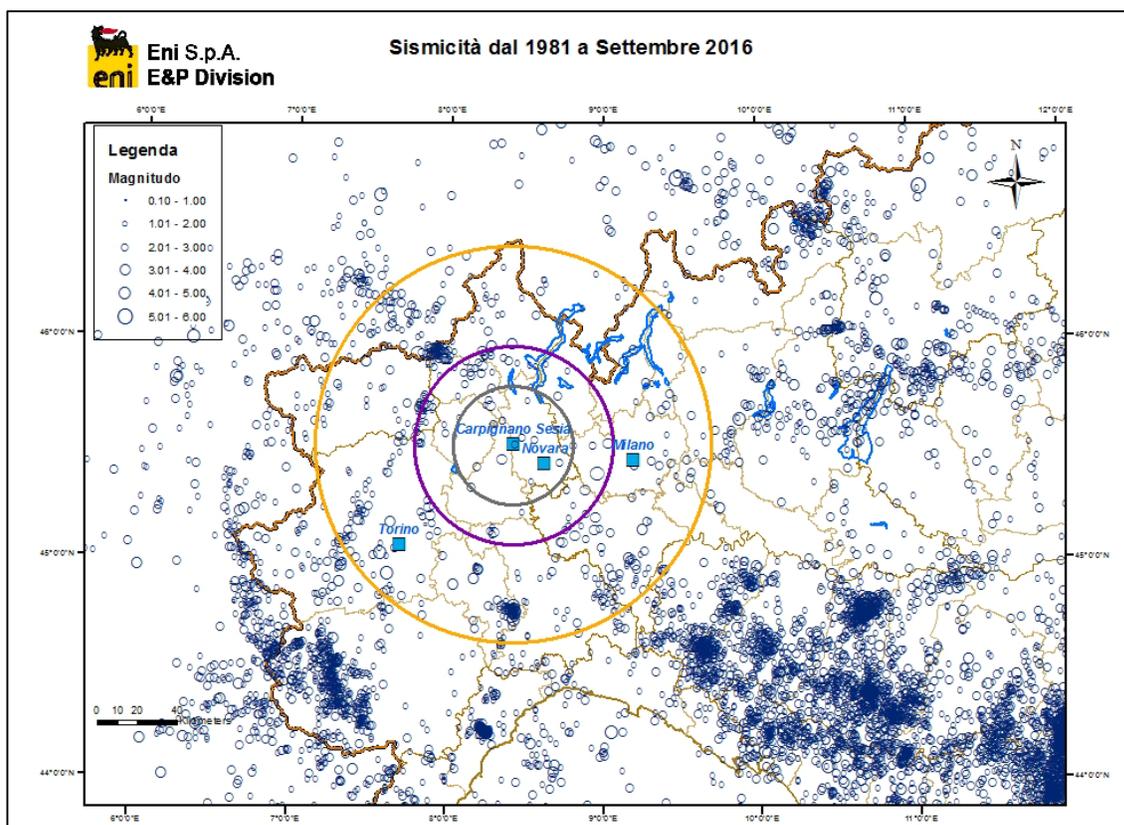


Fig. 8: sismicità strumentale dal 1981 al Settembre 2016 in Italia Nord Occidentale. In arancio la circonferenza di raggio 100 km, in viola quella di raggio 50 km, in grigio quella di raggio 30 km.



Sismicità dal 1981 a Settembre 2016

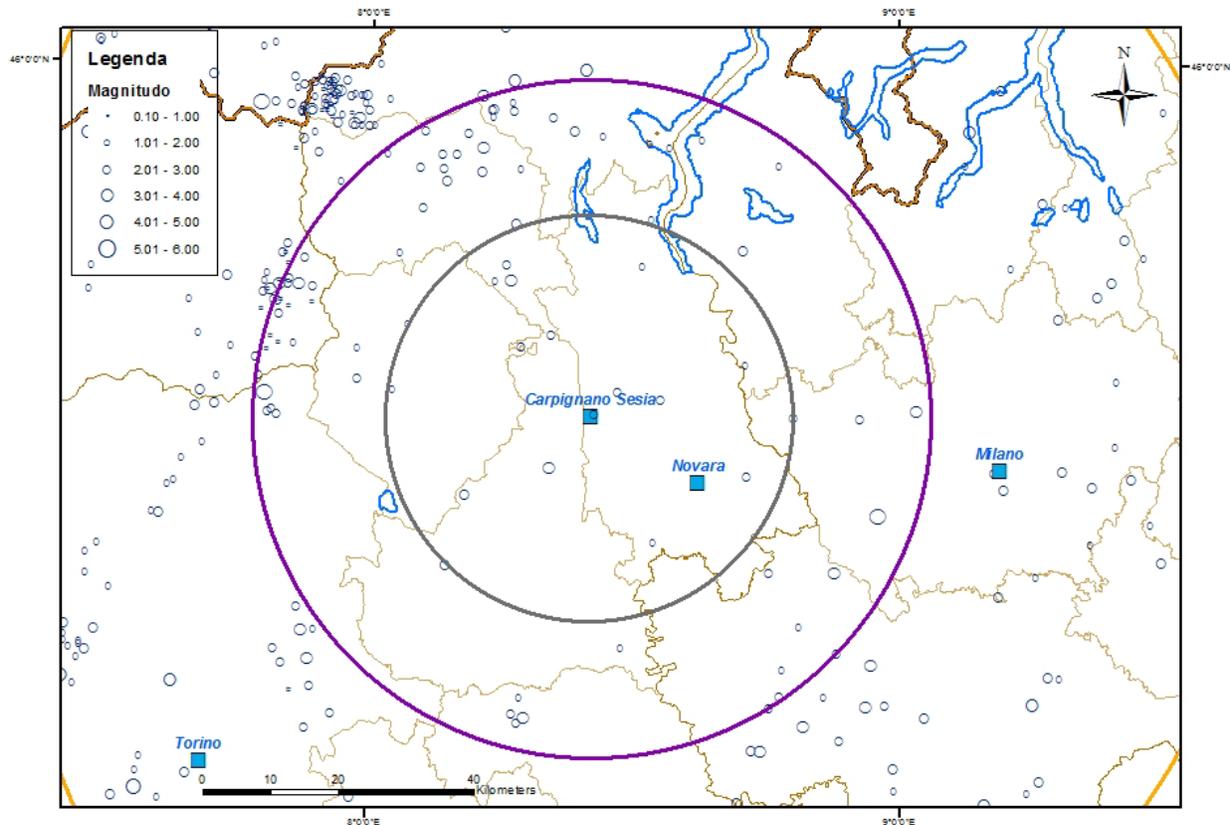


Fig. 9: sismicità strumentale dal 1981 al 2015. In viola la circonferenza di raggio 50 km, in grigio quella di 30 km.

In Fig. 10 è riportata la distribuzione nel tempo dei sismi entro 30 km dal campo con l'indicazione della magnitudo. La magnitudo minima resta costante fino a circa il 2010 poi si osserva un abbassamento di tale soglia, dovuto all'incremento del numero di stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) nell'area. La posizione delle stazioni utilizzate nell'intero periodo di analisi e poste entro 50 km da Carpignano è visibile nella Fig. 11: in rosso sono indicate anche quelle attualmente non attive (OROPA, MCGN, VAI e PAVIA). In particolare la stazione VAI è stata sostituita con la stazione VARE.



In Fig. 12 è mostrata la distribuzione dei sismi per classi di Magnitudo Locale: questa varia tra [1.2; 2.5]. Si tratta quindi di sismi di bassa intensità, al di sotto della soglia di percezione umana.

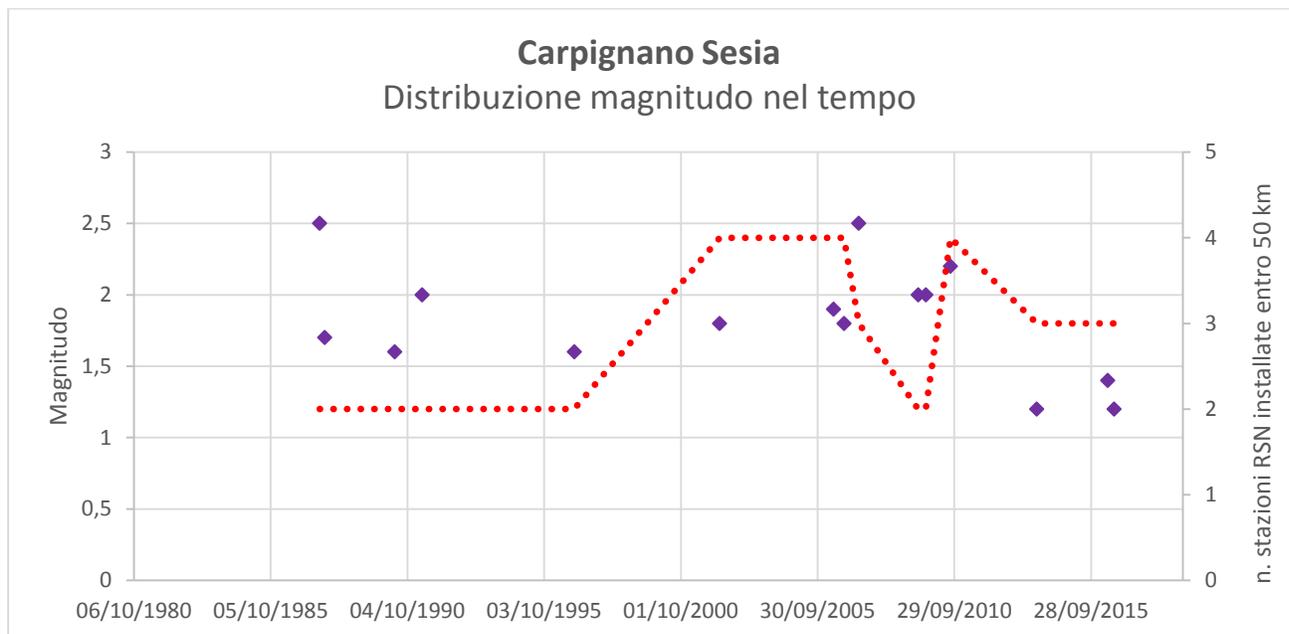


Fig. 10: distribuzione della magnitudo nel tempo per i sismi con epicentro entro 30 km dal Pozzo Carpignano Sesia. La linea rossa indica le stazioni installate entro 50 km di distanza dal campo.

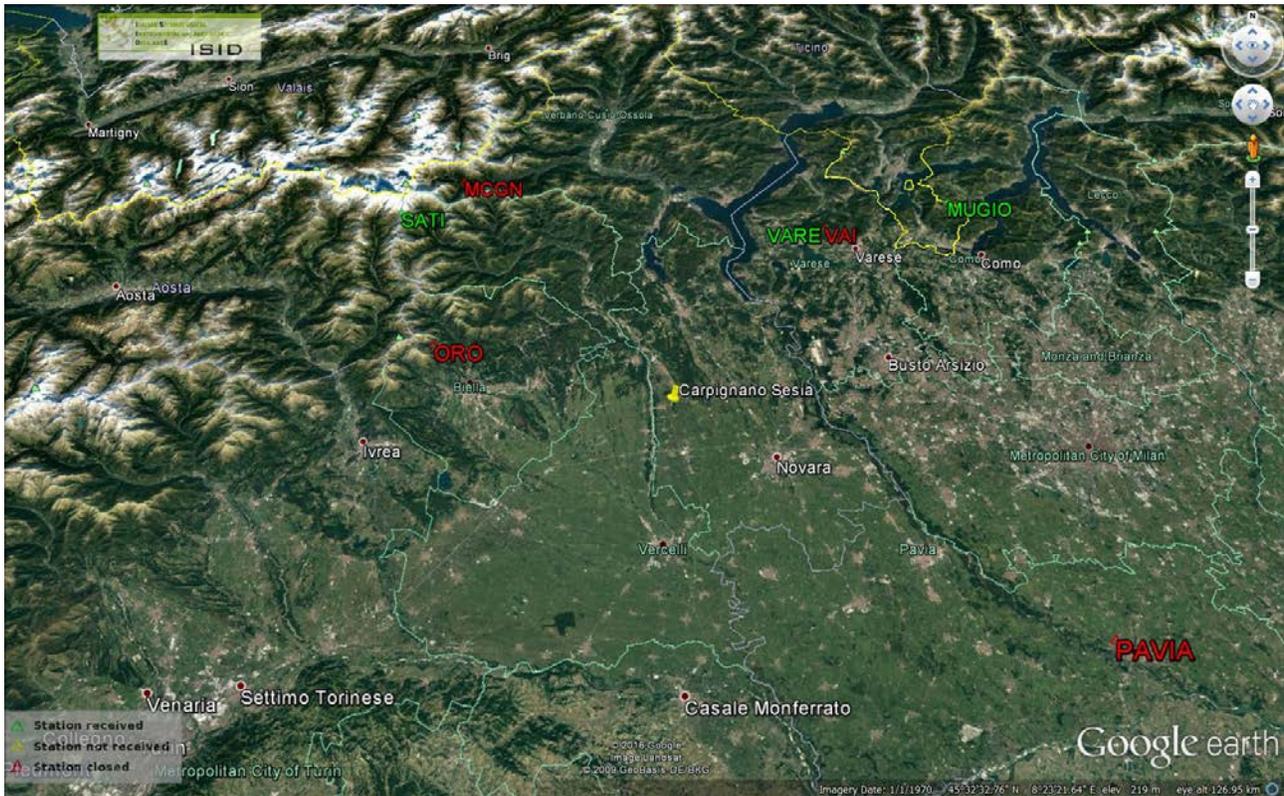


Fig. 11: distribuzione delle stazioni (triangoli) della Rete Sismica Nazionale entro i 50 km dal pozzo Carpiignano Sesia nel periodo 1981-2016, anche quelle attualmente non attive (in rosso).

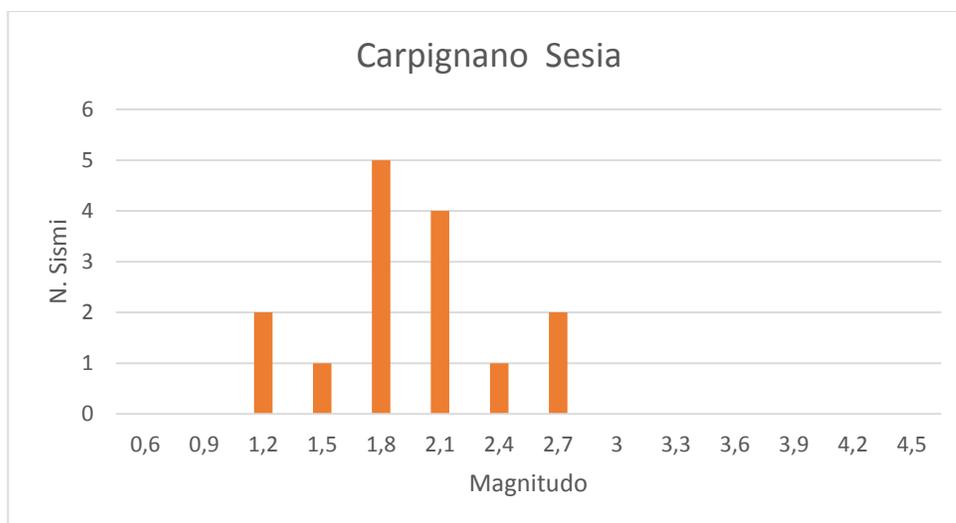


Fig. 12: distribuzione della magnitudo per i sismi registrati dal 1981 al Giugno 2016 con epicentro entro 30 km dal pozzo Carpiignano Sesia.



La distribuzione dei sismi in profondità (Fig. 13 e distribuzione in mappa in Fig. 14) non mostra particolari allineamenti, visto anche il numero esiguo di sismi avvenuti entro 30 km da Carpignano Sesia.

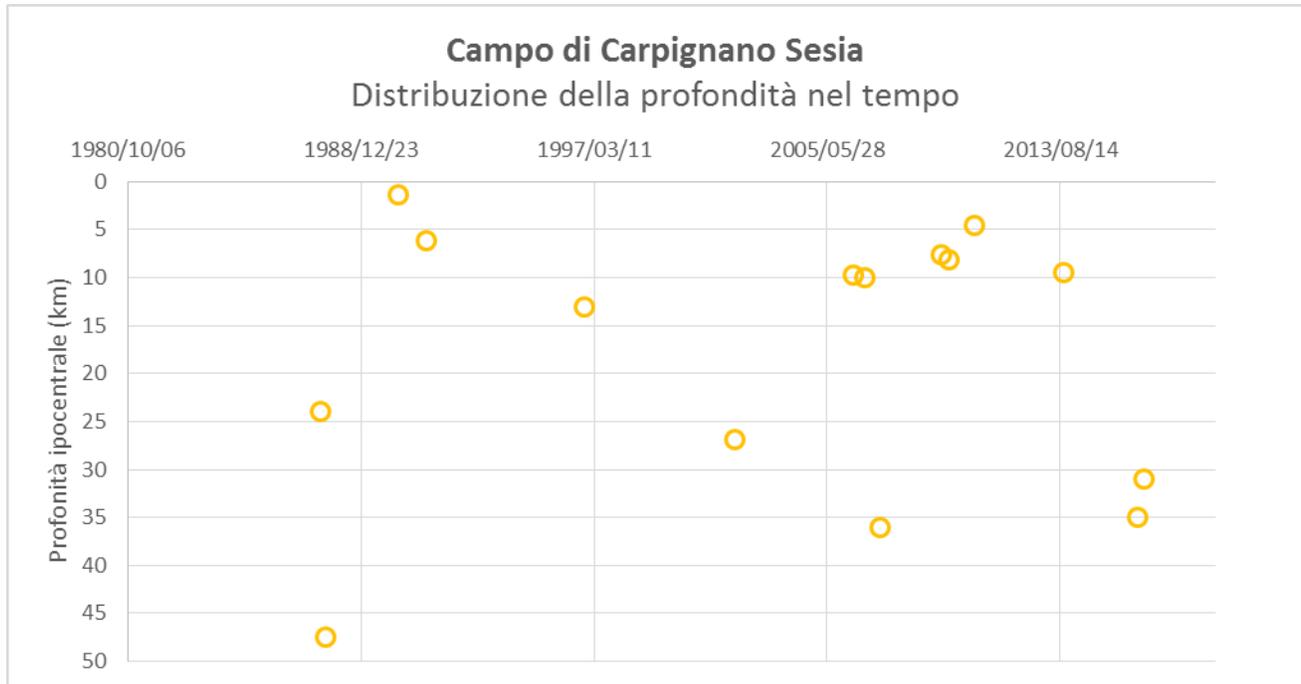


Fig. 13: distribuzione nel tempo della profondità per i sismi con epicentro entro 30 km da Carpignano Sesia.

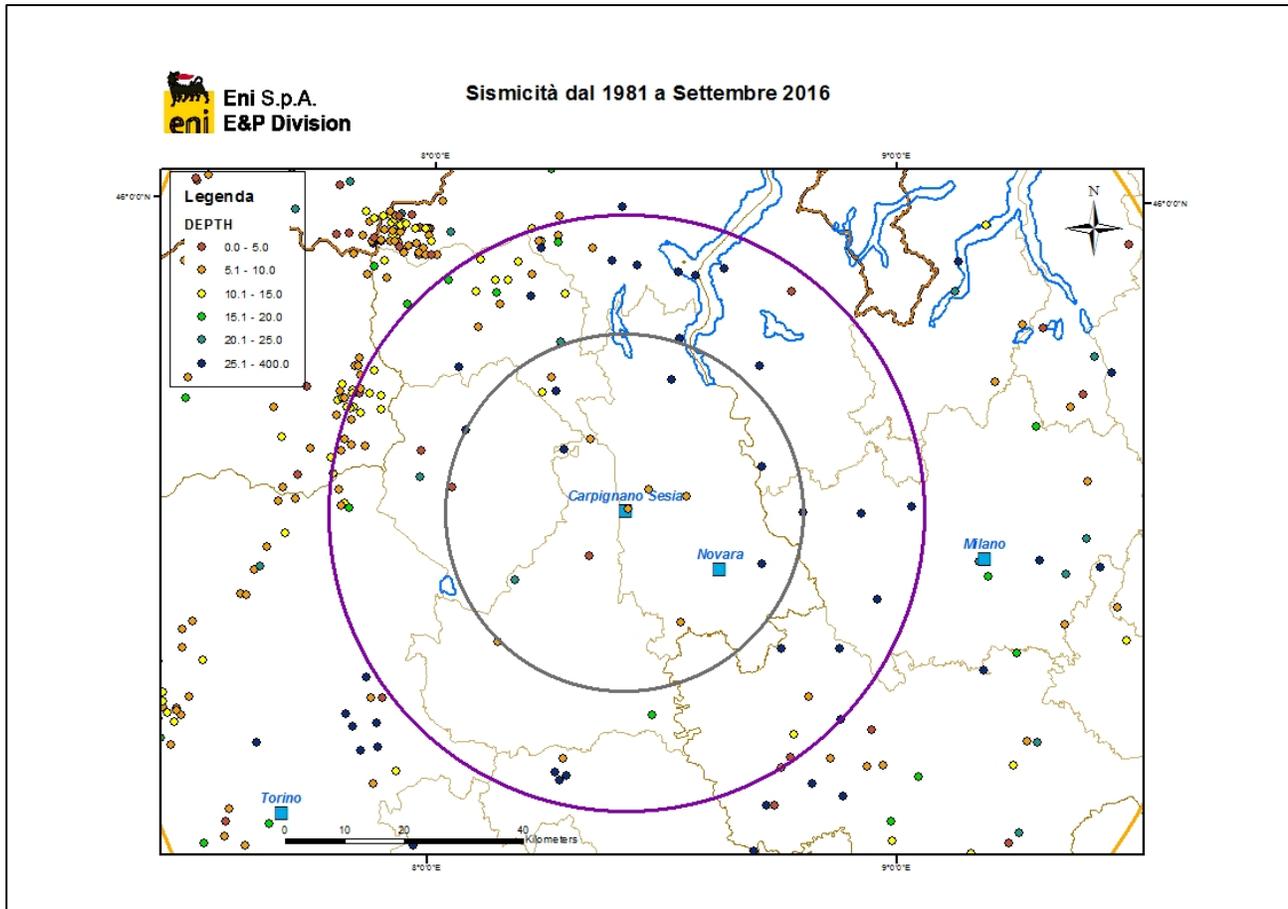


Fig. 14: mappa della sismicità strumentale nell'Italia Nord Ovest in funzione della profondità degli ipocentri. In viola la circonferenza di raggio 50 km, in grigio quella di 30 km.



4.1.3 Faglie sismogenetiche

Lo studio della sismicità storica e strumentale permette di individuare le strutture sismogenetiche, ossia in grado di generare un terremoto. Per l'Italia tali strutture sono state catalogate nel DB DISS (Database delle Faglie Sismogenetiche), presente sul sito INGV.

Da tale DB per l'area di interesse sono state estratte le principali sorgenti sismogenetiche composite, nonché quelle individuali e dibattute (Fig. 15).

In particolare, in Fig. 15 è possibile osservare che nell'area del pozzo esplorativo non sono presenti faglie sismogenetiche: la distanza minima di quest'ultime da Carpignano Sesia è circa 70 km.

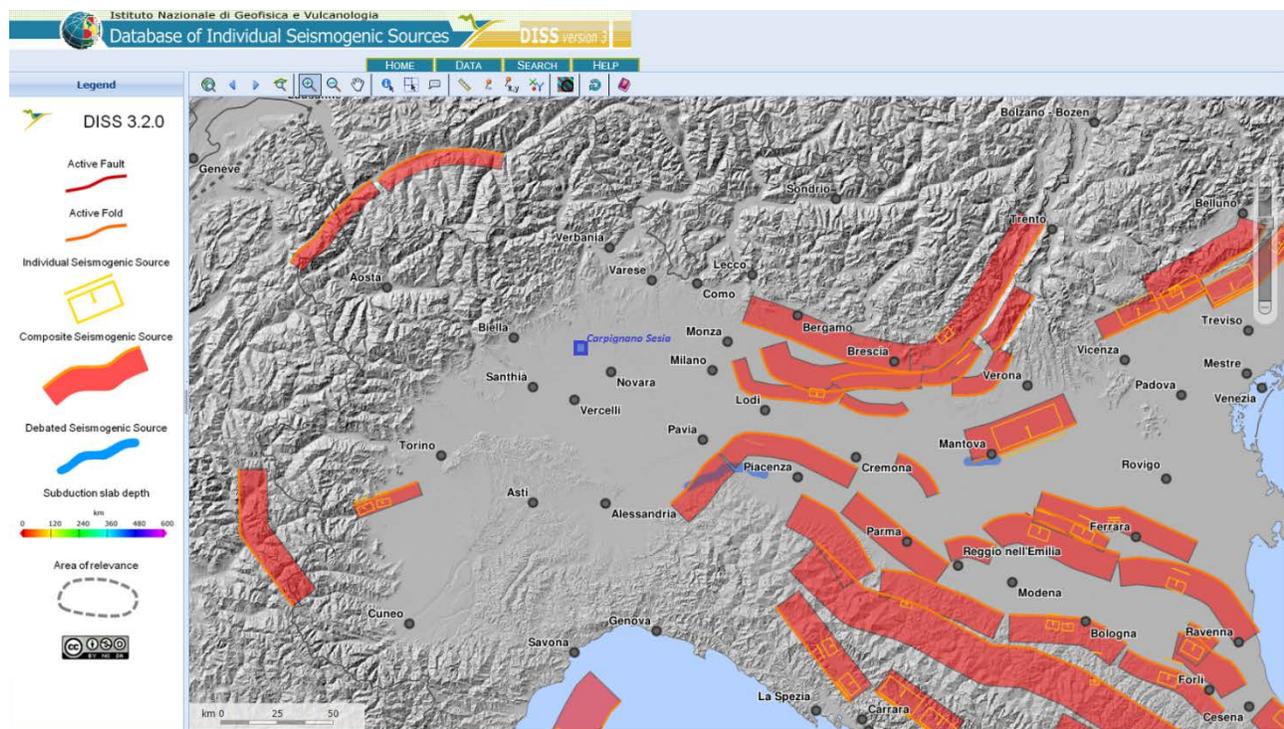


Fig. 15: mappa delle faglie sismogenetiche del Nord Italia estratta dal DISS. I rettangoli gialli sono le proiezioni in superficie delle sorgenti sismogenetiche individuali. Le fasce arancioni sono invece le proiezioni delle sorgenti sismogenetiche composite; in viola le faglie “dibattute”.



4.1.4 Faglie capaci

Le informazioni disponibili per i terremoti storici, quelle di tipo paleosismologico e quelle geologico-strutturali di un'area permettono di individuare le cosiddette “Faglie Capaci”, definite come “faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie”.

Per completare il quadro delle informazioni disponibili a livello nazionale sulle aree potenzialmente attive dal punto di vista sismico, si riporta in Fig. 16 la mappa della zona in studio con la distribuzione di Faglie Capaci presenti nel DB ITHACA di ISPRA.

Le faglie sono concentrate a Sud e Ovest di Carpignano Sesia e quindi nessuna Faglia Capace viene evidenziata direttamente in corrispondenza della zona in cui verrà perforato il pozzo esplorativo.

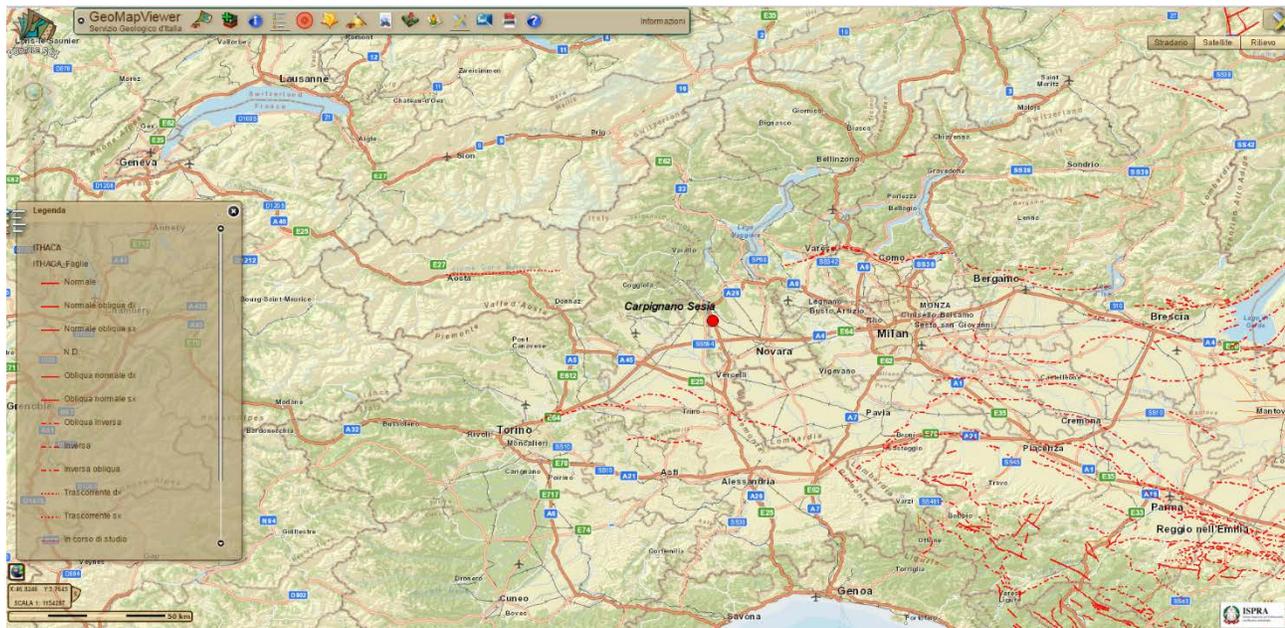


Fig. 16: distribuzione delle Faglie Capaci (in rosso) nell'area del Nord Italia. Mappa estratta da “SGI GeoMapViewer” con dati del DB ITHACA di ISPRA.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 26 DI 66

4.2 Vulnerabilità

4.2.1 Risentimenti avvertiti nell'area di Carpignano Sesia

Prima di presentare gli aspetti della normativa sismica della zona di Carpignano Sesia, che tiene conto di quanto l'area ha risentito nel passato di attività sismica vicina e lontana, viene presentato il quadro delle informazioni disponibili dal database DBMI15 dell'INGV sui risentimenti sismici sperimentati dall'anno 1000 al 2014.

Le informazioni disponibili nel database sono state raccolte da fonti coeve o successive, da memorie sui danni (quando ce ne sono state), in particolare da archivi parrocchiali (dopo il concilio di Trento), da archivi pubblici o privati. E' possibile avere dati incompleti per le zone più isolate rispetto ai centri amministrativi e a quelli con scambi commerciali. Le analisi fin qui compiute sui terremoti nell'area Nord del Piemonte fanno prevedere che a Carpignano Sesia non ci siano molte informazioni sugli effetti di terremoti più o meno vicini. Infatti le informazioni disponibili per $I_{nt} > 3$ sono solo quelle visualizzate in Fig. 17 dove è riportato solo l'episodio del 1887 di intensità 4-5 avvenuto in Liguria occidentale e quindi al di fuori dei 30 km dall'area del presente studio.

Per avere un quadro più completo, almeno dal 1800 in poi, le informazioni del comune di Carpignano Sesia vengono messe a confronto con le informazioni del comune di Biandrate (NO) e di Rovasenda (VC), posti rispettivamente a 11 km Sud-Est e 8 km a Ovest.

L'episodio di maggiore intensità avvertito per i tre comuni corrisponde al terremoto del 1887 della Liguria occidentale. Solo nel comune di Biandrate è stato avvertito con $I=3$ il terremoto del 1908 in Piemonte centro-settentrionale, richiamato nel paragrafo sulla sismicità storica (4.1.1)

Si osserva che nei dati disponibili per i 3 comuni non c'è nessun riferimento al terremoto del 1936 di $M_w=4.5$ (Rif. 4.1.1). Si tratta comunque di un evento moderato avvenuto al limite dei 30 km dal comune di Carpignano Sesia.

In Tabella 2 sono sintetizzati i dati di Carpignano Sesia.

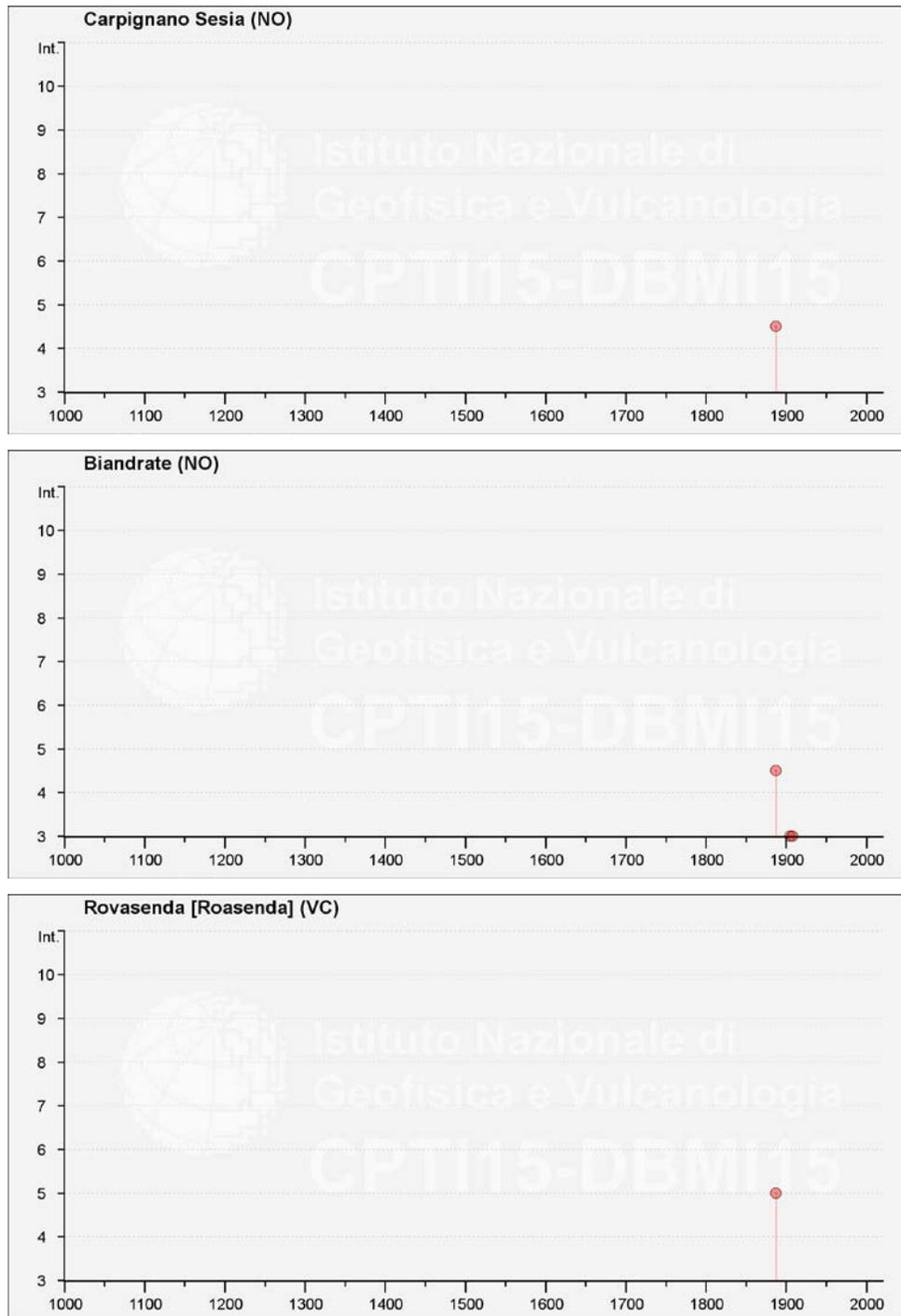


Fig. 17: risentimenti riferiti a Intensità > 3 avvertiti a Carpignano Sesia, Biandrate e Roasenda dall'anno 1000 (fonte INGV-DBMI15).

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 28 DI 66

Is	Year Mo Da Ho Mi Se	Area Epicentrale	Np	Io	Mw
4-5	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6	4.94

Tabella 2: storia sismica di Carpignano Sesia estratta da DBMI15. Is=Intensità locale (NC=terremoto non classificato, F=terremoto avvertito, NF=terremoto non avvertito). Np=numero di osservazioni macrosismiche. Io=intensità epicentrale.

4.2.2 Inquadramento amministrativo e normativa sismica

Dal punto di vista amministrativo l'ubicazione del pozzo esplorativo ricade nel comune di Carpignano Sesia.

In Fig. 18 viene riportata la classificazione delle zone Sismiche in Piemonte come normato dalla Delibera della Giunta regionale n.4-3084 12/12/2011. Questa figura è messa a confronto con la mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata da INGV (Ordinanza PCM 28/04/2006 n. 3519, All. 1b), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Fig. 19).

Per determinare la classificazione del Piemonte sono state utilizzate le stesse informazioni riportate nel capitolo precedente (cataloghi storici macrosismici e strumentali e informazioni geologiche-strutturali): questa varia da zona 3 a zona 4, ossia da zona dove possono verificarsi forti terremoti, ma rari, a zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari. Carpignano Sesia e i comuni limitrofi ricadono in zona 4.

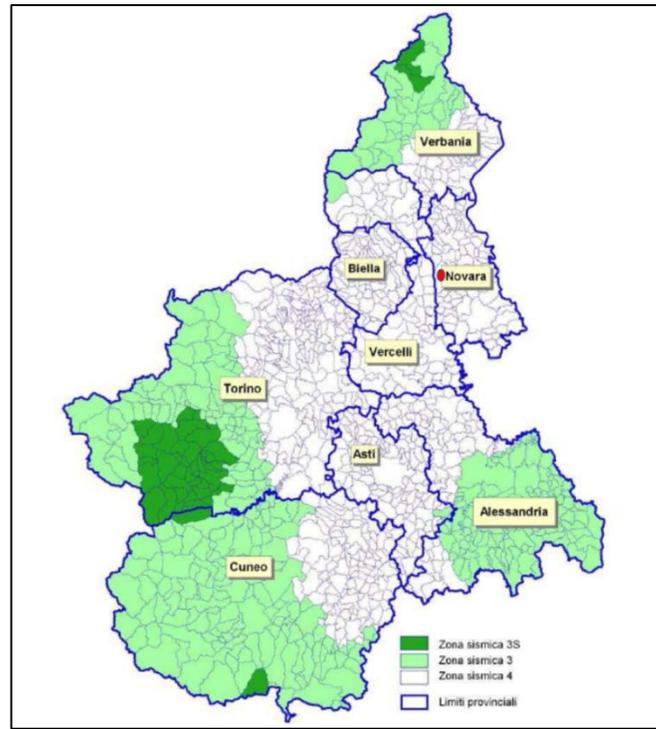


Fig. 18: classificazione sismica del Piemonte. In rosso è indicato il comune di Carpignano Sesia.

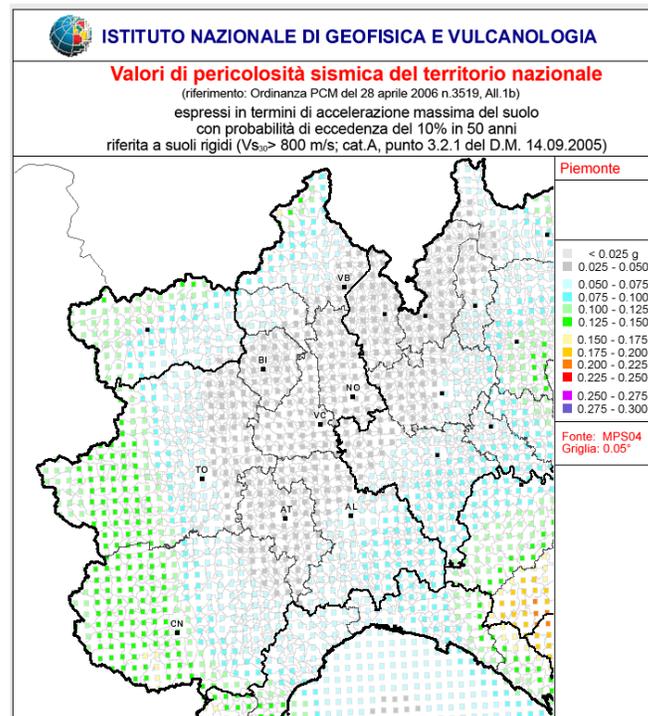


Fig. 19: valori di pericolosità sismica del Piemonte da fonte INGV.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 30 DI 66

4.2.3 Analisi statistiche

In Fig. 20 sono evidenziati i valori di pericolosità sismica per l'area di Carpignano Sesia e la probabilità di un evento forte in zona, estratti dal *Progetto DPC-INGV S1* presente sul sito WEB dell'INGV (Meletti e Montaldo, 2007).

Nella Fig. 20a si osserva che Carpignano Sesia si trova nella fascia con risposta massima di accelerazione prevista, riferita a suoli rigidi e pianeggianti, di 0.05g (colore grigio intenso, intervallo 0.025-0.050 g), con probabilità di superamento di questo valore del 10% in 50 anni. Questa informazione indica quanto si può prevedere essere forte a Carpignano Sesia il risentimento causato da terremoti, indipendentemente che gli epicentri siano vicini o lontani.

Si vuol sottolineare che le informazioni di accelerazione previste sono calcolate per suoli rigidi (velocità delle onde S a 30 m di profondità ≥ 800 m/s) e orizzontali, ma che tali valori devono essere corretti per situazioni diverse, come ampiamente sviluppato nel Decreto Ministeriale 14/01/2008. Nel Decreto del 2008 vengono indicati i valori intervallo da attribuire nelle diverse categorie di sottosuolo e nel caso di profili topografici non orizzontali. Per restare conservativi si può utilizzare il fattore più alto di correzione previsto per categorie di suoli A, B, C, (Tabella 3) che risulta essere 1.5 per la categoria C, in cui rientra il comune di Carpignano Sesia.

Come descritto nel paragrafo 3, Carpignano Sesia è ubicato in un'area pianeggiante costituita da sedimenti fluviali e fluvio-glaciali. Tale situazione non può essere riconducibile a quella di un suolo rigido, per cui valgono i valori di accelerazione del suolo sopraindicati in zone sub-orizzontali.

I siti su superfici pianeggianti, invece, non presentano segnali sismici amplificati. Il DM 14/01/2008 pone infatti un fattore di 1 come valore di amplificazione per tali situazioni.

La combinazione dell'amplificazione dovuta al suolo e quella dovuta alla morfologia, nella peggiore delle situazioni riscontrabili nell'area piemontese, è quindi 1.5.

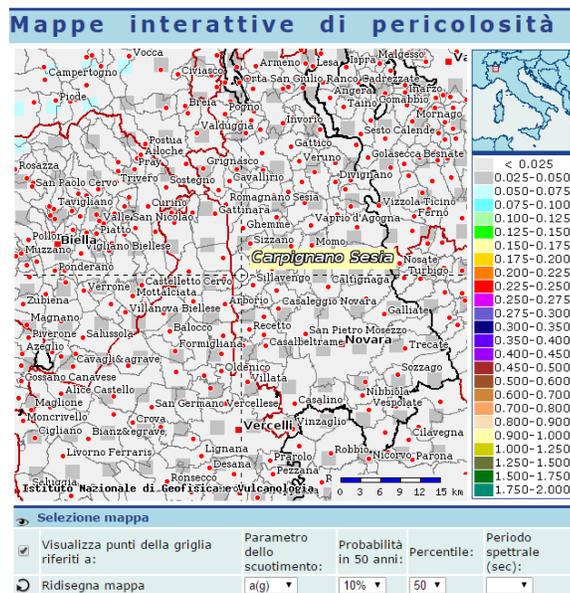


Questo rappresenta il fattore da moltiplicare ai valori di accelerazione massima stimati per l'area, 0.025-0.050 g, con un risultato di 0.038-0.075g per suoli formati da “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*” e “*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$* ” (DM 14/1/2008).

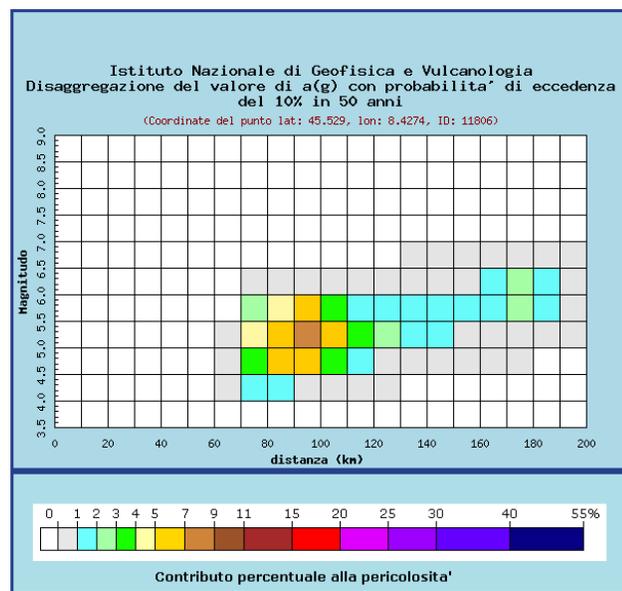
Categoria Sottosuolo	S _s
A	1.0
B	1.0 -1.20
C	1.0-1.50
D	0.9-1.80
E	1.0-1.60

Categoria Topografica	S _T
T1	1.0
T2	1.2
T3	1.2
T4	1.4

Tabella 3: coefficiente stratigrafico S_s per i diversi suoli e coefficiente di amplificazione topografica S_T (estratto da DM 14/1/2008).



a



b

Fig. 20: a) pericolosità sismica nell'area di Carpignano Sesia; b) contributo percentuale alla pericolosità (da INGV: dati on line della pericolosità sismica in Italia).



Eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO
CARPIGNANO SEISA”

DOC. N.
GEOM-2016035-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 32 DI 66

La Fig. 20b permette di valutare il contributo di diverse sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso (Spallarossa e Barani 2007). Per Carpignano Sesia il contributo più alto (9%) è per un terremoto di $M=5.0 - 5.5$ ad una distanza di 90 km - 100 km.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO “STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA”		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 33 DI 66

5 Struttura della rete di monitoraggio sismico

5.1 Geometria

Ai fini della progettazione della rete, gli ILG individuano 2 volumi di sottosuolo circostante il giacimento: il Dominio Interno di rilevazione (**DI**) e il Dominio Esteso di rilevazione (**DE**). L'estensione di tali domini è determinata dalle caratteristiche geometriche e produttive del giacimento in esame.

La rete in oggetto dovrà controllare l'attività produttiva sull'eventuale futuro campo di produzione a olio di Carpignano Sesia, al momento ancora in fase esplorativa. Al momento non è possibile definire la presenza del giacimento, quindi si fa riferimento agli obiettivi del pozzo e al prospect da essi delineato (Fig. 1).

Gli obiettivi sono i livelli carbonatici della Dolomia Conchodon e della Dolomia San Giorgio, a profondità attesa rispettivamente di 3234 e 3900 m slm. Per definire l'estensione areale del prospect è stata utilizzata la posizione del possibile contatto olio-acqua, al momento ipotizzata con l'isobata a 3900 m slm.

Per gli scopi della progettazione, in maniera cautelativa, si assume che la profondità massima di riferimento sia pari a 4 km.

Sulla base di tali dati l'estensione dei due domini, secondo le indicazioni degli ILG, è definita come:

- Dominio Interno: 3 km intorno e sotto il giacimento, fino in superficie.
- Dominio Esteso: un'ulteriore fascia di almeno 5 km intorno al DI.

All'interno dei domini sopra indicati le stazioni della rete andranno ubicate in modo da soddisfare le indicazioni geometriche date negli ILG.

A questo proposito si sottolinea che l'idoneità della rete agli ILG sarà valutata non sulla base di parametri geometrici o strumentali, ma dei soli 4 requisiti prestazionali seguenti:

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO “STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA”		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 34 DI 66

- 1) Rilevare e localizzare nel DI terremoti a partire da magnitudo locale inferiore a 1 ed incertezza di localizzazione dell’ipocentro di alcune centinaia di metri.
- 2) Nel DE migliorare di circa 1 unità la magnitudo di completezza (M_c) delle reti nazionali, con incertezza di localizzazione dell’ipocentro entro circa 1 km.
- 3) Determinare l’accelerazione e la velocità del suolo presso i punti di misura.
- 4) Integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti.

Di conseguenza, sono individuati i seguenti parametri significativi ai fini della progettazione (profondità da livello mare):

- $Z_r = 4$ km profondità massima del giacimento ai fini di progetto
- $D_I = 3$ km estensione del DI oltre il giacimento
- $D_E = 5$ km estensione del DE oltre il DI
- $Z_i = 7$ km profondità massima del DI
- $Z_e = 12$ km profondità massima del DE
- $D_{Si} \leq 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DI
- $D_{Se} > 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DE
- $M_c < 1.0$ magnitudo di completezza richiesta nel DE

La M_c è determinata sulla base delle mappe contenute nella Figura 3 di Schorlemmer et al. (2010), in cui si osserva che la M_c della Rete Sismica Nazionale per la pianura piemontese è non inferiore a 2.0.

Nella Fig. 21 è riportata un’immagine da satellite su cui sono indicati il prospect ipotizzato di Carpignano Sesia e i limiti del DI e del DE calcolati secondo i dati sopra riportati. Le dimensioni massime dell’area di monitoraggio sono 24x21 km, allungata in direzione Est-Ovest. E’ indicata anche la posizione del pozzo da perforare Carpignano Sesia-1 Dir.

Nella Fig. 22 sono individuate tramite l’indicatore giallo le possibili zone dove cercare i siti per l’installazione delle stazioni sismiche. Al momento non sono stati effettuati sopralluoghi



di campo ma è stata solo definita la configurazione geometrica della rete. Si tratta di posizioni assolutamente indicative che nella fase di progettazione della rete andranno esaminate con sopralluoghi di dettaglio per individuare i siti più idonei sia dal punto di vista logistico (accessibilità, patrimoniale ...) che operativo (rumore di fondo, segnale telefonico, illuminazione solare). In aggiunta l'area d'interesse presenta diversi centri abitati ed è attraversata da Nord a Sud dal fiume Sesia. Inoltre è soggetta ad attività agricola. Quindi sarà opportuno individuare siti che permettano l'installazione in modo adeguatamente riparato dal rumore ambientale, soprattutto dei sensori.

La rete proposta risulta formata da **6 stazioni**, 3 nel DI e 3 nel DE, con una copertura azimutale pressochè completa intorno al campo. A questo proposito bisogna considerare che buona parte del settore centrale, risulta occupata dagli abitati di Carpignano Sesia e Ghislarengo oltre che dal corso del fiume Sesia. Quindi risulterà difficile individuare in questa zona siti adeguati, cioè a basso rumore ambientale, per l'installazione di una stazione sismica. Per questo motivo, al momento non si è ipotizzata alcuna stazione al di sopra del possibile prospect.

Per il resto le indicazioni che derivano dallo studio della sismicità pregressa indicano una distribuzione abbastanza omogenea della scarsa sismicità nell'area d'interesse, e quindi le restanti ubicazioni saranno distribuite intorno al campo lungo le varie direzioni.

Come già discusso nel paragrafo 4.1.2 e mostrato in Fig. 11, non esistono stazioni della Rete Sismica Nazionale in prossimità del permesso di ricerca “Carisio”.

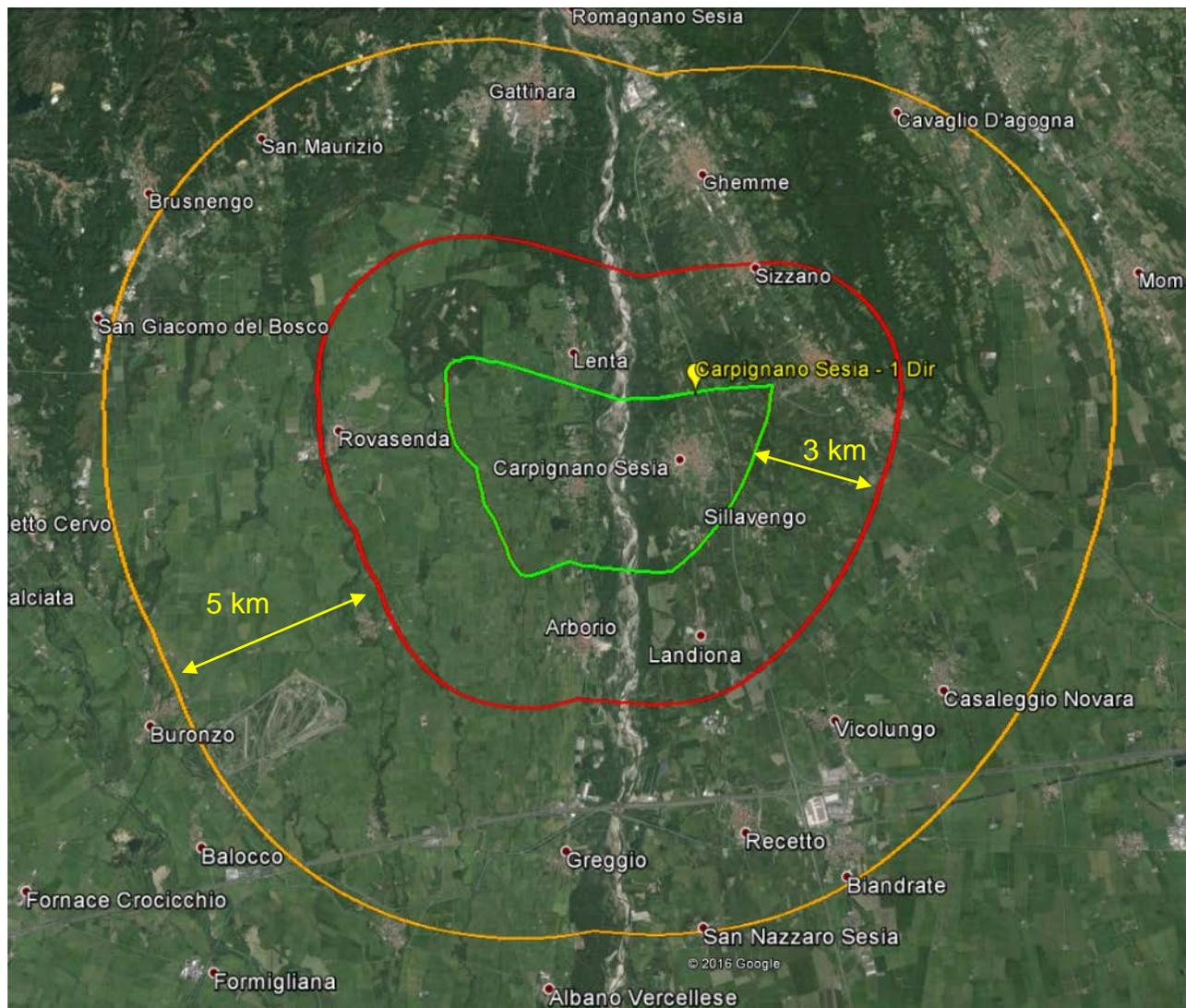


Fig. 21: immagine da satellite del prospect di Carpignano Seisa (verde) con indicata la posizione del pozzo Carpignano Sesia-1 Dir. In rosso è indicato il limite del DI e in arancio il limite del DE.

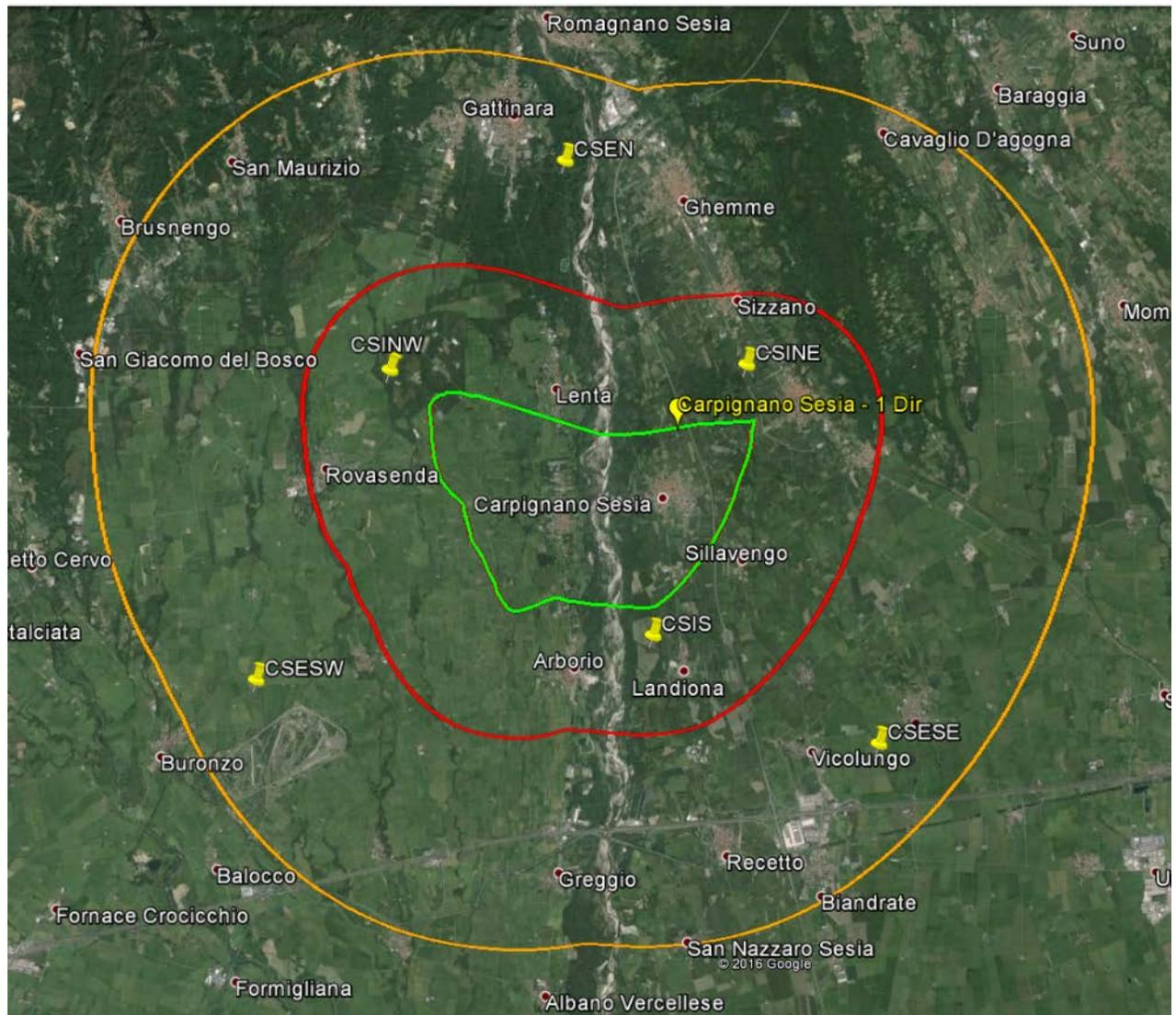


Fig. 22: come Fig. 21 con indicata la posizione delle possibili zone (giallo) dove ubicare le stazioni sismiche.

Al fine di quantificare la rete proposta, nella Tabella 4 sono riportate le distanze indicative tra tutte le possibili zone d'ubicazione e il pozzo Carpignano Sesia-1 Dir, mentre nella Tabella 5 sono indicate le distanze solo tra quelle adiacenti.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- 1) La distanza massima tra due ubicazioni sarà di circa 15 km (CSEN-CSESE).



Eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO
CARPIGNANO SEISA“

DOC. N.
GEOM-2016035-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 38 DI 66

- 2) La distanza minima tra due ubicazioni sarà di circa 6 km (CSESE-CSIS).
- 3) L'interdistanza nel DI sarà inferiore a circa 9 km, a causa della complessa situazione territoriale nella parte centrale.
- 4) L'interdistanza nel DE sarà inferiore a circa 15 km.
- 5) La distanza massima di una stazione dal pozzo Carpignano Sesia-1 Dir sarà di circa 12 km.
- 6) Entro 5 km circa dal pozzo si prevede che saranno messe in opera 2 ubicazioni.



Stazione	CSEN	CSESE	CSESW	CSINE	CSINW	CSIS	Carpignano Seisa-1 Dir
CSEN		15.5	14	6.5	6.5	11.5	6.5
CSESE	15.5		15	9.5	14.5	6	9
CSESW	14	15		14	8	9.5	12
CSINE	6.5	9.5	14		8.5	6.5	2
CSINW	6.5	14.5	8	8.5		9	7
CSIS	11.5	6	9.5	6.5	9		5
Carpignano Seisa-1 Dir	6.5	9	12	2	7	5	

Tabella 4: distanze in km tra le possibili ubicazioni delle stazioni sismiche di Carpignano Sesia.
Sono indicate anche le distanze dal pozzo Carpignano Seisa-1 Dir.

Stazione	CSEN	CSESE	CSESW	CSINE	CSINW	CSIS	Carpignano Seisa-1 Dir
CSEN				6.5	6.5		
CSESE			15	9.5		6	
CSESW		15			8	9.5	
CSINE	6.5	9.5			8.5	6.5	2
CSINW	6.5		8	8.5		9	7
CSIS		6	9.5	6.5	9		5
Carpignano Seisa-1 Dir				2	7	5	

Tabella 5: come Tabella 4, ma solo tra le ubicazioni adiacenti.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 40 DI 66

5.2 Strumentazione

Seguendo le indicazioni degli ILG le stazioni saranno equipaggiate nel seguente modo:

- Accelerometri a 3 componenti su tutte le stazioni.
- Sismometri a 3 componenti a Corto Periodo con periodo naturale ≥ 1 s su 7 stazioni.
- Sismometro a 3 componenti a Larga Banda con periodo naturale ≥ 20 s su una delle stazioni nel DI.
- Sensori installati in superficie. Eventuali installazioni in pozzi superficiali saranno valutate dopo aver svolto le misure di rumore, durante la progettazione di dettaglio.
- Acquisitore a 6 canali con conversione analogico-digitale a 24 bit.
- Frequenza di campionamento ≥ 200 Hz per i sismometri, ≥ 100 Hz per gli accelerometri.
- Banda utile di segnale:
 - sismometri corto periodo almeno 1-80 Hz;
 - sismometri larga banda almeno 0.05-80 Hz;
 - accelerometri almeno 0-40 Hz.
- Registrazione in continua H24.
- Trasmissione dati H24 al sistema centrale di controllo tramite connessioni ad alta velocità, tipo segnale UMTS.
- Salvataggio in locale di almeno 2 mesi di dati grezzi su memoria non volatile, recuperabili a posteriori nel caso di prolungata assenza del collegamento con la stazione centrale.
- Sincronizzazione temporale dei dati tramite segnale GPS.



Per quanto riguarda l'alimentazione, essa sarà in tensione continua a 12 V tramite linea elettrica. Il consumo massimo previsto dalla stazione completamente funzionante non sarà superiore a 5 W. Saranno utilizzate batterie tampone per garantire il funzionamento per alcuni giorni anche in assenza di alimentazione esterna. L'ipotesi di alimentazione tramite pannelli solari sarà valutata in sede di progettazione.

I sensori saranno installati in un pozzetto superficiale in cemento, con dimensioni indicative 1.5x1.5x1.5 m, all'interno del quale si trova un plinto di cemento di dimensioni 60x60 cm circa su cui essi saranno appoggiati.

La restante strumentazione sarà contenuta all'interno di armadietti stagni, con classe di protezione almeno IP55, tipo quelli usati per i quadri elettrici. Questi armadietti potranno essere installati all'aperto o riparati presso garage o scantinati, a seconda delle disponibilità logistiche e di proprietari esterni. Nelle Fig. 23 - Fig. 26 sono mostrate alcune tipologie di installazione delle stazioni già in funzione sulle reti Eni.

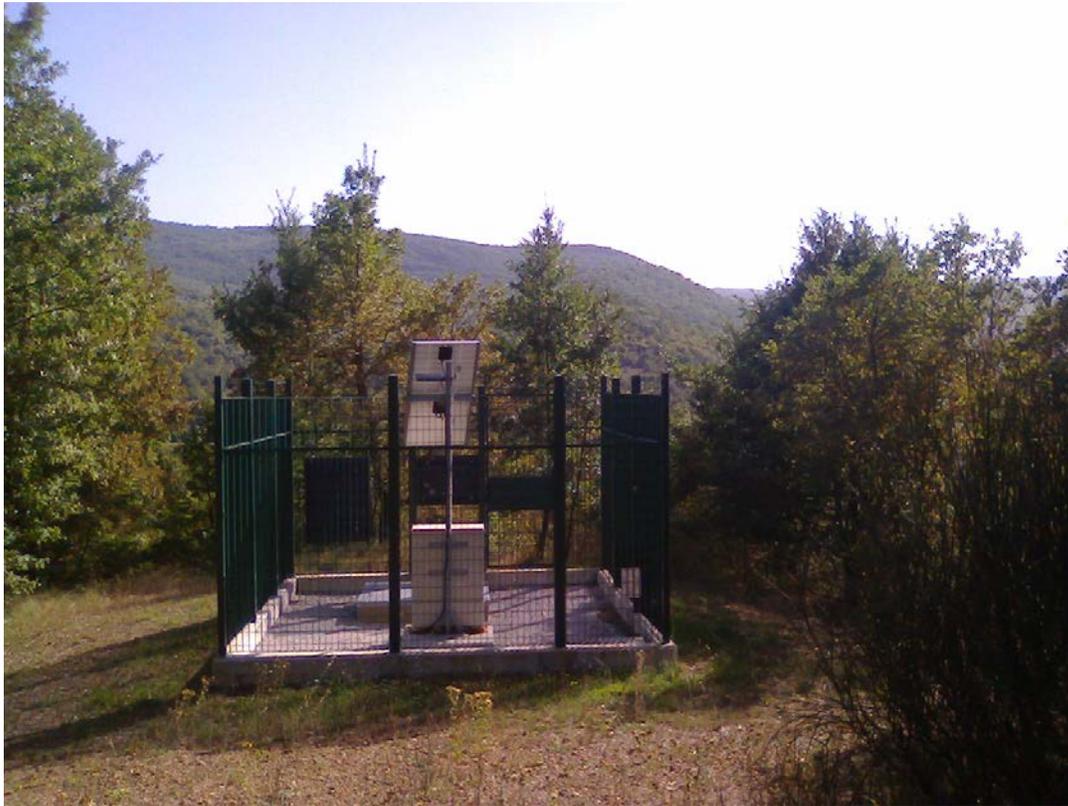


Fig. 23: esempio di stazione sismica completamente autonoma in zone remote.



Fig. 24: esempio di alloggiamento della strumentazione nell'armadietto e del sensore all'interno del pozzetto.



Fig. 25: armadietto con la strumentazione installato all'interno di deposito per attrezzi agricoli.



Fig. 26: armadietto con la strumentazione installato sul retro di un garage e pozzetto del sensore.



Le stazioni remote trasmetteranno tutti i dati grezzi in modo continuo e in near-real time (con ritardi complessivi dell'ordine del minuto) alla stazione centrale di controllo, ubicata presso gli uffici Eni di San Donato Milanese dove opera il gruppo microsismico di Eni. Qui i dati saranno sottoposti a controllo di qualità ed elaborazione.

Nel caso in cui i dati grezzi debbano essere distribuiti a terze parti, sarà permesso l'accesso alle stazioni remote tramite connessioni protette e autorizzate. In questo modo le terze parti potranno scaricare direttamente i dati grezzi dalle stazioni remote, senza alcun intervento di Eni e senza dover accedere al server centrale di Eni.

Se necessario, sarà comunque garantito anche lo scarico dei dati dal server centrale di controllo della rete sismica.

Sulla stazione centrale funzionerà un software di elaborazione automatica per l'elaborazione continua dei dati raw in modo autonomo, utilizzando i parametri e le opzioni selezionate dall'utente. Lo scopo è di rilevare l'esistenza di possibili eventi sismici, localizzarli e calcolare la magnitudo. In seguito, i risultati saranno comunque rivisti da un sismologo per la validazione finale, utilizzando il software di elaborazione interattiva.

Seguendo l'approccio standard utilizzato per tutte le reti Eni, i risultati dell'attività saranno diffusi ufficialmente tramite bollettini emessi con cadenza mensile. Tali bollettini conterranno tutte le informazioni riguardanti sia il funzionamento delle stazioni sia i sismi rilevati, corredate da mappe e analisi statistiche.



6 Proposta Piano di Monitoraggio plano-altimetrico

Il programma di perforazione del pozzo Carpignano Sesia – 1 Dir indica le seguenti coordinate di superficie:

Long. 04° 01' 23.922" W MM Lat. 45° 32' 49.769" N

Piana est 1455426,48 Piana nord 5043988,88 (Gauss Boaga Fuso Ovest)

Le coordinate di fondo pozzo risultano essere:

Long. 04° 02' 32.058" W MM Lat. 45° 32' 17.803" N

Piana est 1453941,71 Piana nord 5043013,04 (Gauss Boaga Fuso ovest)

Le coordinate corrispondenti, riferite all'ellissoide WGS84, risultano essere circa:

Superficie Long. 8° 25' 43.04" E Lat. 45° 32' 52.38" N

Fondo Pozzo Long. 8° 24' 34.89" E Lat. 45° 32' 20.41" N

La quota del piano campagna è di 205 m slm.

In relazione alle informazioni di cui siamo allo stato attuale in possesso, sulle dimensioni e forma ipotizzate del giacimento (linea oil-water contact) si ritiene che la migliore metodologia per un sistema di monitoraggio, nel caso di esito minerario positivo, in grado di rilevare eventuali deformazioni del suolo, non possa prescindere dall'associazione di due diverse metodologie utilizzate in modo congiunto, quali il sistema GPS in Continuo (CGPS) e il monitoraggio mediante interferometria differenziale Radar satellitare (SAR).



In tal senso e senza ulteriori informazioni, si ritiene che tali sistemi possano rispondere adeguatamente alle indicazioni contenute negli Indirizzi e Linee Guida (ILG) emessi dal MISE.

Il monitoraggio CGPS sarà inizialmente configurato prevedendo l'installazione di una rete di monitoraggio, di cui una stazione, definita stazione master, sarà allestita nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit, vedi paragrafo 7.1). La postazione master sarà ubicata nel pressi della postazione di partenza del pozzo (coordinate di superficie). Le altre due postazioni che completeranno la rete di monitoraggio, saranno ubicate in modo tale da realizzare, per quanto possibile, una forma il più possibile vicina a quella di un triangolo equilatero, in funzione dei vincoli territoriali esistenti.

La distanza orizzontale tra le coordinate di superficie e le coordinate di fondo pozzo, in funzione della geologia della zona e del fatto che, il programma di perforazione del pozzo, prevede una profondità verticale di 4500 metri, consentono di ritenere che non sia necessaria, anche durante la eventuale fase successiva di produzione, l'installazione di una postazione di monitoraggio in corrispondenza della verticale sulle coordinate di fondo pozzo.

Allo stato attuale, ed in considerazione della geologia della zona, non si ritiene necessario sviluppare anche una rete di livellazione di alta precisione, poiché questo tipo di monitoraggio consente di ottenere esclusivamente una informazione puntuale sulle eventuali variazioni altimetriche. Inoltre, l'area presenta diverse realtà di insediamento, residenziale e produttivo, tale da fare ritenere che la copertura radar, associata al sistema CGPS, possa essere sufficiente ad ottenere informazioni di tipo altimetrico oltre che planimetrico, di precisione comparabile con quanto ottenibile attraverso la livellazione di alta precisione, e con una copertura areale più completa.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 47 DI 66

7 GPS in acquisizione continua

Il monitoraggio delle variazioni plano-altimetriche in continuo (CGPS), è una delle tecniche maggiormente utilizzate da Eni Upstream che, fin dal 1999, ha avviato la fase di sperimentazione della metodologia e successivamente, nel corso degli anni, ha implementato la propria rete di stazioni di monitoraggio sia on-shore sia off-shore.

Attualmente la rete di monitoraggio CGPS Eni Upstream è composta da 70 stazioni di monitoraggio (20 on-shore e 50 off-shore).

Il sistema si basa sull'osservazione in continuo (h24), dei satelliti della costellazione GPS in orbita intorno alla terra alla quota di circa 20.200 km, ed è in grado, utilizzando appropriati software scientifici di elaborazione (attualmente BERNESE 5.2), di determinare trend di variazioni plano-altimetriche con precisione sub-centimetrica.

La complessità della valutazione delle componenti periodiche, che incidono sul valore dei risultati ottenuti, richiede che sia necessario un periodo di acquisizione continua non inferiore ai 36 mesi, come risulta dalle relazioni di certificazione del nostro ente certificatore (attualmente Università degli Studi di Bologna – Dipartimento di Fisica).

La postazione di monitoraggio CGPS sarà così composta (Fig. 27):

- Antenna choke ring
- Ricevitore a doppia frequenza
- Sistema di telecomunicazione opportuno (in funzione della disponibilità di segnale GSM/GPRS)
- Sistema di alimentazione
- Apparatì vari per la protezione elettrica e la sicurezza



Fig. 27: Antenna CGPS e Box Strumentazione.

Il sistema acquisirà i dati GPS h24 - 365 gg/anno, con una acquisizione ogni 30 secondi (Fig. 28). I dati saranno elaborati con software scientifico Bernese, utilizzando la effemeridi precise (ciò implica la necessità di attendere il rilascio delle effemeridi precise da parte del consorzio IGS).

L'elaborazione sarà effettuata con riferimento alla stazioni permanenti presenti intorno alla zona da monitorare. I dati delle stazioni CGPS consentiranno la calibrazione delle immagini SAR.

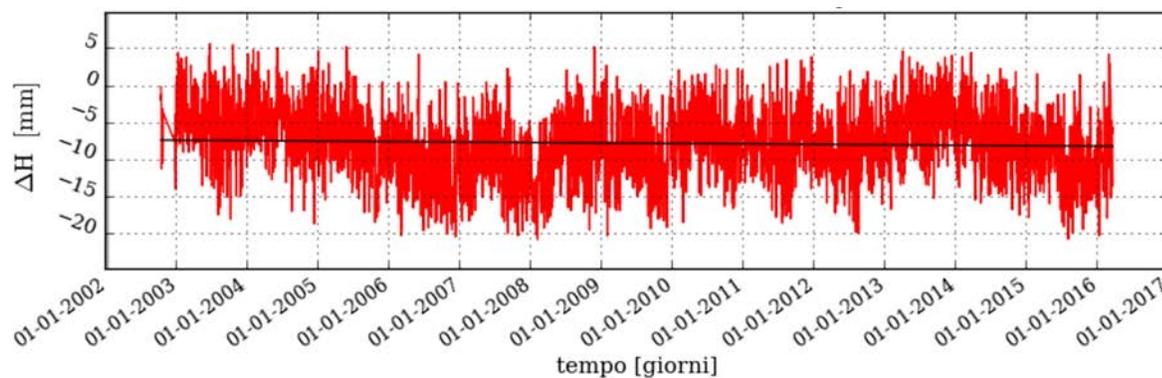


Fig. 28: Esempio di grafico variazioni altimetriche.



La complessità della valutazione delle componenti periodiche, indipendenti dalle attività antropiche di cui alla finalità del progetto, richiede che sia necessario un periodo di acquisizione continua non inferiore ai 36 mesi, come riportato dalla letteratura scientifica in materia di analisi delle serie storiche CGPS.

I risultati saranno sottoposti a processo di certificazione da parte di un Ente accademico.

7.1 Configurazione S.S.U.

La configurazione S.S.U., concepita e realizzata da Eni fin dal 2003, si compone di un'unica postazione in cui sono alloggiate una antenna CGPS e due “corner reflector” SAR (retro-riflettori artificiali permanenti). La postazione è normalmente equipaggiata anche con un caposaldo di livellazione.

Questa configurazione, pur in assenza di una rete di livellazione, consentirà nel nostro caso di utilizzare, in modo congiunto, due diversi metodi di misura (CGPS e interferometria radar satellitare), cercando di esaltare le peculiarità di ognuno dei metodi. Il rilievo CGPS consente di ottenere, con il consolidamento dei rilevamenti, una elevata precisione (di ordine sub-centimetrico), sia in planimetria sia in altimetria (nel dominio dell'ellissoide), riferiti al centro di fase dell'antenna ricevente; il rilievo SAR consente, anch'esso con il consolidamento delle immagini rilevate, di ottenere elevate precisioni (millimetriche) sia in planimetria (nella sola componente est-ovest) sia in altimetria. Il rilevamento SAR non è però assoluto, bensì esso è riferito ad un punto ad elevata coerenza, situato all'interno dell'immagine rilevata. L'associazione delle due metodologie consente di utilizzare le informazioni ricavate con il monitoraggio CGPS per la calibrazione dei dati SAR, ottenendo in questo modo una informazione molto precisa e assoluta (nel dominio dell'ellissoide), distribuita su una vasta porzione di territorio. L'eventuale informazione ottenuta mediante



livellazione, può confermare il trend di movimento (informazione solo in altimetria) riferito ad un punto singolo nel dominio del geoide.

I tre metodi di misura offrono quindi informazioni complementari, che possono essere vantaggiosamente utilizzati sia per un confronto reciproco (sulle velocità rilevate) sia per evitare il rischio derivante da una errata interpretazione dei risultati di un singolo metodo.

Le immagini in Fig. 29 illustrano la S.S.U. nell’allestimento originale (immagine a sinistra) e nell’allestimento attuale (immagine a destra).



Fig. 29: S.S.U. Satellite Survey Unit.

7.2 Rete di monitoraggio proposta

La rete CGPS proposta si compone di tre postazioni: la prima, denominata “rete CS master” ubicata all’interno dell’area pozzo, le altre due, denominate “rete CS1” e “rete CS 2” saranno ubicate, nel rispetto dei vincoli logistici dell’area e previa definizione di idoneo titolo di diritto reale sulle aree, in modo tale da realizzare i tre vertici di un triangolo il più possibile di forma regolare (Fig. 30). Tutte le postazioni saranno equipaggiate con strumentazione di



tipo geodetico. La postazione master sarà realizzata nella configurazione S.S.U. descritta nel paragrafo 7.1.

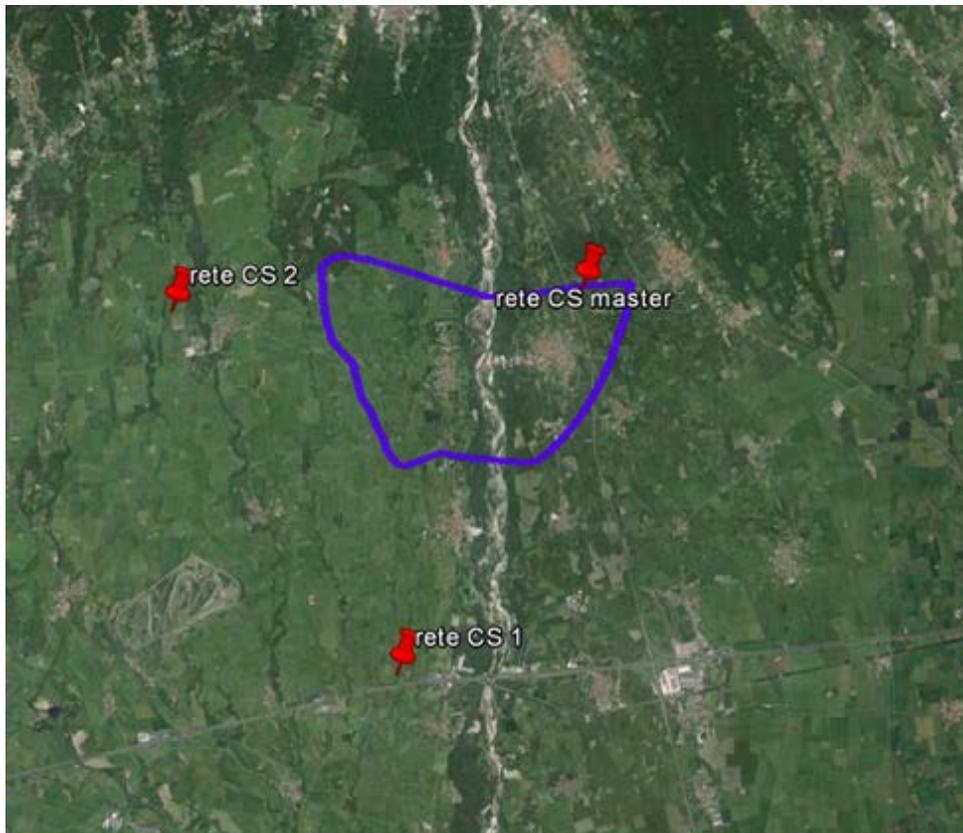


Fig. 30: Proposta rete di monitoraggio CGPS.

7.3 Verifica Gap Analysis rispetto agli ILG

Gli ILG emessi dal MiSE, prevedono l'utilizzo di stazioni CGPS di tipo Geodetico (strumentazioni a doppia frequenza) ed in questo senso le strumentazioni adottate da Eni rispettano pienamente quanto previsto dagli ILG.



Inoltre viene richiesta l'integrazione dei dati utilizzando i dati rilevati da almeno 5 stazioni GPS permanenti, esistenti nella zona ed in acquisizione da almeno 2 anni. Le verifiche condotte hanno consentito di evidenziare la presenza di una rete di stazioni permanenti afferenti il consorzio definito tra la Regione Piemonte e la Regione Lombardia, in numero sufficiente e ubicate a distanze inferiori a quanto richiesto dagli ILG (200-300 km).

Allo stato attuale sono state individuate, dal punto di vista geometrico, le seguenti postazioni permanenti, appartenenti alla rete regione Piemonte-Lombardia ed ubicate all'esterno dell'area da monitorare, partendo dalla prima in senso antiorario rispetto all'area pozzo: Gozzano, Biella, Cuorgne, Crescentino, Novara e Como.

Sono in corso ulteriori verifiche per appurare da quanto tempo le stazioni permanenti individuate risultano in esercizio. Si ritiene tuttavia che, nell'eventualità che una o più stazioni tra quelle individuate non siano in linea con quanto previsto dagli ILG, la disponibilità di dati afferenti altre reti di rilevamento CGPS (ad esempio rete ITALPOS) sia tale da consentire agevolmente il rispetto degli ILG.

Allo stato attuale la rete progettata rispetta le indicazioni degli ILG anche rispetto alle interdistanze, poiché esse sono state progettate con uno sviluppo lineare massimo di circa 10 km, nel pieno rispetto di quanto indicato dagli ILG che danno quali valori di riferimento 10-15 km. Anche da questo punto di vista quindi il piano di monitoraggio proposto è in linea con quanto previsto dagli ILG.



8 Interferometria Differenziale (SAR)

L'analisi di monitoraggio da Interferometria Multitemporale di dati SAR (Synthetic Aperture Radar), conosciuta anche con l'acronimo InSAR, è una delle tecniche maggiormente utilizzate da Eni e universalmente riconosciuta come uno dei più validi metodi areali a terra per la misura diretta delle deformazioni superficiali del terreno. Essa consiste nello studio dei movimenti di Scatteratori Permanenti e Diffusi (analisi della serie storica del singolo scatteratore e velocità media di movimento dello stesso, rispetto ad un punto di riferimento interno alla scena e rispetto al tempo zero di acquisizione dell'immagine), utilizzando dati satellitari radar ad apertura sintetica (SAR). L'analisi di dati, acquisiti ripetutamente nel tempo su una stessa area di interesse, consente l'individuazione di alcuni bersagli al suolo su cui risultano possibili misure di spostamento estremamente accurate (precisione di circa 2 mm/anno).

Il sistema radar fornisce una misura arealmente molto valida e precisa, ma solo in senso relativo, riferita cioè ad un punto interno all'immagine radar stessa, considerato stabile a fronte di analisi di dettaglio effettuate in fase di processing dei dati. Suddetto punto deve infatti rispecchiare delle condizioni di qualità imprescindibili, dette indici di precisione, tra le quali altissima coerenza e alta stabilità nel tempo rispetto al satellite. I risultati così ottenuti dall'analisi InSAR necessitano perciò di uno o più dati puntiformi con valori di spostamento piano altimetrico assoluti, ottenibili con metodi complementari quali il CGPS (Continuous Global Positioning System), sui cui il risultato verrà poi tarato.

8.1 Analisi INSAR sull'area d'interesse

Nelle applicazioni InSAR le bande comunemente utilizzate sono la banda L (frequenza 1-2 GHz, lunghezza d'onda ~24 cm), la banda C (frequenza 5-6 GHz, lunghezza d'onda ~6 cm) e la banda X (frequenza 8-12 GHz, lunghezza d'onda ~3 cm).



Allo stato attuale l'analisi dei dati esistenti sull'area del permesso di ricerca Carisio evidenzia una buona copertura dell'area con i satelliti in banda C da noi normalmente utilizzati per le analisi standard (RADARSAT 1 e 2).

I satelliti RADARSAT hanno la peculiarità di poter acquisire con rivisitazione dell'area ogni 24 giorni, a differenza di satelliti in Banda C tipo ENVISAT o ERS 1-2, che hanno tempo di rivisitazione di 35 giorni. (vedi Fig. 31)

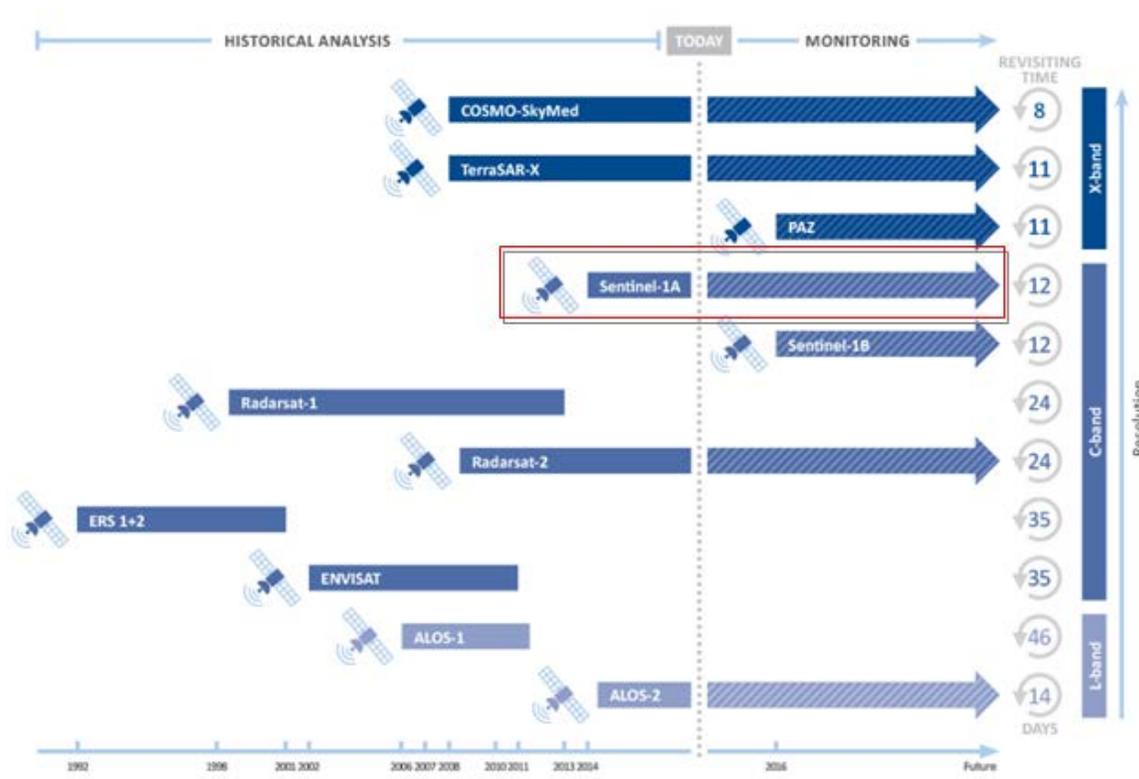


Fig. 31: Rappresentazione schematica dei satelliti che montano a bordo sensori SAR utilizzabili per applicazioni interferometriche (www.treuropa.com).

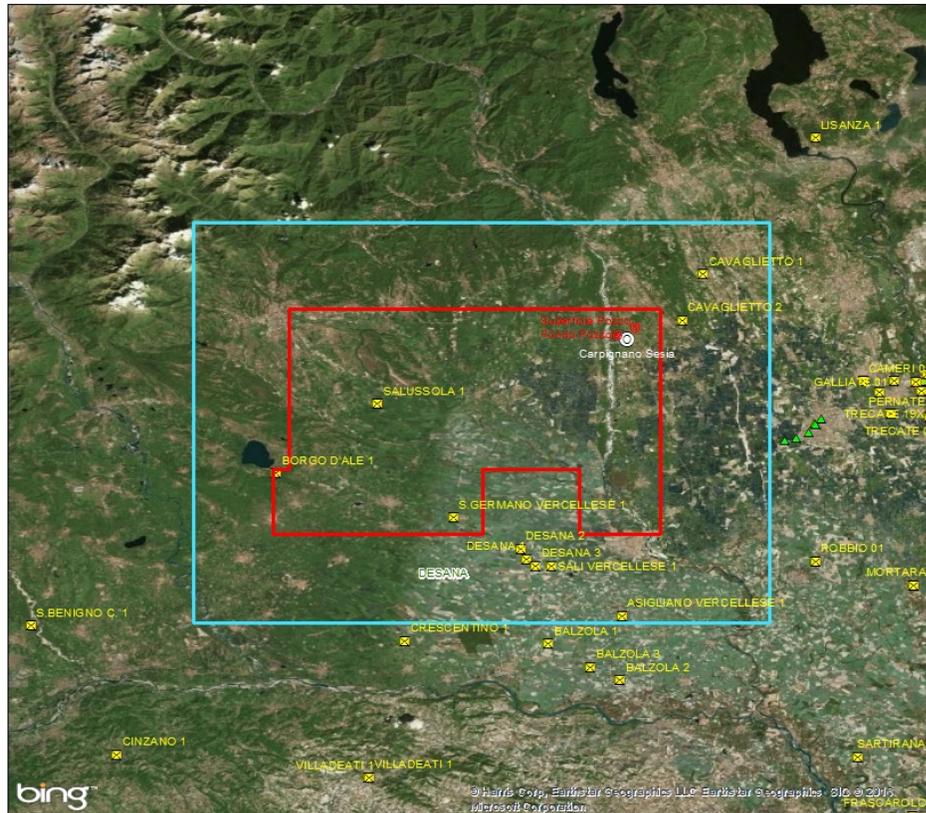
Dalle ricerche effettuate nei database dei satelliti commerciali disponibili sull'area d'interesse si è visto che a partire dal 2014 sono state già acquisite dal satellite SENTINEL

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 55 DI 66

1 dell'Agenzia Spaziale Europea, 58 immagini in geometria Ascendente e 59 immagini in geometria Discendente.

Suddetto satellite risulta ottimale per il monitoraggio dell'area essendo in linea con quanto previsto dalle linee guida sul monitoraggio delle deformazioni del suolo, redatte dal MiSE. Inoltre si ricorda che SENTINEL 1 ha la peculiarità di avere un tempo di rivisitazione di 12 giorni, che per i satelliti che alloggiavano sensori radar in Banda C lo rendono unico nel suo genere. Si è verificato inoltre che nell'area d'interesse esistono dati storici, in entrambe le geometrie, provenienti da sensori in Banda X (frequenza di 8-12 GHz e lunghezza d'onda pari a 3.10 cm) a partire da fine 2009.

Nella Fig. 32 si riporta la cartografia dell'area di interesse con evidenziato il frame di acquisizione SAR che sarà utilizzato per il piano di monitoraggio.



Analisi di fattibilità InSAR



Permessi Ricerca CARISIO

- Pozzo_Carpignano
- Carpiignano_Sesia
- Frame_Acquisizione_SAR
- Permessi_Carisio
- ⊗ CDB Well Surface

Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

0 5 10 20
Km

Fig. 32: Area di interesse per il piano di monitoraggio delle deformazioni del suolo. In azzurro viene indicato il frame utilizzato per l'analisi con i dati SAR.

Allo scopo di capire se ci sono punti ad alta coerenza utilizzabili per il processing SAR, è stato fatto un controllo su dati provenienti dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (www.pcn.minambiente.it/GN/).

Le figure Fig. 33 e Fig. 34 mostrano i dati provenienti dal Geoportale, in questo caso sono stati utilizzati i satelliti ERS 1-2 ed ENVISAT (entrambi in Banda C). Le immagini sono puramente indicative e mostrano la massima risoluzione utilizzabile dal portale.

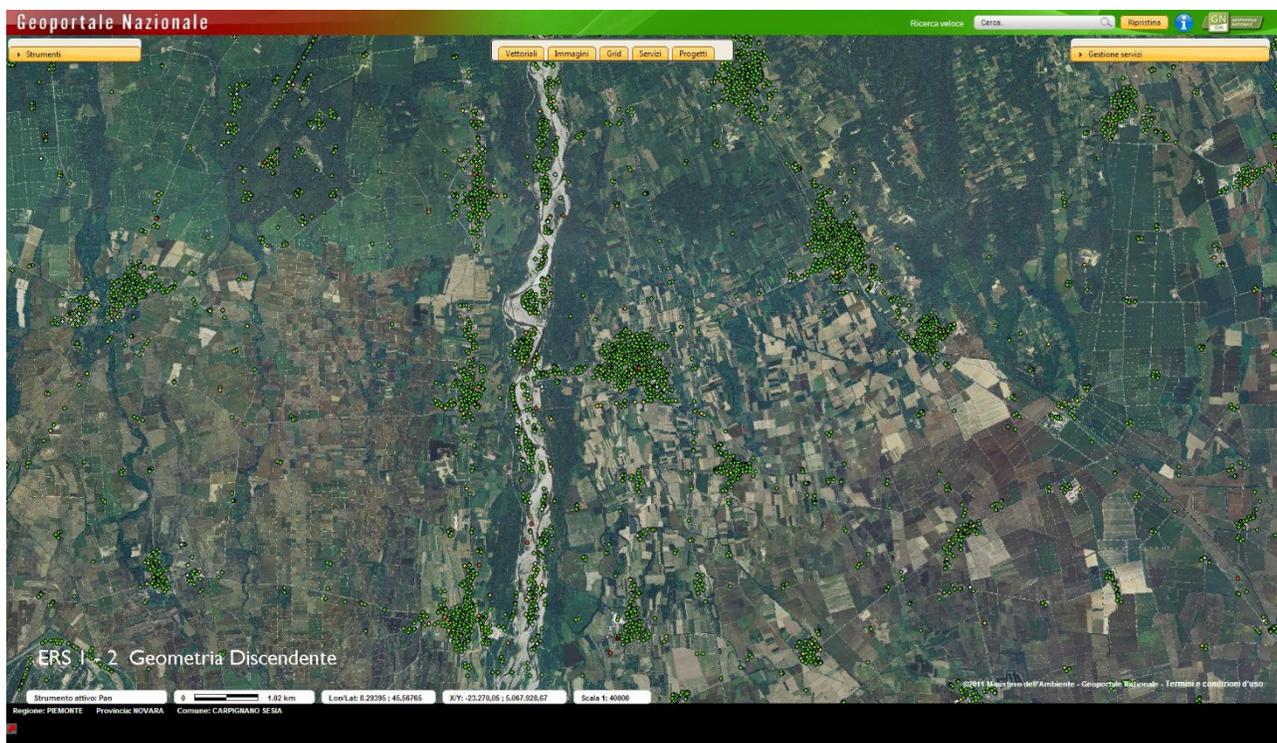
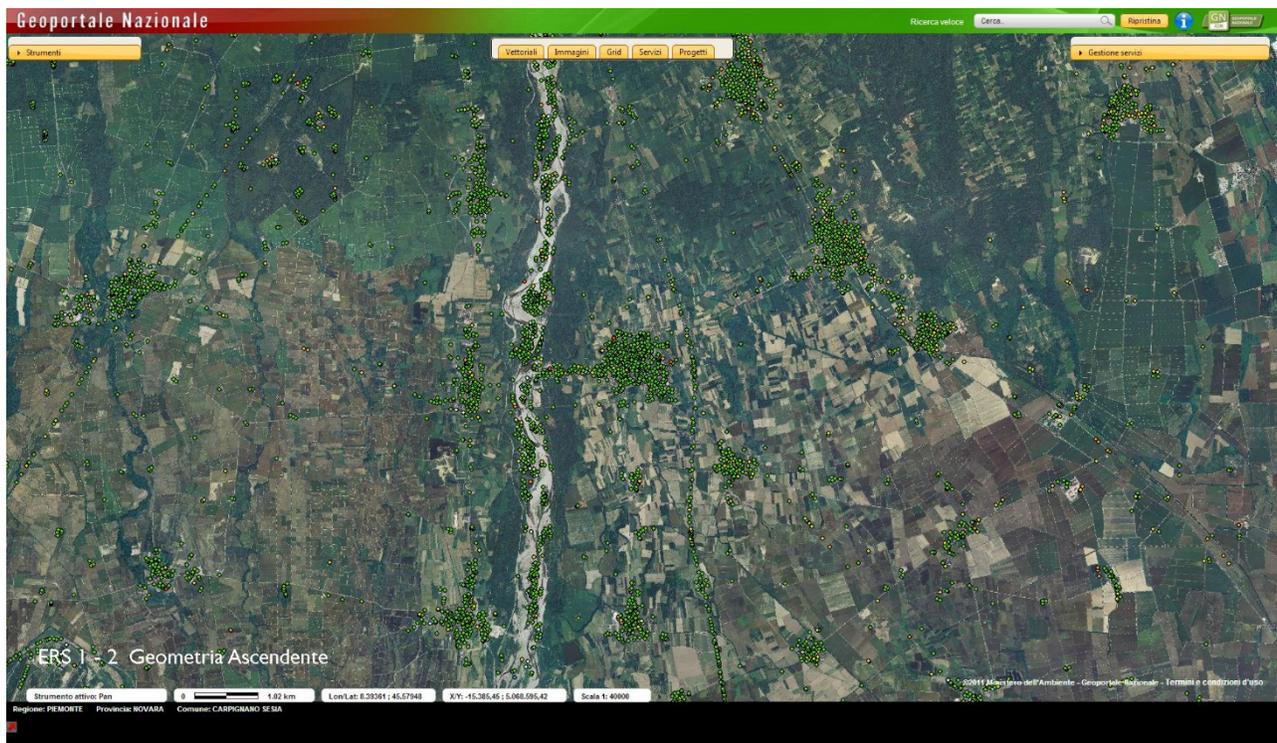


Fig. 33: Dati ERS - Immagini provenienti dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (www.pcn.minambiente.it/GN/). I punti, principalmente verdi, indicano la posizione degli scatteratori.

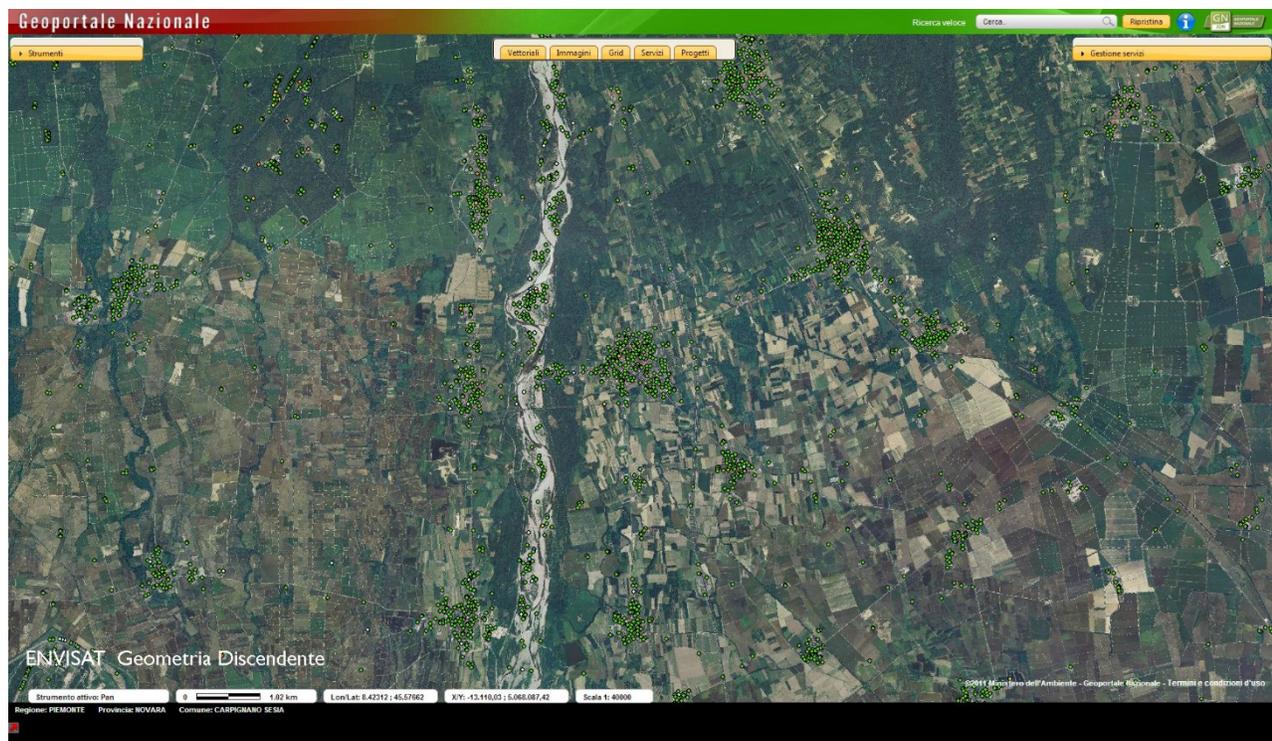
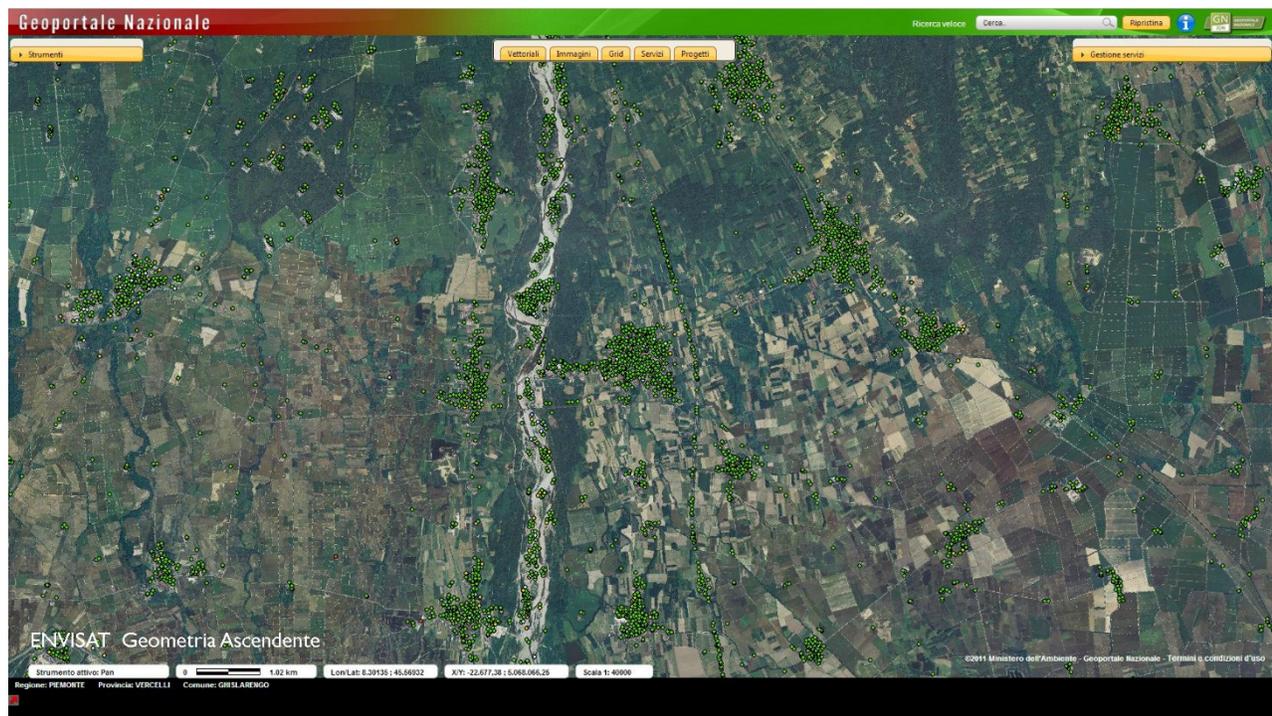


Fig. 34: Dati ENVISAT - Immagini provenienti dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente (www.pcn.minambiente.it/GN/). I punti, principalmente verdi, indicano la posizione degli scatteratori.



Come si evince dalle immagini, si riescono ad identificare degli scatteratori permanenti e diffusi.

Date le condizioni morfologiche e vegetative dell'area di interesse, la densità dei punti è maggiore nei principali centri abitati e minore od assente nei campi o nelle zone vegetate; la densità risulta comunque essere sufficiente per poter identificare le deformazioni in atto.

Per inquadrare la morfologia dell'area è stata fatta anche un'analisi morfologica preliminare sul DEM (Modello Digitale di Elevazione) estrapolato dalla missione SRTM Italy (Fig. 35).

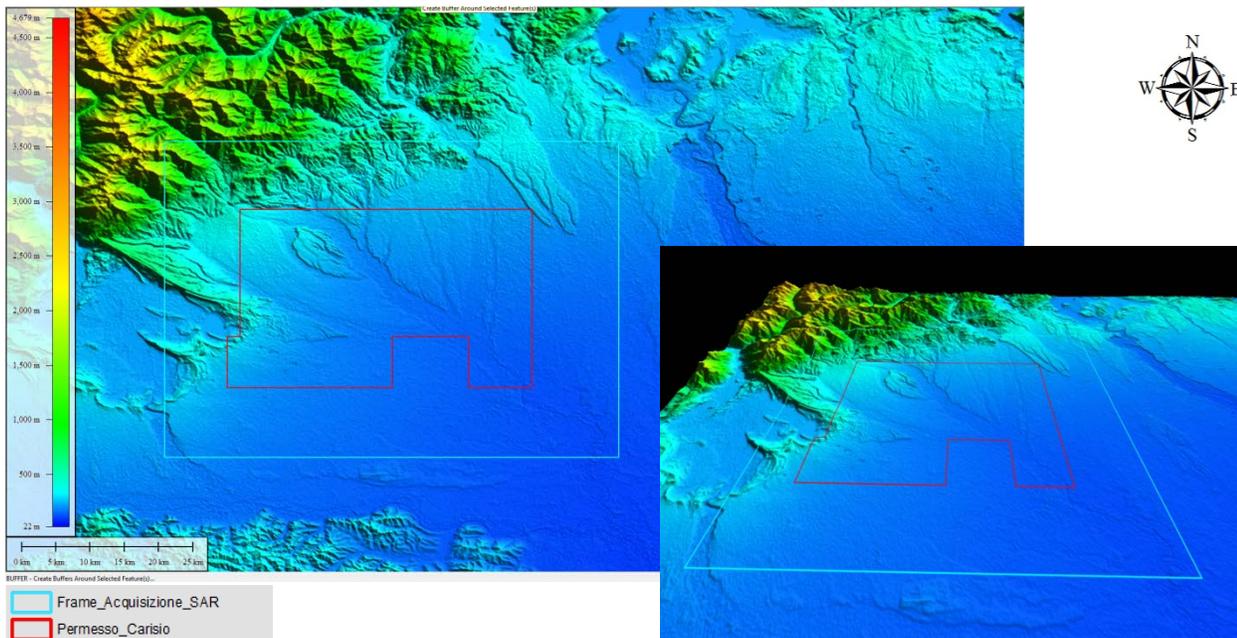


Fig. 35: Shaded Relief dell'area di interesse (quadrato rosso). I dati topografici e di elevazione sono stati rilevati nel febbraio 2000 dallo Space Shuttle Endeavour che per questa missione utilizzava il SAR. La cella elementare di misurazione (pixel) corrisponde a 3 secondi d'arco quadrati, ossia a circa 90m x 90m misurati sul terreno.

La conoscenza delle informazioni geomorfologiche e della tipologia dell'area è molto importante in quanto si ripercuotono notevolmente sul processing del dato SAR. Come mostrano le Fig. 33 e Fig. 34 l'area d'interesse si trova in una zona moderatamente coltivata/vegetata e principalmente piana. Non ci si aspettano pertanto rilevanti problemi nel



processing dei dati causati dalla morfologia. Inoltre, l'informazione della presenza di vegetazione ci permette di intuire preliminarmente la capacità di restituzione delle informazioni spaziali del processing SAR (distribuzione e copertura spaziale della nuvola di scatteratori permanenti e diffusi).

In conclusione, per il seguente piano di monitoraggio si prevede l'utilizzo di dati già acquisiti provenienti dal Satellite SENTINEL 1, con sensore in Banda C e tempo di rivisitazione di 12 giorni, a partire da ottobre 2014. Inoltre per una maggiore consistenza della serie storica riguardante il monitoraggio dell'area, si ritiene opportuno l'utilizzo di immagini acquisite dai satelliti RADARSAT 1 e 2, con una necessaria finestra temporale di sovrapposizione dei dati RADASAT 2 e Sentinel 1 sufficiente da garantire continuità, precisione ed accuratezza delle analisi.

Verranno acquisite entrambe le geometrie (ascendente e discendente) e successivamente al processing dei dati SAR, verranno estrapolate le componenti del moto (verticale ed orizzontale). Per poter rendere il dato SAR assoluto, e quindi svincolarlo dal punto di riferimento, la componente verticale del moto verrà successivamente calibrata utilizzando i CGPS previsti per il suddetto piano di monitoraggio.

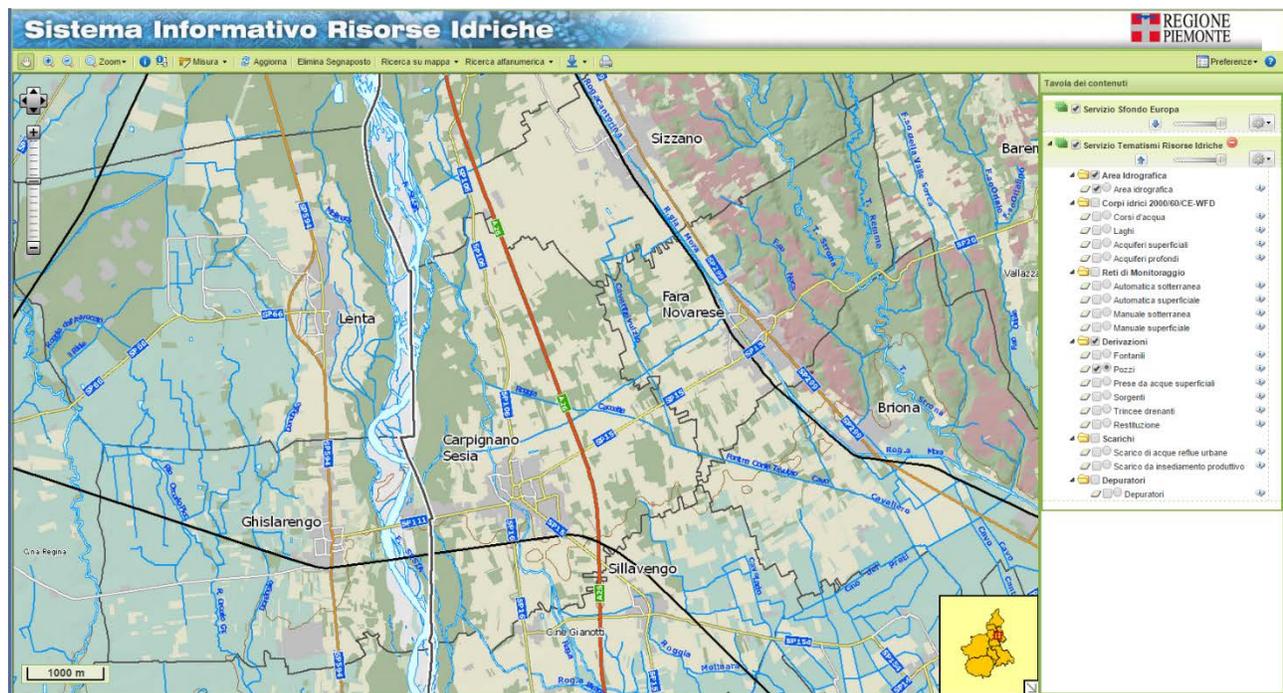


9 Ipotesi di installazione di assestimetri e piezometri nell'area

L'ubicazione prevista per il pozzo Carpiignano Sesia 1 Dir si trova in prossimità dell'omonimo centro abitato, situato in sponda sinistra del F. Sesia, ad una quota del piano campagna intorno ai 200 metri slm.

Nell'ambito del progetto in questione, la necessità di operare forme di monitoraggio ambientale e di movimenti verticali del suolo, mediante assestimetri, come previsto dagli ILG emessi dal MiSE nel 2014, deve essere valutata anche in base alle caratteristiche fisiche del suolo e del sottosuolo prossimo alla superficie (si veda il paragrafo 3.1), controllando e registrando le variazioni di quota dei livelli piezometrici legati agli acquiferi presenti nell'area.

Tutta l'area, come indicato nella carta di Fig. 36, è percorsa da una complessa idrografia superficiale, a testimonianza della intensa attività di drenaggio e distribuzione delle acque a scopo irriguo.



 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO “STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA“		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 62 DI 66

Fig. 36: Portale Regione Piemonte - Sistema Informativo Risorse Idriche.

In una situazione di acquiferi così complessi, vasti e dinamici, soggetti a forti escursioni piezometriche, l'istallazione di uno o più assestimetri per il monitoraggio di eventuali variazioni altimetriche del suolo risulta poco significativa, per il motivo che la produzione degli idrocarburi avverrà, in caso di mineralizzazione della struttura esplorata, da formazioni carbonatiche, a comportamento rigido, porose prevalentemente per fratturazione, non soggette ad apprezzabile compattazione dovuta alla depressurizzazione imposta dalla produzione; per quanto riguarda le variazioni piezometriche delle falde acquifere la loro misura sarà comunque assicurata dai piezometri previsti nel progetto ubicati nell'intorno della piazzola del pozzo come riportato nel documento SICS_207_Integraz Capitolo 3.

In caso di messa in produzione del giacimento sarà comunque valutata la possibilità di adattare uno dei piezometri già previsti ad assestimetro.

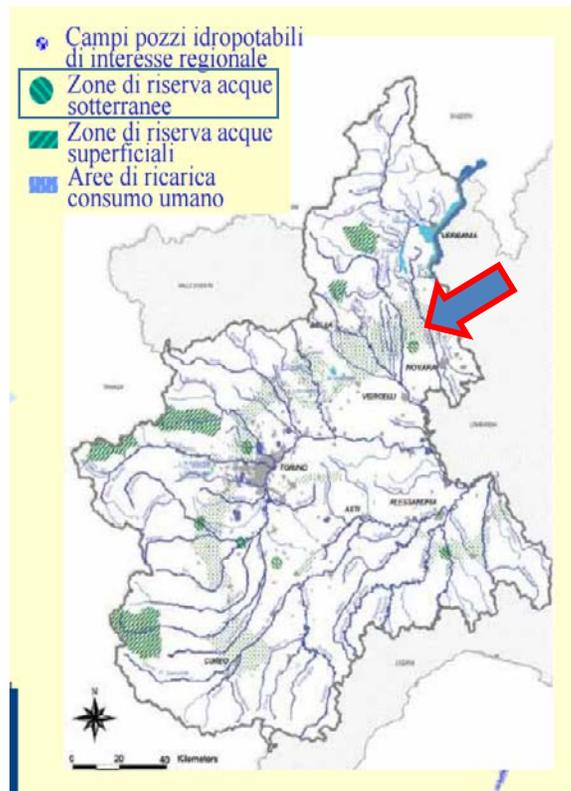


Fig. 37: Piano di tutela della acque – Zone di riserva.

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 64 DI 66

10 Bibliografia

10.1 Bibliografia della parte geologica

A.R.P.A. Piemonte, 2003, "*Task C302. Elaborazioni dei dati qualitativi delle acque sotterranee – parte generale.*" Attività A.R.P.A. per la predisposizione del Piano di Tutela delle Acque.

Fantoni, R., Decarlis, A., Fantoni, E., 2003, *L'estensione mesozoica al margine occidentale delle Alpi Meridionali (Piemonte settentrionale, Italia)*. in: Atti Ticinensi di Scienze della Terra, vol. 44.

Regione Piemonte, 2000, *Piano direttore regionale per l'approvvigionamento idropotabile e l'uso integrato delle risorse idriche, finalizzato al risanamento, al risparmio, alla tutela, alla qualificazione e all'utilizzo a scopo multiplo delle acque in Piemonte*. (Rif. L.R. 40/1998).

Regione Piemonte, 2003, *Indagini e studi finalizzati alla predisposizione del piano di tutela della acque (D.Lgs. 152/99)*, D02 Rapporto tecnico.

Regione Piemonte, 2007, *Piano di tutela della acque*. in: www.regione.piemonte.it

Regione Piemonte, 2009, *Criteri tecnici per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale*. Allegato 1 al DGR 34_11524.

Regione Piemonte, 2012, *Adeguamento della cartografia della base dell'acquifero superficiale del territorio delle province di Alessandria, Asti, Biella, Novara, Torino, Vercelli e Verbanio Cusio Ossola e revisione dei parametri numerici relativi ai criteri tecnici orientativi*. Relazione tecnica. Allegato1 al DD n. 900 del 3 dic 2012.



10.2 Bibliografia della parte sismologica

Camassi R., Castelli V., Caracciolo C.H., Ercolani E., Bernardini F., 2015. *Revisione speditiva di alcuni terremoti di area nord occidentale*. Rapporto interno, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 27 pp.

DISS Working Group, 2010. *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.

DB ITHACA di ISPRA. Catalogo della faglie capaci. (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>)

Gruppo di Lavoro CPTI, 2004. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

Guidoboni, E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi and G. Valensise, 2007. *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.

Meletti C., Montaldo V., 2007. *Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2*, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>

Ministero dello Sviluppo Economico, 2014. *Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*, 24 Novembre 2014.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

Schorlemmer, D., Mele F., Marzocchi, W., 2010. *A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy*, J. Geophys. Res., 115, B04308.

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>

 Eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO MONITORAGGIO SISMICO E PLANOALTIMETRICO CARPIGNANO SEISA"		
	DOC. N. GEOM-2016035-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 66 DI 66

10.3 Bibliografia della parte plano-altimetrica

Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2001), *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, NO. 1, January 2001, Pages 8 – 20.

Klemm H., Quseimi I., Novali F., Ferretti A., Tamburini A., 2010, *Monitoring Horizontal and Vertical Surface Deformation over a Hydrocarbon Reservoir by PSInSAR™*. First Break, Vol. 28, 2010.

Geoportale Nazionale <http://www.pcn.minambiente.it/GN/>

TRE Altamira <http://tre-altamira.com/>

10.4 Bibliografia dei documenti amministrativi

Deliberazione della Giunta Regionale 12 dicembre 2011, n. 4-3084. *Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attivita' urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese.*

Decreto ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008. *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.*

Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06. *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone:*