






Autostrada Asti-Cuneo

ADEGUAMENTO DELLA TANGENZIALE DI ALBA

PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI

Geologia e idrogeologia
Relazione geologica ed idrogeologica generale

IMPRESA 	PROGETTISTA 	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031 	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
A	05-2021	EMISSIONE	M.Mondet	P.Mazzoni	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	MAGGIO 2021	-
							N. Progr.	
							02.01.01	

CODIFICA	PROGETTO	LIV	DOCUMENTO	REV	WBS
	P018	D	GEO RA 001	A	A331TA0000
					CUP
					G64E20002060005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE
-------------------------------	-------------------------

INDICE

1. INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	6
3. INDAGINI ESEGUITE	7
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
5. INQUADRAMENTO STRUTTURALE E TETTONICO	16
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	17
7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	20
8. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO	22
8.1. ASSETTO STRATIGRAFICO	22
8.1.1. <i>Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano)</i>	23
8.1.2. <i>Depositi quaternari (Pleistocene superiore-Attuale)</i>	24
8.2. IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO	29
8.2.1. <i>Definizione delle principali unità idrogeologiche</i>	30
8.2.2. <i>Definizione della piezometria</i>	32
9. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL TRACCIATO	39
9.1. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO DEL TRACCIATO	39
9.2. DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO	39
10. INQUADRAMENTO SISMICO	45
10.1. PREMESSA	45
10.2. AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE	47
10.3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	51
10.3.1. <i>Generalità</i>	51
10.3.2. <i>Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento per l'azione sismica</i>	52
10.3.3. <i>Stati limite e probabilità di superamento</i>	53

10.3.4. Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g	54
10.3.5. Risposta sismica locale	56
11. BIBLIOGRAFIA.....	61
APPENDICE A: PROFILI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VS.....	63

1. INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione descrive il quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico di riferimento per il progetto Definitivo dell' Adeguamento alla Tangenziale di Alba nell'ambito del progetto di Collegamento Autostradale Asti-Cuneo. L'opera è ubicata quasi totalmente nella regione Piemonte, in provincia di Cuneo, ed interessa il comune di Alba, mentre la parte finale del tracciato è ubicata nel comune di Guarene, in Provincia di Asti. L'intero tracciato è ubicato al centro della valle dove scorre il Fiume Tanaro, a nord del centro abitato di Alba.

La zona è occupata quasi interamente da coltivazioni di cereali e sporadici nocioleti, produzione quest'ultima tipica del territorio. La morfologia può essere considerata totalmente pianeggiante, con andamento interrotto solamente dagli argini e terrazzi del Fiume Tanaro.

Il corso d'acqua principale della zona è il fiume Tanaro, che nasce sul Pian di Laiardo, a confine tra Liguria e Piemonte, dalla confluenza dei torrenti Tanarello e Negrone, scorrendo per qualche chilometro in direzione E-O e rappresentando il confine tra le due regioni, per poi progressivamente ruotare la sua direzione fino a scorrere in direzione S-N. Poco ad est dell'abitato di Cherasco, il Tanaro riceve le acque del torrente Stura di Demonte e muta nuovamente la sua direzione di scorrimento in direzione SO-NE fino a confluire nel fiume Po all'altezza di Bassignana.

Il fiume Tanaro scorre in un'ampia valle alluvionale che, nel tratto d'interesse, mantiene una larghezza piuttosto costante tra 2.5 e 3 km di larghezza. Il fiume Tanaro è evidentemente il principale elemento idro-geomorfologico che ha condizionato la morfologia dei luoghi. Nella sua complessa storia evolutiva è noto il fenomeno di cattura fluviale cui è andato incontro in età pleistocenica. Prima di detta cattura il suo percorso proseguiva in direzione SSE-NNO anche dopo Cherasco e risultando tributario del Po presso Carignano a circa 240 metri s.l.m. e circa 17 km a sud di Torino. Il suo antico percorso si snodava attraverso i luoghi dove oggi si trovano Bra, Sommariva del Bosco, Caramagna Piemonte, Carmagnola e, infine, Carignano (Figura 1).

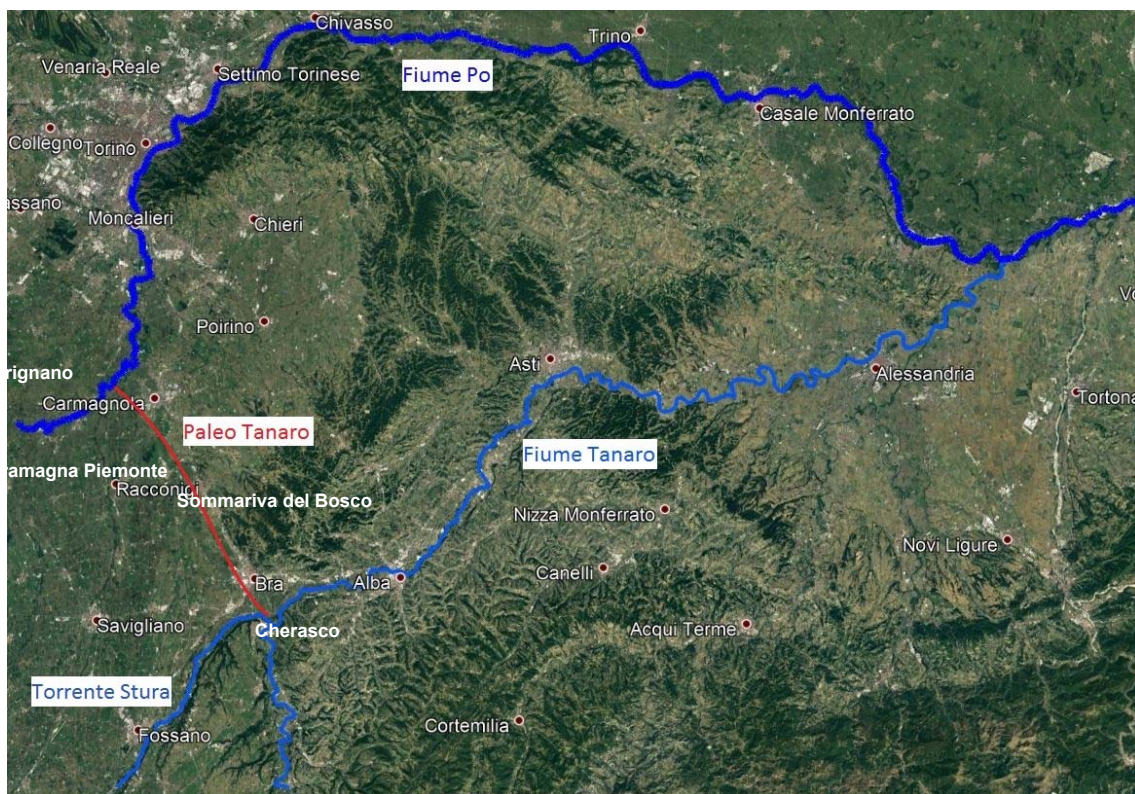


Figura 1 - Foto satellitare in cui sono stati evidenziati in blu, i corsi attuali dei Fiumi Po e Tanaro e del Torrente Stura di Demonte. In rosso è indicata la direzione di scorrimento del paleo Tanaro.

Il territorio interessato dall'opera è inquadrato nella Nella Carta Tecnica Regionale (CTR) del Piemonte all'interno del Foglio 5 AT-AL alla scala 1:250.000 e all'interno dei fogli 193050 e 193090 a scala 1:10.000 (Figura 2). Inoltre, l'area ricade all'interno del foglio 69 Asti della Carta Geologica d'Italia 1:100.000.

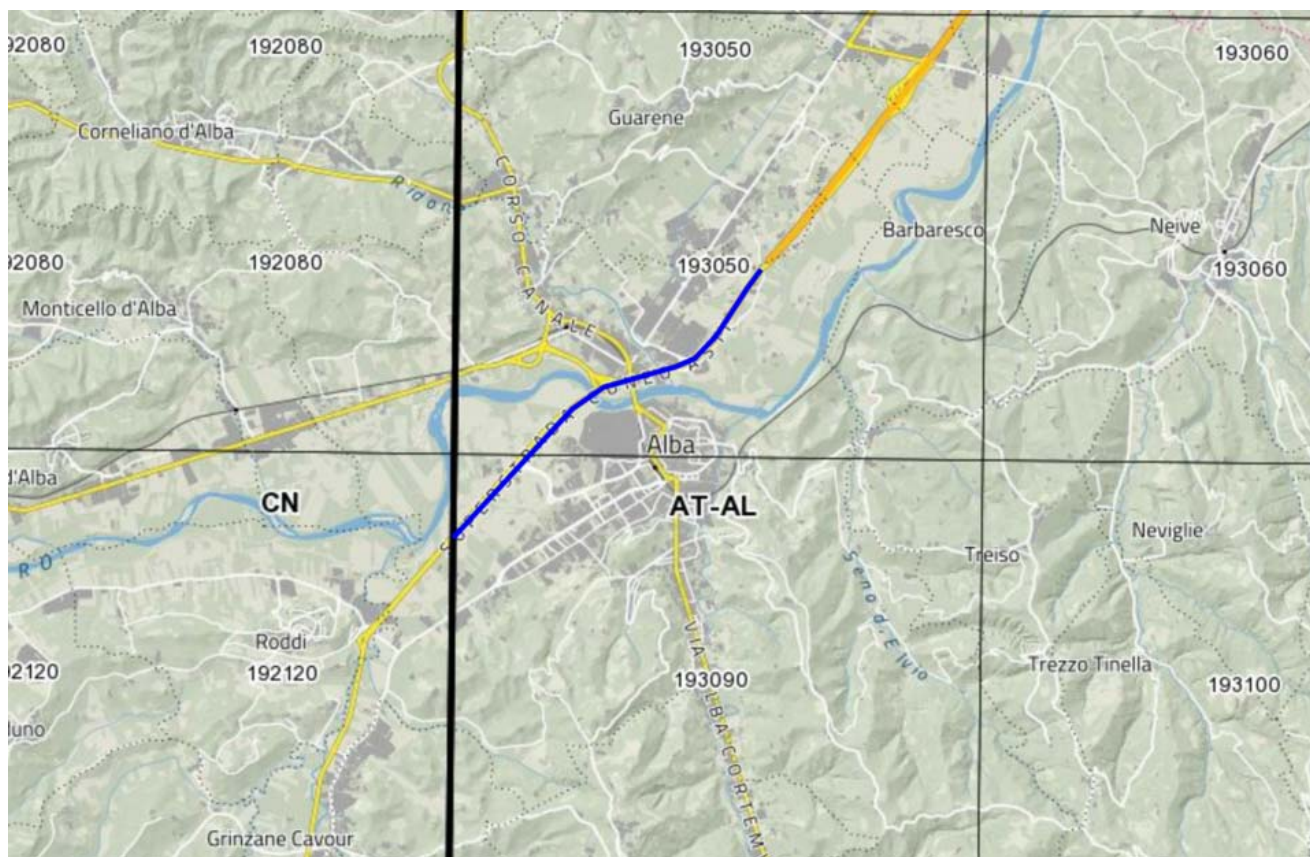


Figura 2: Inquadramento del tracciato (linea blu) nella cartografia tecnica regionale del Piemonte.

Il presente rapporto tecnico è stato redatto sulla base delle seguenti attività specifiche:

- Ricerca bibliografica per l'inquadramento regionale.
- Analisi e interpretazione degli elaborati prodotti per le precedenti fasi progettuali.
- Rilevamenti di campo e interpretazione delle nuove evidenze emerse in questa fase progettuale.
- Revisione degli elaborati di riferimento delle autorità competenti.

2. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

L'analisi della cartografia relativa al Piano Regolatore (PRG) del Comune di Alba ha evidenziato una pericolosità variabile, soprattutto collegata all'evoluzione fluviale.

L'area attraversata dal tracciato in oggetto è classificata con vari livelli di pericolosità, che possono essere così riassunti:

- Classe IIa: Porzioni di territorio ove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono moderate e possono essere superate con l'adozione ed il rispetto dei modesti accorgimenti tecnici da individuare a seguito delle ulteriori indagini di dettaglio geognostiche, geologiche, geotecniche e idrauliche, di cui all'art. 75 delle N.T.A.. Ricadono in questa classe porzioni di territorio sub pianeggianti, interessate da uno o più fattori penalizzanti quali acqua di esondazione a bassa energia, prolungato ristagno di acque meteoriche, scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura, eterogeneità dei terreni di fondazione. All'interno di tale classe sono ammessi gli interventi di cui all'art. 74.3 – punto b) delle N.T.A.. Ricade in tale classe la porzione del tracciato lato Asti, indicativamente compreso tra le progressive km 3+400 e Km 5+300.
- Classe IIIa: Porzioni di territorio (inedificate o con rare edificazione) che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti, fatto salvo quanto previsto dall'art. 74.4 delle N.T.A. Ricade in tale classe praticamente il resto del tracciato, con esclusione di una piccola porzione ubicata nella zona sopraelevata di avvicinamento al ponte sul Fiume Tanaro.

Tali vincoli sono stati dedotti dalla cartografia del PRG di Alba vigente, "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica, scala 1:5.000", tavole n. 4.1.9A e 4.1.9B.

3. INDAGINI ESEGUITE

Nell'area interessata dall'opera sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo (campagna geotecnica 1998 del vecchio Progetto Definitivo) spinti a profondità comprese tra 15 e 17 m dal p.c., denominati SPD25-01, SPD25-02, SPD25-03. Nel corso delle perforazioni sono state eseguite prove SPT ed oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni rimaneggiati e sono state eseguite prove con il pocket penetrometer sulle carote di materiale estratto. Tali sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto, ad acquisizione manuale.
- n. 18 sondaggi a carotaggio continuo (campagna geotecnica 2001 inerente la variante del Progetto Definitivo) spinti a profondità comprese tra 20 e 70 m dal p.c., denominati SPDV25-01, SPDV25-02, SPDV25-03, SPDV25-04, SPDV25-05, SPDV25-06, SPDV25-07, SPDV25-08, SPDV25-09, SPDV25-10, SPDV25-11, SPDV25-13, SPDV25-14, SPDV25-15, SPDV25-17, SPDV25-18, SPDV25-19 e SPDV25-20. Nel corso delle perforazioni sono state eseguite prove SPT, prove di permeabilità e prove pressiometriche ed oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati e sono state eseguite prove con il pocket penetrometer sulle carote di materiale estratto. Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto, ad acquisizione manuale.
- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità variabili fra 10 e 30 m dal p.c., denominati S1, S4, S5, S6, S7, S8 ed S9 (campagna geotecnica 2009). I sondaggi S1, ed S6 sono stati attrezzati con doppio piezometro Norton/Casagrande mentre nei sondaggi S5,S7,S8 ed S9 è stato posizionato un piezometro a tubo aperto. Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni rimaneggiati, sono state eseguite in avanzamento prove penetrometriche dinamiche SPT e prove di permeabilità Lefranc. Alcuni campioni sono stati prelevati al fine di sottoporli ad analisi ambientali.

PROGETTO DEFINITIVORelazione geologica ed idrogeologica generale

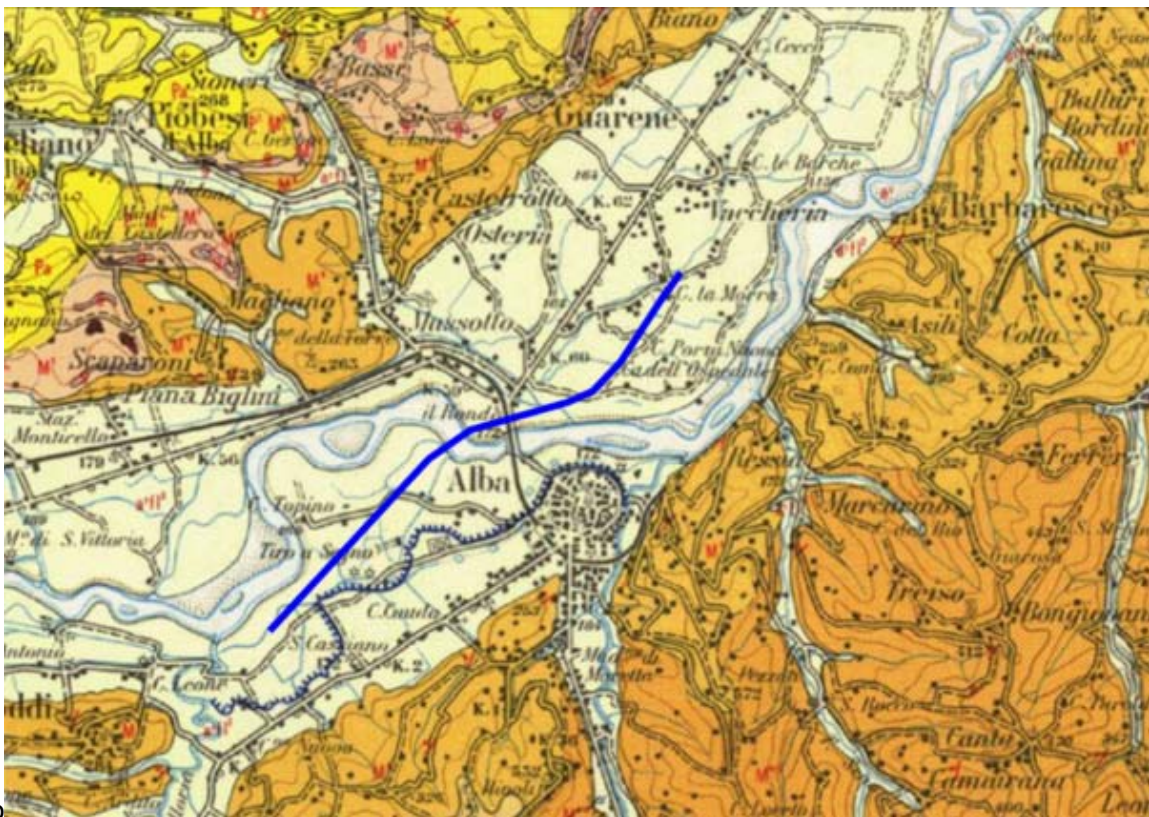
- n. 8 pozzetti esplorativi (campagna geotecnica 1998) spinti a profondità massime comprese tra 0.50 e 1.00 m dal p.c., denominati EPD25-01, EPD25-02, EPD25-03, EPD25-04, EPD25-05, EPD25-06, EPD25-07, EPD25-08.
- n. 7 prove di carico su piastra in pozzetto (campagna geotecnica 1998). Sul materiale prelevato dai pozzetti sono state eseguite determinazioni del contenuto naturale d'acqua e prove di densità in sito.
- n. 18 prove penetrometriche dinamiche continue (campagna geotecnica 2001), denominate PPD25-01, PD25-02, PPD25-03, PPD25-04, PPD25-05, PPD25-06, PPD25-07, PPD25-08, PPD25-09, PPD25-10, PPD25-11, PPD25-12, PPD25-13, PPD25-14, PPD25-15, PPD25-16, PPD25-17, PPD25-18, spinte alla profondità variabili da 6 a circa 8.1 m dal p.c.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in studio si trova in una zona interessata dalla presenza di terreni mio-pliocenici facenti parte della successione del Bacino di Alba e di depositi alluvionali di fondovalle di età pleistocenico – olocenica.

La cartografia geologica ufficiale disponibile per l'area è piuttosto incompleta non essendo stati realizzati i corrispettivi Fogli geologici della Carta d'Italia a scala 1:50.000 (CARG). Risulta disponibile soltanto la Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 relativa al foglio 69 - Asti (Figura 3).

Tale cartografia evidenzia che il tracciato si imposta sui depositi fluviali di età recente (a'fl³), con un substrato formato dalle Marne di Sant'Agata Fossili (M⁴). Per quanto riguarda la formazione di maggiore interesse per il progetto in esame, i depositi fluviali, una più dettagliata e fedele ricostruzione è affidata alla Cartografia Geologica redatta dalla Regione Piemonte e alla ricostruzione stratigrafica che sarà eseguita sulla base dei dati esistenti.



Legenda

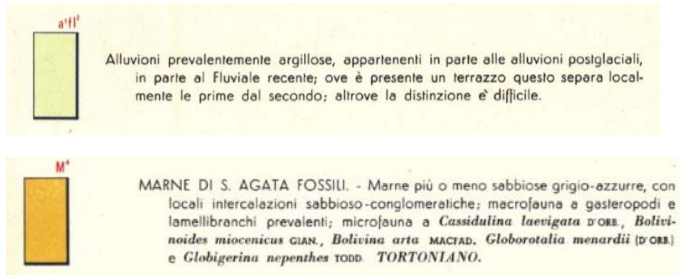


Figura 3: Inquadramento del tracciato (linea blu) nel Foglio 69 della Carta Geologica d'Italia 1:100.000.

La Regione Piemonte con ARPA e IGG ha realizzato un database geologico alla scala nominale di 1:250.000 che rappresenta il documento tecnico conoscitivo geologico più recente a disposizione. Si tratta di una banca dati consultabile come servizio web al link https://webgis.arpa.piemonte.it/Geoviewer2D/index.html?config=other-configs/geologia250k_config.json (Figura 4).

Il database nell'area di interesse individua la presenza delle seguenti unità geologiche:

- SAF: Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano-Messiniano inferiore).
- A15: Depositi fluviali (Pleistocene superiore – Olocene).
- fl1: depositi fluviali e di debris flow (Olocene).

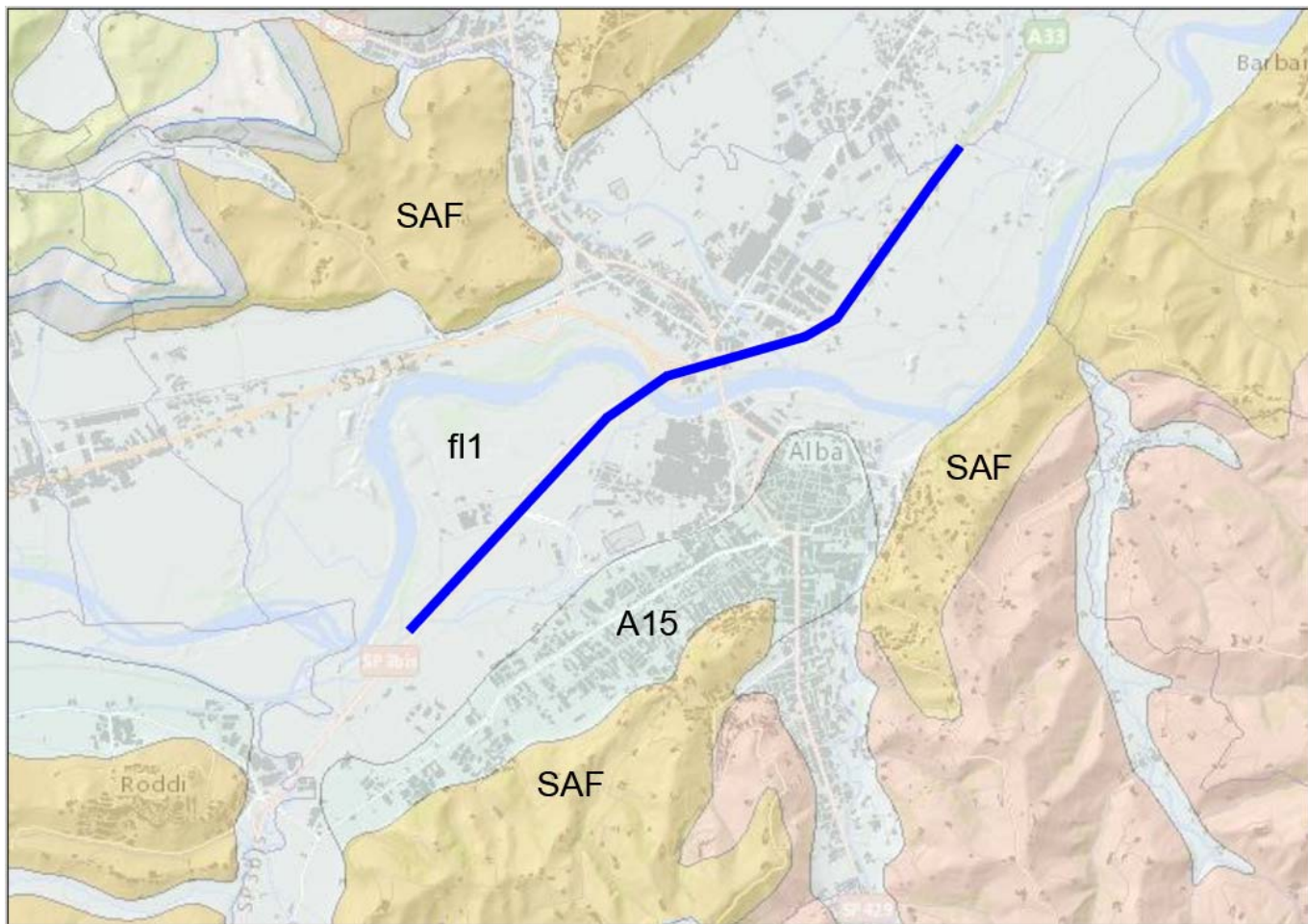


Figura 4 – Database geologico della Regione Piemonte/ARPA/IGG. La linea blu indica il tracciato di progetto.

Uno studio di Dela Pierre et al. (2010) riguardante i sedimenti depositi durante la “Crisi di Salinità Messiniana” (MSC) e conservati all’interno del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (TPB), descrive in dettaglio 6 sezioni stratigrafiche appartenenti alla sponda meridionale del “Bacino di Alba”, approfondendo gli aspetti riguardanti la stratigrafia ed il contenuto fossilifero dei depositi, e fornendo un contributo essenziale alla conoscenza delle caratteristiche del substrato nell’area di studio.

Il Bacino di Alba risulta essere uno dei depocentri, insieme ai bacini di Savigliano e di Alessandria, del più ampio Bacino Terziario Ligure - Piemontese (TPB), (Figura 5), costituito da un golfo marino formatosi nel corso dell’Eocene, successivamente alle principali fasi orogenetiche alpine. I sedimenti che lo colmarono si sono pertanto depositi al di sopra di un

complesso cuneo tettonico formato dalla collisione delle placche Adria ed Alpina e sono oggi conservati al nucleo di una blanda piega sinclinale con asse E-O conosciuta come “sinclinale astigiana”. Nella Figura 6 è riportata una sezione lungo una traccia orientata N-S attraverso il bacino estratta dal foglio geologico n.69 - Asti redatta da AGIP sulla base dei dati ricavati da pozzi esplorativi e di indagini sismiche. Detta sezione mostra la geometria molto aperta e simmetrica della sinclinale con inclinazione dei fianchi di 5-10°, piano assiale verticale a direzione E-O ed asse inclinato verso nord.

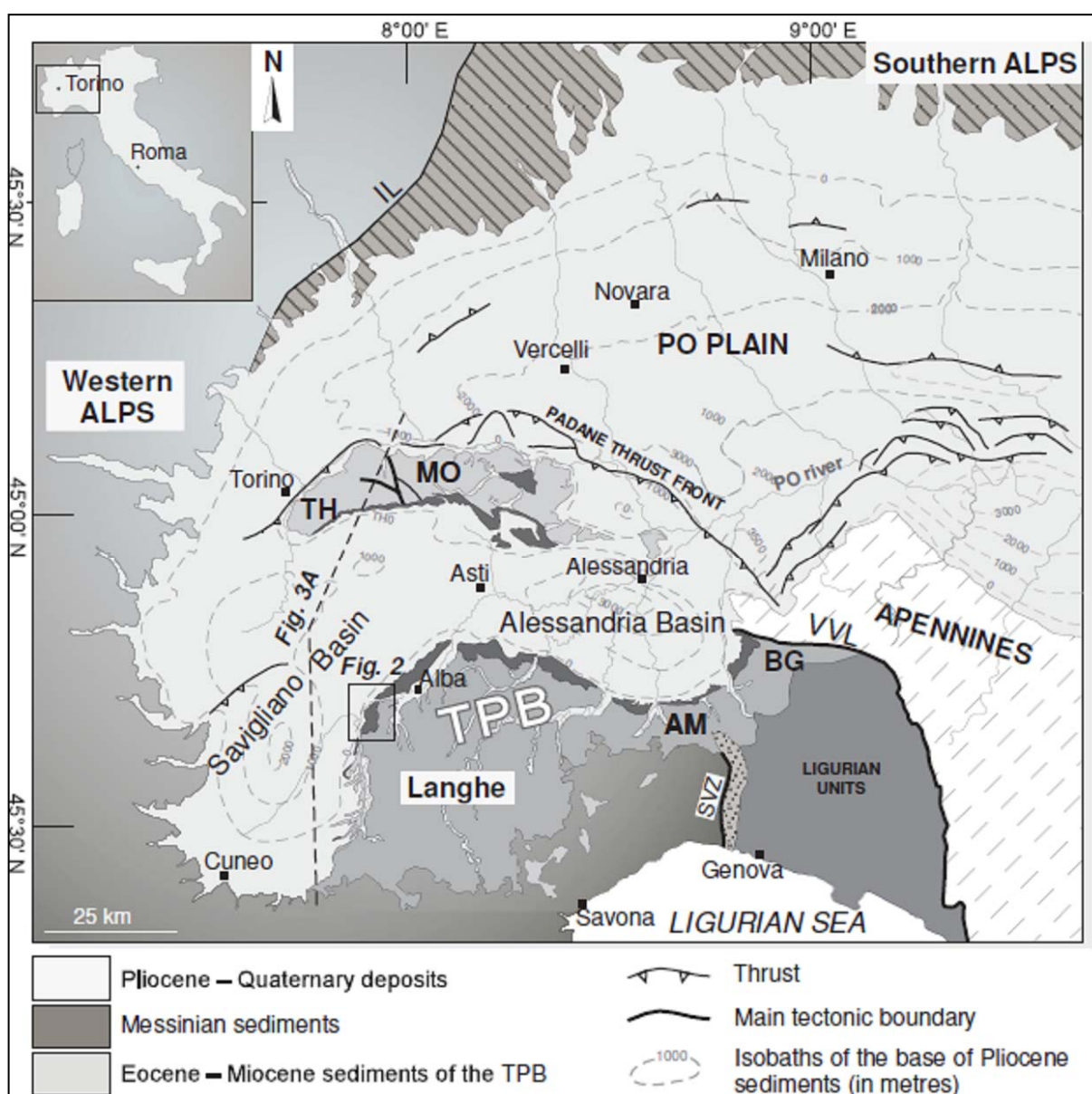


Figura 5- Schema geologico del bacino Terziario Ligure Piemontese fino alle Alpi meridionali (Dela Pierre et al. 2010).

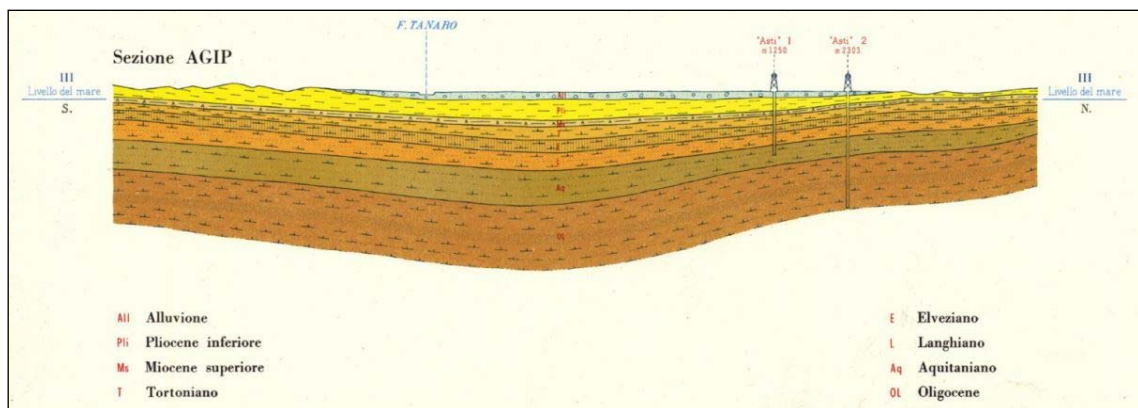


Figura 6 - Estratto del foglio 69 – Asti, riportante la sezione della “sinclinale astigiana” redatta da AGIP basandosi su dati di pozzo e rilievi sismici.

Dela Pierre et al. (2010) illustrano come la deposizione dei sedimenti all’interno del Bacino di Alba sia avvenuta in 3 fasi principali (Figura 7):

- la prima fase deposizionale (5.96-5.60 Ma), indicata come “Primary Lower Gypsum” (PLG), vede la deposizione di livelli evaporitici a composizione prevalentemente gessosa nelle porzioni meno profonde ed isolate del bacino, mentre nei bacini distali, più profondi, si ha deposizione di livelli evaporitici a composizione dolomitica alternati a livelli pelitici ricchi di sostanza organica;
- nella seconda fase (erosiva e deposizionale, 5.60-5.53 Ma, fase di acme della MSC) si verifica un ulteriore abbassamento del livello marino con conseguente regressione che porta le porzioni marginali e meno profonde dei bacini in condizioni di emersione in ambiente subaereo con conseguente sviluppo di importanti fenomeni di erosione. I sedimenti risultanti dalla erosione dei livelli esposti sono stati convogliati attraverso trasporto fluviale e movimenti gravitativi di massa nei bacini distali più profondi a formare strati di materiale intrabacinale risedimentato in forma di livelli torbiditici e di flusso iperconcentrato, *slumping*, *debris-flow* e corpi caotici che costituiscono un’unità definita come “Resedimented Lower Gypsum” (RLG);

- durante la terza fase (deposizionale, 5.53-5.33 Ma) si ha una nuova ingressione marina che porta in condizione di sommersione ampie porzioni di territori ormai continentalizzati e l'aumento di profondità nelle porzioni distali dei bacini con sedimentazione di nuovi livelli evaporitici alternati a livelli pelitici ("Upper evaporites") contenenti fossili di ambienti salmastri. A tale fase segue una progressiva diminuzione di salinità delle acque con l'instaurazione dell'ambiente di "Lago Mare".

La sezione tipo del bacino deposizionale di Alba (Figura 7) descrive la transizione tra le porzioni più profonde del bacino, caratterizzate dalla presenza delle unità risedimentate e caotiche (RLG), e le porzioni di mare basso, dove una superficie di discordanza semplice separa i depositi PLG dalle "Upper evaporites".

La sequenza deposizionale inizia con i depositi marini della Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano) cui segue la successione gessifera messiniana rappresentata dalla Formazione Gessoso Solfifera suddivisibile nei 3 livelli principali: il "Primary Lower Gypsum", il "Resedimented Lower Gypsum" e gli "Upper cycles". Alla crisi di salinità messiniana, come detto sopra, segue una nuova ingressione marina documentata dalla successione trasgressiva di Lago Mare costituita da depositi transizionali deltizi della Formazione di Cassano Spinola del Messiniano sup.-Pliocene, seguiti da unità francamente marine (Argille Azzurre o Argille di Lugagnano, Pliocene inf.).

I depositi quaternari che ricoprono le formazioni mio-plioceniche sono ubicati quasi esclusivamente lungo i fondovalle e sono costituiti da sedimenti di origine fluviale recenti o in evoluzione, nonché da depositi del paleo Tanaro e i suoi affluenti secondari abbandonati nel corso di successive diversioni. Lungo i versanti le unità quaternarie sono rappresentate da depositi eluvio-colluviali e depositi di frana per lo più a tessitura limoso sabbiosa o limoso argillosa di età olocenica.

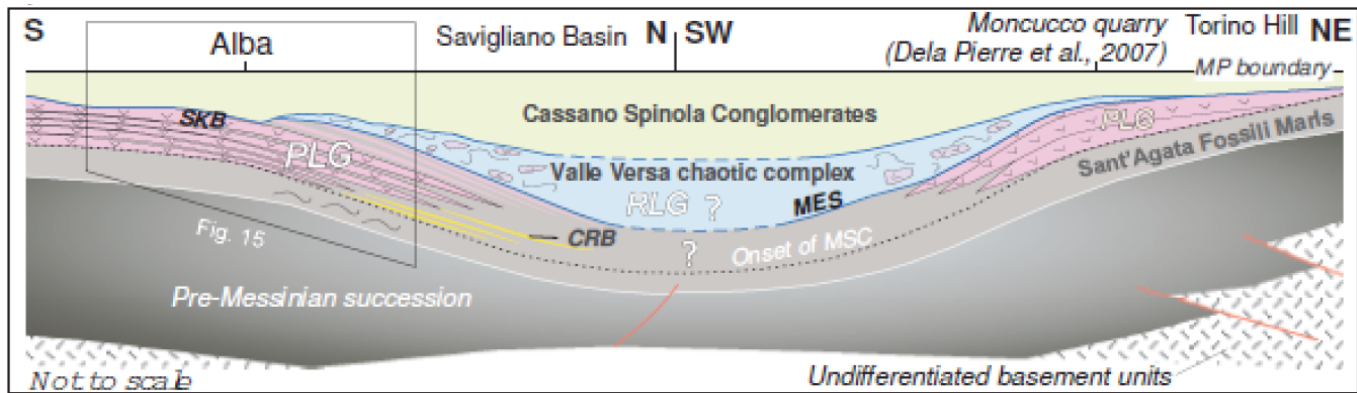


Figura 7 – Schema stratigrafico e paleoambientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese.
 (Dela Pierre del 2010).

5. INQUADRAMENTO STRUTTURALE E TETTONICO

Il Bacino terziario Ligure-Piemontese, come detto, si è formato dalla collisione delle Placche Adria ed Alpina. Il substrato di questo bacino è composto da un complesso di cunei tettonici che, con i loro movimenti relativi hanno portato alla formazione di vari depocentri: i bacini di Savigliano, Alessandria e Alba. Quest'ultimo è condizionato dalla formazione di una struttura chiamata "Sinclinale Astigiana", con direzione assiale prevalentemente SO-NE. La zona più depressa risulta essere in corrispondenza della città di Asti, da cui prende il nome. Nella zona di interesse questa struttura si traduce nell'assetto con blanda inclinazione degli strati verso NO.

A nord la sinclinale di Asti è limitata dalle strutture tettoniche sepolte del Monferrato e a sud dalle colline delle Langhe ma è difficile stabilire un limite laterale in quanto va a raccordarsi lateralmente interferendo con altre strutture e non sono stati mai eseguiti studi specifici per definirne i confini laterali. A scala regionale, i sistemi tettonici presenti nell'area, evidenziati nella cartografia a scala 1:100.000 del Servizio Geologico e 1:250.000 della Regione Piemonte, mostrano un andamento prevalente dei lineamenti a direzione SO-NE con caratteristiche cinematiche di faglie dirette che dislocano le unità mio-plioceniche documentando un'attività almeno tardo terziaria.

6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche morfologiche dell'area risultano direttamente improntate dai fenomeni intercorsi a partire dal Pleistocene medio ed in particolare dall'evoluzione del reticolo idrografico. In corrispondenza del tratto Marene-Asti si riconoscono due assetti nettamente differenziati, separati dal brusco cambio di direzione del F. Tanaro che, all'altezza dell'abitato di Cherasco, abbandona la direzione Nord-Sud per assumere un andamento Est-Ovest fino ad Alba e proseguire poi in direzione SW-NE verso Asti.

Il tratto posto ad Ovest è contraddistinto morfologicamente da tre ordini di superfici terrazzate sospese a quote diverse rispetto all'alveo. Questa situazione è indicativa della generale tendenza all'erosione verticale, intervallata da modesti episodi di accumulo, che ha interessato l'intero settore meridionale della pianura cuneese. L'interpretazione di un modellamento "in negativo" avvenuto a spese del substrato terziario è confermato dal fatto che i depositi quaternari riconosciuti in corrispondenza di tutte le superfici terrazzate rappresentano sempre una copertura di modesto spessore, al massimo dell'ordine di poche decine di metri, con contatti di tipo erosionale rispetto ai vari termini della sequenza terziaria. Nel tratto ad Est del punto di diversione, il Tanaro ha riutilizzato ed ampliato l'incisione operata da un suo affluente di destra e si sviluppa quindi in rapporto di sovrimposizione rispetto ad una morfologia preesistente. Attualmente il corso d'acqua scorre meandrizzando all'interno di una fascia di fondovalle, costituita da depositi recenti (Olocene), che a valle di Cherasco si sviluppa degradando dalla quota di 200 m sino ai 115 m circa, su una larghezza variabile tra 1.5 e 2.5 km. Ai margini dell'ampia valle del Tanaro si sviluppano rilievi collinari di modesta elevazione (300 – 350 m slm) e caratterizzati da forme generalmente arrotondate, che soltanto nella zona soggetta al modellamento diretto da parte del corso d'acqua assumono per lunghi tratti i caratteri di scarpate in erosione attiva, con evidente risalto morfologico.

Il fenomeno di cattura del Tanaro, introdotto nei paragrafi precedenti, è avvenuto nella zona adiacente la città di Bra, a causa di una serie di fattori predisponenti come il livello più basso del reticolo fluviale orientato verso E nell'Alessandrino, l'erosione regressiva indotta dal sollevamento tettonico della zona delle Langhe (Biancotti 1981), l'erosione laterale del Paleo Tanaro che durante successivi eventi di piena ha aperto una breccia nella barriera che lo separava dal reticolo in direzione est. In Figura 8 sono schematizzate in modo estremamente

semplificando le fasi principali della cattura sopra descritta che può essere classificato come un fenomeno avvenuto per erosione di testa.

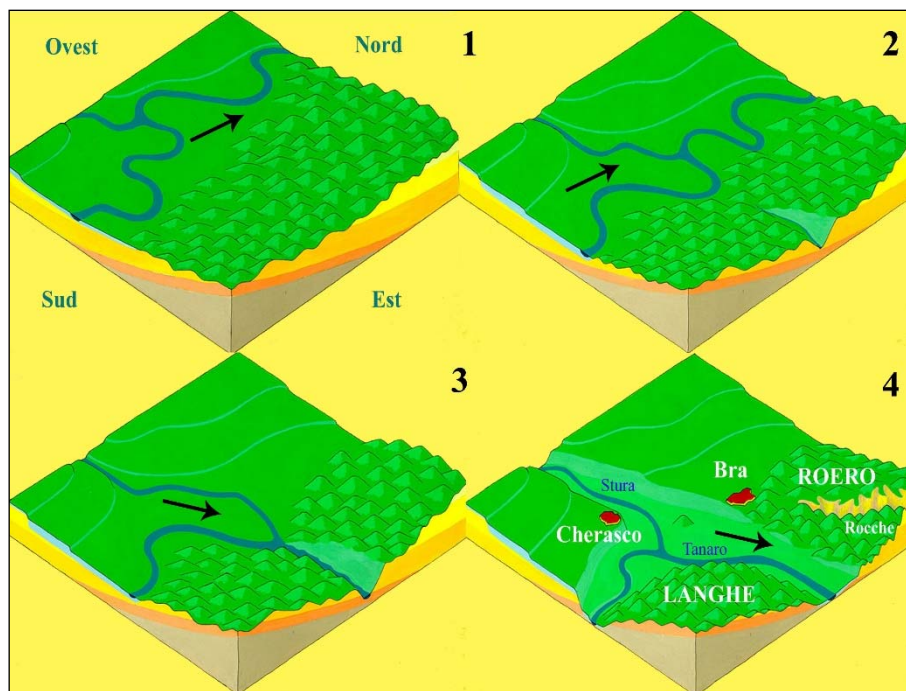


Figura 8: Schematizzazione del fenomeno di cattura fluviale del Tanaro.

Il fenomeno di diversione del Tanaro è stato seguito da una veloce ed intensa fase di approfondimento erosionale dell'intero sistema idrografico, sia a monte che a valle del punto di tracimazione. La nuova posizione del livello di base, infatti, posta ad una quota di circa 150 m inferiore alla precedente, ha innescato a livello regionale una ripresa dell'azione erosiva, che svolge tuttora un ruolo determinante nell'instaurare, in particolare, condizioni predisponenti ad una instabilità generalizzata dei versanti.

L'alternanza di strati a diversa componente lapidea (marne e arenarie) ha favorito una erosione selettiva determinando un tracciato delle aste torrentizie sinuoso (più evidente nell'alto bacino) e un profilo di fondo a salti, con l'alternarsi di tratti a pendenza contenuta e gradoni di dislivello marcato.

In sequenza, la sottoescavazione e lo scalzamento al piede del pendio sono i primi riflessi dell'approfondimento delle aste di drenaggio per erosione, azioni che innescano frane di

scivolamento traslativo per mancanza di sostegno alla base; tale processo determina la migrazione della franosità verso l'alto dei versanti sino alle creste, le più stabili sotto il profilo dinamico-evolutivo.

In definitiva, per tutto l'Olocene (ultimi 10.000 anni) l'evoluzione morfologica e lo sviluppo dei processi sedimentari dell'area di interesse risultano fortemente condizionati dalla diversione del Tanaro che ha determinato un abbassamento significativo del livello di base relativo e l'innesco di un fenomeno di erosione regressiva generale che ha interessato l'intero reticolato idrografico del Bacino Piemontese meridionale (Tanaro, Belbo, Ellero, Pesio, Stura) determinando le attuali profonde incisioni dei corsi d'acqua all'interno del livello fondamentale della pianura cuneese.

Il tracciato dell'opera in progetto si sviluppa interamente sulla porzione pianeggiante della piana alluvionale del Tanaro, in un'area dove affiorano depositi alluvionali recenti, con evidenze geomorfologiche associate esclusivamente all'attività fluviale. Le pendenze maggiori e i rilievi collinari si ubicano ad una distanza tale da rendere le forme geomorfologiche di versante tipiche dell'area attualmente non influenti sul tracciato.

7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nella porzione di fondovalle occupata dai depositi alluvionali del F. Tanaro, l'andamento e le caratteristiche della falda freatica sono strettamente connesse alla dinamica del corso d'acqua (Civita et alii, 1994; Ballesio et alii, 1995). Si può osservare a questo proposito che la presenza di una falda a debole profondità lungo la fascia prossima all'alveo è evidenziata oltre che dai rilievi piezometrici nei pozzi, anche dai tronchi di meandro abbandonati, e dal fatto che la maggior parte delle cave a fossa, anche di modesta profondità, è occupata da acqua di falda.

Lungo le scarpate dei terrazzi fluviali superiori del Tanaro, nel tratto compreso tra Cherasco e Asti, affiorano estesamente le litologie più o meno impermeabili della serie terziaria, mentre il corso d'acqua incide l'intera potenza delle alluvioni quaternarie, piuttosto permeabili, trovandosi a scorrere direttamente sul substrato Terziario. Questa situazione determina la presenza di una falda a superficie libera sviluppata nelle sottili alluvioni quaternarie, che alimenta il corso d'acqua ricevendo la sua alimentazione dai versanti. Solo localmente, in corrispondenza di meandri, la falda freatica risulta alimentata dal fiume.

Diversa è la situazione che si riscontra in corrispondenza degli altopiani sospesi al di sopra della pianura (Magliano, Trinità, Marene) per i quali la possibilità di ricarica delle falde superficiali non può che essere locale, anche se lenta, a causa della presenza in superficie di un suolo profondamente argillificato. Anche in questo caso la falda freatica, poco produttiva, poggia a debole profondità sul substrato terziario.

Nell'ambito delle indagini per la progettazione del collegamento Asti-Cuneo è stato eseguito uno studio dettagliato di una serie di siti campione, rappresentativi delle diverse situazioni idrogeologiche e delle possibili interferenze tra il tracciato autostradale e la circolazione idrica sotterranea (SATAP, 1993). Lo studio si è articolato su una serie di indagini e rilievi condotti continuativamente per un anno, con schedature dei punti d'acqua, l'esecuzione di prove in sito ed analisi di laboratorio, che hanno consentito di delineare gli scenari idrogeologici di interesse e l'elaborazione di carte piezometriche rappresentative (Civita et alii, 1994).

L'adeguamento alla Tangenziale di Alba, in particolare, si sviluppa nel tratto mediano della Val Tanaro tra il Canale di Verduno e la località Vaccheria. Nel settore in esame si differenziano due serie idrogeologiche principali:

PROGETTO DEFINITIVORelazione geologica ed idrogeologica generale

- una prima serie comprende i terreni terziari del basamento che costituiscono il substrato a bassa permeabilità degli acquiferi quaternari;
- una seconda serie rappresentata dalle alluvioni medio-recenti ed attuali che costituiscono il riempimento del fondovalle del Tanaro; generalmente questi depositi sono caratterizzati da una elevata eterogeneità litologica e granulometrica, sia laterale che verticale, tipica dei depositi fluviali relativi a corsi d'acqua di tipo braided. Al suo interno sono presenti corpi sedimentari a granulometria grossolana, con scarsa frazione fine, relativi a paleoalvei abbandonati, che rappresentano vie preferenziali di deflusso delle acque sotterranee.

L'acquifero nei depositi alluvionali è quello interessato dalle opere in progetto ed ospita una falda a superficie libera principale, di modesto spessore (da 5 a 8 metri al massimo), sfruttata per scopi irrigui. L'andamento della falda mette in evidenza zone con gradienti diversi e identifica direzioni di flusso prevalenti che sono sicuramente influenzate dall'attuale posizione del Tanaro ma anche dai paleoalvei presenti. L'alimentazione della falda è solo in parte fornita dall'infiltrazione locale diretta delle precipitazioni nelle alluvioni; la maggior parte è infatti legata alla dinamica del Fiume nelle zone a monte, ove notevoli sono gli interscambi, ed alla ricarica dovuta alle perdite dei canali artificiali, a loro volta in parte alimentati dal Tanaro ed in parte da corsi d'acqua minori provenienti dai rilievi collinari limitrofi (Civita et alii, 1999). L'acquifero ha come destinazione e livello di base il Tanaro.

8. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO

La caratterizzazione geologica tecnica dell'area di progetto è stata redatta sulla base dei dati disponibili, forniti dalle precedenti fasi progettuali, integrati e verificati con un rilevamento geologico e geomorfologico specificatamente eseguito per la redazione del presente elaborato.

8.1. ASSETTO STRATIGRAFICO

Il territorio del Comune di Alba si sviluppa al margine occidentale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) ossia dell'areale di affioramento di quella potente serie di depositi sedimentari di età prevalentemente terziaria che si estende dai contrafforti più settentrionali delle Alpi marittime e dell'Appennino Ligure alla Collina di Torino interponendosi fra l'alta e la bassa pianura padana.

Recenti interpretazioni di questa struttura geologica basate sia su dati stratigrafici che tettonici e geofisici (Agip) permettono di connotare un grande bacino episuturale generato dalla collisione tra la placca europea e quella adriatica colmatosi con la sovrapposizione e l'interdigitazione sia di unità di margine paleoeuropeo che ligure. La successione del BTP viene pertanto suddivisa in 5 sequenze deposizionali principali quali Collina di Torino, Monferrato, zona Borbera Grue, Alto Monferrato e Langhe (Gelati e Graccolini, 1988), cui corrispondono identità deposizionali con caratteri parzialmente differenti.

Il territorio albese posto nel settore NW della Langhe è caratterizzato dalla dominanza della successione mio-pliocenica facente parte del margine meridionale del BTP, di copertura delle unità alpine ed appenniniche.

Le deposizioni del Bacino Terziario Piemontese sono rappresentate da sequenze sedimentarie prevalentemente marine.

La trasgressione inizia con i depositi grossolani di ambiente continentale o transizionale, di età Oligocene Inferiore (Eocene Superiore?) cui segue un progressivo approfondimento del bacino deposizionale (Oligocene Superiore - Miocene), con notevoli fenomeni di subsidenza. La serie marina si conclude nel Miocene Superiore con la fase regressiva a carattere evaporitico.

Durante il Pliocene Inferiore si imposta la trasgressione marina del Bacino Padano con i termini fluviali clastici dei Conglomerati di Cassano Spinola che ricoprono in discordanza i termini evaporitici.

Al di sopra inizia la vera e propria trasgressione con la sedimentazione di un unico corpo sedimentario a due facies eteropiche: le Argille di Lugagnano (Pliocene Medio) e le Sabbie d’Asti (Pliocene Medio Superiore).

Nel quaternario, infine, si assiste alla regressione del “mare padano” con la sedimentazione dei depositi olo - pleistocenici alluvionali della Pianura Padana.

Nella ricostruzione a grande scala, riconosciuta e descritta nella letteratura geologica, sono state identificate le unità che affiorano nell’intorno dell’area in studio, descritte dalle più antiche e stratigraficamente inferiori.

8.1.1. Marne di Sant’Agata Fossili (*Tortoniano*)

Formazione costituita da depositi di mare aperto, composta da peliti con abbondante contenuto di carbonati, marne e marne argillose compatte che tendono ad assumere una consistenza tenera quando alterate. Sono presenti sottili alternanze di sabbie medio-fine che nella sezione di Pollenzo sono numerati in 7 cicli seguiti da uno *slumping* spesso circa 80 m e quindi altri 7 cicli deposizionali alternati. Lo spessore totale della formazione si aggira tra i 250 ed i 300 metri.

Le Marne di Sant’Agata Fossili affiorano solo ai bordi della piana alluvionale del Fiume Tanaro (Figura 9) e rappresentano il substrato dell’area su cui si imposta il tracciato della tangenziale di Alba, localmente affiorante sul letto del Fiume Tanaro. Nel settore rilevato la formazione comprende marne compatte grigio–azzurre, generalmente limoso-siltose con interclusi rari fossili di macrofauna (lamellibranchi).



Figura 9: Affioramenti delle Marne di Sant'Agata Fossili ai bordi della piana alluvionale del Fiume Tanaro (scarpate in lontananza, punto di presa il rilevato stradale).

8.1.2. Depositi quaternari (Pleistocene superiore-Attuale)

Sono costituiti dai prodotti della sedimentazione del fiume Tanaro nel corso delle sue numerose divagazioni.

La distinzione cronologica è basata sulla morfologia ovvero sulla quota relativa tra i depositi e l'alveo attuale, in quanto dal punto di vista granulometrico si tratta sempre di un'associazione complessa ed eterogenea con prevalenza di sabbie e ghiaie, a tratti con presenza di ciottoli e locali concentrazioni di materiale fine siltoso ed argilloso. I depositi argillosi corrispondono a fasi di disattivazione dell'asta fluviale con deposizione di sedimenti fini, principalmente per decantazione.

Questi sedimenti sono caratterizzati da frequenti variazioni laterali di facies, tipiche dei corsi d'acqua di tipo braided.

Il suolo è di norma decisamente poco sviluppato (poche decine di cm) oppure assente, specialmente in prossimità dei corsi d'acqua.

All'interno dell'unità considerata nel suo complesso è stata operata la suddivisione rappresentata in carta, utilizzando principalmente criteri morfologici e, per la parte più recente prossima al corso attuale del Tanaro, i dati cartografici e storici. In forma schematica si può

osservare che le alluvioni medio-recenti costituiscono le superfici terrazzate e generalmente stabilizzate distribuite a quote diverse all'interno delle incisioni dei corsi d'acqua.

I depositi post-glaciali occupano gran parte della superficie pseudoterrazzata in destra orografica del F. Tanaro lungo la quale si sviluppa il concentrico di Alba. Si tratta prevalentemente di depositi alluvionali con modesta alterazione, costituiti da ghiaie e sabbie sciolte con locali lenti di ciottoli in matrice sabbioso-limosa, localmente argillosa.

I depositi alluvionali recenti del F. Tanaro occupano gran parte del fondovalle ed interessano sia la piana inferiore con prevalenti ghiaie e sabbie con locali lenti di ciottoli alla base, sia la piana superiore con coperture metriche sabbioso-limose.

Depositi alluvionali attuali caratterizzano l'alveo attivo del F. Tanaro e dei suoi affluenti. Sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie da sciolte a mediamente sciolte con presenza di ciottoli, lungo l'alveo del F. Tanaro, e sabbie ghiaioso-limose con subordinati ciottoli lungo gli alvei dei principali affluenti.

I depositi eluvio colluviali interessano solo le aree a ridosso dei fianchi della valle del Fiume Tanaro, come prodotto dell'azione di erosione ad opera del reticolo idrografico minore dei suoli di copertura, del substrato, dei depositi di soliflussione e dei dissesti. Tali depositi non influenzano direttamente l'opera in oggetto.

Infine, in alcune aree si rileva la presenza di depositi classificabili come di riporto, soprattutto risultato dell'attività estrattiva, costituito da ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa.

Basandosi su evidenze morfologiche, sui risultati delle indagini dirette e geofisiche e sul rilevamento superficiale, è stata operata una distinzione che si riporta in carta e che presenta le seguenti principali unità:

- **a6:** Depositi alluvionali medio-recenti terrazzati. Sabbie, ghiaie e limi, con alla sommità suolo sviluppato con spessore sino a 2 m. Presenza di sedimenti eluvio-colluviali al piede delle scarpate (Olocene - Pleistocene superiore) (Figura 10).



Figura 10: Affioramenti dei depositi alluvionali medio recenti a6 (rispettivamente suolo e sabbie e ghiaie).

- **a7a:** Depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie e sabbie presenti nell'alveo di piena e nei tratti di asta fluviale attivi nel corso dell'ultimo secolo (Figura 11). Questo termine comprende i sedimenti deposti o rimaneggiati dal Tanaro nelle fasi evolutive più recenti dell'alveo riconoscibili direttamente sulla cartografia di questo secolo e la documentazione d'archivio. La sua distinzione risulta fondamentale per la definizione delle possibili interferenze tra il tracciato autostradale e l'evoluzione della rete idrografica principale in un intervallo temporale confrontabile con la vita prevista dell'opera. Questi depositi, pur risultando isolati rispetto ai processi ordinari di dinamica fluviale, evidenziano le aree sede, solo alcune decine di anni fa, dei canali di deflusso principali e l'ampiezza del fondovalle interessato normalmente dai processi evolutivi del fiume.



Figura 11: Depositi alluvionali attuali depositati durante uno degli ultimi eventi di piena. In primo piano: ghiaia e ciottoli lasciati da una rottura d'argine; sullo sfondo il ponte sul Fiume Tanaro appartenente alla Tangenziale di Alba.

- **a7b**: Depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie e sabbie affioranti nel canale di deflusso ordinario (Figura 12). Gran parte dei sedimenti all'interno del canale di deflusso ordinario, in particolare quelli costituenti gli isolotti temporanei e le barre, sono classificabili come ghiaie medio-grossolane e subordinati ciottoli, con sabbia debolmente limosa.
- **Terreno di riporto**: oltre ai terrapieni e argini di origine antropica, nell'area di influenza del progetto si rileva la presenza di spessori di riporto considerevoli soprattutto nell'area a ridosso del ponte sul Fiume Tanaro (Figura 13).

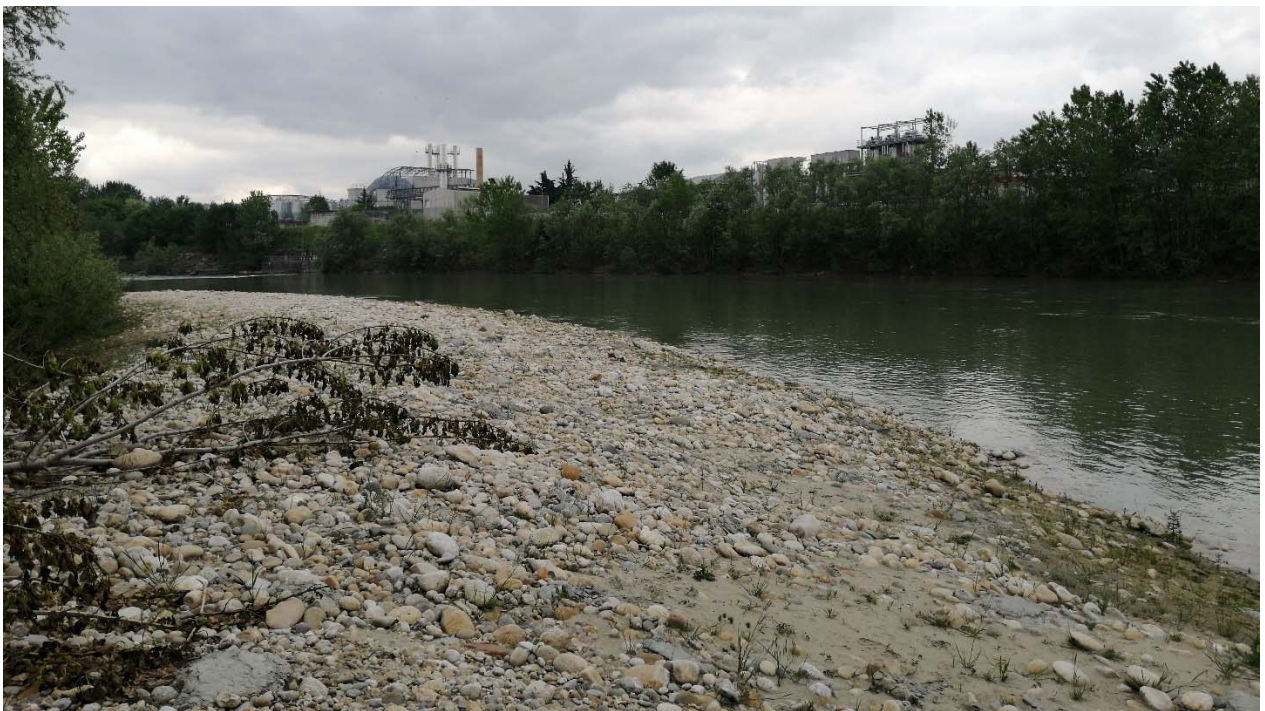


Figura 12: Depositi alluvionali attuali all'interno dell'alveo del Tanaro, costituenti la sponda a ridosso del ponte sul Fiume Tanaro appartenente alla Tangenziale di Alba.



Figura 13: Terreni di riporto connessi all'attività estrattiva.

8.2. IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO

Nell'area di interesse i corsi d'acqua a carattere permanente e con un certo livello di organizzazione del reticolo tributario sono il Fiume Tanaro, il Torrente Riddone, oltre al canale artificiale di Verduno, ubicato all'inizio del tratto oggetto di adeguamento.

Dal punto di vista idrogeologico, i depositi ascrivibili al Quaternario presentano una giacitura orizzontale e ricoprono, in discordanza ed in discontinuità, le formazioni sottostanti. Si può notare come le formazioni mioceniche e plioceniche costituiscano i rilievi delle colline braidensi e delle Langhe entro cui scorre incassato il F. Tanaro. Il riempimento della valle

attuale del Tanaro è rappresentato da depositi clastici grossolani ascrivibili alle alluvioni attuali (a7a, a7b) ed alle alluvioni medio- recenti (a6) che costituiscono un pacco di sedimenti con spessore piuttosto costante e compreso tra 5 ed 8 metri.

8.2.1. Definizione delle principali unità idrogeologiche

La successione stratigrafica e l'assetto geologico-strutturale dell'area consentono di individuare varie serie idrogeologiche con caratteristiche nettamente differenziate, ognuna delle quali articolata a sua volta in più complessi idrogeologici. In funzione del ruolo che rivestono nei confronti della circolazione sotterranea, per il settore di interesse per la Tangenziale di Alba in esame sono state individuate le seguenti 2 serie:

- **Serie idrogeologica 1:** relativa ai termini argilloso-marnosi e marnoso-gessosi costituenti il substrato locale a bassa permeabilità della circolazione idrogeologica;
- **Serie idrogeologica 2:** comprendente l'insieme dei depositi alluvionali a granulometria prevalentemente grossolana, presenti con limitati spessori ma con estensione degli affioramenti a scala chilometrica sul fondovalle del F. Tanaro e dei suoi principali affluenti.

La caratterizzazione di dettaglio delle Serie idrogeologiche distinte è svolta di seguito.

Serie idrogeologica 1 - Complesso argilloso-marnoso di base.

Corrisponde alla porzione della sequenza basale a granulometria fine che può essere assunta come substrato impermeabile. Comprende una successione monotona di marne argilloso-siltose, con sottili intercalazioni di sabbie fini e limi. La permeabilità primaria è molto bassa per porosità. La sua delimitazione si basa fundamentalmente sul comportamento dell'ammasso che nell'insieme deve poter essere considerato pressoché impermeabile. Nell'area oggetto di studio corrisponde alle Marne di Sant'Agata Fossili e, localmente, alle marne messiniane che si sovrappongono in apparente continuità. Prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc a carico variabile eseguite hanno fornito valori del coefficiente di conduttività idraulica dell'ordine di $k = 10^{-7} - 10^{-10}$ m/s. Permeabilità più elevate si riscontrano in corrispondenza dei livelli sabbioso-limosi di maggiore spessore e nell'ambito dell'orizzonte superficiale alterato ($k = 10^{-4} - 10^{-7}$ m/s).

La presenza di circolazione idrica, sia pure con potenzialità estremamente ridotte, è stata accertata con le indagini in corrispondenza delle intercalazioni limoso-sabbiose fini dotate di maggiore continuità areale nell'adiacente Lotto 2.6. I dati disponibili per il tratto di adeguamento della Tangenziale di Alba non consentono, al momento, di evidenziare con certezza la presenza di questa circolazione profonda, né di ricostruire in modo sufficientemente rappresentativo l'assetto della relativa piezometria.

Serie idrogeologica 2 - Costituisce il riempimento delle incisioni vallive relative al reticolo idrico principale (Valle Tanaro e principali tributari).

Complesso delle alluvioni medio-recenti ed attuali, costituito in grande prevalenza dai depositi medio-recenti. L'ambiente deposizionale è riferibile a corsi d'acqua di tipo braided, caratterizzati da corpi sedimentari di modesta estensione laterale e verticale, delimitati alla base da superfici erosive. Generalmente, queste unità sono caratterizzate da una base grossolana (ghiaie) che verso l'alto passa gradualmente a sedimenti essenzialmente fini. I depositi sono caratterizzati da un'elevata eterogeneità litologica laterale in cui possono individuarsi corpi a granulometria grossolana, privi di fine, relativi a paleoalvei che rappresentano vie di scorrimento preferenziale delle acque sotterranee. Le prove di permeabilità in foro eseguite nel corso delle varie Campagne di indagine geognostica hanno fornito valori di $k = 10^{-4}$ a 10^{-5} m/s.

Questo complesso costituisce l'acquifero principale, che raggiunge spessori massimi di 5 - 8 m, intensamente sfruttato per scopi irrigui da numerosi pozzi generalmente perforati a modesta profondità. La particolare morfologia del limite inferiore, relativa a fenomeni erosivi, e la presenza di orizzonti molto permeabili in corrispondenza dei paleoalvei principali, improntano il flusso sotterraneo individuando assi di drenaggio preferenziale in cui le acque circolano molto più rapidamente. A tale situazione sono riferibili, molto probabilmente, le forti differenze di facies chimica riscontrate. In particolare, nelle zone a circolazione lenta (bassa permeabilità) le acque risultano molto più mineralizzate di quelle relative ai settori con flussi rapidi (zone a maggiore permeabilità).

Si può osservare come il complesso delle alluvioni risulti profondamente incassato entro depositi nell'insieme impermeabili, appartenenti essenzialmente al complesso argilloso-marnoso, che ne costituiscono i limiti inferiore e laterale. Altri complessi idrogeologici poco

permeabili affioranti in aree esterne a quelle di interesse progettuale (complesso conglomeratico, complesso sabbioso) non risultano avere alcun rapporto con l'acquifero in questione in quanto affioranti lungo i margini della valle a quote più elevate. L'andamento della superficie piezometrica locale e le analisi geochimiche delle acque sembrano, in ogni caso, escludere l'esistenza di rapporti tra i diversi acquiferi. Il complesso delle alluvioni è, quindi, sostanzialmente isolato dagli altri per cui appare evidente che esso mantenga rapporti idrodinamici unicamente con il Fiume Tanaro o con i canali irrigui che scorrono nella piana su entrambe le sponde del corso d'acqua.

8.2.2. Definizione della piezometria

L'andamento della piezometria annuale denota un comportamento a grandi linee abbastanza simile per i diversi pozzi considerati, con livelli minimi invernali ed estivi connessi alla scarsità degli apporti zenitali e delle portate del F. Tanaro. I livelli massimi, generalmente tardo-primaverili (fine maggio), sono relativi alle notevoli portate del Fiume connesse allo scioglimento del manto nevoso nel settore più elevato montano del bacino idrografico. Le escursioni annuali del livello piezometrico sono normalmente modeste, dell'ordine del metro circa.

Nell'ambito della variabilità annuale dei livelli piezometrici i minimi rilevabili localmente nel periodo luglio-agosto sono invece riferibili senza dubbio all'alimentazione diretta della falda ad opera delle acque di infiltrazione provenienti dall'irrigazione dei campi.

In corrispondenza del tracciato autostradale e per un ampio settore di fondovalle circostante è stato ricostruito l'assetto della superficie piezometrica relativo alla falda superficiale, rappresentato nella Carta Idrogeologica allegata. L'elaborazione è stata condotta sulla base dei livelli massimi rilevati, dei rapporti con i corpi idrici superficiali e dell'andamento generale della piezometria ricostruita recentemente per il territorio di Alba da Civita et alii (1999). I limiti del quadro conoscitivo fanno ritenere che la rappresentazione ottenuta sia riferibile ad un assetto della falda in condizioni idrologiche ordinarie. Nel caso si verificassero apporti idrici rilevanti o eccezionali, la sua rappresentazione può subire modifiche rilevanti.

L'assetto della superficie piezometrica risulta articolato, in funzione dell'andamento del tetto del substrato argilloso-marnoso su cui poggiano i depositi alluvionali, dei rapporti con i corpi idrici superficiali (in particolare, il F. Tanaro e la rete di canalizzazioni) e delle direzioni principali di deflusso sotterraneo (vedi Carta Idrogeologica). L'integrazione dei dati piezometrici con il modello di circolazione relativo alla falda superficiale elaborato per l'area da Civita et alii (1999) consente di evidenziare con un certo dettaglio il pannello del fondovalle, con la pendenza della superficie piezometrica che diminuisce dal settore occidentale verso quello nordorientale. L'alveo attuale del F. Tanaro, in generale, risulta drenare l'acquifero come mostrano le direttrici di deflusso sotterraneo. L'individuazione di assi di drenaggio indipendenti dall'attuale corso del Fiume, ipotizzabili sulla base dell'andamento della piezometria, indica la presenza di paleovalvei del Tanaro e paleovalli di suoi affluenti in grado di condizionare i deflussi sotterranei.

Nel complesso tutta la successione acquifera risulta dotata di una trasmissività più o meno elevata. Il pannello piezometrico conferma questa ricostruzione, mostrando gradienti diversi e identificando direzioni di flusso prevalenti che sono sicuramente influenzate dall'attuale posizione del fiume ma anche dai tratti di alveo precedenti.

L'alimentazione dell'acquifero è solo in minima parte locale, ossia relativa agli apporti diretti delle precipitazioni. Per la massima parte essa è legata alla dinamica del Tanaro nelle zone a monte, ove notevoli sono gli interscambi, e dalla ricarica dovuta alle perdite dei canali artificiali. Questi sono alimentati da derivazioni sul fiume o anche da corsi d'acqua minori, a regime torrentizio, provenienti dai rilievi collinari impostati su litologie a bassa permeabilità. Il pannello piezometrico a cavallo delle canalizzazioni mostra che i canali drenano l'acquifero dalla parte di monte, restituendo dal lato di valle.

L'elevata trasmissività e la scarsa soggiacenza rendono l'acquifero molto vulnerabile all'inquinamento.

Lungo il tracciato dell'adeguamento alla Tangenziale di Alba, il livello di falda è stato ricavato sulla base dei piezometri a tubo fenestrato installati durante le differenti campagne geognostiche eseguite.

Il livello piezometrico della falda risente, in funzione della permeabilità delle coperture e della fitta rete di canalizzazioni presenti, dei rapporti con la circolazione in alveo, degli apporti meteorici diretti, delle perdite dei canali maggiori e dell'irrigazione diffusamente utilizzata. Il

quadro delle misure piezometriche disponibili e le prove di permeabilità eseguite nelle diverse fasi di indagine sono riportate nelle Tabelle 1 e 2. Sulla base di questi dati e delle conoscenze complessivamente disponibili per l'area di progetto è stato ricostruito l'andamento indicativo della falda superficiale ospitata nella copertura alluvionale in corrispondenza del tracciato autostradale (vedi Profilo Geologico).

Per una corretta interpretazione dell'andamento piezometrico occorre sottolineare che la maggior parte delle misure è stata ottenuta in un periodo caratterizzato da precipitazioni scarsissime o del tutto assenti (2001-2002). I livelli rilevati sono riferibili per lo più a posizioni relativamente "deprese" della falda. Inoltre, solo per pochi piezometri sono disponibili serie di misure distribuite su un intervallo temporale abbastanza ampio.

Nell'elaborazione del Profilo geologico e della Carta idrogeologica si è tenuto conto dei limiti del quadro conoscitivo attualmente disponibile. Per fornire un quadro rappresentativo del reale assetto idrogeologico, sono state mantenute distinte le misure di soggiacenza rilevate nei piezometri impostati nell'acquifero superficiale da quelle ottenute sugli strumenti impostati nella falda profonda. L'andamento del livello piezometrico riportato sul Profilo Geologico è relativo alla sola falda libera superficiale ospitata nella Serie Idrogeologica 2, per la quale è disponibile il maggior numero di misure e la maggior estensione temporale di queste ultime.

Lungo il tracciato il livello piezometrico relativo alla falda libera superficiale si dispone, sulla base dell'interpolazione dei valori minimi delle soggiacenze, per lo più a profondità di 2 – 4 metri dal piano campagna originario che in alcuni tratti risulta significativamente più basso dell'altimetria costituente la base del profilo. Valori di soggiacenza minori, con falda sub affiorante, possono eventualmente riscontrarsi nelle aree circostanti, dove i depositi superficiali sono stati asportati a seguito delle attività estrattive. Sulla base dei dati rilevati nelle zone di fondovalle limitrofe, in analoghi contesti idrogeologici, è possibile valutare in circa 1 m l'oscillazione ordinaria dei livelli di falda in assenza di rilevanti perturbazioni antropiche (pompaggio da pozzi).

I piezometri installati interessano con i tratti fenestrati la copertura alluvionale o il substrato argilloso-marnoso a bassa permeabilità. Nell'ambito dei sondaggi più lunghi, i tratti filtranti sono stati posizionati esclusivamente nel substrato, per verificare l'esistenza di circuiti idrici profondi. I risultati disponibili non consentono al momento di evidenziare con chiarezza la presenza di circolazione idrica rilevante all'interno delle Marne di Sant'Agata.

Sondaggio	Tipo piezometro	Tratto filtrante (m)	03/11/98	19/11/98	21/12/98	25/01/99	20/02/99	23/03/99	28/04/99	31/05/99	10/08/99	27/09/99	10/10/01	16/11/01	28/05/01	07/12/01	20/12/01
SPD25-1	Tubo aperto	3 - 15	6.01	6.05	6.10	6.03	6.04	6.21	6.27	6.23	5.50	5.75					
SPD25-2	Tubo aperto	3 - 17	12.50	11.62	10.60	dann	dann										
SPD25-3	Tubo aperto	3 - 15		4.90		5.13	5.10	5.10 5	5.10	5.01	3.85	4.87					
SPDV 25-1	Tubo aperto	1 - 7															2.04
SPDV 25-2	Tubo aperto	1 - 7															2.35
SPDV 25-3	Tubo aperto	1 - 10													5.73		NT
SPDV 25-4	Tubo aperto	3 - 15															NA
SPDV 25-5	Tubo aperto	3 - 9													5.50 il 05/06		distr.
SPDV 25-6	Tubo aperto	3 - 12															5.21
SPDV 25-7	Tubo aperto	12 - 50															7.65
SPDV 25-8	Tubo aperto	6 - 60															1.92
SPDV 25-9	Tubo aperto	30 - 60															4.25
SPDV 25-10	Tubo aperto	9 - 36															5.14
SPDV 25-11	Tubo aperto	12 - 50															3.74
SPDV 25-13	Tubo aperto	3 - 9															3.81
SPDV 25-14	Tubo aperto	9 - 30															4.38
SPDV 25-15	Tubo aperto	3 - 12															5.71
SPDV 25-17	Tubo aperto	3 - 12															4.17
SPDV 25-18	Tubo aperto	3 - 12															3.64
SPDV 25-19	Tubo aperto	3 - 9															3.92
SPDV 25-20	Tubo aperto	3 - 12															6.13

Sondaggio	Piezometro Norton			Falda da p.c. (m)	Data
	<i>Tratto cieco</i>	<i>Tratto fessurato</i>	<i>Tratto cieco</i>		
S1	0.00 - 3.00 m	3.00 - 9.00 m	9.00 - 10.00 m	4.30	Gennaio 2009
S4	0.00 - 3.00 m	3.00 - 9.00 m	9.00 - 12.00 m	4.10	Gennaio 2009
S5	0.00 - 3.00 m	3.00 - 9.00 m	9.00 - 12.00 m	2.50	Gennaio 2009
S6	0.00 - 3.00 m	3.00 - 6.00 m	6.00 - 9.00 m	2.70	Gennaio 2009
S7	0.00 - 3.00 m	3.00 - 6.00 m	6.00 - 9.00 m	2.50	Gennaio 2009
S8	0.00 - 3.00 m	3.00 - 6.00 m	6.00 - 9.00 m	2.30	Gennaio 2009
S9	0.00 - 3.00 m	3.00 - 7.00 m	7.00 - 10.00 m	3.10	Gennaio 2009
SIA7	0.00 - 1.50 m	1.50 - 7.00 m	7.00 - 40.00 m	2.40	Giugno 2006

Sondaggio	Piezometro Casagrande	Falda da p.c. (m)	Data
S1	Profondità cella 27.00 m	7.40	Gennaio 2009
S4	Profondità cella 21.00 m	11.80	Gennaio 2009
S6	Profondità cella 18.00 m	7.30	Gennaio 2009

dann = piezometro danneggiato;

distr = piezometro distrutto;

NT = piezometro non localizzato; **NA** = la misura disponibile non è attendibile

TABELLA 1: Quadro di sintesi delle misure piezometriche eseguite nel corso delle Campagne d'indagine.

Sondaggio	Profondità tratto di prova (m)	k (m/s)	Tipo di prova
SPDV 25-13	5.7 - 6.0	2.63×10^{-4}	Lefranc cc
SPDV 25-01	4.0 - 4.5	1.73×10^{-4}	Lefranc cc
	8.8 - 10.0	4.02×10^{-7}	Lefranc cv
	13.4 - 14.0	7.40×10^{-7}	Lefranc cv
	17.8 - 18.5	7.70×10^{-7}	Lefranc cv
	22.4 - 23.0	5.87×10^{-7}	Lefranc cv
	26.8 - 27.4	7.32×10^{-7}	Lefranc cv
	31.4 - 32.0	4.46×10^{-7}	Lefranc cv
	35.8 - 36.5	8.56×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-02	4.0 - 4.5	7.91×10^{-5}	Lefranc cc
	7.3 - 8.0	2.57×10^{-7}	Lefranc cv
	11.8 - 12.5	4.17×10^{-7}	Lefranc cv
	17.5 - 18.0	4.95×10^{-7}	Lefranc cv
	22.0 - 22.5	2.67×10^{-7}	Lefranc cv
	29.8 - 30.5	6.73×10^{-7}	Lefranc cv
	34.0 - 34.5	4.91×10^{-7}	Lefranc cv
	39.0 - 39.5	6.04×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-03	4.0 - 4.5	2.65×10^{-4}	Lefranc cc
	8.5 - 9.0	1.12×10^{-4}	Lefranc cc
	14.5 - 15.0	6.61×10^{-7}	Lefranc cv
	19.0 - 19.5	5.49×10^{-7}	Lefranc cv
	26.5 - 27.0	1.51×10^{-6}	Lefranc cv
	29.5 - 30.0	9.85×10^{-7}	Lefranc cv
	35.5 - 36.0	1.85×10^{-7}	Lefranc cv
	40.0 - 40.5	7.55×10^{-7}	Lefranc cv
	44.5 - 45.0	2.56×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-04	4.5 - 5.0	7.88×10^{-5}	Lefranc cc
	9.0 - 9.7	2.39×10^{-4}	Lefranc cc
	12.5 - 13.0	1.10×10^{-6}	Lefranc cv
	19.3 - 20.0	6.70×10^{-7}	Lefranc cv
	23.5 - 24.0	5.43×10^{-7}	Lefranc cv
	29.5 - 30.0	3.60×10^{-7}	Lefranc cv
	34.3 - 35.0	7.29×10^{-7}	Lefranc cv
	38.8 - 39.5	5.54×10^{-7}	Lefranc cv
	43.3 - 44.0	3.97×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-05	4.0 - 4.5	1.21×10^{-4}	Lefranc cc
	8.9 - 9.5	1.15×10^{-6}	Lefranc cv
	13.3 - 14.0	7.88×10^{-7}	Lefranc cv
	17.8 - 18.5	7.70×10^{-7}	Lefranc cv
	22.0 - 22.5	5.47×10^{-7}	Lefranc cv
	25.5 - 26.0	5.38×10^{-7}	Lefranc cv
	29.5 - 30.0	8.56×10^{-7}	Lefranc cv

	35.4 - 36.0	5.62×10^{-7}	Lefranc cv
	38.8 - 39.5	5.66×10^{-7}	Lefranc cv
	43.3 - 44.0	7.72×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-06	4.0 - 4.5	7.91×10^{-5}	Lefranc cc
	8.8 - 9.3	7.80×10^{-7}	Lefranc cv
	13.4 - 14.0	5.35×10^{-7}	Lefranc cv
	19.0 - 19.5	4.95×10^{-7}	Lefranc cv
	22.4 - 23.0	6.59×10^{-7}	Lefranc cv
	27.0 - 27.5	5.42×10^{-7}	Lefranc cv
	31.4 - 32.0	5.74×10^{-7}	Lefranc cv
	37.0 - 37.5	4.18×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-07	5.0 - 5.5	2.16×10^{-4}	Lefranc cc
	8.5 - 9.0	1.17×10^{-4}	Lefranc cc
	15.0 - 15.5	6.59×10^{-7}	Lefranc cv
	21.0 - 22.0	4.91×10^{-7}	Lefranc cv
	27.0 - 28.0	6.21×10^{-7}	Lefranc cv
SPDV 25-10	4.5 - 4.8	1.87×10^{-4}	Lefranc cc
	7.5 - 8.0	3.24×10^{-5}	Lefranc cc
SPDV 25-13	5.7 - 6.0	2.63×10^{-4}	Lefranc cc
SPDV 25-14	4.5 - 4.8	3.07×10^{-4}	Lefranc cc
SPDV 25-19	4.5 - 4.8	1.50×10^{-4}	Lefranc cc
SPDV 25-20	5.5 - 6.0	1.29×10^{-4}	Lefranc cc

Sondaggio	Profondità tratto di prova (m)	K (m/s)	Tipo di prova
S1	4.50 ÷ 6.00	$>1.99 \times 10^{-4}$	Lefranc cc
S1	9.00 ÷ 10.00	1.19×10^{-8}	Lefranc cv
S2	5.50 ÷ 6.50	1.98×10^{-4}	Lefranc cc
S2	9.00 ÷ 10.50	2.29×10^{-8}	Lefranc cv
S3	3.50 ÷ 4.50	2.40×10^{-4}	Lefranc cc
S3	9.00 ÷ 10.50	1.43×10^{-8}	Lefranc cv
S4	4.50 ÷ 5.50	$>2.08 \times 10^{-4}$	Lefranc cc
S4	9.00 ÷ 10.50	6.57×10^{-9}	Lefranc cv
S5	4.50 ÷ 6.00	3.02×10^{-4}	Lefranc cc
S5	12.00 ÷ 13.00	6.75×10^{-9}	Lefranc cv
S6	4.50 ÷ 5.50	3.52×10^{-4}	Lefranc cc
S6	9.00 ÷ 10.50	3.86×10^{-9}	Lefranc cv
S7	3.00 ÷ 4.50	$>3.32 \times 10^{-4}$	Lefranc cc
S7	7.50 ÷ 9.00	4.25×10^{-9}	Lefranc cv

Legenda: cv = prova a carico variabile; cc = prova a carico costante

TABELLA 2: Collegamento A6-A21, Tronco II – Lotto 6 – Adeguamento Tangenziale di Alba. Quadro di sintesi delle prove di permeabilità del tipo Lefranc eseguite nel corso delle Campagne d'indagine.

9. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL TRACCIATO

9.1. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO DEL TRACCIATO

Sulla base dell'interpretazione dei dati fin qui esposti e delle indagini esistenti sono state definite le seguenti principali unità geologiche:

1. Riporti, rilevati artificiali e argini fluviali di origine antropica.
2. Depositi di origine fluviale.
3. Substrato marnoso.

Le proprietà di tali unità sono descritte nei paragrafi precedenti e possono essere così sinteticamente riassunti:

- **Unità 1:** Terreni di riporto R relativi agli accumuli principali presenti in corrispondenza di rilevati, argini, colmamento di scavi. La composizione granulometrica e lo stato di addensamento è estremamente variabile.
- **Unità 2:** Depositi alluvionali attuali e medio recenti, corrispondenti alle unità geologiche a6, a7a e a7b.
- **Unità 3:** Marne e argille marnose del substrato (corrispondono alle Marne di Sant'Agata Fossili, M4), al cui interno si possono identificare:
 - M4a – Argilla marnosa e marne argilloso-siltose con sottili livelli di limo e sabbia, da molto a estremamente consistenti, a tratti semilitoidi.
 - M4b – Limo argilloso e argilla limosa da poco a molto consistente, rappresentano l'orizzonte superiore alterato della successione argilloso-marnosa.

9.2. DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

INIZIO (PK 0+000) – SVINCOLO ALBA SUD/OVEST (PK 1+300): nel tratto iniziale, fino allo svincolo di Alba sud/ovest il tracciato si sviluppa in rilevato e poggia sui depositi alluvionali medio-recenti terrazzati di tipo a6, costituiti da sabbie, ghiaie e limi (Figura 14). Nei pressi dell'inizio del tratto dell'adeguamento scorre il Canale di Verduno.



Figura 14: Vista panoramica del primo tratto.

SVINCOLO ALBA SUD/OVEST (pk 1+300) – PONTE SUL FIUME TANARO (pk 2+120): tale tratto rappresenta l'avvicinamento al Ponte sul Fiume Tanaro, con il tracciato che corre in un rilevato che si innalza progressivamente fino a rappresentare la spalla del ponte (Figura 15). In tale tratto l'opera poggia sui depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie e sabbie di tipo a7a, risultato della deposizione degli eventi di piena recenti.



Figura 15: Vista panoramica della spalla del ponte sul Fiume Tanaro e del rilevato artificiale.

E' in questa porzione di tracciato che si rilevano segnali evidenti dell'azione degli eventi di esondazione del Tanaro, con rotture d'argine (Figura 16) ed erosione delle opere stradali.

Il rilevamento, infatti, ha evidenziato la presenza di depositi di ghiaie e ciottoli ai piedi dell'appoggio del ponte, in sponda destra, che si ritrovano distribuiti lungo tutto quello che rappresenta il canale di deflusso preferenziale dell'onda di piena a seguito della rottura d'argine segnalata nella carta geologica. In questo tratto l'ondata di piena ha creato un canale di erosione che ha interessato le fondazioni della pila del ponte sul Tanaro, con segnali di un inizio di sottoescavazione e deposizione di ghiaie e ciottoli (Figura 17) della stessa tipologia di quelli riscontrati in corrispondenza della rottura d'argine e nelle strade che tagliano la piana tra quest'ultima e l'opera .



Figura 16: Zona di rottura dell'argine con depositi di ghiaie e ciottoli e massi collocati a protezione.



Figura 17: Segnali di erosione ai piedi della pila in sponda destra.



Figura 18: depositi di ghiaie e ciottoli risultato della deposizione lungo il canale di deflusso a seguito della rottura dell'argine ad opera delle acque del Fiume Tanaro.

PONTE SUL FIUME TANARO (pk 2+120) – SVINCOLO ALBA EST (pk 3+600): in questo tratto il tracciato si sviluppa prevalentemente in viadotto (Figura 19). In corrispondenza dello svincolo il tracciato si sviluppa in rilevato superficiale, appoggiato sui depositi alluvionali medio recenti di tipo a6. In tale tratto il tracciato attraversa con un ponte il Torrente Riddone, corso d'acqua che in tale zona scorre protetto dentro a un alveo rivestito di calcestruzzo.



Figura 19: Viadotto in sponda sinistra del Fiume Tanaro appoggiato sui riporti.

SVINCOLO ALBA EST (pk 3+600) – FINE ADEGUAMENTO: nella parte finale, il tracciato oggetto di studio si sviluppa su un rilevato artificiale che poggia sui depositi alluvionali medio recenti terrazzati di tipo a6 (Figura 20).



Figura 20: panoramica del tratto finale del tracciato.

Il rilevamento eseguito per la presente fase progettuale non ha evidenziato condizioni idrogeologiche superficiali che possano rappresentare una pericolosità per l'opera, quali, ad esempio, anomali accumuli di umidità o ristagni nei pressi dei rilevati stradali.

10. INQUADRAMENTO SISMICO

10.1. PREMESSA

Nel seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e dei risentimenti macrosismici osservati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, sulla scorta delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Seguendo sempre le indicazioni normative, l'accelerazione di progetto si definirà in base all'effettiva localizzazione delle opere.

Le NTC2018 dispongono che l'azione sismica sia innanzitutto determinata in campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); allo scopo, le tabelle allegate alla edizione 2008 delle NTC (non aggiornate nella nuova edizione delle Norme) elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, nei punti di una griglia di passo 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area di progetto in Figura 10-1).

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

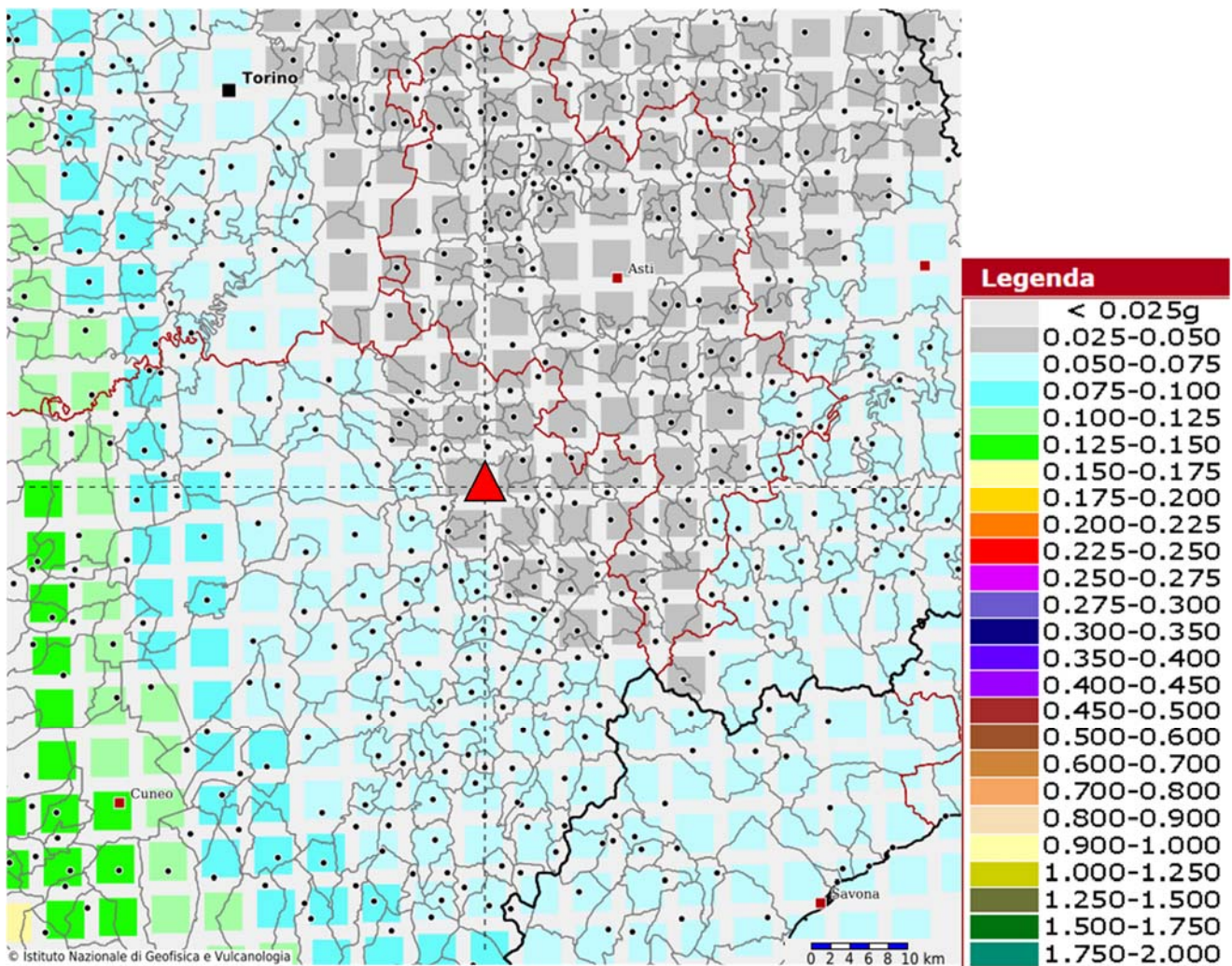


Figura 10-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno del sito di progetto (triangolo rosso), da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Per la localizzazione dell'opera in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 10-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche di interesse per la definizione di categoria di sottosuolo (vedi nel seguito).

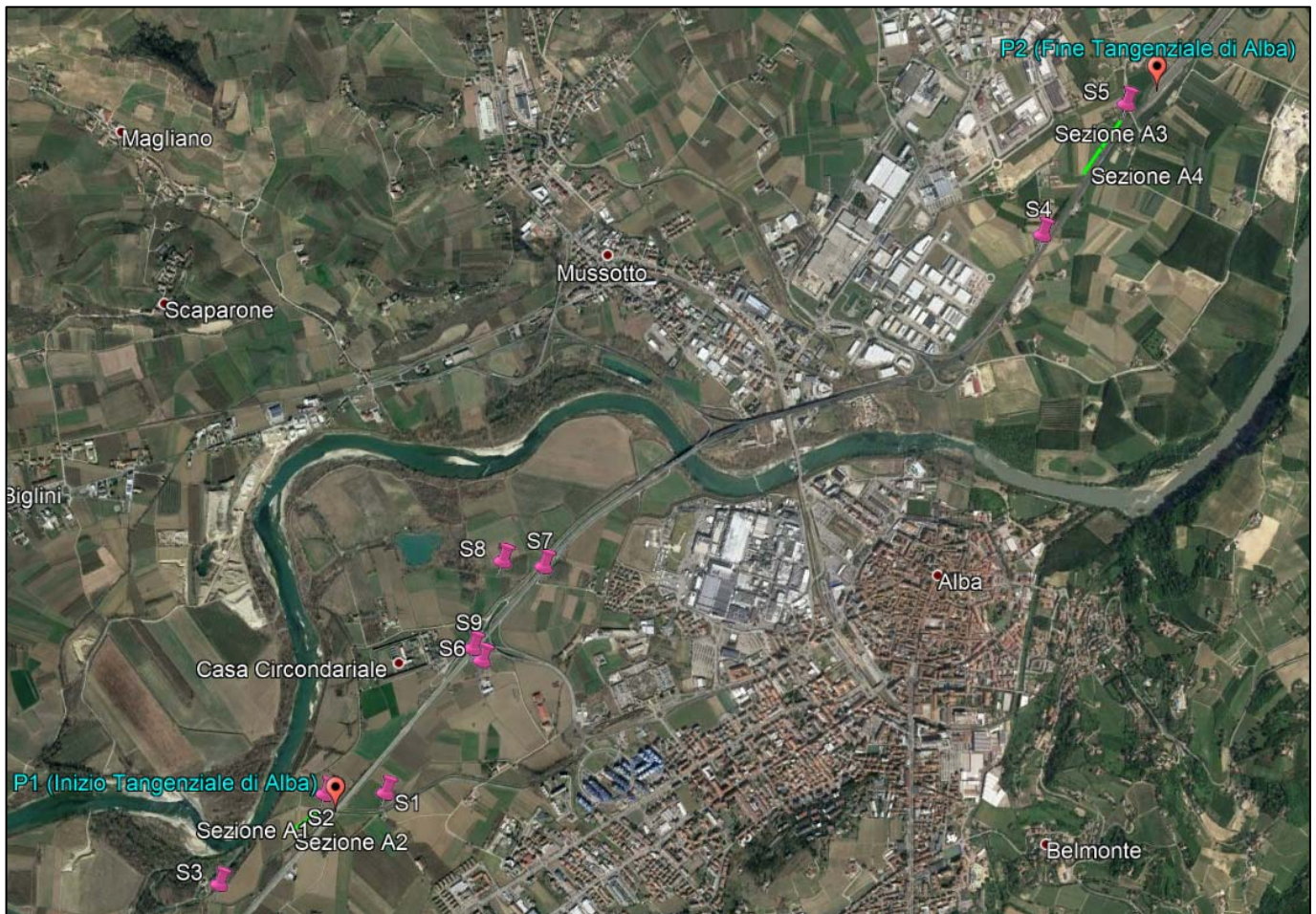


Figura 10-2 – Localizzazione delle opere in progetto con sondaggi e prove geofisiche della campagna di 2009 assieme ai punti in corrispondenza dell'inizio e della fine del tracciato (P1 e P2).

10.2. AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

Il territorio piemontese è circondato lungo i confini settentrionali, occidentali e meridionali dai rilievi montuosi del sistema alpino occidentale. La storia geologica del Piemonte è dominata dall'evoluzione della catena alpina, ossia la catena collisionale il cui sviluppo può essere delineato durante l'era del Cretaceo in relazione ai movimenti relativi delle placche litosferiche dell'Eurasia e dell'Africa.

In termini di attività sismica, in Figura 10-3 viene illustrata la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici e di quelli rilevati strumentalmente ed inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida et al., 2016). Gli epicentri sono sovrapposti alle zone sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018). Sono inoltre riportate le principali faglie attive individuali (ISS) e sistemi di faglie

composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia derivate dalla sismicità storica.

Gli epicentri dei terremoti si concentrano principalmente lungo due fasce, ovvero:

- l'arco sismico piemontese, che segue la direzione dell'arco alpino occidentale nella sua parte interna, in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità, lungo il limite fra le unità penniniche e la pianura padana;
- l'arco sismico Brianzese che segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni, in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi occidentali francesi, lungo il Fronte Penninico.

Le due fasce proseguono verso N fino al Vallese, area interessata da una diffusa sismicità, e convergono a sud nel Cuneese, con una maggiore dispersione verso la costa del Mar Ligure, interessando la zona ovest della Liguria. Una diffusa sismicità è inoltre presente lungo i rilievi a sud del Piemonte e in particolare nell'Appennino settentrionale.

Il sito di progetto ricade ad est delle ZS 908 e 909, le quali disegnano l'arco delle Alpi occidentali e che sono disposte secondo due fasce parallele all'asse della catena. Queste zone presentano una sismicità diffusa di intensità modesta.

A sud del sito di progetto troviamo la zona 910 in cui è avvenuto il terremoto distruttivo di Diano del 1887 (M_w 6.29 in CPT15). Dal punto di vista strutturale, essa è considerata (come il Vallese) l'area di svincolo che consente l'arretramento dell'arco alpino occidentale (Meletti et al., 2008). Questa zona è peraltro caratterizzata da una sismicità più elevata dei settori in arretramento.

Infine, a S-E si incontra la ZS911, la quale delimita l'estremità settentrionale dell'arco appenninico. Si ipotizza che le strutture di questa zona abbiano una funzione di "svincolo" cinematico del sistema in migrazione (Gruppo di Lavoro, 2004).

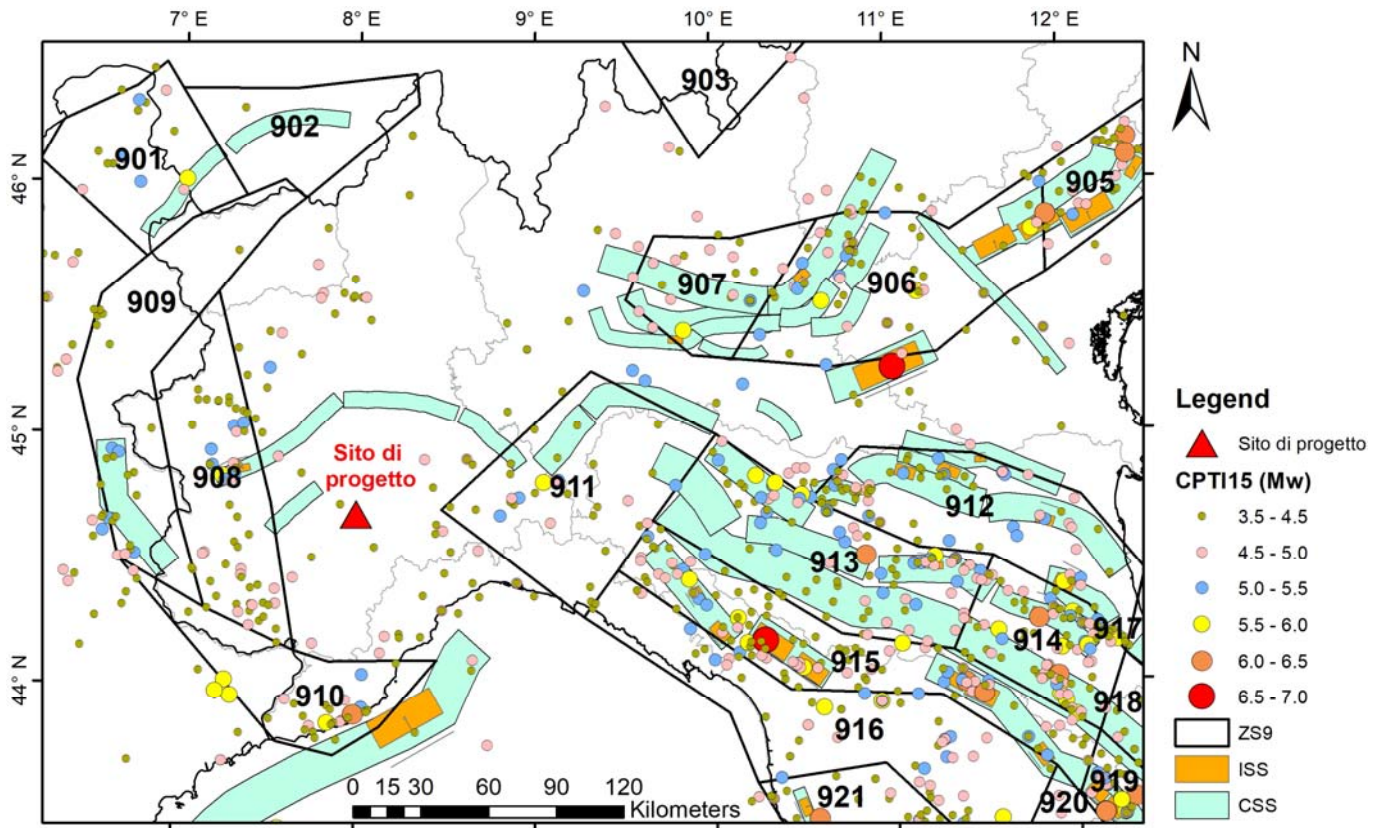


Figura 10-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno dell'area di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

Le potenziali strutture di faglia più vicine all'area di progetto, riportate in Figura 10-4 dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS 3.2.1 (DISS Working Group 2018), sono costituite da sistemi di faglie composite (CSS). I sistemi di faglie più prossimi alla zona di progetto sono ITCS178 (Southern Piedmont), ITCS179 (Western Monferrato) e ITCS180 (Eastern Monferrato) con magnitudo caratteristica pari a 5.5 e ITCS023 (Western Piedmont) con magnitudo di 5.7. I cataloghi storici e strumentali mostrano pochi terremoti moderati che colpiscono l'Arco del Monferrato. Gli eventi maggiori si sono verificati a sud-ovest di Torino ai piedi delle Alpi durante una sequenza sismica comprendente due terremoti aventi M_w 5.6 e M_w 5.3 il 2 e il 16 aprile 1808 (CPTI15, Rovida et al., 2016).

Sulla base delle indicazioni del catalogo delle Faglie Capaci ITHACA, curato da ISPRA, non sono state individuate lineazioni potenzialmente interagenti con il sito di progetto. (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).

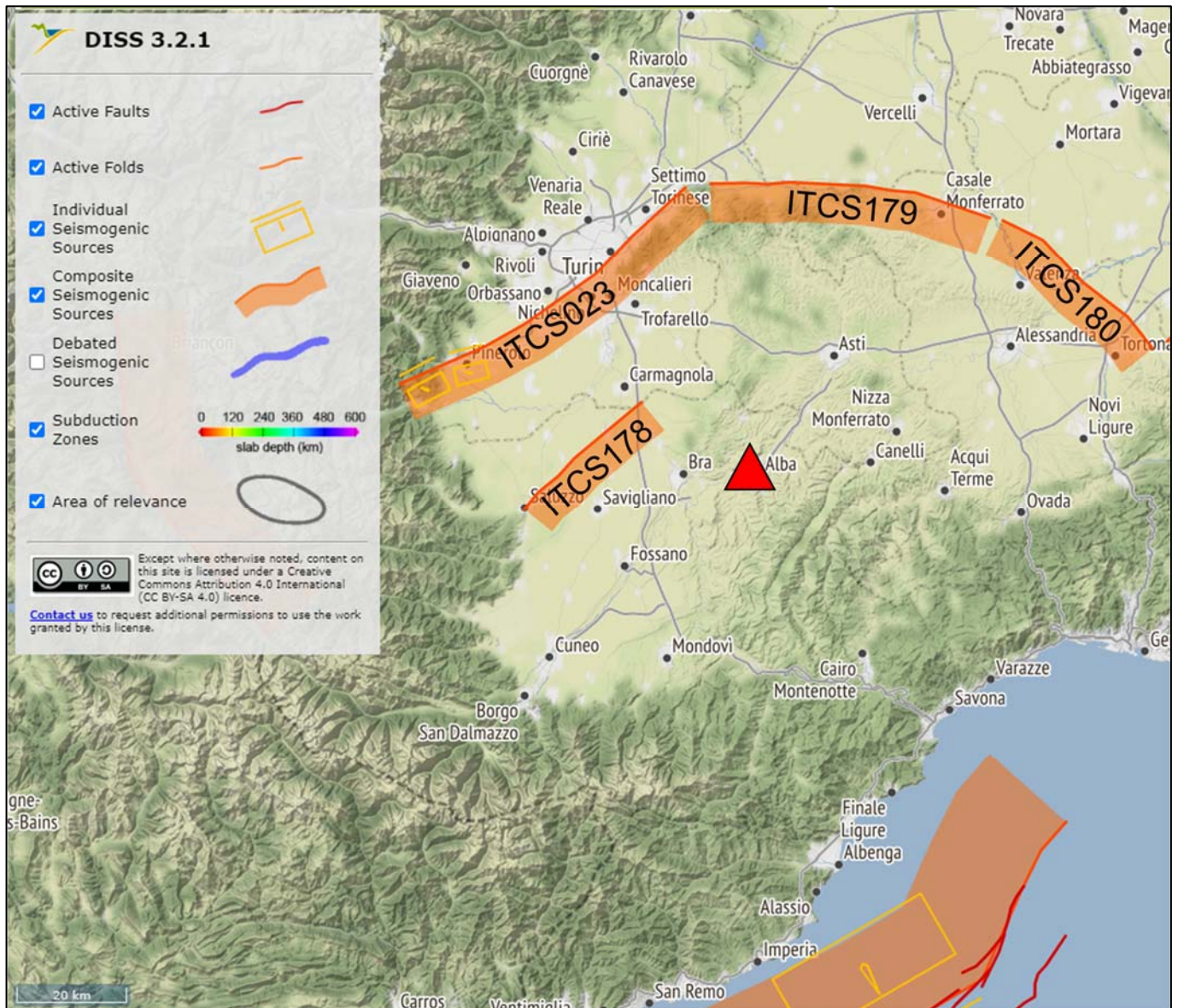


Figura 10-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2.1) rilevanti per l’area in oggetto (triangolo rosso).

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche (I_{MCS}) risentite a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014.

In particolare, l'estratto di Figura 10-5 mostra la storia sismica associata al comune di Alba. Si osserva come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia generalmente ridotta nell'intervallo di tempo di osservazione, con intensità sismiche massime avvertite nell'ordine di 6. Gli eventi più significativi in termini di intensità percepita nell'area di progetto sono il terremoto delle Langhe del 1786 ($M_W = 4.29$) e della Liguria occidentale del 1887 ($M_W = 6.27$). Da quanto sopra si evince come sia associabile all'area interessata dai siti di progetto una sismicità complessivamente bassa.

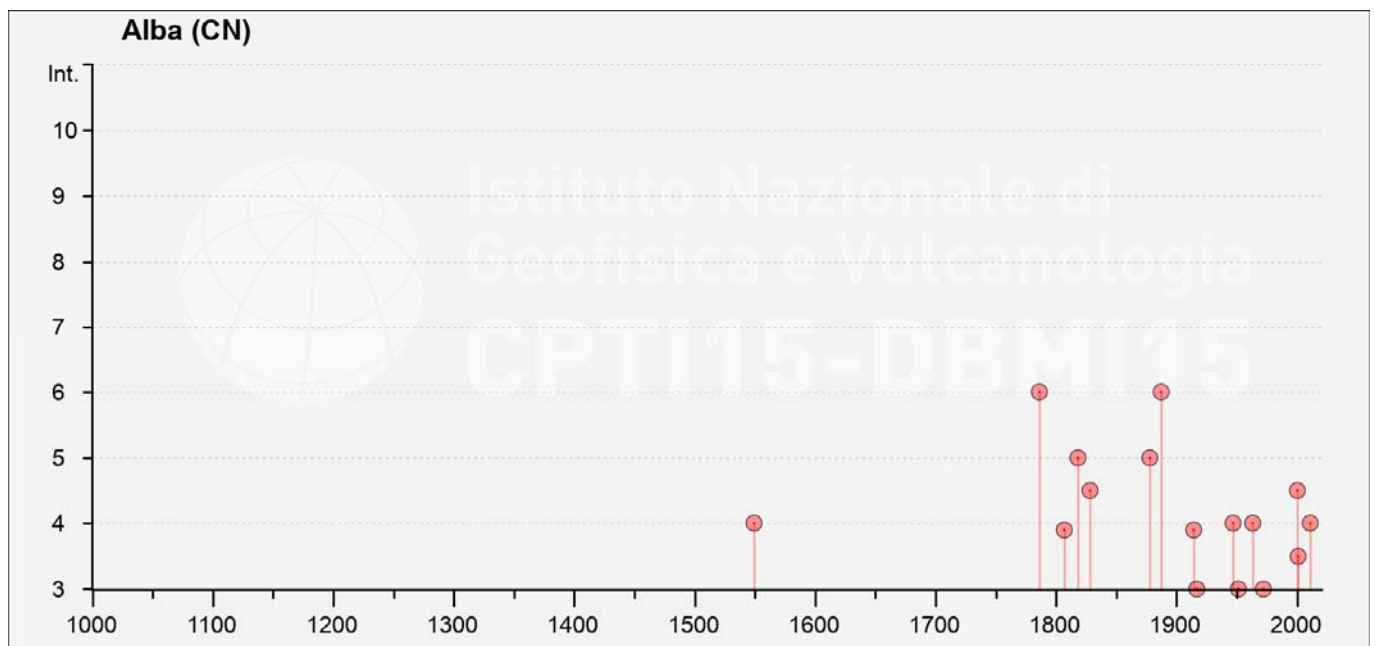


Figura 10-5 – Storia macrosismica del Comune di Alba dal catalogo DBMI 2015 (Locati et al., 2016).

10.3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

10.3.1. Generalità

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di

riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- 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 in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 10.3.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 10.3.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti. La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 0 arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

10.3.2. Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento per l'azione sismica

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sempre sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso IV, ossia:

“Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non

altresi serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.”

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso IV corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

$$C_U = 2.0$$

Il periodo di riferimento V_R si ottiene moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \times 2.0 = 200 \text{ anni}$$

10.3.3. Stati limite e probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

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

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica e le probabilità di superamento per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 10-1.

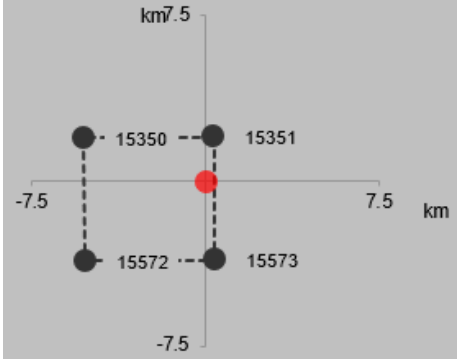
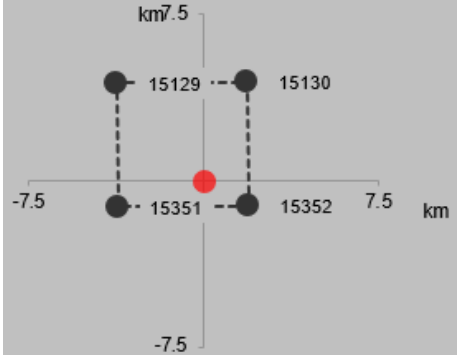
Tabella 10-1 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto per i diversi stati limite.

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR}	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	120
	Stato limite di danno (SLD)	63%	201
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	1898
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	2475

10.3.4. Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire i valori della pericolosità sismica di base, sono stati scelti 2 punti di riferimento in corrispondenza dell'inizio e della fine dell'intervento (P1 e P2 in Figura 10-2) aventi le coordinate geografiche riportate in Tabella 10-2, ove altresì viene riportato l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

Tabella 10-2 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno dei tracciati oggetto di studio. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

Tratto di interesse	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P1 (inizio di Tangenziale di Alba)	8.000229°	44.690861°	
P2 (fine di Tangenziale di Alba)	8.048499°	44.721304°	

Il confronto fra i valori del parametro a_g calcolato ai due punti di riferimento, per gli stati limite di interesse (Tabella 10-3) mostra come la variabilità dell'input sismico lungo la tratta sede delle opere sia limitata per corti periodi di ritorno, mentre cresce leggermente per valori del periodo di ritorno più lunghi. Pertanto, per definire i valori della pericolosità sismica di base di tutto il tracciato di progetto, si fa riferimento al punto P1 (inizio di Tangenziale di Alba) con valori di a_g leggermente superiori.

I risultati dell'interpolazione per i parametri a_g , F_o e T_c^* per i diversi Stati Limite per il sito di progetto, sono indicati in Tabella 10-4.

Tabella 10-3 – Valori di a_g per punti diversi nel tracciato di interesse (ottenuti mediante il foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 200$ anni.

SL	T _R (anni)	a _g (g)	
		P1	P2
SLO	120	0.033	0.032
SLD	201	0.038	0.037
SLV	1898	0.066	0.063
SLC	2475	0.069	0.067

Tabella 10-4 – Valori dei parametri a_g , F_o e T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per il sito di progetto per $V_R = 200$ anni.

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F _o (-)	T _c [*] (s)
SLO	120	0.033	2.651	0.224
SLD	201	0.038	2.662	0.253
SLV	1898	0.066	2.896	0.317
SLC	2475	0.069	2.936	0.322

10.3.5. Risposta sismica locale

In questo studio, si applicano le indicazioni delle NTC2018 per determinare gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sul valore di a_g sopra definito. Poiché le caratteristiche dei profili stratigrafici locali sono riconducibili alle categorie di riferimento (cfr. Tabella 10-5), si mettono in conto gli effetti di amplificazione secondo il cosiddetto l'approccio semplificato delle NTC2018, dove si definisce il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_S \cdot S_T$$

Tabella 10-5 – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).*

Suolo	Descrizione geotecnica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In particolare, il sottosuolo viene categorizzato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s) definita da:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per il presente studio, sono stati considerati i risultati delle indagini realizzate nel 2001 nell'ambito del progetto definitivo di "Collegamento A6 – A21 (Asti – Cuneo), Tronco II A21 (Asti Est) – A6 (Marene), Lotto 5, Guarene – Roddi" e nel 2009 nell'ambito del progetto di "Collegamento Autostradale A33 Asti – Cuneo, Tronco II, Lotto 5". Fra questi dati, sono stati considerati i risultati di n. 18 sondaggi con SPT e n.4 sezioni di sismica a rifrazione ubicate in prossimità dell'area di progetto (Tabella 10-6). Sulla base dei valori di resistenza penetrometrica N_{SPT} misurati nelle prove SPT, per ogni sondaggio viene definito il profilo di V_S per via indiretta e attraverso correlazioni empiriche (Ohta & Goto 1978, Imai & Tonouchi 1982 e Rollins et al. 1998, Pitilakis et al. 1999, Hasanceby & Ulusay 2007, Maheswari et. al. 2009, Dikmen 2009, Thaker & Rao 2011). I risultati delle correlazioni in termine di V_S assieme al profilo V_S di riferimento (linea rossa solida) sono dimostrati in Appendice A. Per gli strati dove non sono presenti i dati SPT, il profilo di riferimento (linea rossa tratteggiata) viene definito sulla base delle caratteristiche dei materiali dal sondaggio e sulla base dei dati della sezione sismica a rifrazione qualora sia in prossimità del sondaggio.

Tabella 10-6 – Indagini considerate per definire la categoria di sottosuolo di progetto assieme ai valori di $V_{S,eq}$ calcolati per ogni sondaggio attraverso correlazioni empiriche.

Indagini utilizzate	$V_{S,eq}$ (m/s)	Categoria di suolo
A1 (2009), A2 (2009), A3 (2009), A4 (2009)	-	B
S1 (2009), S2 (2009)	473	B
SPE 26-16 (2001)	431	B
SPDV 25-14 (2001)	371	B
S6 (2009)	537	B
SPDV 25-15 (2001)	372	B
SPDV 25-17 (2001)	396	B
S7 (2009)	539	B
SPDV 25-01 (2001)	377	B
SPDV 25-07 (2001)	352	C
SPDV 25-02 (2001)	394	B
SPDV 25-04 (2001)	348	C
SPDV 25-11 (2001), SPDV 25-06 (2001)	378	B

Indagini utilizzate	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria di suolo
SPDV 25-19 (2001)	394	B
SPDV 25-20 (2001)	387	B
S4 (2009)	443	B
S5 (2009)	489	B

Sulla base del profilo di riferimento definito per ogni sondaggio, i valori equivalenti di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ vengono calcolati e riportati in Tabella 10-6 con le categorie di suolo corrispondenti sulla base della Tabella 10-5. Tranne due sondaggi che vengono classificati nella categoria di sottosuolo C con i valori di $V_{s,eq}$ molto vicini al valore limite fra la categoria di C e B (360 m/s), tutti gli altri sondaggi sono classificati in categoria di suolo B. Pertanto, tutto l'area di studio può essere classificata nella categoria di sottosuolo B.

I coefficienti S_S per la categoria di sottosuolo B si ottengono dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il tracciato di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 10-7.

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 10-7 – Valori di a_g e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per il sito di progetto, per $V_R = 200$ anni.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	120	0.033	1.2	0.040
SLD	201	0.038	1.2	0.046
SLV	1898	0.066	1.2	0.079
SLC	2475	0.069	1.2	0.083

11. BIBLIOGRAFIA

- Biancotti A. (1981) - Geomorfologia dell'Alta Langa (Piemonte Meridionale). Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale di Milano, XXII, 1981, pp. 58-104.
- Boni A., Casnedi R., (1970) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000 Fogli 69 Asti e 70 Alessandria.
- Dela Pierre F., Bernardi E., Cavagna S., Clari P., Gennari R., Irace A., Lozar F., Lugli S., Manzi V., Natalicchio M., Roveri M., Violanti D., (2010) - The record of the Messinian salinity crisis in the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): the Alba section revisited, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* – PALAEO 5875.
- Ghibardo G., Clari P., Perello M., (1985) - Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonicosedimentaria dei depositi miocenici del margine sud-orientale del Bacino Terziario ligurepiemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 104, 349- 397.
- Sardella, R., (2008) - Remarks on the Messinian carnivores (Mammalia) of Italy. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 47, 195-202.
- F. Piana¹, G. Fioraso¹, A. Irace¹, P. Mosca¹, A. d'Atri³, L.Barale¹, P. Falletti², G. Monegato¹, M. Morelli², S. Tallone¹, G.B. Vigna⁴ (2017). GEOLOGY OF PIEMONTE REGION (NW Italy, Alps-Apennines junction zone). Pubblicato sul *Journal of Maps*, Francis & Taylor Group Publ., UK.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Dikmen U. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *J. Geophys. Eng.* 6, 61–72.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). Developing seismogenic source models based on geologic fault data. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.

- Hasançebi N. and Ulusay R. (2007). Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 66(2):203-213. doi: 10.1007/s10064-006-0063-0.
- Imai T. and Tonouchi K. (1982). Correlation of N-value with S-wave velocity and shear modulus. *Proceedings of the 2nd European Symposium of Penetrating Testing, Amsterdam*, pp. 57–72.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Maheswari U., Boominathan A., Dodagoudar G.R. (2010). Use of surface waves in statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of Chennai soils. *Geotech. Geol. Eng.* 28, 119–137.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Ohta Y. and Goto N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 6, 167–187.
- Pitilakis K., Raptakis D., Lontzetidis K., Tika-Vassilikou T., Jongmans D. (1999). Geotechnical and Geophysical Description of Euro-Seistests, using field and laboratory tests and moderate strong ground motions. *J. Earthq. Eng.* 3 (3), 381–409.
- Rollins K.M., Diehl N.B., Weaver T.J. (1998). Implications of V_s -BPT (N1)60 correlations for liquefaction assessment in gravels; GSP 75. *J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE* 124,506–517.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016). CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes.
- Thaker T.P. and Rao K.S. (2011). Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique. 2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference: Toronto, Ontario, Canada.

APPENDICE A: PROFILI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VS

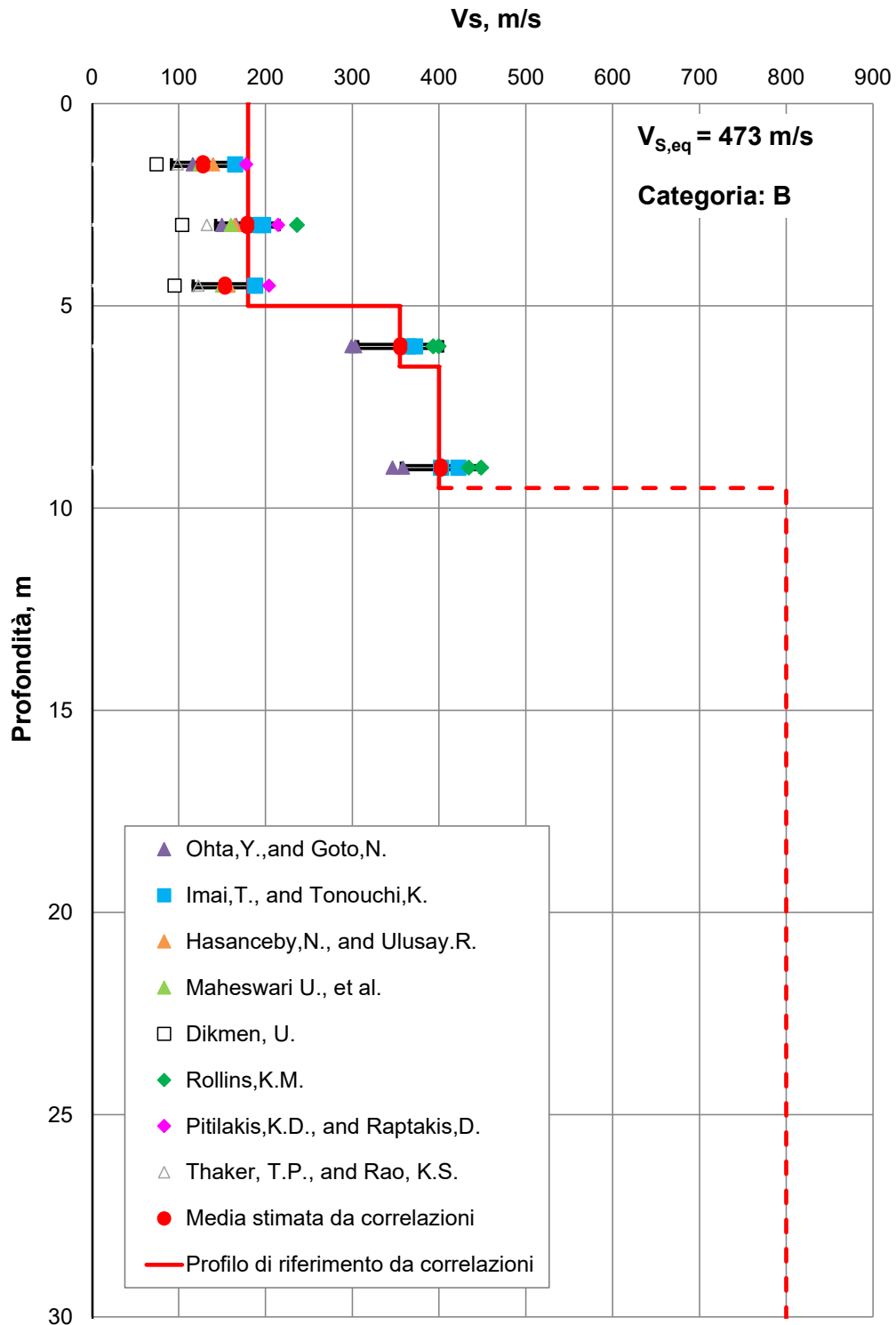


Figura A.1: Sondaggio S1 (2009) e S2 (2009). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

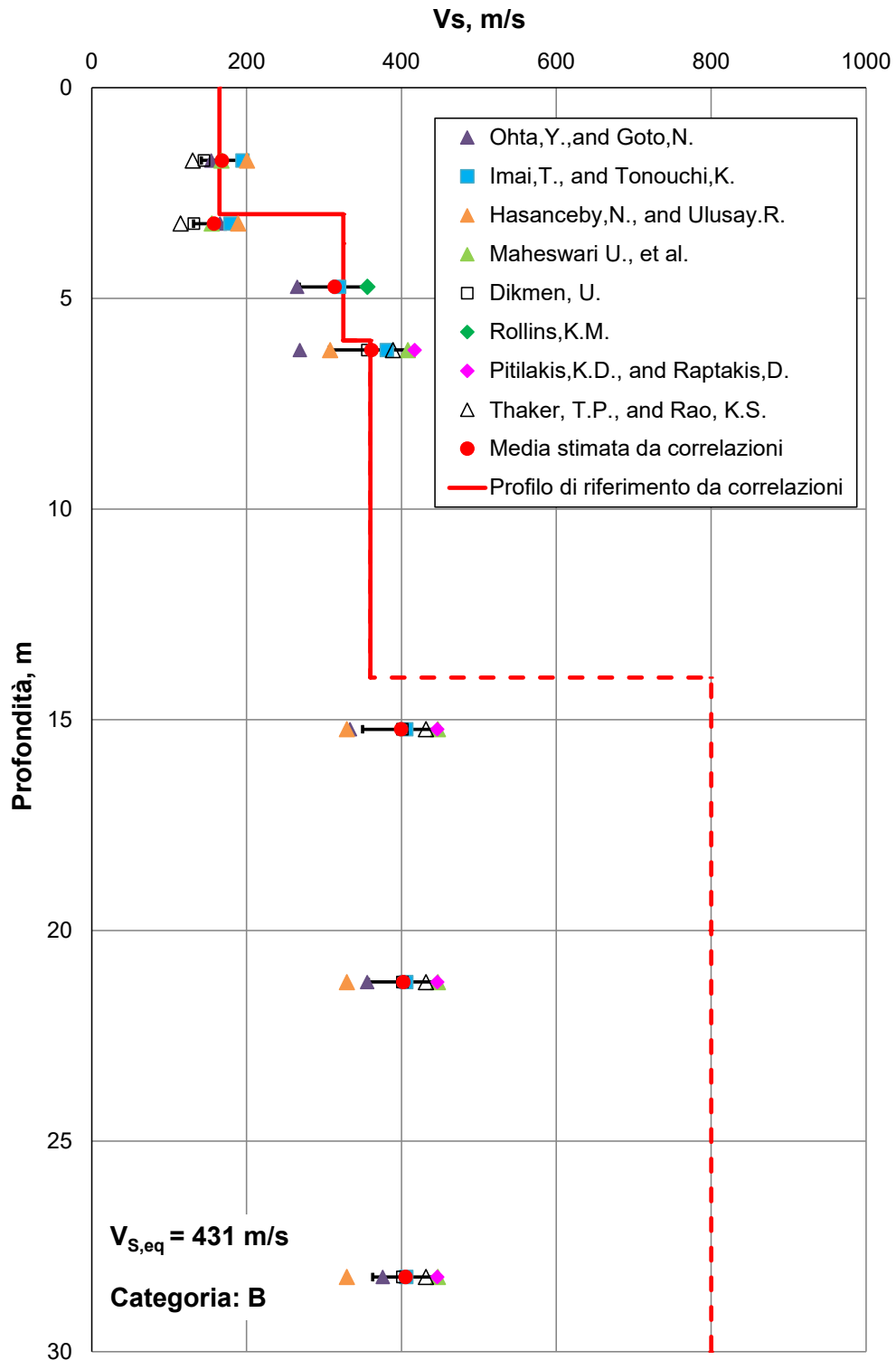


Figura A.2: Sondaggio SPE 26-16 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

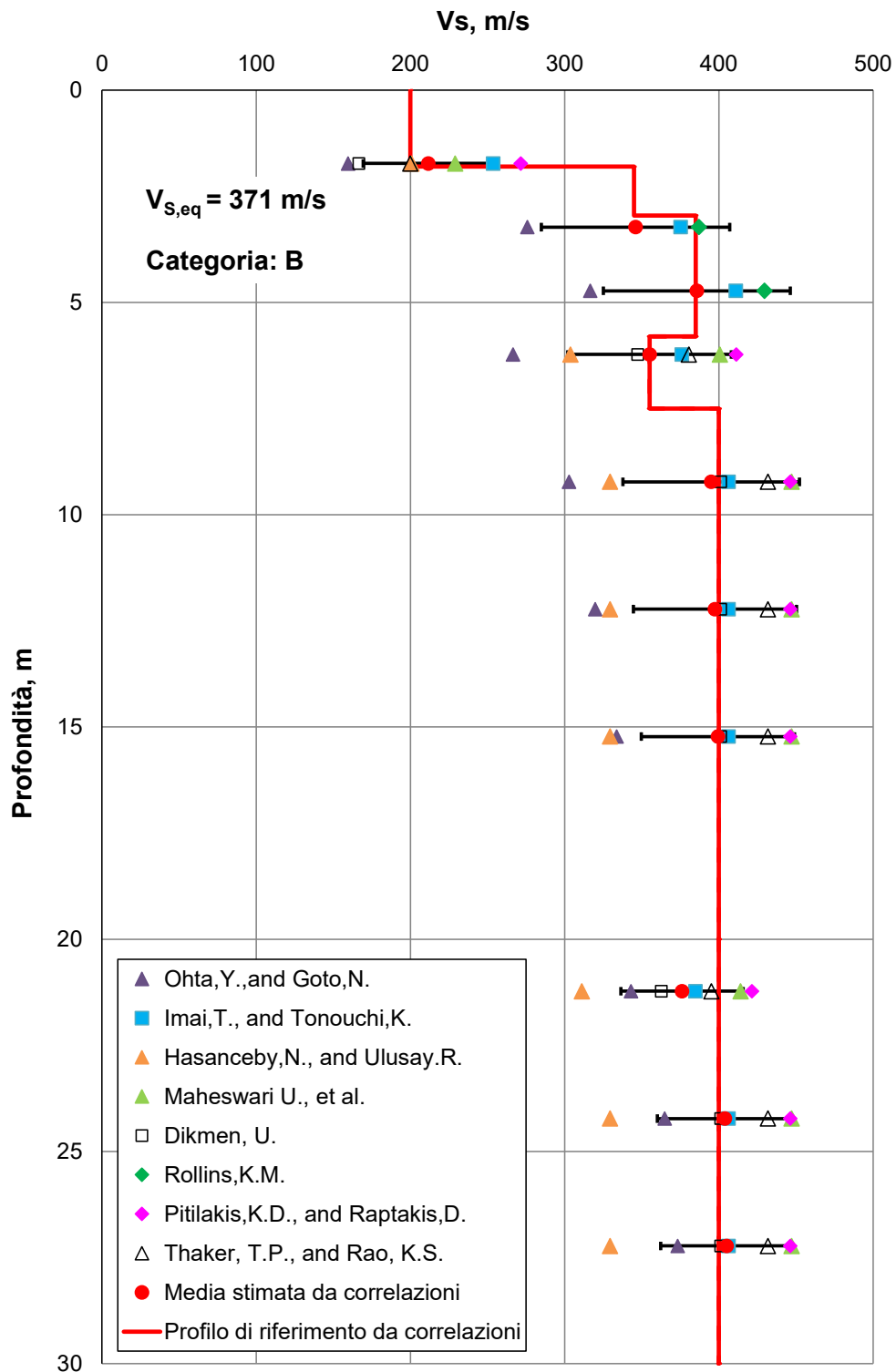


Figura A.3: Sondaggio SPDV 25-14 (2001). Profilo V_S di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

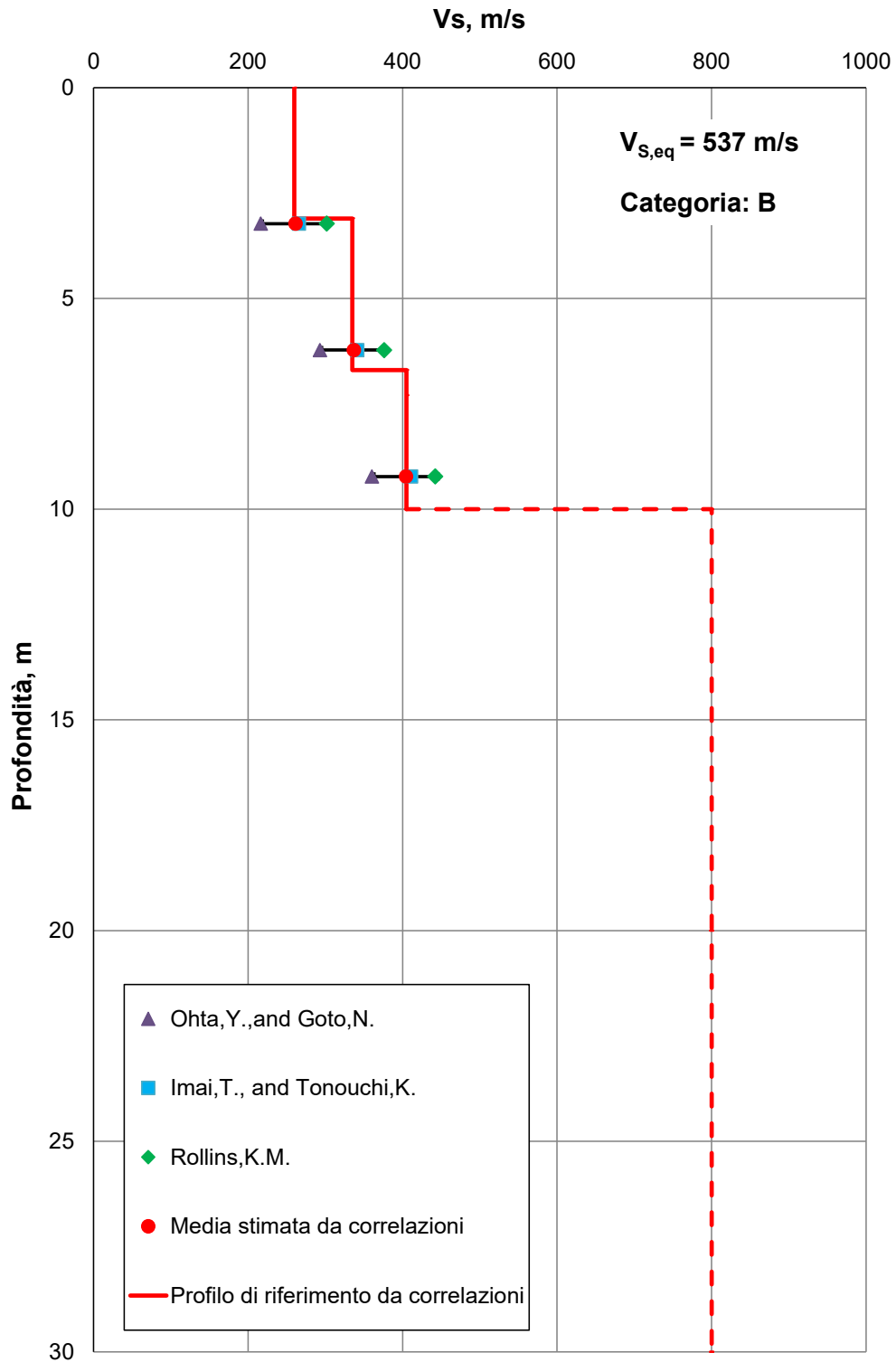


Figura A.4: Sondaggio S6 (2009). Profilo Vs di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

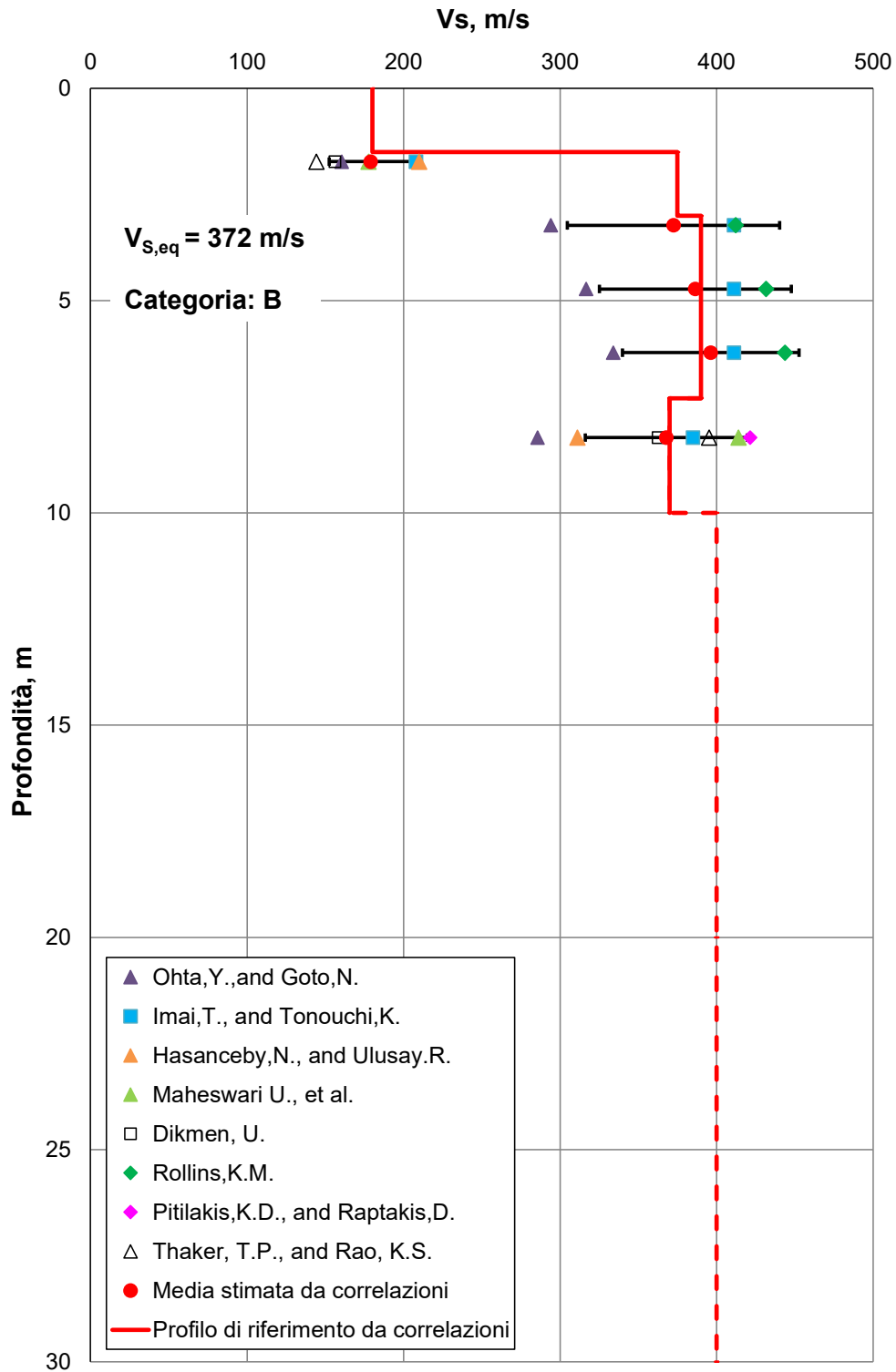


Figura A.5: Sondaggio SPDV 25-15 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

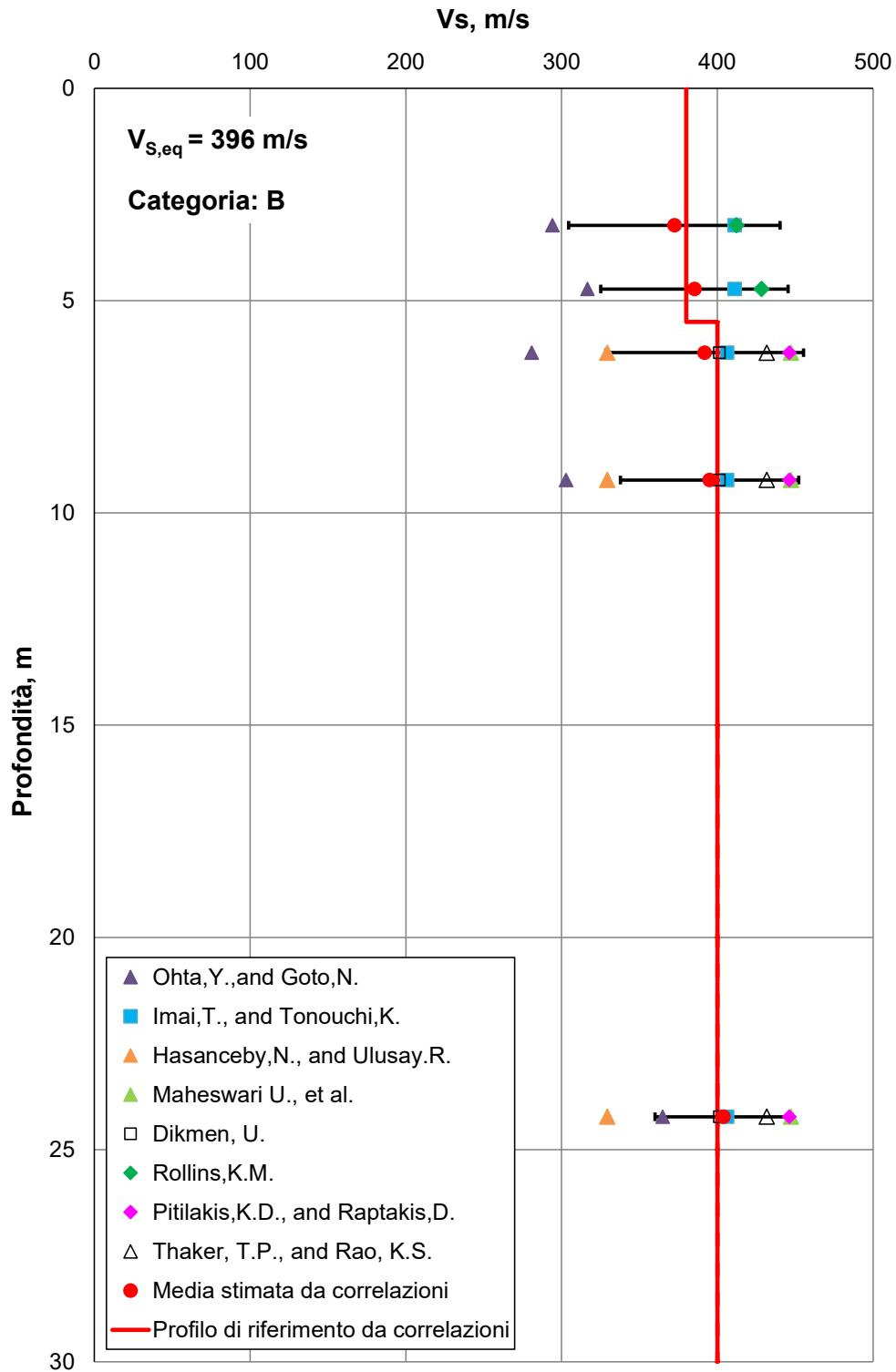


Figura A.6: Sondaggio SPDV 25-17 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

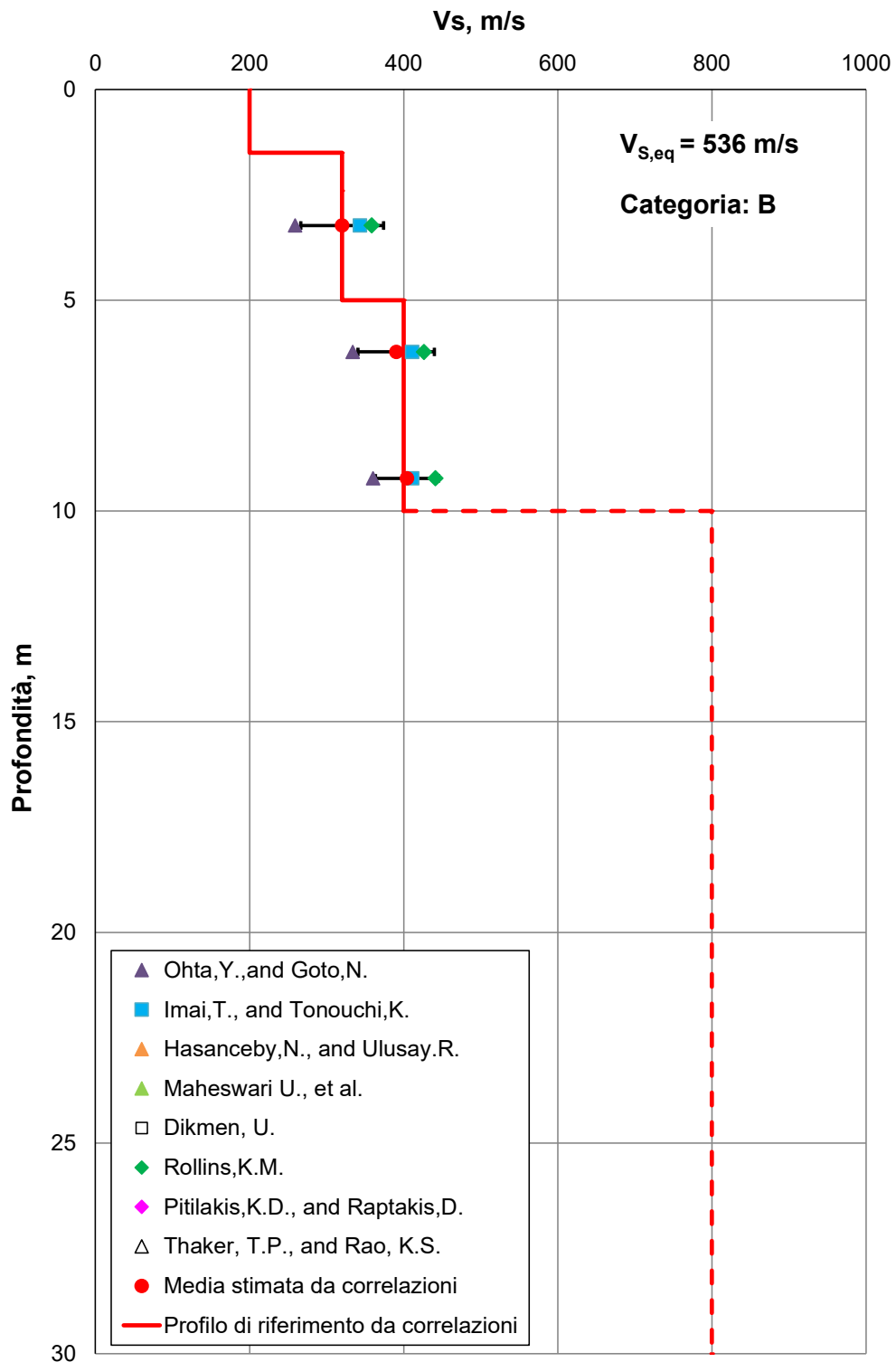


Figura A.7: Sondaggio S7 (2009). Profilo Vs di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

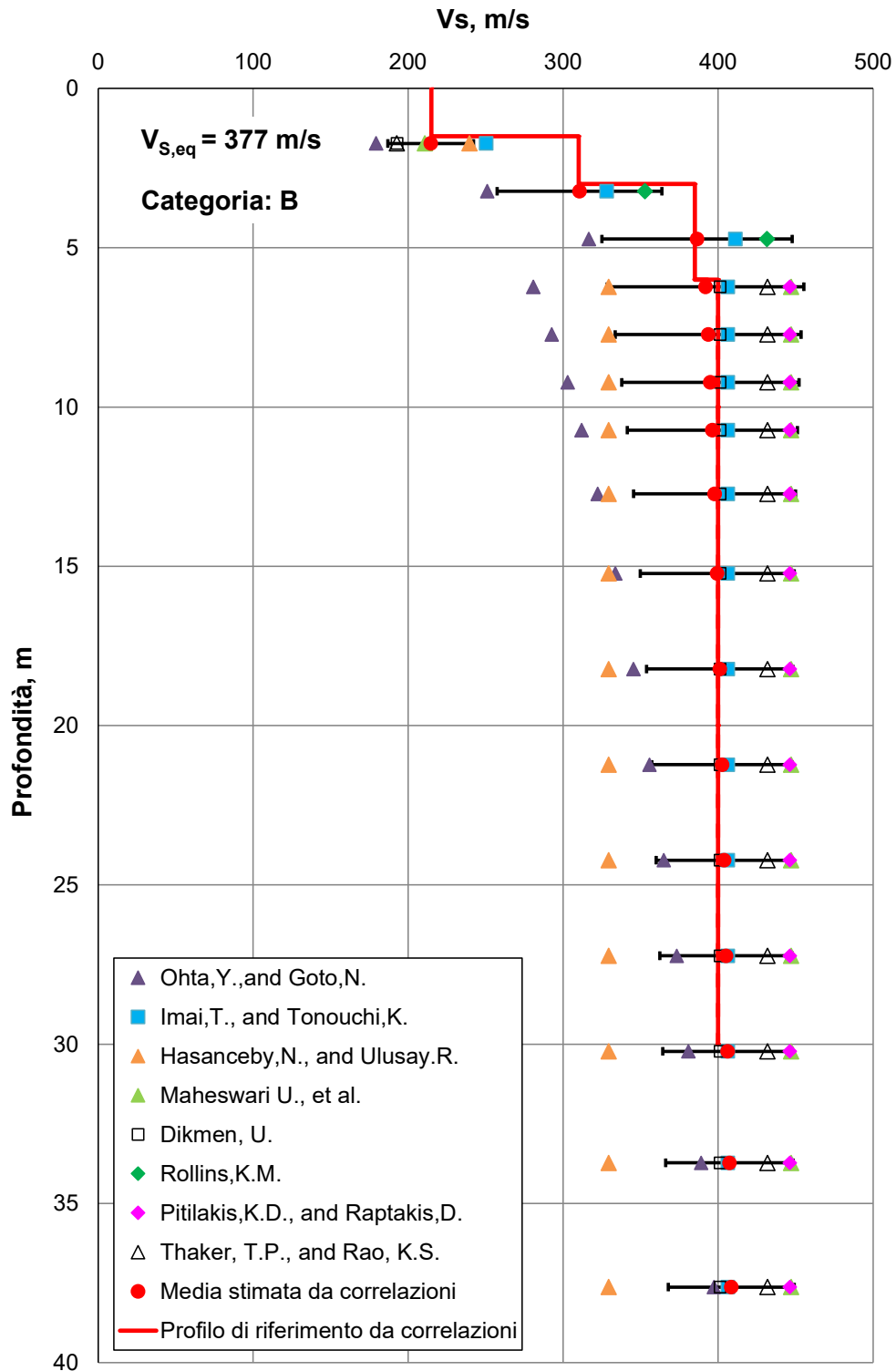


Figura A.8: Sondaggio SPDV 25-01 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

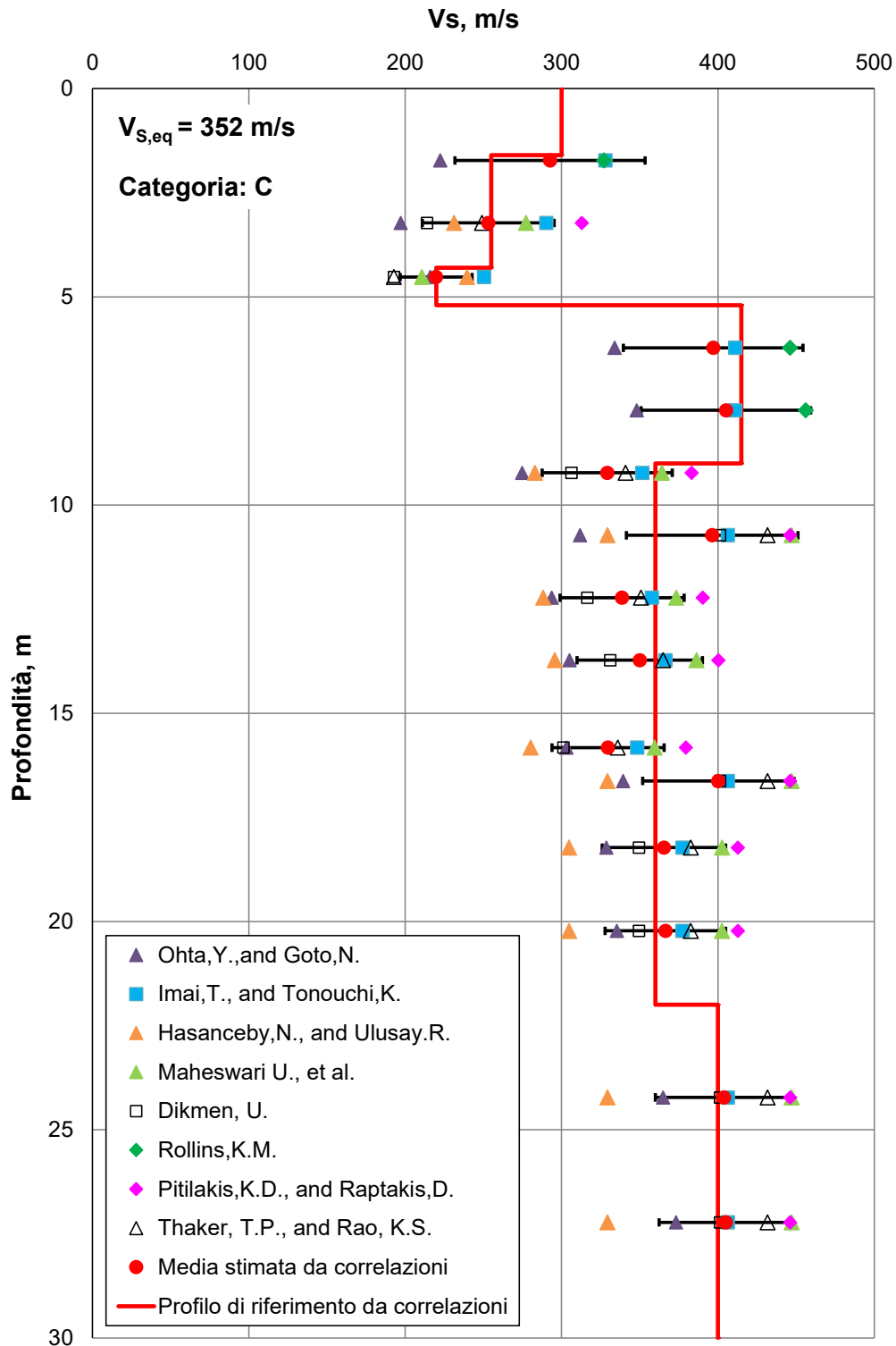


Figura A.9: Sondaggio SPDV 25-07 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

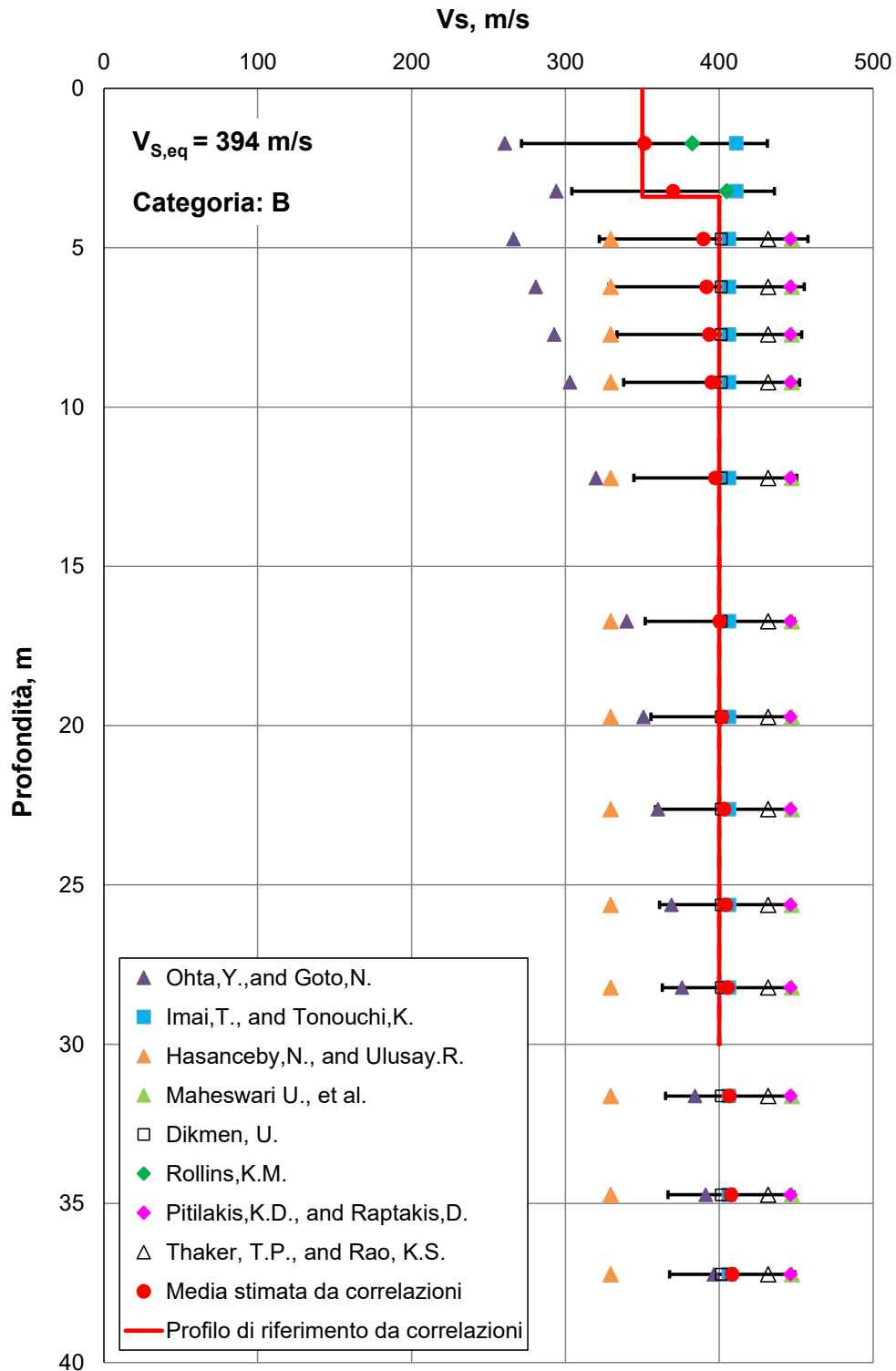


Figura A.10: Sondaggio SPDV 25-02 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

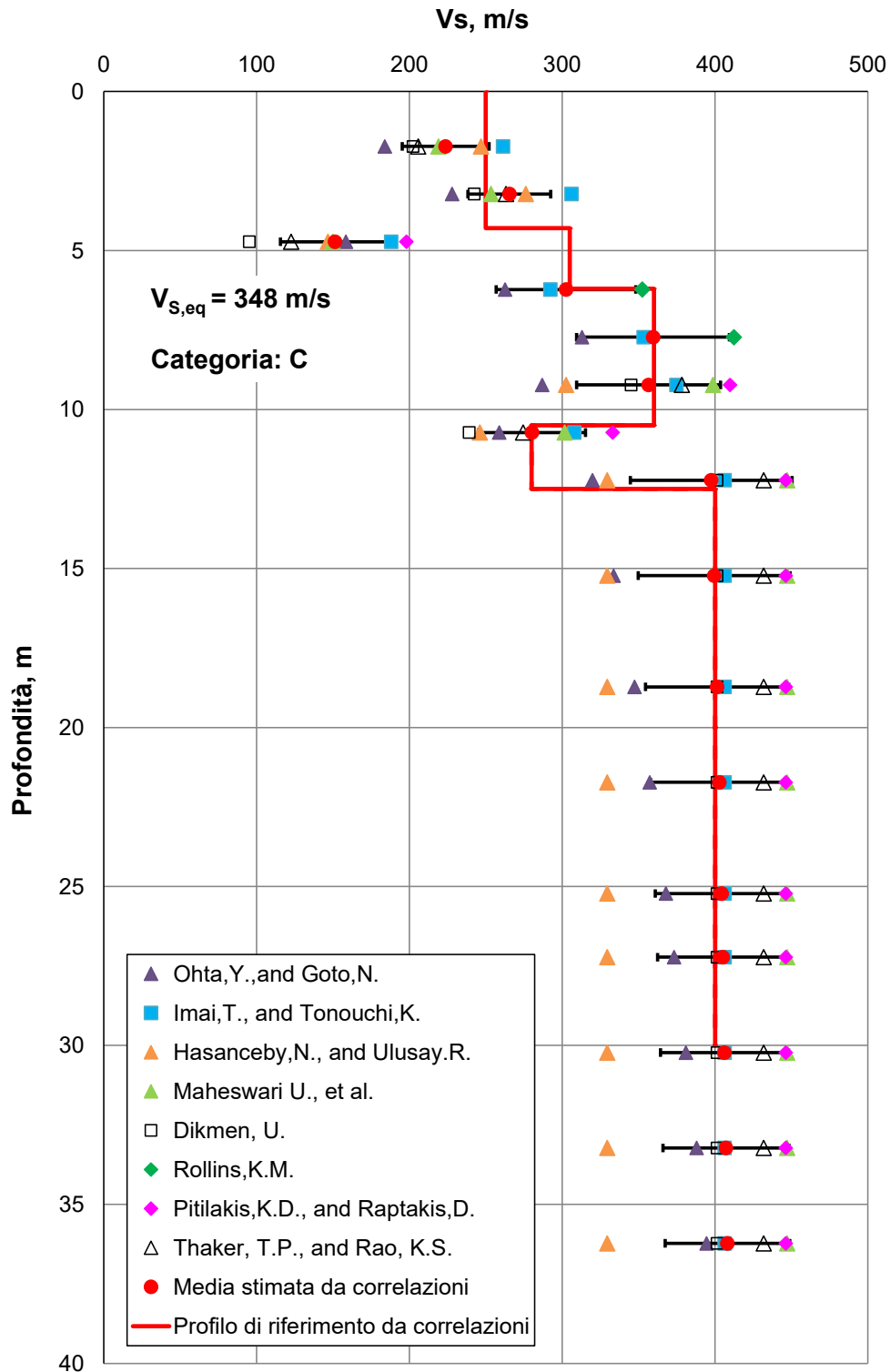


Figura A.11: Sondaggio SPDV 25-04 (2001). Profilo Vs di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

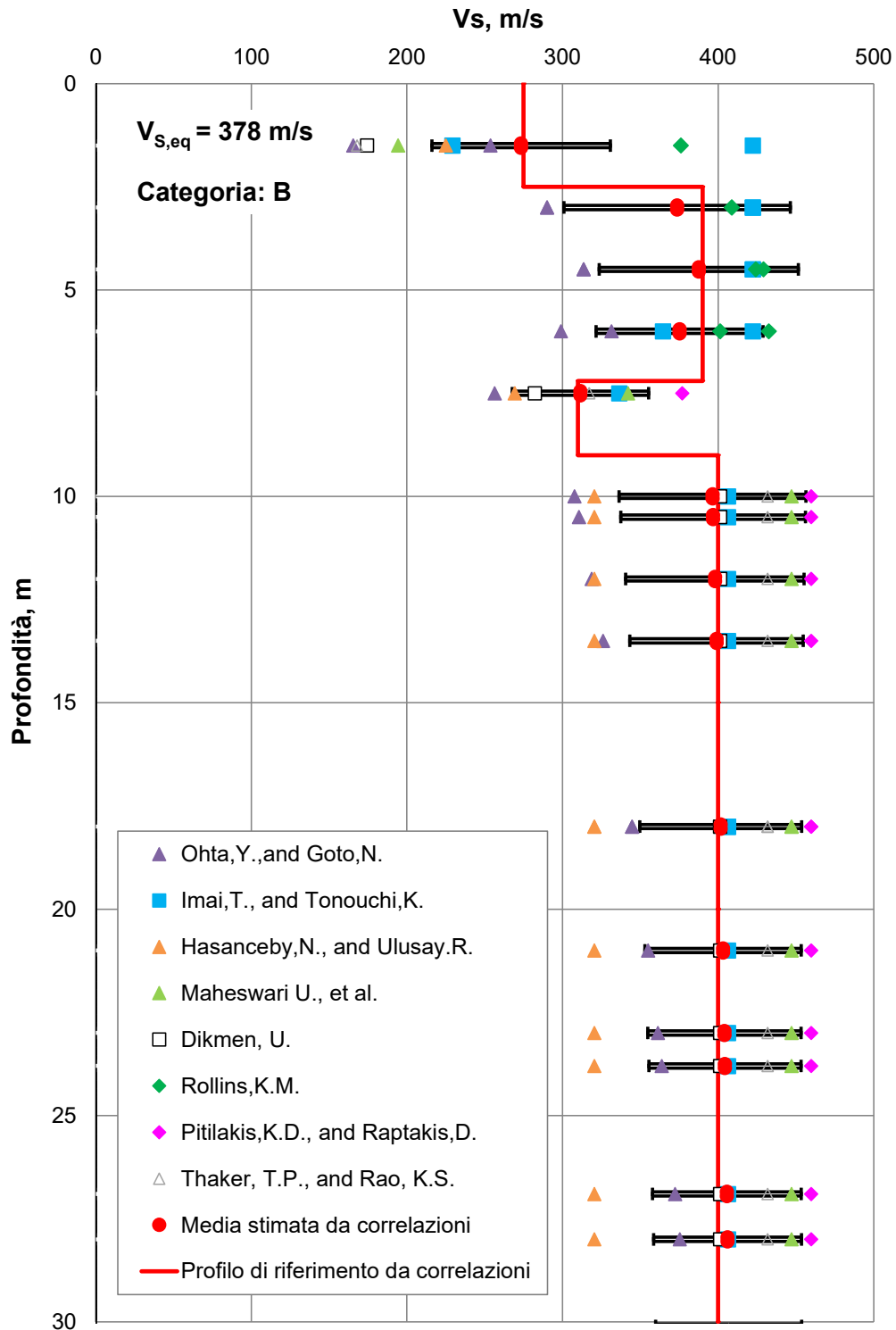


Figura A.12: Sondaggio SPDV 25-11 (2001) e SPDV 25-06 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

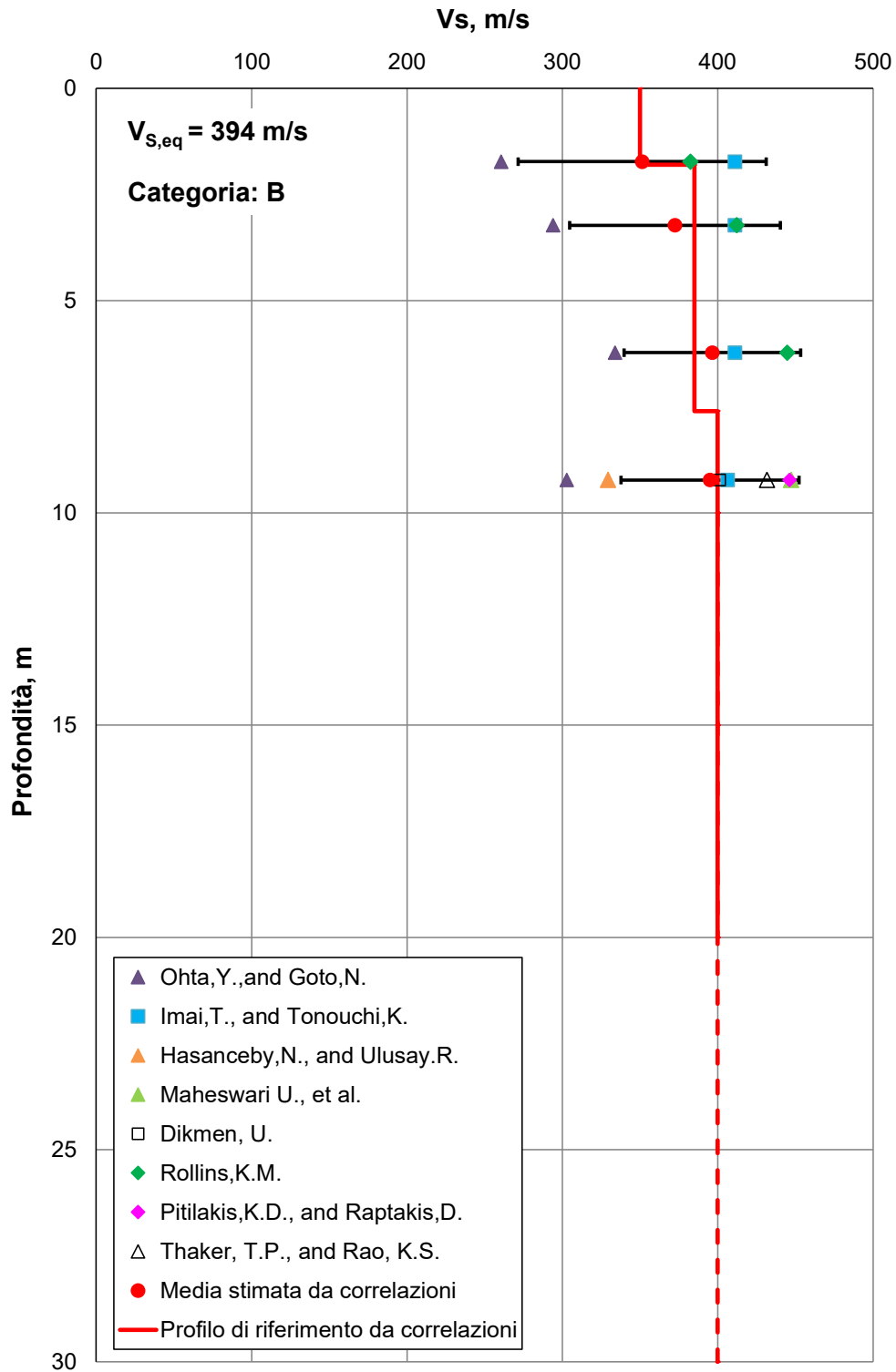


Figura A.13: Sondaggio SPDV 25-19 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT}.

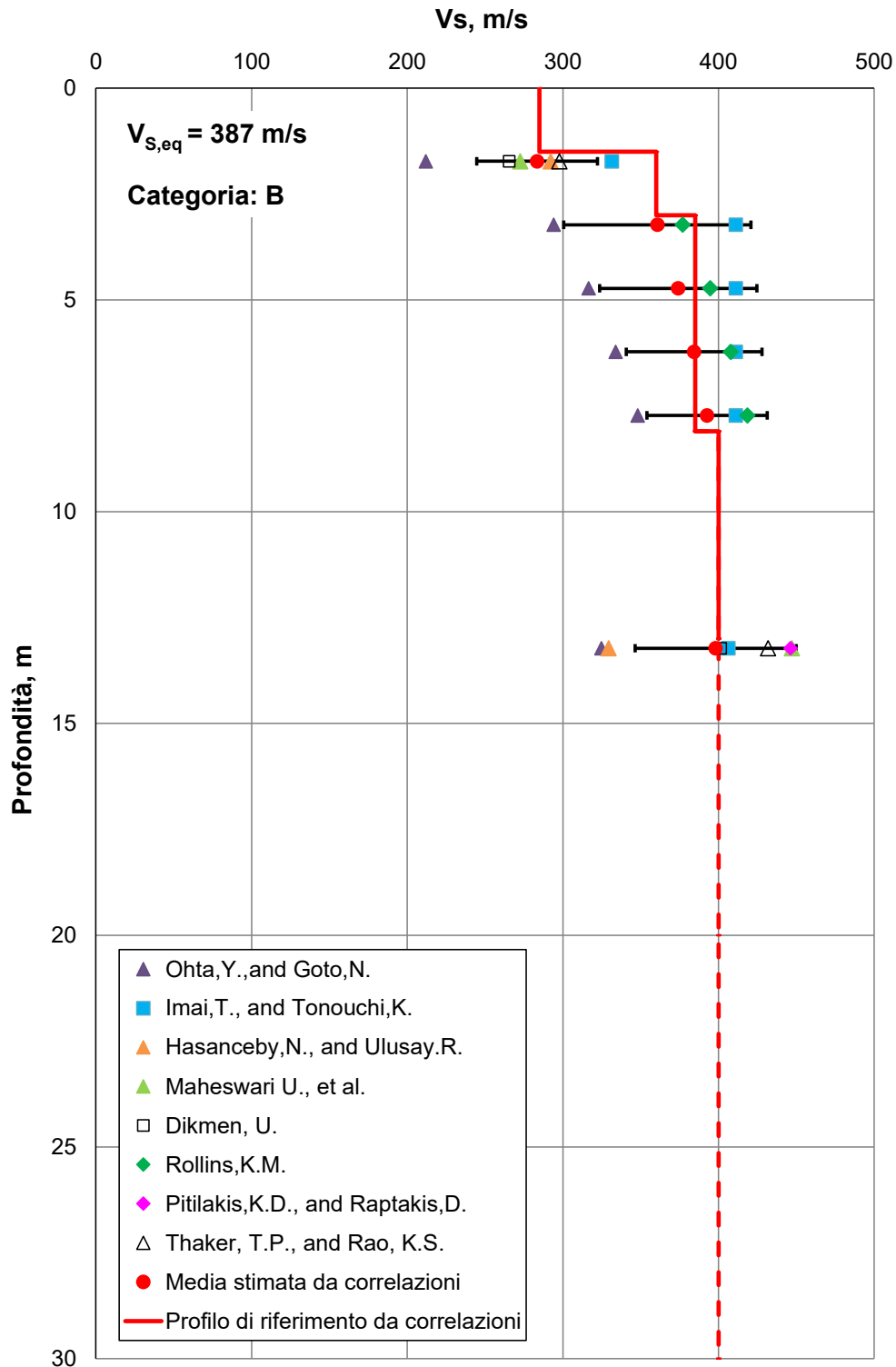


Figura A.14: Sondaggio SPDV 25-20 (2001). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

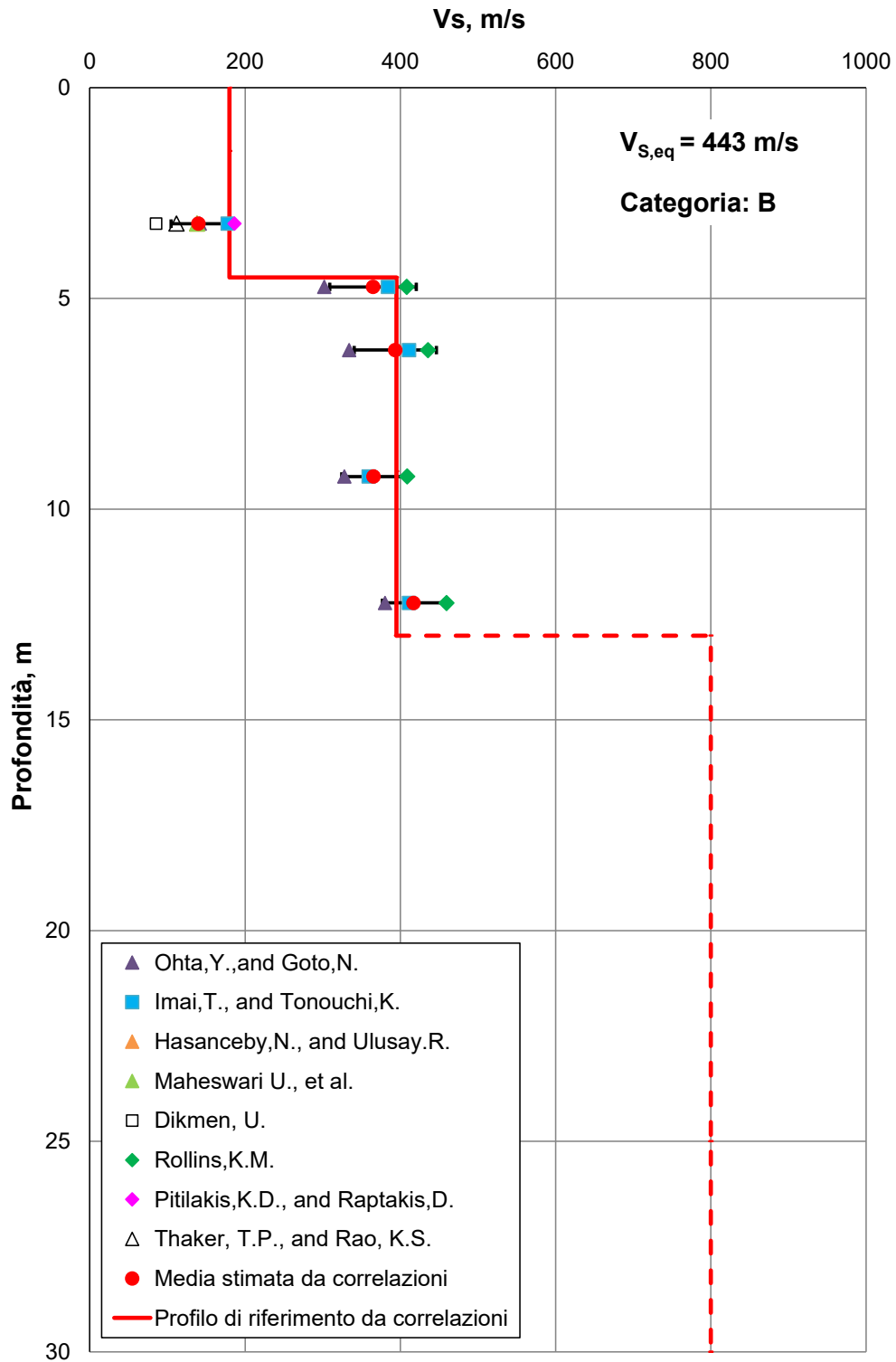


Figura A.15: Sondaggio S4 (2009). Profilo V_s di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori N_{SPT} .

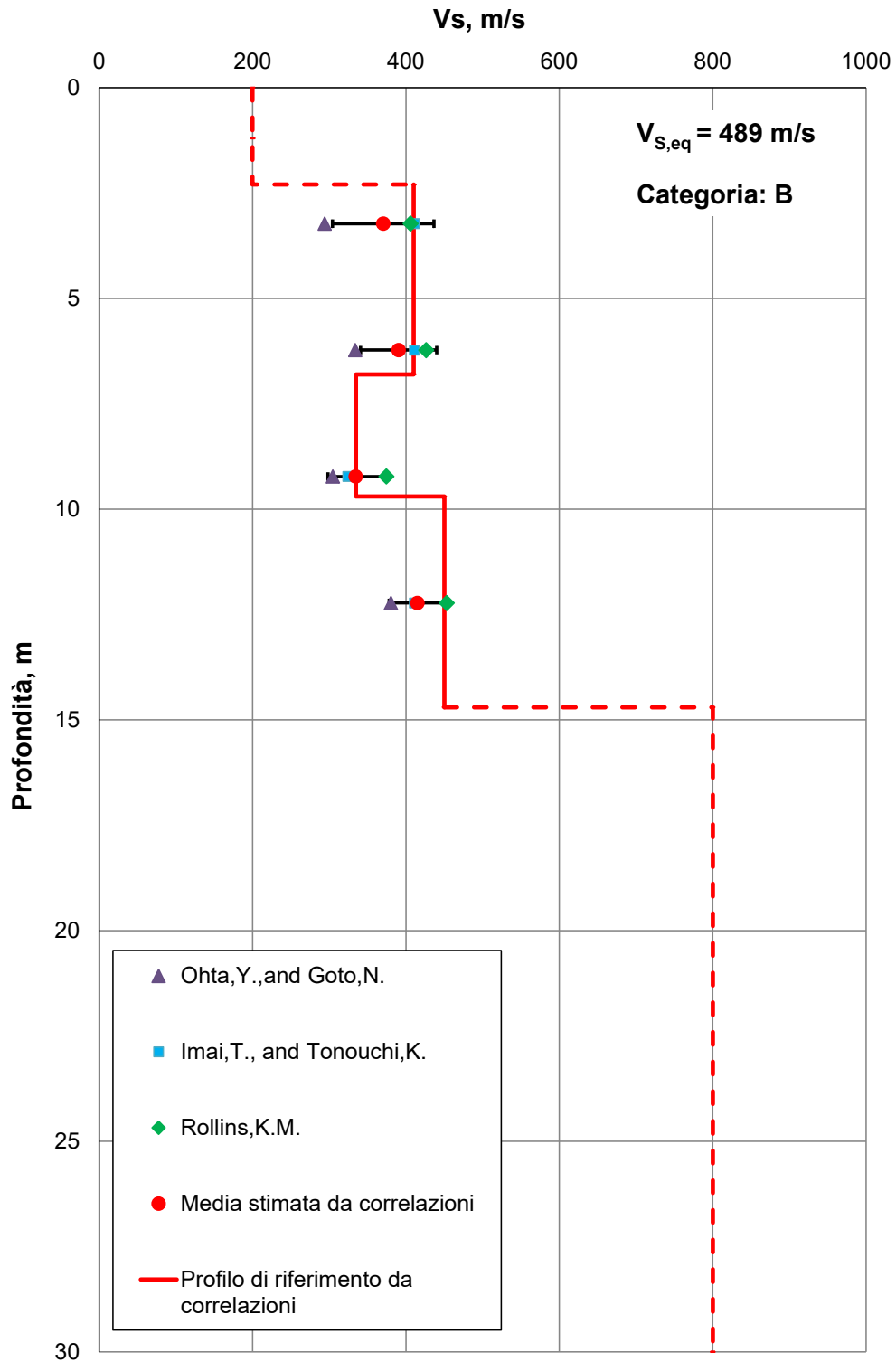


Figura A.16: Sondaggio S5 (2009). Profilo VS di riferimento (linea rossa) a confronto con dati di correlazione su valori NSPT.