



PROVINCIA DI CREMONA  
SETTORE INFRASTRUTTURE STRADALI

S.P. ex S.S. n. 415 "PAULLESE"  
AMMODERNAMENTO TRATTO "CREMA-SPINO D'ADDA"

LOTTO N. 3 - "NUOVO PONTE SUL FIUME ADDA"  
LAVORI DI RADDOPPIO DEL PONTE SUL FIUME ADDA  
E DEI RELATIVI RACCORDI IN PROVINCIA DI CREMONA E LODI

0	prima emissione		APRILE 2016
emissione	descrizione	disegnato	data emissione
livello: <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		codice CUP: <b>G41B03000270002</b>	
elaborato: <b>RELAZIONE GEOLOGICA - INDAGINI RELAZIONE SISMICA - RELAZIONE DI PRIMA CANTIERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>		codice: <b>GEO.07</b>	
		allegato n.:	scala:
		<b>6.7</b>	
		data <b>27 MAG. 2016</b>	
	IL PROGETTISTA GENERALE (Ing. Davide Pisana)	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO (Ing. Roberto Vanzini)	
Percorso file: U:\lavori\091\Projects\SS415\PONTE SPINO\Definitivo_CR100_COPERTINE.dwg			



**S.P. ex S.S. n. 415 “Paullese” - Ammodernamento tratto “Crema – Spino d'Adda” – Lotto n. 3 “Nuovo ponte sul fiume Adda”.**

**Lavori di raddoppio del ponte sul fiume Adda e dei relativi raccordi in  
Provincia di Cremona e Lodi.**

## **PROGETTO DEFINITIVO**

**(Zona sismica 3)**

**1 - RELAZIONE GEOLOGICA**

**2 - INDAGINI**

**3 - RELAZIONE SISMICA**

**4 - RELAZIONE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**



**IL GEOLOGO**  
**DR GIOVANNI BASSI**  
Marzo 2016

Collaboratore: Dott. Geol. Andrea Anelli

## Sommario

PREMESSA.....	3
1. RELAZIONE GEOLOGICA.....	5
1.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA ED ELEMENTI GEOPEDOLOGICI.....	5
1.2 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA.....	8
1.2.1 Idrografia.....	8
1.2.2 Idrogeologia.....	8
1.3 MORFODINAMICA FLUVIALE ADDA.....	11
2. INDAGINI.....	15
3. RELAZIONE SISMICA.....	17
3.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	17
3.2 SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA.....	19
3.3 DEFINIZIONE SUOLO SISMICO – ANALISI INDAGINI SISMICHE.....	20
3.4 SPETTRI DI RISPOSTA.....	21
4. RELAZIONE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	31
4.1 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE.....	31
4.2 LIQUEFAZIONE.....	34
4.3 MODELLO GEOTECNICO DI RIEFRIMENTO.....	37
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	38

### ALLEGATI

#### Allegati alla Relazione geologica

1. Corografia
2. Estratti mappa
3. Carta geomorfologica
4. Sezioni geomorfologiche
5. Carta idrogeologica
6. Sezione geologica
7. Evoluzione morfodinamica alveo fiume Adda

#### Indagini

8. Ubicazione indagini geognostiche

#### Allegati alla Relazione sismica

9. Ubicazione indagini geofisiche
10. Indagini geofisiche

#### Allegati alla Relazione di prima caratterizzazione geotecnica

11. Sezioni geologico tecniche

#### Allegati alle Considerazioni conclusive

12. Documentazione fotografica.

## PREMESSA

È in progetto, tra Spino d'Adda (Cr) e Zelo Buon Persico (Lo), un nuovo ponte stradale sul fiume Adda in località Bisnate.

Il progetto della Provincia di Cremona è finalizzata a definire le seguenti problematiche:

- realizzazione del nuovo ponte in acciaio con corsia unica in affiancamento ed a valle di quello esistente in c.a. ed a monte del ponte stradale ottocentesco dismesso;
- mantenimento della funzionalità del ponte stradale attuale in c.a.;
- rinforzo strutturale del vecchio ponte in muratura;
- opere d'arte "minori" (muri di sostegno, sottopassi, intubamenti, ecc.);
- opere provvisoriale (berlinese, palancole, ecc.) da costruire per l'esecuzione del nuovo ponte;
- pacchetto di progetto per la formazione del rilevato stradale e dello strato di fondazione, in termini di materiali, spessori e moduli di costipamento.

Il sito in discussione è ad ovest dell'abitato di Spino d'Adda (Cr) e ad est della frazione di Bisnate in territorio del comune di Zelo Buon Persico, Provincia di Lodi, a circa 84 m s.l.m. come si evince da Figura 1 e dagli **Allegati 1 e 2, Corografia ed Estratti mappa**.

Gli interventi in esame rientrano nella tipologia "**Opere infrastrutturali - punto a) Ponti sensibili (ponti...) situati lungo strade "strategiche" provinciali ... non comprese nella grande "viabilità" ...<sup>1</sup>**".

I comuni di Spino d'Adda e Zelo B.P. sono inseriti, da Regione Lombardia<sup>2</sup>, in Zona 3 a media sismicità<sup>3</sup>.

Il Comune di Spino d/A, dove sorgerà la nuova struttura, dispone di PGT con componente geologica idrogeologica e sismica, aggiornata come da D.G.R. 30.11.11 n. 9/2616, in fase di adozione.

L'area in esame si pone tra i limiti di **Fascia A e Fascia B** del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di Autorità di Bacino del Fiume PO (A.di.B.Po) (Figura 2), in particolare i ponti attuali e quello di progetto ricadono in Fascia A del fiume Adda, mentre le loro imposte sono in Fascia B o C del PAI.

Il lavoro che qui segue descrive le condizioni geologiche, idrogeologiche-idrografiche, sismiche e di prima caratterizzazione geotecnica del territorio circostante il sito in cui si intende realizzare l'opera in progetto. Si è inoltre eseguita l'analisi morfodinamica del tratto di fiume appena a monte e a valle del ponte in discussione.

Il lavoro qui svolto è eseguito avendo come riferimento le seguenti norme:

### Disposizioni Europee e Nazionali

- D.M. 11.3.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- D. M. 14.01.2008, Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni;

<sup>1</sup> D.D.U.O. 21.11.03 n. 19904, punto 2 "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, comma 3 e 4 della O.P.C.M. 20.03.03 n. 3274, in attuazione della D.G.R. 07.11.03 N. 14964.

<sup>2</sup> D.G.R. 10 Ottobre 2014, n° X/2487.

<sup>3</sup> O.P.C.M. 20.3.03. N. 3274, punto 3.1, categorie di suolo di fondazione; DGR 30.11.11 N.IX/ 2616 "Aggiornamento dei Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, del PGT dell'art. 57 primo comma, della L.R. 12/05, approvati con DGR 22.12.05 N. 8/1566 e successivamente modificati con DGRL 28.5.08 N. 8/7374", Allegato 5.

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998), Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture, Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- Eurocodice 7.1 (1997), Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali - UNI
- Eurocodice 7.2 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- Eurocodice 7.3 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

Disposizioni Regionali

- L.R. 12/05, Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, DGR 22.12.05 N. 8/1566 e DGRL 28.5.08 n. 8/7374, All. 5.
- Regione Lombardia, Giunta Regionale, Direzione Generale Sicurezza, Polizia Locale e Protezione Civile "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 della O.P.C.M. 20.3.03 n. 3274, in attuazione della D.G.R. 7.11.03 n. 14964.
- L.R. 11.3.05 N.12, art. 57; D.G.R. 30.11.11 n. 9/2616.

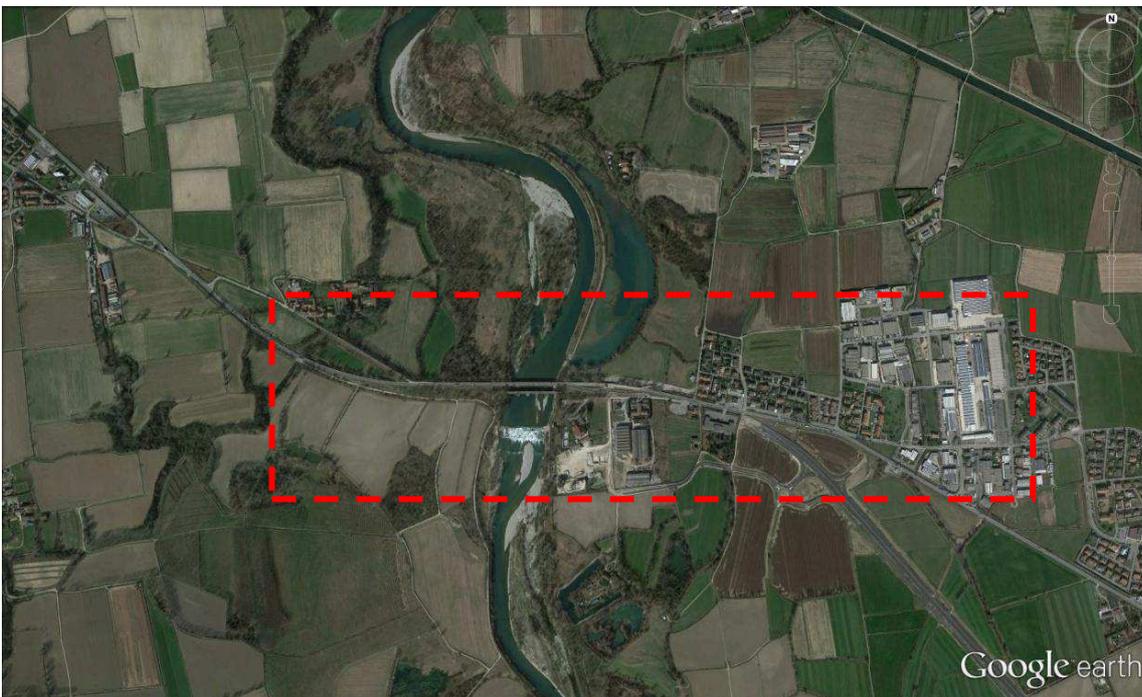


Figura 1 - Immagine Google Earth, area in esame nel riquadro tratteggiato.

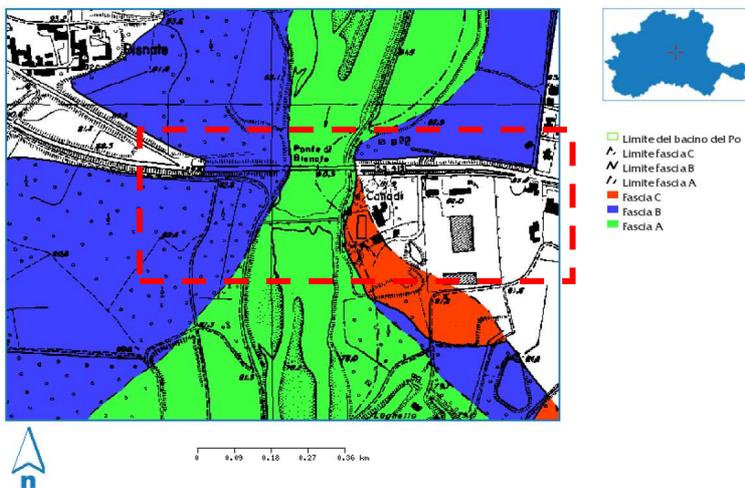


Figura 2 – Fasce PAI, area in esame nel riquadro tratteggiato.

# 1. RELAZIONE GEOLOGICA

## 1.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA ED ELEMENTI GEOPEDOLOGICI

In questo capitolo è illustrata la condizione geologica e geomorfologica del territorio e le relative caratteristiche geopedologiche.

### Inquadramento regionale

La geologia del tratto di pianura in esame è strettamente influenzata dall'alternanza delle azioni di deposito ed erosione del fiume Adda, connessi ai complessi fenomeni climatici che si sono susseguiti dal Pleistocene ai nostri giorni.

Nell'area in esame sono attualmente riconoscibili una serie di terrazzi fluviali la cui successione altimetrica risponde ad una precisa regola: la quota è tanto maggiore quanto più antica è l'età del terrazzo; inoltre tanto più antica è l'età del terrazzo più ridotta sarà la sua estensione attuale, in quanto sottoposto all'azione erosiva negli stadi interglaciali successivi.

La successione dei terrazzi nella pianura lodigiana è la seguente:

- Fluviale Mindel: superfici più antiche e poste a quote maggiori,
- Fluviale Riss: superfici intermedie per quota ed età,
- Fluviale Würm: superfici più recenti e disposte a quote inferiori.

Quest'ultima costituisce il "Livello fondamentale della pianura (LFD) o Piano generale terrazzato (PGT)", risultato dell'ultima fase dell'esteso colmamento della pianura. Successivamente, nel corso del cataglaciale (fase di ripresa termica dopo il periodo freddo) würmiano, ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo protrattosi nell'Olocene, che ha determinato la formazione delle alte scarpate morfologiche che, incidendo il (PGT), delimitano le valli dei principali fiumi occupate, a loro volta, dai successivi depositi alluvionali medio recenti (fig. 3 – Carta pedologica ERSAL).

In particolare si nota che l'area in esame ricade nella valle alluvionale del fiume Adda compresa nella porzione meridionale di pianura con aree stabili e idrografia di tipo meandriforme (bassa pianura sabbiosa – Figura 3).

Dal punto di vista geomorfologico il territorio in discussione, ricade per intero nel sistema della piana di alluvionamento olocenico, che costituisce la piana alluvionale e le superfici terrazzate del fiume Adda, con depositi successivi all'ultima glaciazione quaternaria.

Nella tabella seguente sono evidenziate le unità di paesaggio considerate (caselle in colore - da catalogo ERSAL 2002):

<p><b>SISTEMA - V</b> Valli alluvionali corrispondenti ai piani di divagazione dei corsi d'acqua attivi o fossili, rappresentanti il reticolato idrografico olocenico.</p>	
<p><b>SOTTO SISTEMA - VT</b> Superfici terrazzate costituite da "alluvioni antiche o medie", delimitate da scarpate d'erosione, E variamente rilevate sulle piane alluvionali (Olocene antico).</p>	<p><b>VT 1</b> Terrazzi fluviali stabili, delimitati da scarpate erosive evidenti, a morfologia pianeggiante o ondulata, comprendenti antiche linee di drenaggio (paleoalvei) lievemente ribassate ed affrancate dall'idromorfia.</p> <p><b>VT 2</b> Terrazzi fluviali subpianeggianti condizionati da un drenaggio lento, causato dal ristagno e dal deflusso di acque provenienti da superfici più rilevate. Coincidono spesso con paleoalvei, conche e depressioni.</p>

<p><b>SOTTOSISTEMA - VA</b>                  Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale, costituite da Sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale).</p>	<p><b>VA 6</b>                  Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte"; nelle piane a canali intrecciati e rettilinei si identificano con gli alvei di piena a vegetazione naturale riparia.</p>
	<p><b>VA 8</b>                  Superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici. Appartengono ai tratti medio-alti dei fiumi ove dominano patterns intrecciati, rettilinei e sinuosi.</p>

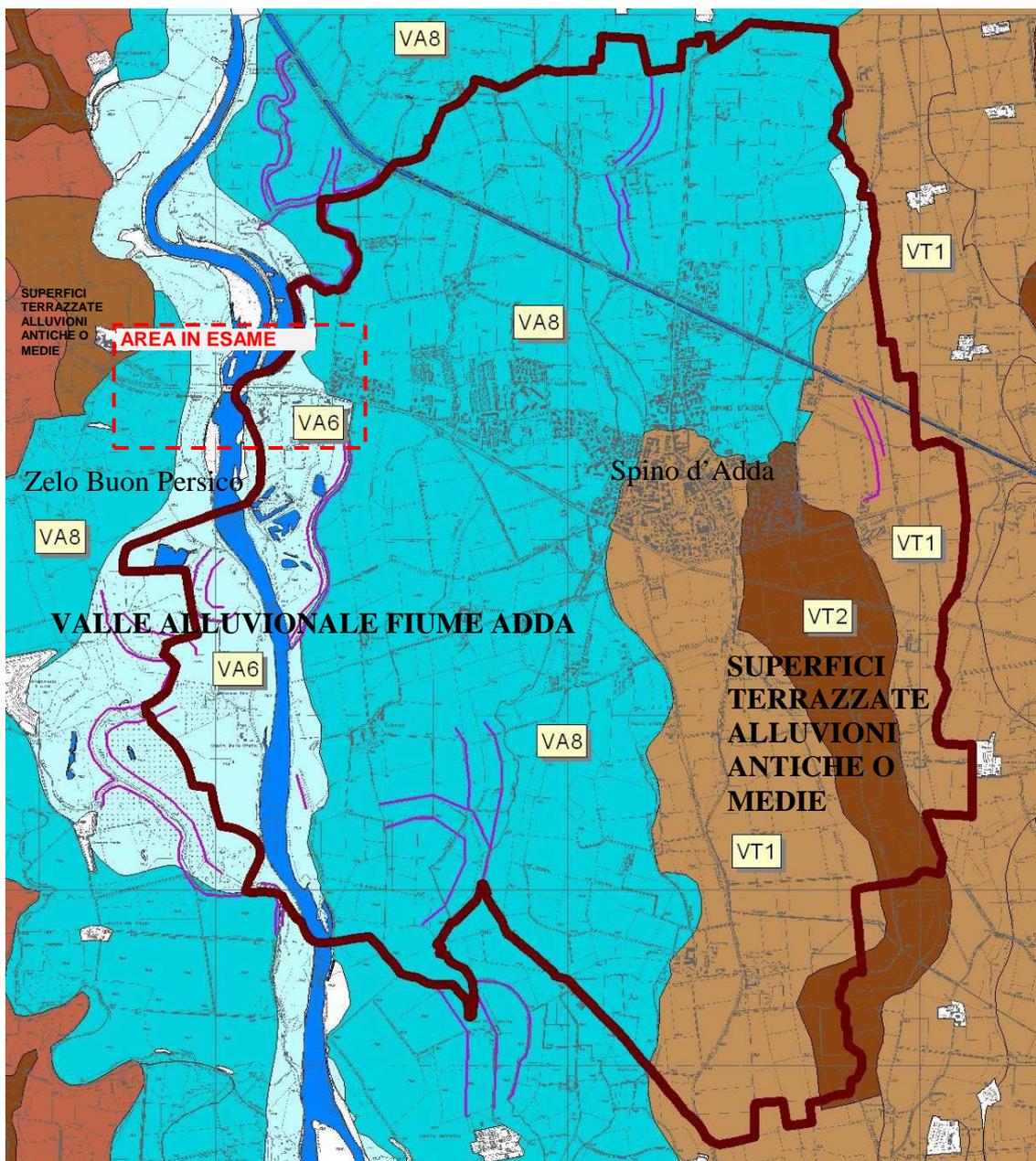


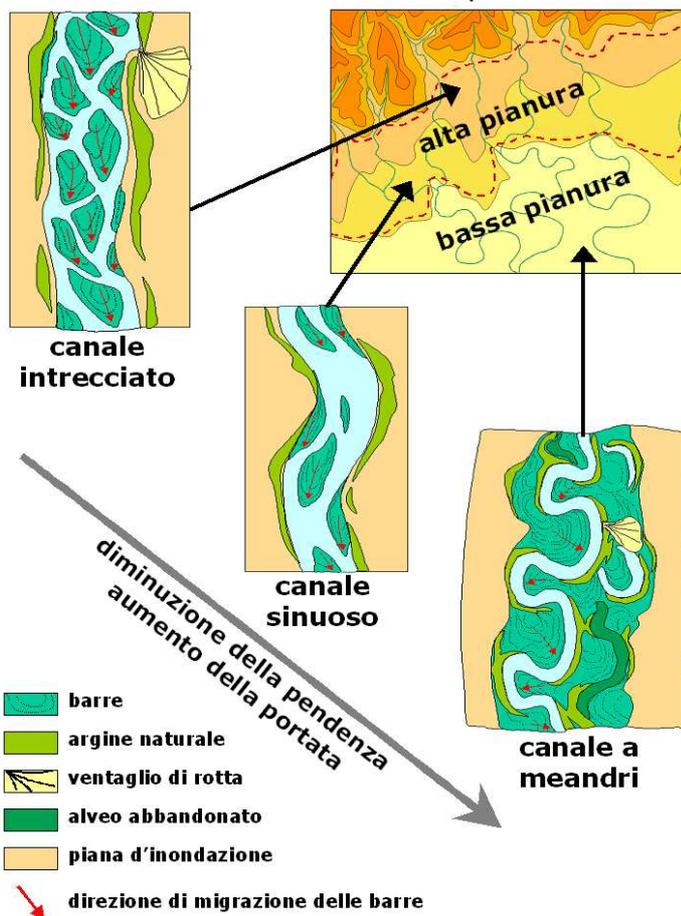
Figura 3 – Unità di Paesaggio (dati ERSAL, 2002).

In **Allegato 3, Carta geologica-geomorfologica**, si evince che l'area in esame è posta in zona di piena ordinaria con diversi elementi di geomorfologia fluviale, difese spondali dell'alveo e paleoalvei prodotti dalle divagazioni del fiume.

**Allegato 4** contiene **2 Sezioni geomorfologiche**, a monte e a valle del sito in esame, con andamento ovest-est, attraverso l'alveo del fiume Adda (le tracce delle Sezioni sono riportate in Allegato 3).

Le Sezioni geomorfologiche evidenziano la presenza del terrazzo morfologico principale ad ovest che separa la valle dell'Adda dalle superfici terrazzate più antiche (VT2), con dislivello di almeno 10 m. Nelle sezioni è individuata l'area dell'alveo del fiume inondabile dalla piena ordinaria (VA6) e le aree esterne con paleomeandri (VA8), sede di precedente attività fluviali, potenzialmente riattivabili in caso di piene forti e/o catastrofiche.

L'alveo dell'Adda, nella sezione di valle, è più stretto ed inciso rispetto a quello della sezione di monte, ciò denota un cambio di regime fluviale e di pendenza graduale nel talweg del fiume. Queste caratteristiche (inclinazione, geometria alveo, geometria paleoalvei) sono tipiche del passaggio da un regime a canale intrecciato (braided) tipico dell'alta pianura pedemontana, a quello di canale sinuoso con diminuzione dell'inclinazione e aumento della portata, come si schematizza in **Figura 4**.



**Figura 4 - Schema generale di una piana alluvionale, con i principali elementi morfologici. Le principali fasce altimetriche sono sottolineate in colori diversi. Con la diminuzione della pendenza dell'alveo e l'aumentare della portata, il tracciato dei canali tende a divenire da dritto a sinuoso, fino a meandriforme.**

## 1.2 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

Nel presente capitolo sono descritti gli elementi idrogeologici e idrografici generali del territorio in discussione.

### 1.2.1 Idrografia

Il reticolo idrografico del territorio in esame, ben sviluppato ed orientato prevalentemente in direzione NS è dominato dall' Adda (Rete Idrica Principale) e dal canale Vacchelli che ha andamento NNO-SSE con presa sul fiume circa 2 km a monte dell'area in esame.

Canale Vacchelli costituisce un elemento idrografico a sé stante, separato e non comunicante con l'idrografia naturale, questo grande corso d'acqua (circa 40 mc/s) si orienta in senso parallelo, taglia ortogonalmente il reticolo idrografico a volte con alveo pensile.

Come evidenziato in Figura 2, l'area in esame è compresa nel PAI ed è potenzialmente inondabile nella porzione circoscritta dalle Fasce A, B e C del PAI.

In Fascia A ricade tutta la porzione di territorio in destra idrografica e una stretta fascia in sinistra, ad eccezione della zona del "Canadi" protetto dal rilevato stradale che lo difende a monte. In sponda destra si segnala un piccolo alto morfologico, di 1-2 m più alto dei terreni circostanti, che include le cascate Rina e Maria Cristina, che potrebbe ricadere in Fascia B o C del PAI per le quote riportate in carta. Questo rilievo è posto tuttavia a valle di una zona in cui è forte l'attività erosiva del fiume, pertanto, si ritiene corretta, in assenza di verifiche idrauliche specifiche, la sua collocazione in Fascia A.

Fascia B si estende in sinistra, nella zona a valle del ponte di Bisnate, include alcune aree di paleoalveo leggermente più depresse delle circostanti.

Anche il limite di Fascia C segue alcuni andamenti di paleoalveo, in essa ricadono le C.ne Canova ed Erbatico.

Il fiume Adda è, in questo tratto, in forte erosione, stabilizzata con l'esecuzione di una traversa posta a valle dei ponti di Bisnate. Tale sbarramento non ha tuttavia impedito il cedimento del ponte ottocentesco e la sua sostituzione, negli anni '90, con il ponte stradale attuale. A valle e a monte della traversa, che ha pulvino a circa 2,5 m dal fondo, tutte le sponde sono in forte erosione.

A monte della traversa di Bisnate, la forte piena di Adda può minacciare gli edifici a settentrione della S.S. 415 che più si avvicinano all'alveo principale.

L'effetto piena, a monte dei ponti di Bisnate, è quello di sommergere tutti i terreni in destra e sinistra idrografica fino a sormontare la difesa radente che si sviluppa dal ponte verso monte.

Lo scrivente non ha conoscenza di studi idraulici specifici in questo tratto di fiume, per cui la portata della piena può essere stimata in 1.800 - 2.000mc/sec e, in approssimazione, la quota di sicurezza può essere indicata in 81-82 m s.l.m.

**Stabilità delle sponde dell'Adda:** è stata rilevata forte azione erosiva su entrambe le sponde del fiume che qui corre canalizzato. L'attività erosiva è molto forte nella leggera curvatura del fiume, in sponda destra, circa 1 km a monte di c.na Rina. In destra idrografica si nota attività erosiva, in atto o quiescente, su tutto il tratto che ricade nel territorio di Spino d'Adda; in particolare, a Bosco Gilli, nella zona di curvatura, si notano fenomeni analoghi a quelli qui sopra descritti. Fenomeni erosivi, di rilevante entità, si riscontrano anche in sponda sinistra, sia nella zona subito a valle del laghetto Canadi, sia su un tratto di 500 m, in corrispondenza di c.na Erbatico e in corrispondenza dei due ponti.

### 1.2.2 Idrogeologia

Il flusso idrico della falda è orientato prevalentemente in direzione N-S, risentendo dell'azione drenante del fiume Adda. Il flusso idrico (vedi Figura 4), evidenziato in **Carta Idrogeologica (Allegato 5)**, dettaglia l'andamento dell'alimentazione della falda per l'area in esame. Il gradiente idraulico medio, per l'acquifero freatico, è 0.01%, in linea con i valori medi di questo settore di pianura.

Il territorio in esame presenta caratteristiche idrogeologiche tipiche del settore di pianura in cui è inserito, esso è infatti caratterizzato da falda superficiale freatica, il cui tetto si trova a pochi metri da p.c., con verso principale di scorrimento dalle Alpi verso il Po (N-S).

La presenza del fiume Adda, che esercita una forte azione drenante e di una scarpata morfologica, alta più di 10 m, in destra idrografica, provoca, nelle isopiezometriche, un'inflessione verso NO, con accentuato arretramento in corrispondenza dell'asta fluviale.

Gli andamenti delle isofreatiche sono stati ricostruiti osservando la profondità dell'acqua nei fontanili, nei laghi di cava, nel corso dell'Adda, dalla profondità in metri si è poi passati alle quote assolute, nel complesso, tranne che in zone con forte gradiente idraulico, quali orli di terrazzo morfologico, l'errore atteso è di 0.5 m.

Le direttrici di scorrimento della falda ruotano, verso occidente da un andamento "normale" NS, di un angolo variabile, tanto più elevato quanto più ci si avvicina al fiume; la rotazione è verso ovest in sinistra idrografica, ma verso est in destra, la rotazione è asimmetrica, sui due lati del fiume, a causa della scarpata morfologica, che, essendo posta solo in destra idrografica, influenza massicciamente l'andamento piezometrico in questo lato.

In generale la profondità minima della falda, nel periodo di irrigazione (aprile – settembre), è inferiore a 1 m, mentre può raggiungere 2m in periodo invernale. Fa eccezione la zona, prossima all'Adda, a valle della traversa di Bisnate, dove la soggiacenza estiva può anche superare tre metri, a monte della suddetta traversa, la falda freatica è più alta. In ambedue queste aree, a valle e a monte, con l'Adda in piena, anche la falda si innalza significativamente e persiste così fino all'esaurirsi dell'effetto della piena.

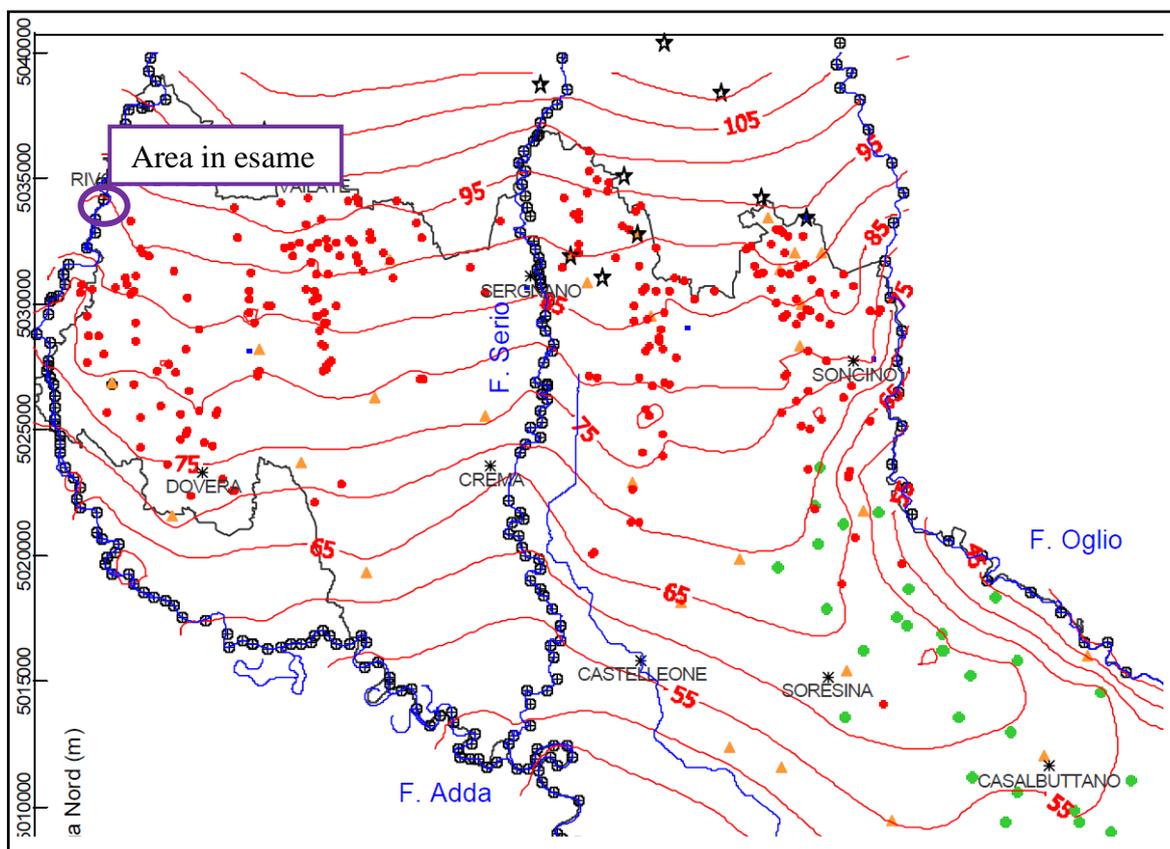


Figura 5 - Curve isopiezometriche dell'acquifero freatico (stagione invernale; equidistanza 5 m) (A); Gradienti idraulici medi dell'acquifero freatico (B). "Realizzazione di un modello preliminare del flusso idrico nel sistema acquifero della provincia di Cremona", Università degli Studi Milano, 2007.

Come evidenziato in Allegato 5, si distinguono aree con differente soggiacenza della falda, influenzata dai corsi d'acqua drenanti e/o alimentanti e dalla altimetria e morfologia locali, con zone depresse, solchi di drenaggio secondario e dossi, con discontinuità date dai terrazzi principali, secondari delle valli terrazzate. Durante il trimestre irriguo giugno/luglio/agosto, la falda è prossima al piano campagna con soggiacenza anche inferiore a 1 m.

Le classi di soggiacenza sono così distinte:

- < 1.00 m;
- Da 1.00 a 1.50 m;
- > 2.00 m.

La zona a maggiore permeabilità corrisponde alla valle del fiume Adda, mentre le aree a minor permeabilità sono quelle delle superfici terrazzate poste a ovest in territorio di Zelo Buon Persico.

È da considerare che la maggior permeabilità superficiale, unita ad un suolo poco sviluppato, contribuisce ad aumentare il grado di vulnerabilità idrogeologica dell'acquifero superficiale.

La **Sezione Geologica (Allegato 6)** correla le stratigrafie dei pozzi pubblici di Spino d'Adda e di Zelo Buon Persico, suddividendo il sottosuolo come qui di seguito si compendia:

- **Acquifero superficiale**, con ghiaie e sabbie prevalenti e rare intercalazioni metriche di limi, potente, alle verticali dei pozzi di Spino d/A, circa 40 m più sviluppata a nord circa 60; vulnerabilità idrogeologica alta, buona permeabilità e trasmissività; forte presenza nell'acqua di falda di ferro e manganese;
- **Acquifero profondo**, con limi e argille dominanti dal letto dell'acquifero superficiale fino a 240m, con in subordine lenti ghiaioso sabbiose significative per l'uso idropotabile e protette naturalmente fino a livello mare.

### 1.3 MORFODINAMICA FLUVIALE ADDA

In **Allegato 7** sono confrontati gli andamenti dell'alveo dell'Adda dedotti dalle carte IGM (levate 1889-1975) e dalla più recente immagine satellitare tratta da Google (2013). Si prende in esame l'idrografia abduana e la sua morfodinamica fluviale nel tratto compreso tra la derivazione del canale Vacchelli e il ponte ottocentesco di Lodi (Figura 6). L'asta fluviale nel tratto esaminato ha subito un evidente accorciamento generale a partire dalla fine del secolo XIX (Figura 7), per una progressiva e accentuata attività erosiva.



**Figura 6 – Idrografia abduana fra la presa del Vacchelli e il ponte ex SS235 di Lodi.**

Questo tratto è suddiviso in due tronchi:

1. Traversa Canale Vacchelli → Ponti Bisnate;
2. Ponti Bisnate → Ponte ottocentesco di Lodi.

#### Traversa Canale Vacchelli – Ponti Bisnate (Figura 7)

Variazioni	1984	1889
Quota fiume	Da 80.5 a 80.1	Da 83.0 a 80.0
Lunghezza	2400 m	3500 m

Il fiume Adda in questo tratto è confinato tra le due traverse, eseguite tra il 1975 e 1982, poste a valle del Vacchelli e dei Ponti di Bisnate. In questo tratto il fiume presenta pendenza ridotta ed andamento ancora debolmente curvilineo con tendenza in alcuni tratti al regime "braided". Si evidenzia una marcata deviazione del flusso idrico che a valle della traversa del Vacchelli dalla naturale direzione di sud ovest verso est; ciò si realizza con una difesa in froldo posta in destra che induce nella corrente una deviazione a gomito di circa 30°.

Circa 1 km più a valle, in destra idrografica, l'andamento naturale del fiume è tagliato da una difesa; nello pseudomeandro relitto si sviluppa una zona umida di elevato pregio ambientale nella quale si segnala circolazione idrica difficoltosa perché ostacolata alla difesa di sponda che costituisce soluzione di continuità dal corso vivo del fiume Adda ed un avanzante interrimento.

La biocenosi di questa zona umida con garzaia verrebbe rivitalizzata con una limitata e localizzata rimozione dei sovrabbondanti sedimenti e la realizzazione di varchi di comunicazione nella sponda in grado di mantenere un minimo flusso idrico diretto e senza che ciò invalidi l'efficacia della scogliera.

In questa stessa area in destra idrografica sono rilevate linee d'acqua anche in tempi relativamente recenti (IGM 1956 e 1971) con cui il fiume lambiva il piede della scarpata principale; in ragione di ciò questo tratto è classificato come forma quiescente dal punto di vista della dinamica morfologica.

In sinistra si presenta un marcato restringimento d'alveo ottenuto con la lunga difesa di sponda che si sviluppa verso monte dai ponti di Bisnate, all'interno di essa si apre un'ampia lanca riattivata dalla piena del '76.

Anche in questa lanca sarebbe opportuno intervenire asportando i troppo abbondanti sedimenti depositi.

La soglia di fondo, a monte del ponte stradale di Bisnate, produce un allargamento d'alveo ed una vasta superficie liquida che si sviluppa per almeno 400 m da esso con benefico effetto per l'ambiente fluviale.

In questo specchio d'acqua, dove il naturale deposito di sedimenti è accentuato, dovrebbe essere eseguita la pulizia accurata delle sponde con asportazione dei rifiuti portati dall'uomo; appena a valle della traversa il fiume è in forte erosione d'alveo.

#### Ponti Bisnate → Ponte ottocentesco di Lodi (Figura 7)

Variazioni	1889	1984
Quota fiume	Da 80.0 a 74.0	Da 76.2 a 71.0
Lunghezza	5500 m	4500 m

Sono presenti evidenti testimonianze geomorfologiche che sottolineano una progressiva trasformazione strutturale del corso d'acqua. Analizzando il territorio che si estende ad ovest dell'attuale alveo attivo fino al piede dell'orlo del terrazzo morfologico principale, si osserva l'evidente contrasto tra l'attuale percorso subrettilineo del fiume e quello lobato e convoluto dei più antichi meandri che hanno inciso il piede della scarpata principale, approfondendola e variegandola in una serie di festoni. Nella zona al centro del tratto in esame, in corrispondenza del corso dell'Adda vecchio, la morfologia è segnata da recenti testimonianze di dinamica fluviale tipo braided, che trovano un obbiettivo riscontro nella cartografia IGM (1889). L'esame del profilo di fondo da valle dei ponti di Bisnate fino a

monte del ponte ottocentesco di Lodi, mostra una sensibile riduzione del percorso fluviale: da 14.5 km nel 1889 a 11 km nel 1984.

L'origine di tale variazione è da attribuirsi fundamentalmente all'azione antropica esercitata con cave in alveo e la costruzione di opere di difesa che hanno prodotto una accentuata azione erosiva lungo l'asta fluviale.

A valle della traversa di Bisnate e per circa 500 m il fiume, in regime di magra, scorre in direzione nord sud tra depositi prevalentemente ghiaiosi presenti su entrambe le sponde ed è compreso tra opere di difesa che solo in occasione di piene ordinarie possono venire interessate dall'azione della corrente.

Successivamente la direzione del corso d'acqua piega verso sud - sud ovest e per un tratto di circa 500 m la difesa posta in destra, sottoposta all'azione della corrente, presenta danni ed erosioni localizzate.

Immediatamente a valle vi è un restringimento dell'alveo e la conseguente pressione della corrente determina erosione su entrambe le sponde; in particolare su quella di sinistra si osserva una scarpata in erosione attiva che si sviluppa senza soluzione di continuità per qualche centinaio di m.

L'azione erosiva in sinistra è ostacolata per un breve tratto da una difesa di recente costruzione realizzata nel tratto prospiciente i terreni di C.na Canova, ma riprende sulla stessa sponda circa 500 m più a valle all'altezza di C.na Erbatico.

Sull'opposta sponda destra si sviluppa una difesa continua di circa 1.5 km, oltre nel tratto in corrispondenza di C.na Rina e Maria Cristina, risulta separata dal corso attivo da una fascia di depositi ghiaiosi parzialmente colonizzati.

Più a valle, laddove il fiume piega debolmente il suo corso verso sud - sud ovest, la corrente incide direttamente la sponda e la difesa, in frodo, risulta scalzata ed erosa in più punti. A valle di Bosco Gilli la sponda non più protetta si presenta in forte erosione attiva proprio in corrispondenza del passaggio dell'Adda Vecchio che in quel punto risulta separato dal corso attivo da un diaframma di poco più di 50 m.

Lungo l'ultimo tratto di circa 2.5 km, il corso d'acqua presenta una struttura più anastomizzata, con frequenti rapide e variazioni di quota anche sensibili all'interno dell'alveo. È un tratto caratterizzato da una marcata instabilità che continua ad interessare prevalentemente la sponda destra in corrispondenza della confluenza dell'Adda vecchio e della Muzzetta.

In sinistra la difesa spondale è pressoché continua, in parte attiva e in buono stato di conservazione, in parte interrata ed isolata momentaneamente dall'attuale corso da cospicui depositi che proteggono la profonda lanca prospiciente C.na Ciclamino.

In quest'ultimo tratto il fiume presenta una tendenza all'accorciamento del percorso quantomeno negli ultimi 10 anni.

Ciò si evince dal confronto dall'andamento del corso d'acqua nella CTR del 1984, laddove il fiume da sud ovest piegava ad ovest e quindi bruscamente a sud, attualmente invece ha assunto un generale andamento verso sud ovest.

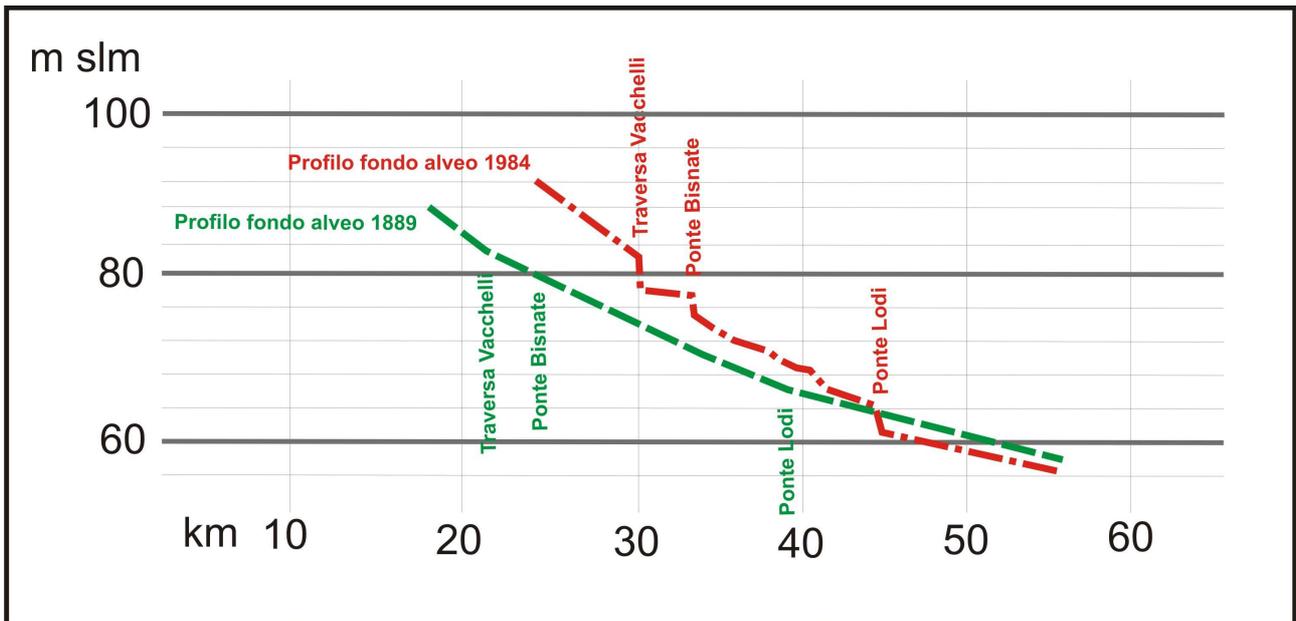


Figura 7 – Profili alveo 1889-1984 tra la traversa Vacchelli e il ponte di Lodi (exSS235).

## **2. INDAGINI**

Ai fini del progetto in discussione sono state considerate le seguenti campagne geognostiche e sismiche:

### Amministrazione della Provincia di Cremona

Indagini geognostiche con Relazione Geologica e Geotecnica per realizzazione del tronco Dovera- Spino d'Adda SP CR ex S.S. n. 415 "Paullese" (2012).

Prove considerate:

Prova penetrometrica DPSH e sondaggio con Down Hole;

N. 1 Sondaggio presso la pila del ponte (2015)

### Amministrazione della Provincia di Milano

Indagini geognostiche e geotecniche, sondaggi (eseguiti da Terra Company s.r.l. 2002).

In sondaggio 7-SH n. 13, in sondaggio 6-SI n. 9, in sondaggio 5-SF n. 8, in sondaggio 4-SG n. 12 analisi di laboratorio geotecnico eseguite da SERVIZI GEOTECNICI LIGURI VIA PIAVE 122/a 17047 VADO LIGURE (SV).

In sondaggio 8-SL n. 7, in sondaggio 9-SM n. 4 analisi di laboratorio geotecnico eseguite da IGETECMA sas - Via delle Pratella 18/20, Montelupo Fiorentino.

Prove considerate:

N. 4 sondaggi a carotaggio continuo;

Progetto di riqualifica e potenziamento della strada statale n. 415 Paullese (2008)

Prove considerate:

N. 2 sondaggi a carotaggio continuo (uno con Down Hole);

### Studio Bassi

Indagini per centralina idroelettrica (2010)

Prove considerate:

N. 2 prove penetrometriche SCPT con microtremore.

Microtremore per PGT di Spino d'Adda (2009).

Le indagini considerate sono riassunte nella tabella che qui segue e la loro ubicazione è riportata in **Allegato 8**.

N. d'ordine	Sigla originale	Anno di esecuzione	Indagine geognostica, geotecnica, sismica	Esecutore	Profondità in m da p.c.	SPT n.	Falda in m da p.c.
1	S1	2015	Sondaggio	Prov. CR	40	/	1,0
2	SA	2012	DPSH	Prov. CR	12	/	2,9
3	S.SE	2012	Sondaggio-down hole	Prov. CR	35	/	2,8/3,0
4	SG	2002	Sondaggio	Prov. MI	40	12	/
5	SF	2002	Sondaggio	Prov. MI	30	8	/
6	SI	2002	Sondaggio	Prov. MI	20	10	5,5
7	SH	2002	Sondaggio	Prov. MI	30	13	3,7
8	SL-dh	2008	Sondaggio-down hole	Prov. MI	60	12	/
9	SM	2008	Sondaggio	Prov. MI	60	15	/
10	SCPT1	2010	SCPT	Studio Bassi	9,6	/	4,3
11	SCPT2	2010	SCPT	Studio Bassi	9	/	4,8
12	REMI	2010	Microtremore-REMI	Studio Bassi	/	/	/
13	REMI	2009	Microtremore-REMI	C.ne Spino d'A.	/	/	/
14	S1p	1999	Sondaggio	Prov. CR	18	5	2,4
15	S7*		Sondaggio	Prov. MI			
16	S7bis*		Sondaggio	Prov. MI			
* non reperiti							

### 3. RELAZIONE SISMICA

La relazione che qui segue descrive le condizioni sismiche della porzione di territorio circostante il sito in discussione.

#### 3.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

I territori di Spino d'Adda e Zelo Buon Persico sono inseriti da Regione Lombardia<sup>4</sup>, in Zona 3 a media sismicità<sup>5</sup>.

Inquadramento geodinamico: la formazione e l'evoluzione della Pianura Padana è dovuta principalmente all'Orogenesi Alpina prima e successivamente a quella Appenninica, costituendo prima l'avanfossa del sistema alpino e successivamente di quello appenninico (Figura 8). L'avanfossa, che si formò in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, presenta un profilo asimmetrico con sedimenti che possono raggiungere anche 7.000 m di potenza. Dal Pliocene (circa 7 milioni di anni fa) ad oggi la depressione rappresentata dall'avanfossa è stata colmata dalla deposizione di sedimenti sia marini che continentali che si sono accumulati su un substrato miocenico continentale caratterizzato da una monoclinale pedealpina regionale che si estende dal margine alpino a nord fino alla base della catena alpina a sud.

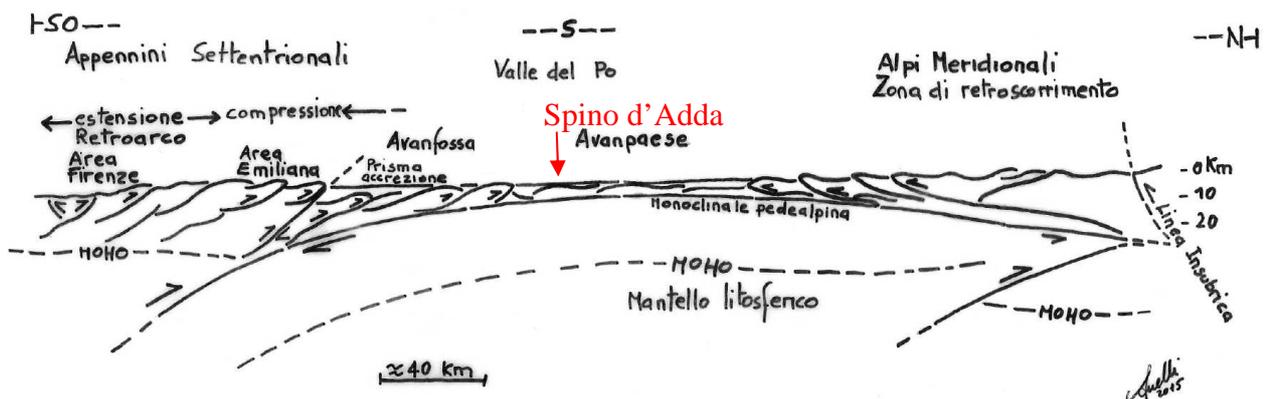


Figura 8 - Sezione geologica schematica, avanfossa/avampaese padano, in riferimento al sistema appenninico e al retroscorrimento delle Alpi Meridionali in cui la placca europea è subdotta dalla placca africana per movimento compressivo delle due zolle. Il bacino padano rappresenta l'avanfossa della catena appenninica ed è ora colmato da grandi volumi di detriti portati dai fiumi (Avanpaese). Togliendo, in ipotesi, i sedimenti che lo colmano, in strati potenti anche vari chilometri, si vedrebbe che il fondo del bacino è accidentato come una catena di montagne con dorsali, fosse e valli. Queste strutture sono state formate dalle forze tettoniche che hanno spinto la catena e la crosta terrestre sottostante verso l'Europa, facendo alzare l'Appennino e abbassare la zona antistante.

L'assetto tettonico del basamento terziario al di sotto della coltre alluvionale quaternaria, è interessato dalle complesse strutture scoperte dalle ricerche petrolifere.

La Figura 9 mette in evidenza la posizione e l'andamento di vari elementi strutturali (accavallamenti e pieghe) del sottosuolo della pianura lombarda a nord del Po. Queste strutture sepolte consistono prevalentemente in sistemi di pieghe sud-vergenti ad orientamento ONO - ESE, caratterizzate da ripetuti fenomeni di ondulazione assiale e da sovrascorrimenti (Figura 10).

<sup>4</sup> D.G.R 10 Ottobre 2014, n° X/2487

<sup>5</sup> O.P.C.M. 20.3.03. N. 3274, punto 3.1, categorie di suolo sismico; DGR 30.11.11 N. 9/ "Aggiornamento dei Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, del PGT dell'art. 57 primo comma, della L.R. 12/05, approvati con DGR 22.12.05 N. 8/1566 e modificati da 2616 DGRL 28.5.08 N. 8/7374", Allegato 5.

A questi sistemi di pieghe sono inoltre associate numerose faglie longitudinali, che in alcuni casi, danno luogo a dorsali e fosse tettoniche. La comparsa di tali strutture è riferibile ad una fase tettonica di età pliocenica media, dal momento che i sedimenti più recenti coinvolti nella deformazione raggiungono il Pliocene medio-superiore (circa 2 milioni di anni fa) e le strutture stesse sono ricoperte in discordanza dai sedimenti plio-pleistocenici marini. Le strutture in questione e in particolare le faglie, possono essersi comunque mantenute attive, anche in epoche successive, condizionando la sedimentazione della sovrastante coltre quaternaria o dislocandone i termini più antichi (pre-würmiani). Questi movimenti tettonici recenti sono testimoniati da lembi di depositi fluviali del Riss, che emergono, a guisa di piatti isolotti, dalle circostanti alluvioni würmiane, lungo gli assi di alcune strutture positive del substrato.

L'attività tettonica (sollevamenti e abbassamenti) di alcune di queste importanti strutture sepolte può influenzare l'andamento dell'idrografia superficiale, estremamente sensibile ai cambiamenti dei gradienti topografici indotti dall'attività tettonica. Sebbene gran parte di queste strutture siano sede di deformazioni continue ed essenzialmente asismiche, è comunque possibile che alcune di esse, oltre ad essere attive, siano anche sismogenetiche. Questa considerazione è giustificata dal fatto che esistono evidenti correlazioni tra anomalie idrografiche di superficie, indotte dalle strutture sepolte e importanti terremoti storici localizzati in queste zone.

Non è da escludere che queste importanti strutture sepolte abbiano contribuito in modo decisivo al processo di diversione fluviale del fiume Serio, avvenuto, come si è qui sopra scritto, tra l'XI ed il XIV sec e del fiume Oglio. È plausibile che i lenti movimenti tettonici verticali abbiano indotto impercettibili cambiamenti dei gradienti topografici, ponendo le basi affinché tale processo potesse realizzarsi definitivamente attraverso quel contributo climatico, storicamente documentato e comunemente riconosciuto come la causa principale della diversione del fiume Serio e del fiume Oglio.

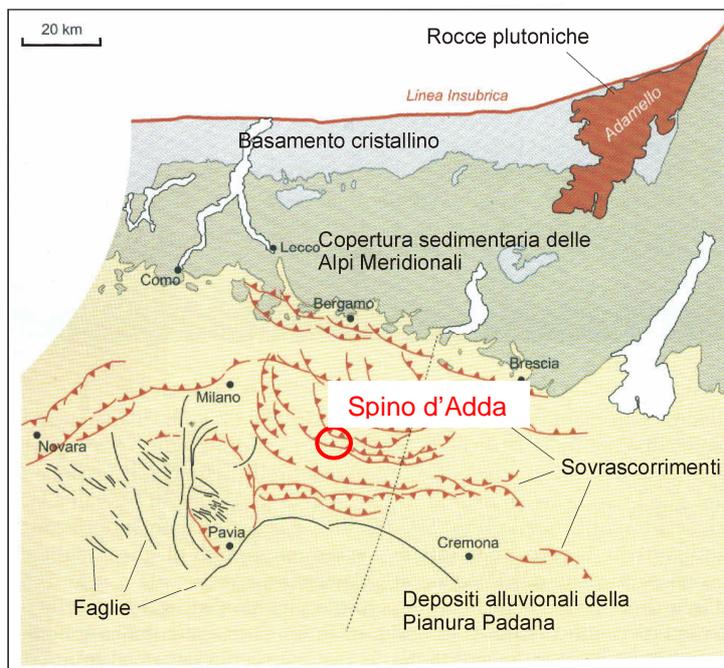
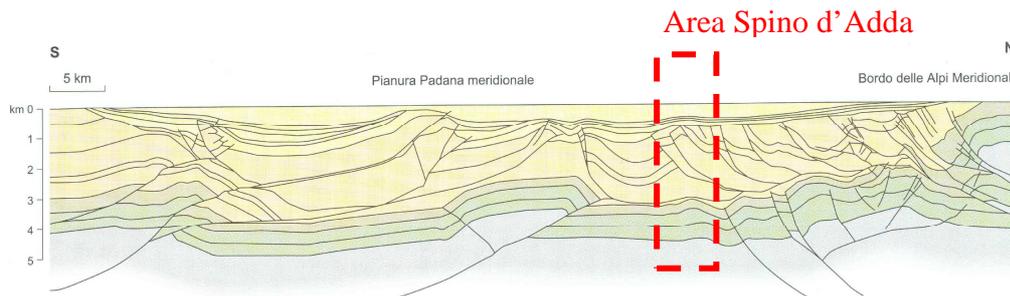


Figura 9 - Assetto tettonico della Pianura Padana Meridionale (da Fantoni et al.).



**Figura 10 - Assetto tettonico della Pianura Padana Meridionale (da Fantoni et al.).**

### **3.2 SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA**

L'analisi della sismicità del territorio in esame e la definizione della pericolosità sismica locale è eseguita applicando il metodo definito dalla DGR 30 novembre 2011 n. 9/2616.

Il territorio in discussione ricade in Zona sismica 3, pertanto le norme vigenti prevedono un approfondimento obbligatorio di primo livello, atto al riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica locale riferita alla cartografia di inquadramento e ai dati esistenti.

In Figura 11 sono riportati gli scenari di pericolosità sismica locale ricavati dai PGT di Spino e di Zelo; in questa sede si è operata l'integrazione tra la zonazione più dettagliata di Spino d'Adda estendendola a Zelo Buon Persico.

Qui di seguito sono riportati gli scenari di pericolosità sismica:

- Z4a: zona di fondovalle con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi; effetti: amplificazioni litologiche e geometriche.
- Z2b: zona con depositi granulari fini; effetti: liquefazioni

L'area in esame ricade nello scenario di pericolosità sismica locale Z4a, in quanto costituito da depositi alluvionali di fondovalle granulari e/o coesivi e caratterizzato da soggiacenza media della falda superficiale superiore a 0.50-1.50 m. Per tale scenario, nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti, la norma vigente prevede l'approfondimento di secondo livello, con lo scopo di valutare i fattori di amplificazione sismica locale, legati alla litologia del sedimento.

Inoltre per la falda prossima a piano campagna e la possibilità di sedimenti sabbioso limosi organizzati in geometrie lentiformi, è possibile che si manifestino locali fenomeni di liquefazioni in caso di sisma ricadendo in corrispondenza della valle attiva dell'Adda nello scenario Z2b.

Inoltre, la norma prevede un livello di approfondimento superiore (terzo) nel caso in cui, a seguito dell'applicazione del secondo livello, si dimostri che il fattore di amplificazione locale calcolato sia superiore al fattore soglia stabilito da Regione Lombardia per il comune in esame.

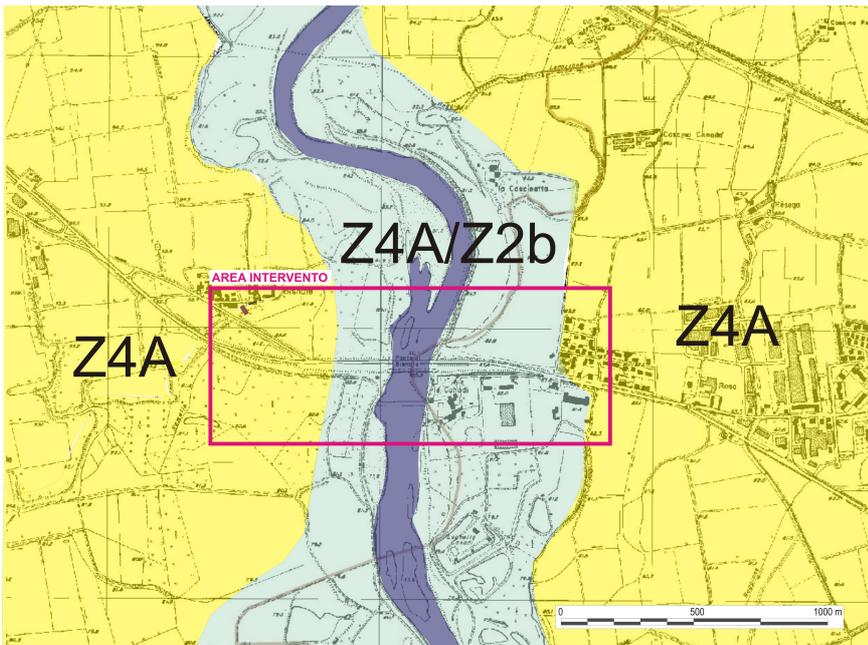


Figura 11 – Scenari di pericolosità sismica locale.

### 3.3 DEFINIZIONE SUOLO SISMICO – ANALISI INDAGINI SISMICHE

La norma sismica in vigore chiede la categoria del suolo sismico del sito mediante la determinazione di  $V_{S30}$  ( $V_{S30}=30/\sum_{i=1, N} h_i/V_i$ : velocità equivalente delle onde S nei i primi 30 metri di profondità). I dati sono acquisiti con metodologie Down Hole e microtremore. A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, della lunghezza dello stendimento e del numero di sensori impiegati il metodo permette di determinare la velocità delle onde trasversali  $V_s$  per profondità da alcune decine di metri a 100 m.

Successivamente alla rilevazione di campagna si è proceduto all'elaborazione dei dati con ricostruzione del periodo naturale di oscillazione del sito in discussione e del fattore di amplificazione sismica locale ( $F_a$ ), utilizzando i metodi indicati da Regione Lombardia e dal D.M. 14.01.08.

Qui di seguito si riassumono i risultati delle indagini riportate in **Allegato 10**.

#### 3 – S.SE - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2012

Indagine	$V_{S30}$	Periodo ( $T_p$ )	$F_a$ ( $T=01-0.5$ s)	$F_a$ ( $T>0.5$ s)
3	322	1.173	1.0	1.63
<b>Suolo sismico</b>			<b>C</b>	<b>C</b>
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia</b>			<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

Il risultato definitivo è che i valori di  $F_a$  calcolati sono inferiori a quelli forniti da Regione Lombardia, sia per edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s sia per quelli con periodo superiore. Pertanto nell'area indagata si adotteranno, per tutte le tipologie di edifici, gli spettri di norma relativi al **suolo sismico C**.

## 8 – SL - dh - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2008

Indagine	Vs <sub>30</sub>	Suolo sismico
8	317	C

## 12 - REMI – MICROTREMORE 2010

Linea	Vs <sub>30</sub>	Periodo (Tp)	Fa (T=01-0.5 s)	Fa (T>0.5 s)
12	329	0.35	1.7	1.5
<b>Suolo sismico</b>			<b>C</b>	<b>C</b>
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia</b>			<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

Il risultato definitivo è che i valori di Fa calcolati sono inferiori a quelli forniti da Regione Lombardia, sia per edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s sia per quelli con periodo superiore. Pertanto nell'area indagata si adotteranno, per tutte le tipologie di edifici, gli spettri di norma relativi al suolo sismico **C**.

## 13 – MICROTREMORE 2009

Linea	Vs <sub>30</sub>	Suolo sismico	Periodo (Tp)	Fa (T=01-0.5 s)	Fa (T>0.5 s)
Microtremore 2009	319	C	0.38	1.6 – 2.1	1.2-1.4
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia</b>				<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

I valori soglia indicati dalla scheda regionale, per suolo sismico di tipo C, sono di 1.8 e di 2.4 rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5 s (bassi e lunghi) e superiore a 0.5 s (edifici alti e snelli). Poiché il valore soglia di Fa 1.8 supera il risultato del REMI (1.6), per gli edifici con periodo inferiore, a motivo di maggior cautela, si adotteranno gli spettri del suolo sismico superiore (D). Diversamente si procederà con l'analisi sismica di 3° livello. Per gli edifici con periodo superiore a 0.5s essendo i valori soglie Fa inferiori a quelli regionali si possono utilizzare gli spettri di suolo sismico C.

### 3.4 SPETTRI DI RISPOSTA

Di seguito vengono definiti gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per l'area in esame considerando le coordinate definite in Figura 12.

Inoltre viene definita la pericolosità sismica secondo le NTC fornendo i parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$ . \*) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo o della costruzione in esame attraverso 3 fasi:

- individuazione della pericolosità di sito;
- scelta della strategia di progettazione;
- determinazione dell'azione di progetto.



Figura 12 – Immagine Google con coordinate geografiche di riferimento (WGS84 GD).

Sito in esame.

Latitudine: 45,404123

Longitudine: 9,461916

Classe d'uso: 4

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 12486 Lat: 45,4167 Lon: 9,4340 Distanza: 2592,478

Sito 2 ID: 12487 Lat: 45,4191 Lon: 9,5051 Distanza: 3755,739

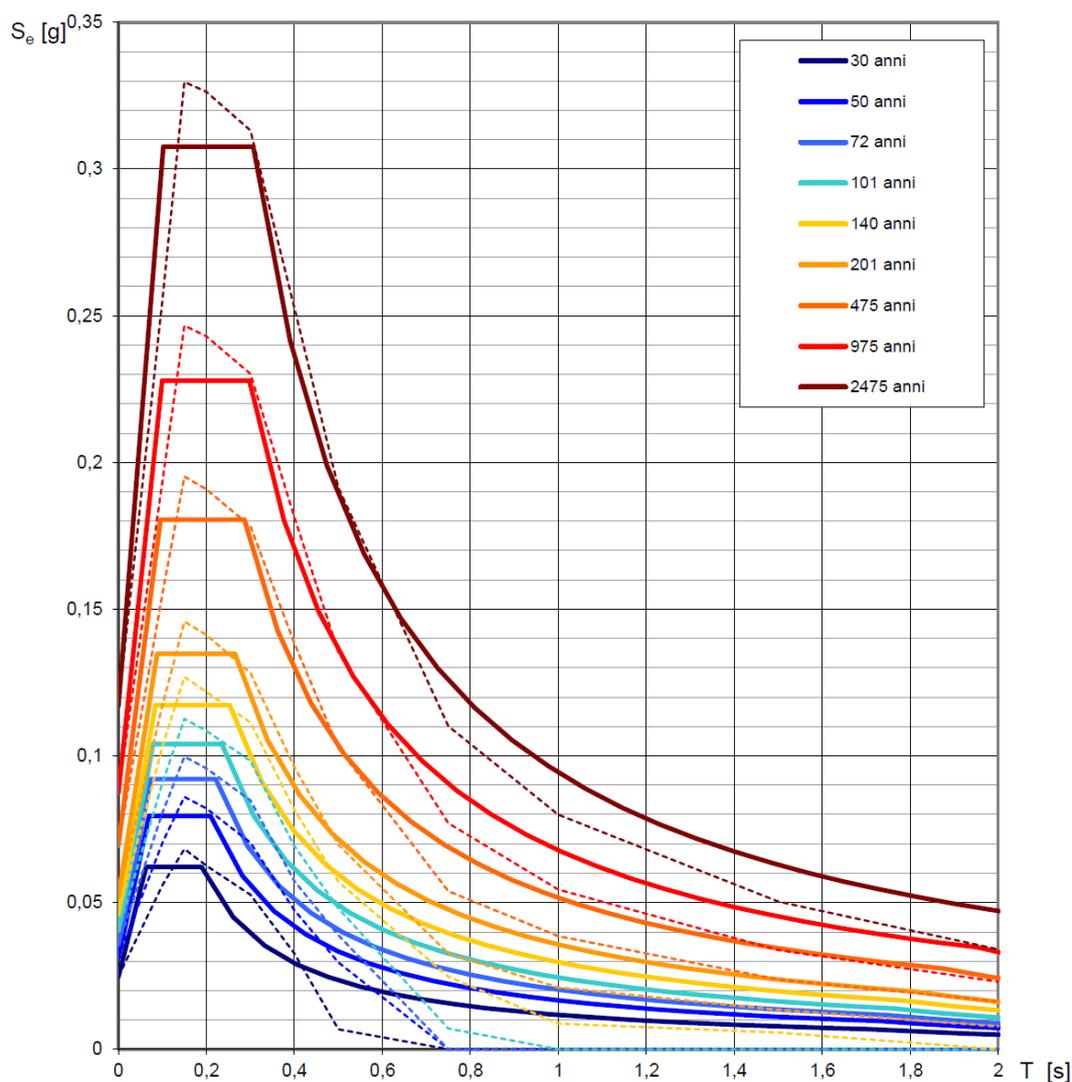
Sito 3 ID: 12709 Lat: 45,3691 Lon: 9,5084 Distanza: 5320,678

Sito 4 ID: 12708 Lat: 45,3668 Lon: 9,4374 Distanza: 4574,258

Valore dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$ . \* per periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

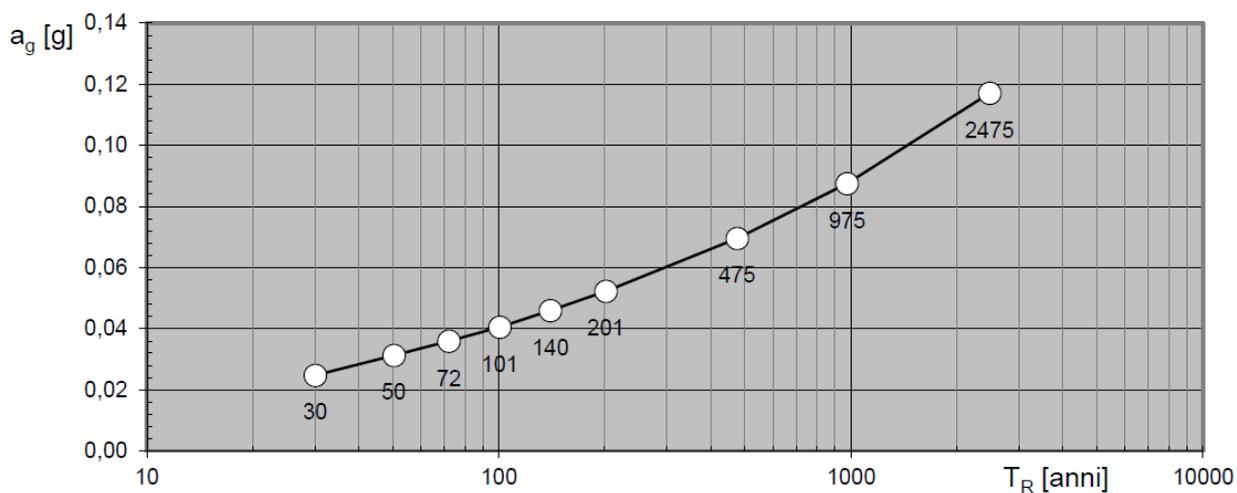
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,025	2,505	0,189
50	0,031	2,538	0,209
72	0,036	2,562	0,221
101	0,040	2,569	0,235
140	0,046	2,549	0,253
201	0,052	2,576	0,265
475	0,070	2,595	0,286
975	0,088	2,605	0,298
2475	0,117	2,629	0,306

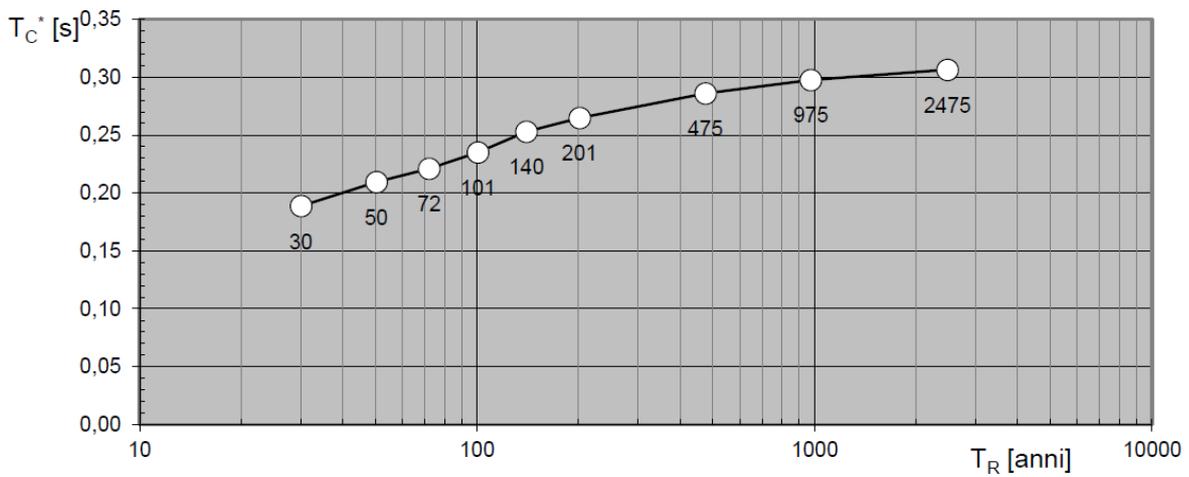
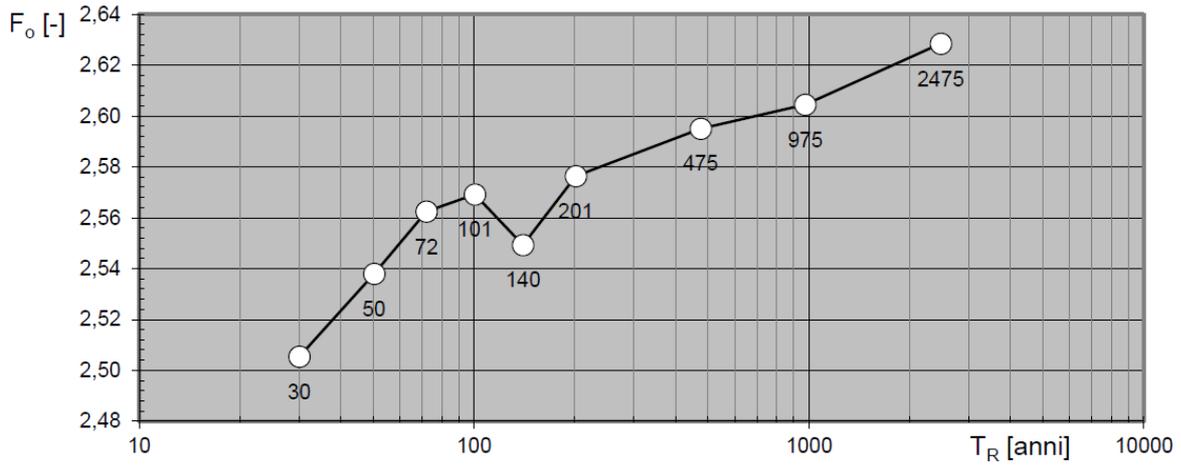
### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



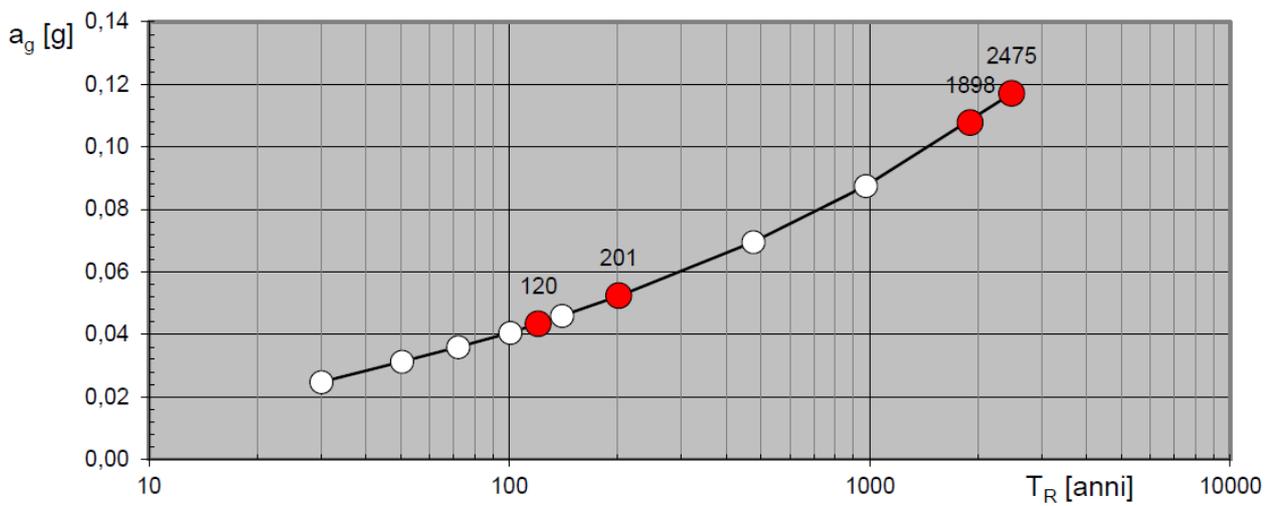
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

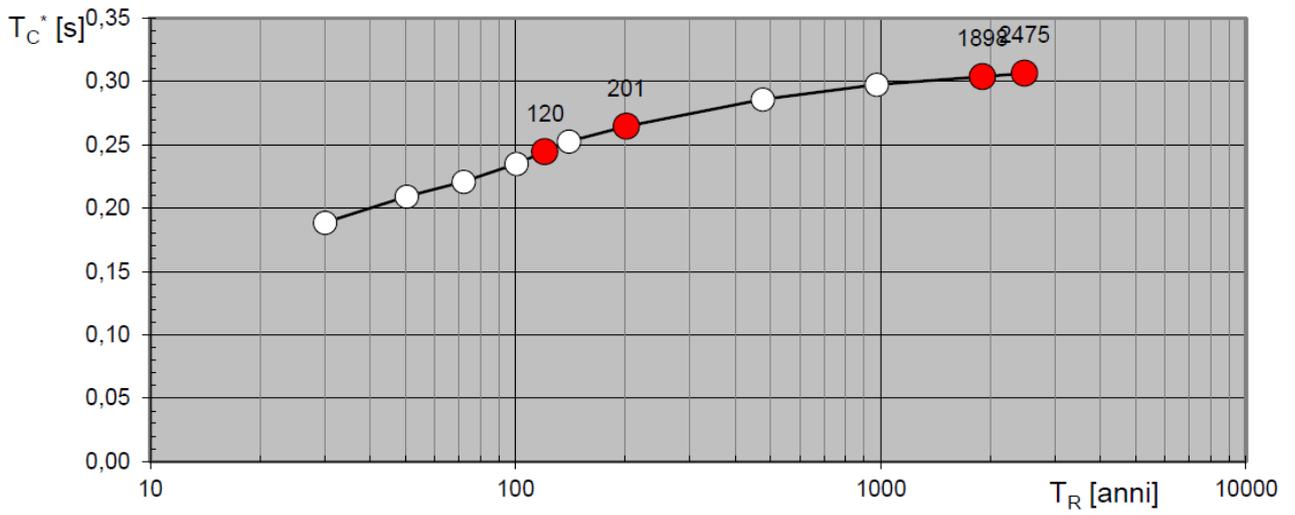
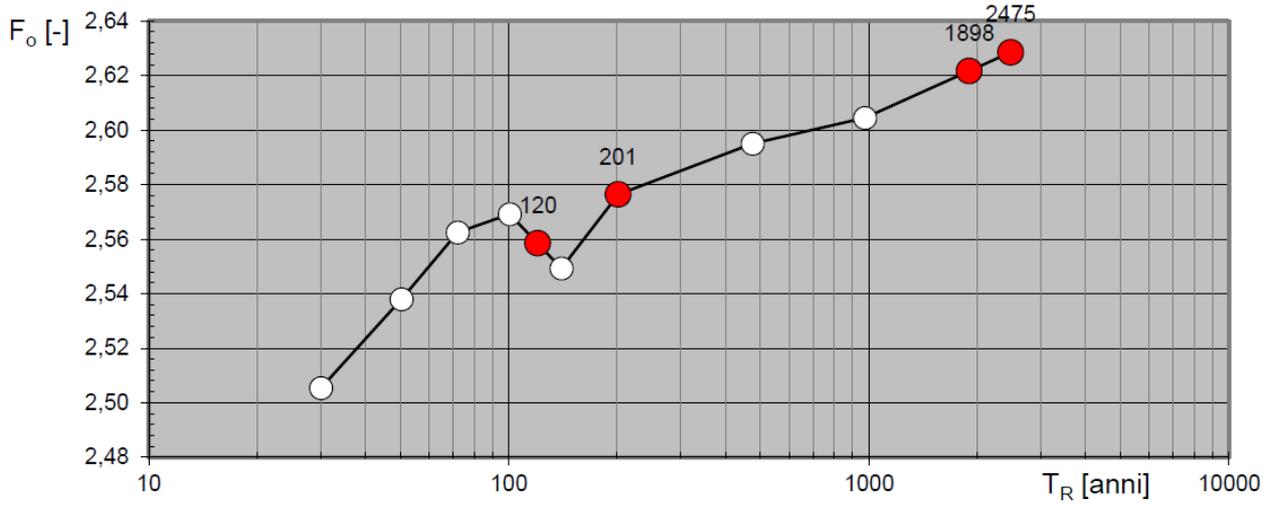
### Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_c$ : variabilità col periodo di ritorno $T_R$





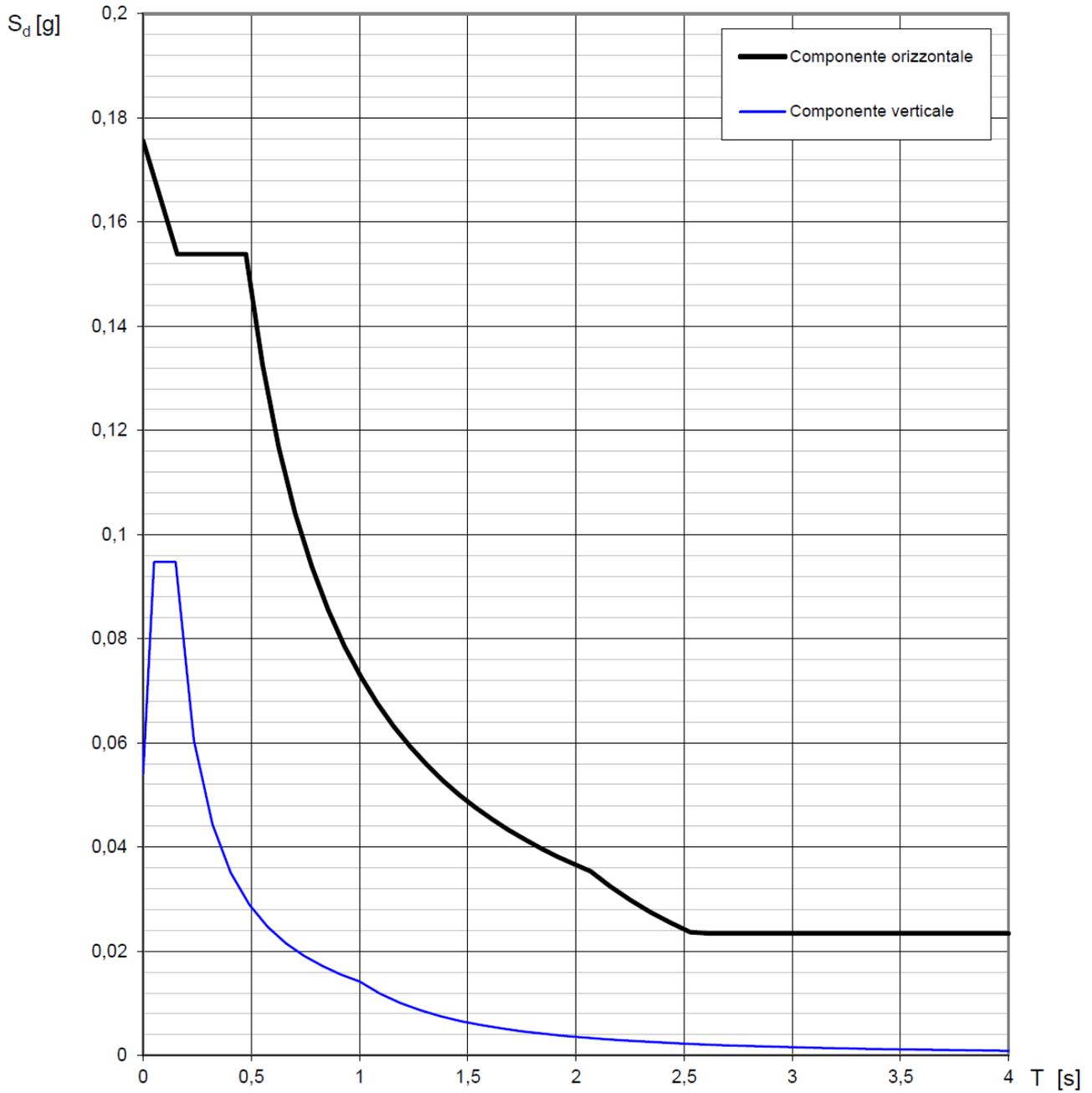
**Valori di progetto dei parametri a<sub>g</sub>, F<sub>o</sub>, T<sub>C</sub>\* in funzione del periodo di ritorno T<sub>R</sub>**





**DETERMINAZIONE AZIONE DI PROGETTO**

Spettri di risposta (componenti oriz.inelastico – SLU e vert.) per lo stato limite: SLC



## Parametri e punti dello spettro inelastico di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

## Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
$a_d$	0,117 g
$F_q$	2,629
$T_C$	0,306 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,551
$S_T$	1,000
$q$	3,000

## Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	0,333
$T_B$	0,158 s
$T_C$	0,475 s
$T_D$	2,068 s

## Espressioni dei parametri dipendenti

(NTC-08 Eq. 3.2.5)

(NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

(NTC-07 Eq. 3.2.8)

(NTC-07 Eq. 3.2.7)

(NTC-07 Eq. 3.2.9)

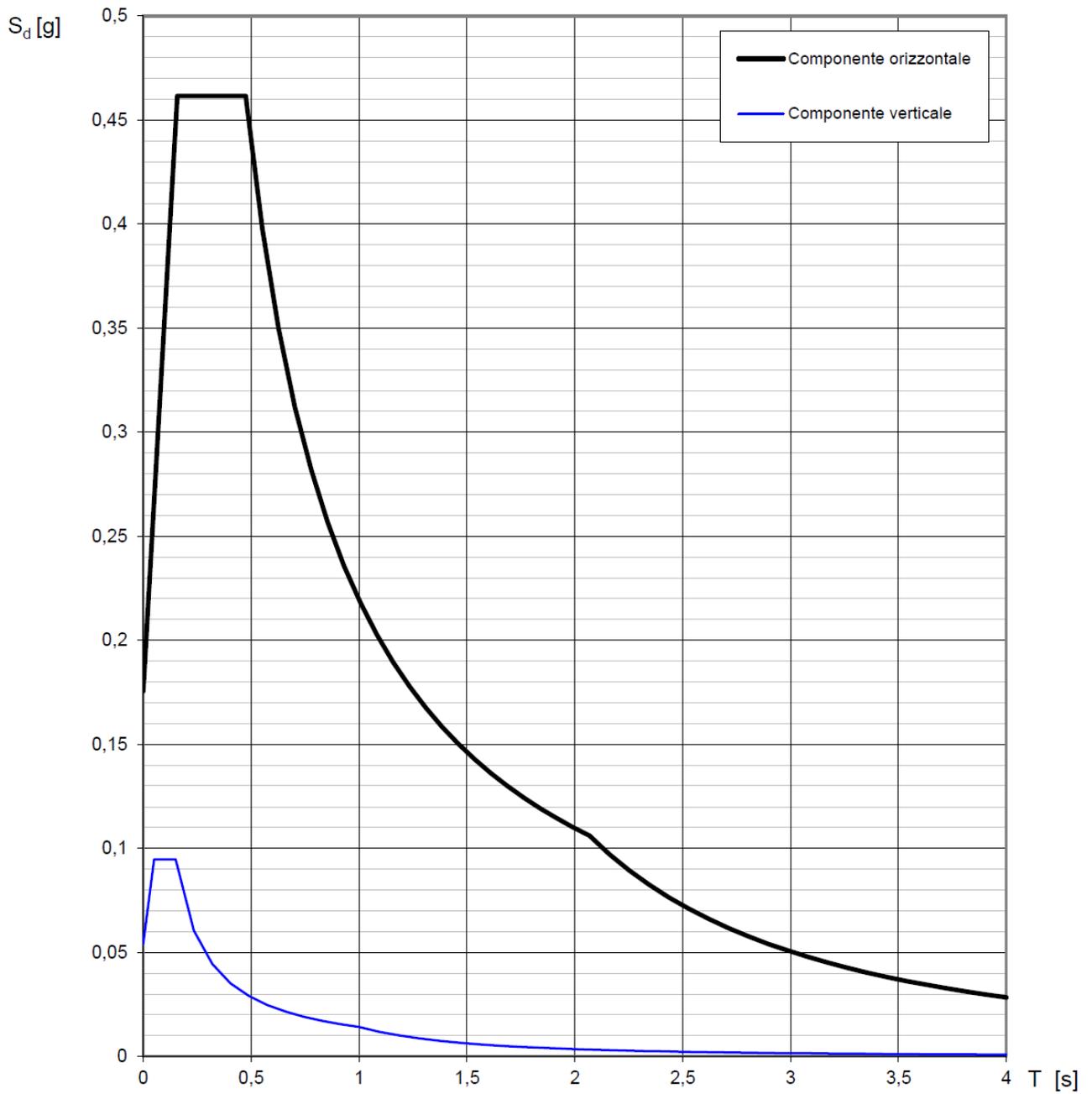
## Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

## Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,176
$T_B$	0,158	0,154
$T_C$	0,475	0,154
	0,551	0,133
	0,627	0,117
	0,703	0,104
	0,779	0,094
	0,855	0,086
	0,930	0,079
	1,006	0,073
	1,082	0,068
	1,158	0,063
	1,234	0,059
	1,310	0,056
	1,386	0,053
	1,461	0,050
	1,537	0,048
	1,613	0,045
	1,689	0,043
	1,765	0,041
	1,841	0,040
	1,917	0,038
	1,992	0,037
$T_D$	2,068	0,035
	2,160	0,032
	2,252	0,030
	2,344	0,028
	2,436	0,025
	2,528	0,024
	2,620	0,023
	2,712	0,023
	2,804	0,023
	2,896	0,023
	2,988	0,023
	3,080	0,023
	3,172	0,023
	3,264	0,023
	3,356	0,023
	3,448	0,023
	3,540	0,023
	3,632	0,023
	3,724	0,023
	3,816	0,023
	3,908	0,023
	4,000	0,023

Spettri di risposta (componenti orizz. elastico – SLE e vert.) per lo stato limite: SLC



Parametri e punti dello spettro di risposta elastico orizzontale per lo stato limite: SLC

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0,117 g
$F_{0,1}$	2,629
$T_C$	0,306 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,551
$S_T$	1,000
$q$	1,000

### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,158 s
$T_C$	0,475 s
$T_D$	2,068 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

(NTC-08 Eq. 3.2.5)

(NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

(NTC-07 Eq. 3.2.8)

(NTC-07 Eq. 3.2.7)

(NTC-07 Eq. 3.2.9)

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	$S_e$ [g]
	0,000	0,176
$T_B$	0,158	0,462
$T_C$	0,475	0,462
	0,551	0,398
	0,627	0,350
	0,703	0,312
	0,779	0,282
	0,855	0,257
	0,930	0,236
	1,006	0,218
	1,082	0,203
	1,158	0,189
	1,234	0,178
	1,310	0,168
	1,386	0,158
	1,461	0,150
	1,537	0,143
	1,613	0,136
	1,689	0,130
	1,765	0,124
	1,841	0,119
	1,917	0,114
	1,992	0,110
$T_D$	2,068	0,106
	2,160	0,097
	2,252	0,089
	2,344	0,083
	2,436	0,076
	2,528	0,071
	2,620	0,066
	2,712	0,062
	2,804	0,058
	2,896	0,054
	2,988	0,051
	3,080	0,048
	3,172	0,045
	3,264	0,043
	3,356	0,040
	3,448	0,038
	3,540	0,036
	3,632	0,034
	3,724	0,033
	3,816	0,031
	3,908	0,030
	4,000	0,028

Oltre ai parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale per SLC, di seguito si riassumono i risultati anche per gli altri stati limite (SLV, SLD, SLO):

## Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	120	[anni]
a <sub>g</sub> :	0,043	g
Fo:	2,559	
Tc*:	0,245	[s]

## Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	201	[anni]
a <sub>g</sub> :	0,053	g
Fo:	2,576	
Tc*:	0,265	[s]

## Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	1898	[anni]
a <sub>g</sub> :	0,108	g
Fo:	2,622	
Tc*:	0,304	[s]

## Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2475	[anni]
a <sub>g</sub> :	0,117	g
Fo:	2,629	
Tc*:	0,306	[s]

## Coefficienti Sismici

## SLO:

Ss:	0,000
Cc:	0,000
St:	0,000
Kh:	0,012
Kv:	0,006
Amax:	0,600
Beta:	0,200

## SLD:

Ss:	0,000
Cc:	0,000
St:	0,000
Kh:	0,012
Kv:	0,006
Amax:	0,600
Beta:	0,200

## SLV:

Ss:	0,000
Cc:	0,000
St:	0,000
Kh:	0,015
Kv:	0,007
Amax:	0,600
Beta:	0,240

## SLC:

Ss:	0,000
Cc:	0,000
St:	0,000
Kh:	0,015
Kv:	0,007
Amax:	0,600
Beta:	0,240

## 4. RELAZIONE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

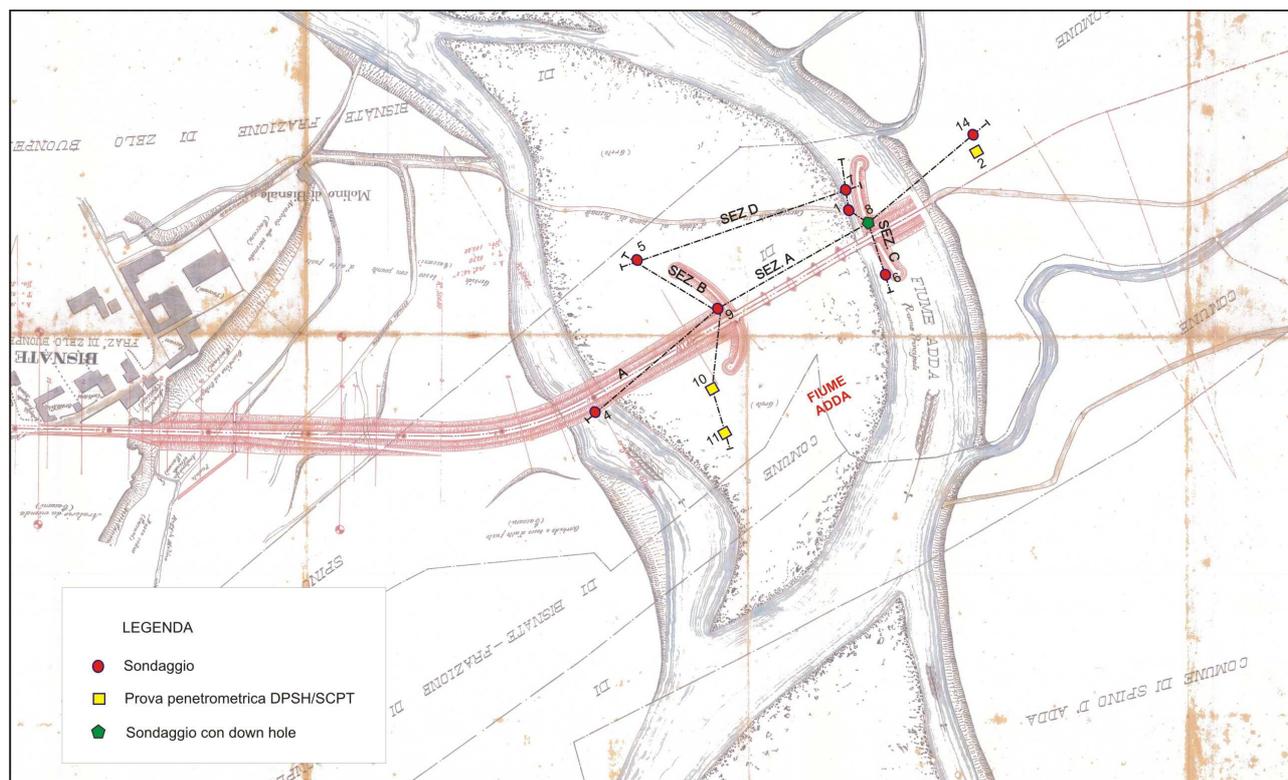
Sulla base delle indagini geognostiche disponibili (vedi Capitolo 2 – Indagini) sono state tracciate 4 Sezioni geologico tecniche (Allegato 11) con cui sono state definite le caratteristiche litologiche e geotecniche del sottosuolo.

Sono state utilizzate n. 13 analisi di laboratorio geotecnico eseguite nel 2002 sul sondaggio 7 e n. 9 analisi di laboratorio geotecnico eseguite su sondaggio 1 per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni alle imposte dei ponti. A tal fine sono state tracciate n. 2 sezioni geotecniche di dettaglio (A' e C')

### 4.1 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

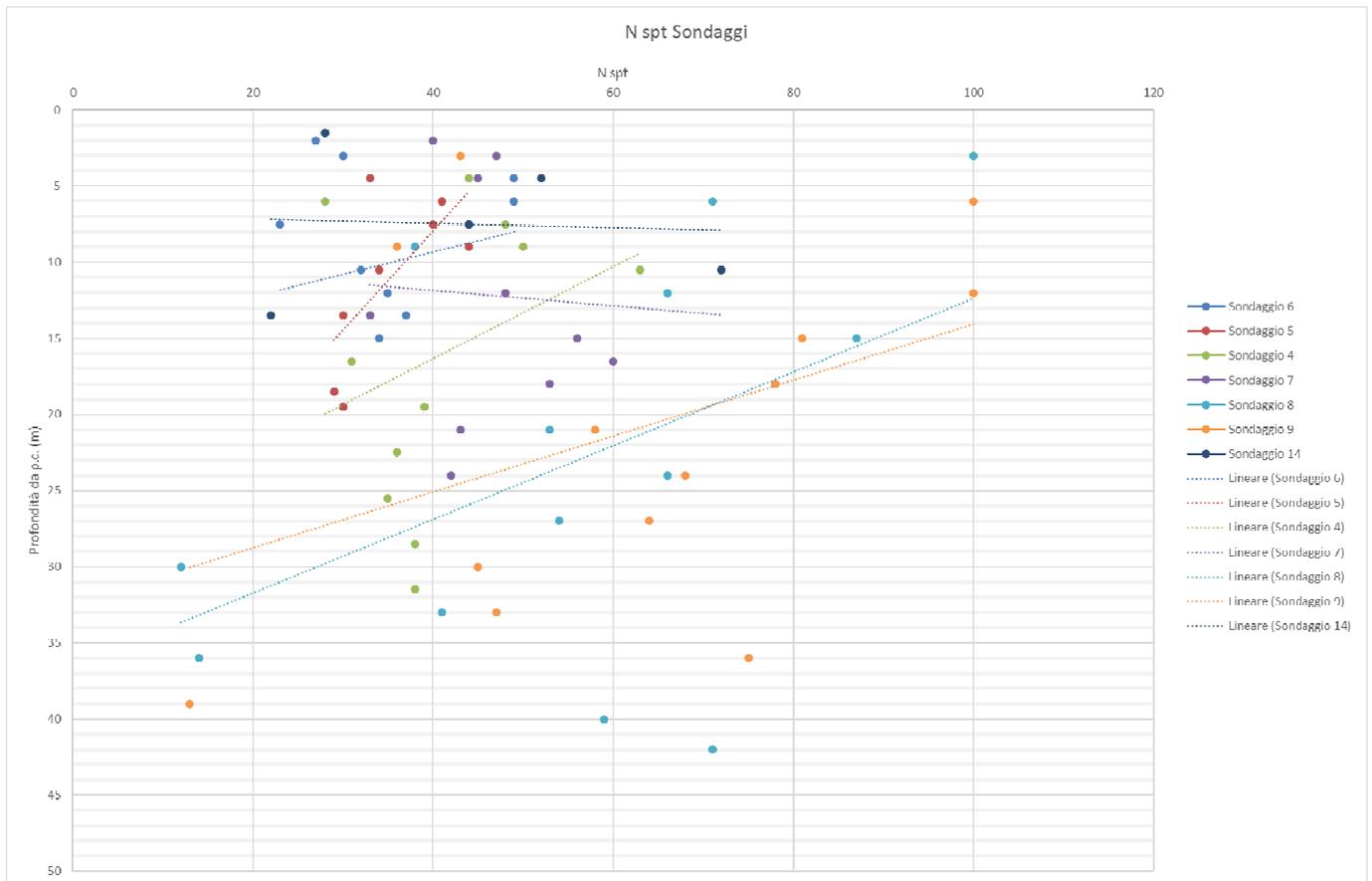
Al fine di inquadrare l'area in esame si riporta in Figura 13 la posizione dei sondaggi e delle sezioni sulla cartografia ottocentesca usata nella relazione tecnica per la costruzione del primo ponte; tale immagine evidenzia il vecchio andamento del fiume Adda prima che fosse sbarrato dai terrapieni di accesso al ponte.

È evidente che l'alveo attuale è impostato su una precedente isola fluviale e che la spalla del primo ponte in sinistra fu posta nell'alveo attivo del fiume Adda.



**Figura 13 – Traccia Sezioni geologico tecniche su cartografia storica.**

Per la caratterizzazione geotecnica sono stati considerati gli SPT quando presenti. Nel grafico che qui segue sono stati riportati gli SPT e tracciata la linea di tendenza per ogni sondaggio che rappresenta l'andamento medio dell'addensamento dei terreni rispetto alla profondità. Gli SPT furono eseguiti a differente profondità ma, osservandone l'andamento lineare, si denota una **diminuzione dell'addensamento con la profondità**.



L'analisi dei dati geognostici ha consentito di individuare le seguenti litofacies:

- **superficiale (A)**, con alluvioni attuali e recenti, ghiaioso sabbiosa ( $N_{scpt\ medio} > 20$ );
- **profonda (B)**, con alluvioni antiche (Pleistocene sup.?) prevalentemente sabbioso limose ( $N_{scpt\ medio} < 20$ ). Questa litofacies contiene anche lenti torbose o di argilla organica con potenza fino a 1.50-2.00 m.

Gli strati sabbiosi e ghiaiosi sono raggruppati nelle litofacies mediando gli SPT e considerando l'ambiente di deposizione fluviale del sito.

In Tabella A sono evidenziati i principali parametri geotecnici ottenuti con le prove di laboratorio:

LITOFACIES	$N_{SCPT\ medio}$	$\Phi$	$D_r$ (%)	Classe granulometrica	$\sigma_{vo}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )
<b>A</b>	>20	39	25-30	Ghiaia sabbiosa	>2,0	17-21
<b>B</b>	<20	36	30-40	Sabbia limosa	1.5-2.0	13-18

$N_{SCPT\ medio}$ : numero colpi-piede (30 cm), con penetrometro statico-dinamico TG 73-100 KN autoancorante, semovente con maglio di 73 kg e caduta di 0.75 m.

$\Phi$ : Angolo di attrito interno o resistenza dei granuli allo scorrimento relativo, stimato direttamente dai valori  $N_{SCPT}$  con i grafici per materiali prevalentemente sabbiosi proposti da diversi autori (Peck, Hanson, Thornburn, Meyerhof).

**Dr (%)**: densità relativa deriva dalla valutazione in laboratorio dell'indice dei vuoti ed è stata stimata con correlazioni empiriche basate sugli studi di Gibbs e Holtz (1957). La densità relativa dei terreni incoerenti è importante per la valutazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza al taglio; inoltre è fondamentale per la valutazione della liquefazione dei terreni sabbiosi saturi, in caso di eventi sismici e dello stato di addensamento.

**Classe granulometrica**: definita per correlazioni qualitative tra  $\Phi$  e  $D_r$  (Schmertmann, 1970), consente una valutazione di prima analisi. Utilizzando la classificazione AGI, è possibile inserire i depositi delle 3 litofacies individuate nella sabbia (particelle con  $0.06\text{mm} < d < 2\text{ mm}$ ) con ghiaia (particelle con  $2\text{ mm} < d < 60\text{ mm}$ ).

**$\sigma_{vo}$  (Kg/cm<sup>2</sup>)**: tensione litostatica effettiva in sito alla profondità di prova, ottenuta dalla correlazione tra  $\Phi$  e  $N_{SCPT}$  su base statistica, effettuata da Gibbs e Holtz e riportati in diagramma da De Mello (1971).

**$\gamma$  (KN/m<sup>3</sup>)**: peso specifico secco, ottenuto dalla correlazione tra  $N_{SCPT}$ ,  $D_r$ , e  $\Phi$ .

### **Descrizioni Sezioni geologico tecniche**

**Sezione A**: si sviluppa da O a E, correla i sondaggi 4, 9, 8, 14. La sezione attraversa l'Adda, ma non ci sono indagini direttamente in alveo e ciò non consente di caratterizzare la geotecnica del sottosuolo a ridosso delle pile dei ponti.

È evidente la presenza delle 2 litofacies qui sopra descritte, con la litofacies A che si sviluppa da p.c. fino a profondità tra  $-11/37.00\text{ m}$  da p.c. La potenza maggiore della litofacies A è in corrispondenza di sondaggio 9.

La litofacies B, al letto della litofacies A, è caratterizzata da poche lenti di sabbia ghiaiosa, in corrispondenza dei sondaggi 9 e 8 è intercalata una lente di torba o argilla organica con spessore tra  $1.00\text{ m}$  e  $1.50\text{ m}$ .

**Sezione B**: si sviluppa da N a S, correla i sondaggi 5, 9 e le prove penetrometriche 10 e 11. La sezione è posta in sponda destra Adda e non presenta indagini in alveo.

È evidente anche qui la presenza delle 2 litofacies precedentemente descritte, con litofacies A che si sviluppa da p.c. fino a profondità tra  $-11/37.00\text{ m}$  da p.c. rispecchiando l'andamento della sezione precedente.

**Sezione C**: si sviluppa da N a S, correla i sondaggi 7, 1, 8, 6. La sezione è posta in sinistra Adda e non dispone di indagini nell'alveo.

È evidente la presenza delle 2 litofacies precedentemente descritte, con la litofacies A che si sviluppa da p.c. fino a ad oltre  $11\text{ m}$  da p.c. Inoltre è presente una forte lente della litofacies A tra  $-16$  e  $-28\text{ m}$  da p.c. intercalantesi all'interno della litofacies B.

La litofacies B, in Sezione A, è presente al letto della litofacies A ed è caratterizzata inoltre dalla presenza di una lente di torba o argilla organica con spessore compreso tra  $2.00\text{ m}$  e  $3.00\text{ m}$ .

**Sezione D**: si sviluppa da O a E, correla i sondaggi 5 e 7. La sezione attraversa l'Adda, non presenta indagini direttamente in alveo ed è la sezione più a monte.

È evidente la presenza delle 2 litofacies precedentemente descritte, con la litofacies A che si sviluppa da p.c. fino a profondità intorno a  $-11.00\text{ m}$  da p.c.

La litofacies B al letto della litofacies A è caratterizzata da un'unica lente di sabbia ghiaiosa e in corrispondenza del sondaggio 7. Non si segnala presenza di lenti torbose o di argilla organica fino alle profondità indagate dai sondaggi.

## 4.2 LIQUEFAZIONE

Al fine di caratterizzare la suscettibilità alla liquefazione sono state utilizzate le analisi di laboratorio geotecnico, eseguite per conto della Provincia di Milano nel 2002 e nel 2008. Le analisi sono distribuite come qui di seguito si compendiano:

Le analisi geotecniche sono state utilizzate per tracciare 2 sezioni geotecniche di dettaglio (pg 35-36):

- sezione A' con sondaggio 8 – SL, n. 7 analisi e sondaggio 9 – SM, n. 4 analisi;
- sezione C' con sondaggio 6 – SI, n. 9 analisi e sondaggio 7 – SH n. 13 analisi.

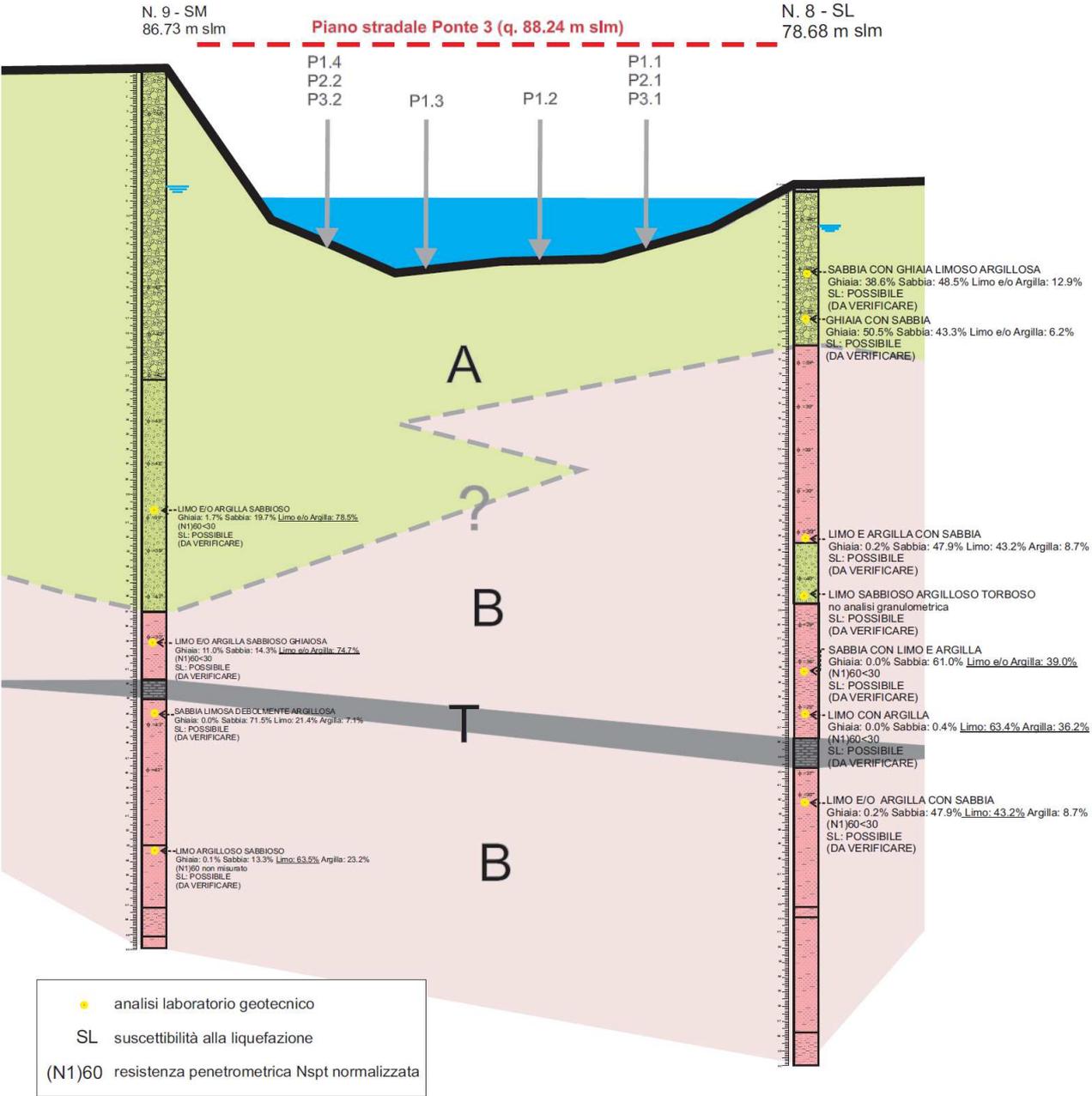
Il DM 14.01.2008 (paragrafo 7.11.3.4) e successiva Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semiempirico.

Tali verifiche, secondo le NTC 2008, devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato; nel contempo, al fine di facilitare le procedure di analisi, al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza dei seguenti casi:

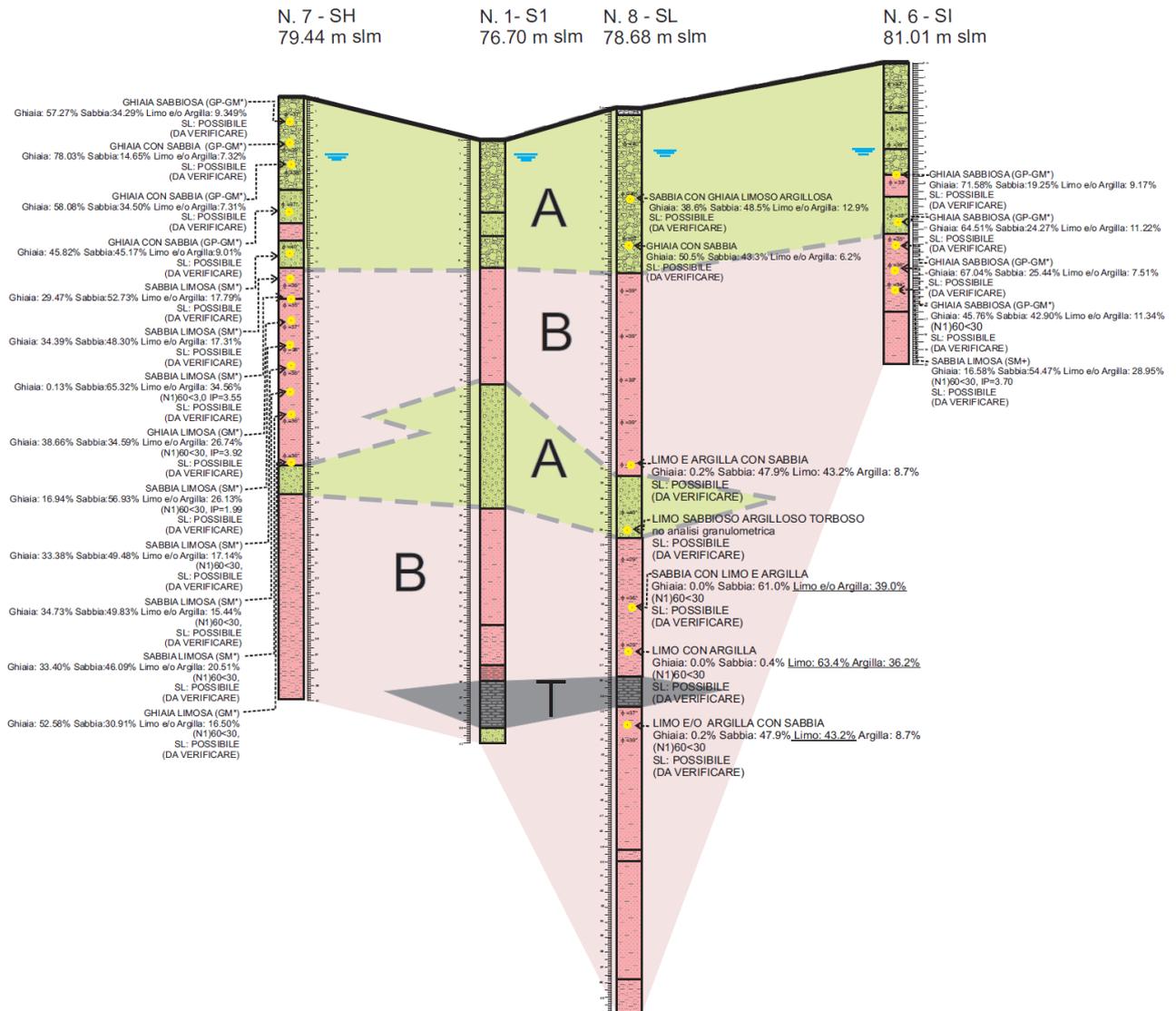
- eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ( $M < 5$ );
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a  $0.1g$  ( $a < 1 \text{ m/sec}^2$ );
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $N1(60) > 30$ ;
- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

Dai risultati ottenuti tracciando le sezioni A' e C' si evince che non può essere omessa la verifica della suscettibilità alla liquefazione (secondo grado).

SEZIONE A'



SEZIONE C'



### 4.3 MODELLO GEOTECNICO DI RIEFRIMENTO

Il modello geotecnico di riferimento, che deriva dall'integrazione di tutti i dati raccolti durante le indagini geognostiche può essere qui riassunto come segue:

- **Litofacies A**, superficiale, addensamento medio alto, rappresentata in prevalenza da alluvioni attuali e recenti, potenza da 11 e 37m,  $\phi$  medio  $39^\circ$ , Dr compresso tra 25-30%,  $\gamma$  17-21 KN/m<sup>3</sup>;
- **Litofacies B**, più profonda, con addensamento medio, costituita da alluvioni sabbiose o sabbioso fini-limose, potenza da 16 e 50m,  $\phi$  medio  $36^\circ$ , Dr compresso tra 30-40%,  $\gamma$  16-18 KN/m<sup>3</sup>;
- **Presenza di argilla organica/torba in lenti di 1.5-2.0 m oltre 35-40 m da p.c.**

La soggiacenza della falda non sempre rilevata nei sondaggi è compresa tra -2.00 e 8.00 m da p.c. risentendo direttamente dell'azione drenante del fiume Adda e del suo regime idrologico. La disomogeneità dei dati di soggiacenza è dovuta alla diversa cronologia di esecuzione ed rilevamento dei sondaggi. Figura 14 è lo schema con la geometria indicativa delle litofacies tracciata sulla base delle indagini geognostiche descritte qui sopra. Lo schema è orientato da ovest a est e si spinge fino a 60 m. E' significativo l'andamento irregolare del limite fra le litofacies A e B e la presenza di una lente torbosa, abbastanza continua, tra 35 e 40 m di profondità.

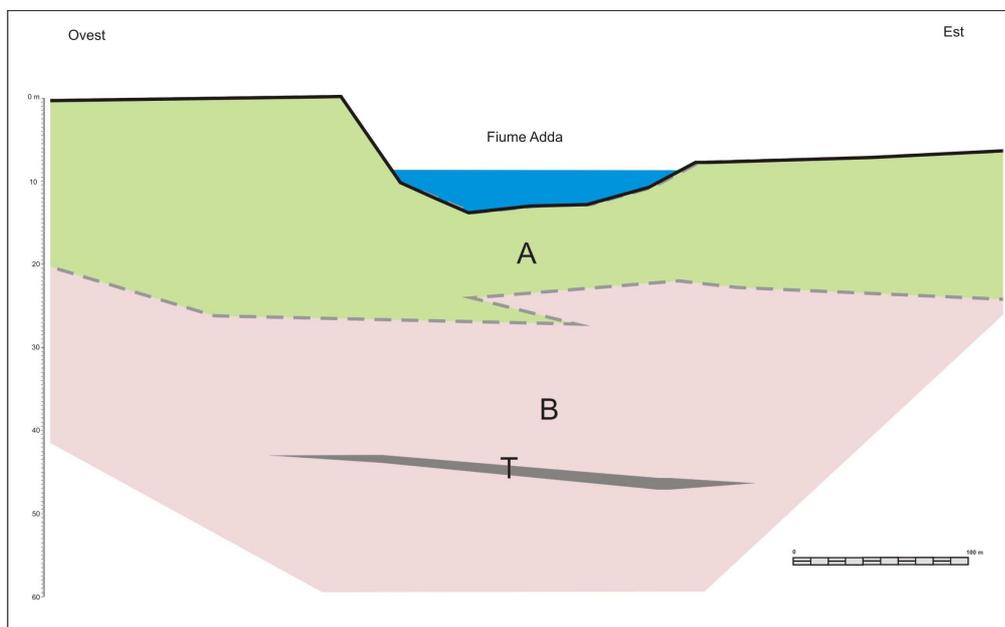


Figura 14 – Schema modello geotecnico.

**Il modello geotecnico qui sopra descritto va integrato con prove penetrometriche alle verticali delle pile del ponte di progetto.**

## **5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Qui di seguito si sintetizzano i risultati relativi alla componente geologica, idrogeologica, sismica e di prima caratterizzazione geotecnica del progetto definitivo

### Componente geologica

Per l'area in esame sono state definite le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche ed idrografiche della piana alluvionale inondabile con dinamica prevalentemente deposizionale del fiume Adda, costituita dalla superficie adiacente al corso d'acqua e da isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria.

L'area dell'alveo del fiume Adda in corrispondenza dei ponti di Bisnate è di transizione fra il regime a canale intrecciato "braided" e a canale sinuoso.

L'analisi morfodinamica fluviale ha evidenziato una sensibile riduzione del percorso fluviale, da attribuire a interventi antropici; in particolare con la costruzione di opere di difesa ed il restringimento delle sezioni di deflusso della piena ordinaria e la canalizzazione del fiume si è prodotto disequilibrio in tutta l'asta fluviale; il forte incremento dell'erosione ha determinato lo scalzamento alla base delle opere d'arte.

Avendo già, con la costruzione del ponte ottocentesco (ponte1), ristretto la sezione di deflusso, si è registrato nel tempo un'accentuata attività erosiva in corrispondenza alla sezione di Bisnate che ha condizionato la stabilità dei ponti e delle sponde.

La nuova costruzione del terzo ponte potrebbe comportare l'ulteriore accentuazione di tale tendenza erosiva.

Al fine di meglio conoscere la condizione di rischio idraulico del sito in discussione, si consiglia di eseguire la "Valutazione e zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione" di cui alla DGR 2616/11 Allegato 4 e/o di equipollenti approfondimenti idraulici.

### Indagini

Sono state considerate le indagini di precedenti campagne geognostiche, consistenti in sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche spinte anche a 60 m tutti eseguiti sulle due sponde del fiume. Alle verticali delle pile dei ponti esistenti (ponte 1 ottocentesco e ponte 2 eseguito a fine novecento) non si sono eseguite indagini e anche per quello di quello di progetto (ponte 3) mancano indagini geognostiche di sito ubicate in corrispondenza delle nuove pile. Si dovrà pertanto, per il progetto esecutivo, eseguire una campagna geognostica integrativa da estendere anche al sottopasso previsto in località Bisnate (destra Adda) e in località Canadì (sinistra Adda) dove si eseguirà l'innesto della nuova rampa di accesso al Ponte 1.

### Componente sismica

L'analisi e valutazione degli effetti sismici di sito ha definito che l'area in esame è caratterizzata dai seguenti scenari di pericolosità sismica:

- Z4a: zona di fondovalle con depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi; effetti: amplificazioni litologiche e geometriche;
- Z2b: zona con depositi granulari fini; effetti: liquefazioni.

Sono state considerate le indagini sismiche costituite da Down Hole (n. 2) e linee sismiche REMI – microtremiti (n. 2).

Risultato, comune a tutte le prove geofisiche eseguite, è che il sito è associabile al suolo sismico C, caratterizzato da depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 tra 180 m/s 360 m/s (ovvero con  $15 < NSPT < 50$  o  $70 < cu < 250$  kPa).

In REMI-2009 risulta che per le strutture con periodo T tra 0.1-0.5s è possibile che gli spettri per il suolo sismico C non siano sufficientemente cautelativi. Tuttavia questa misura riguarda terreni molto lontani dal sito del ponte.

Norme di riferimento

Oltre al DM14-01-2008, sono da considerare le seguenti disposizioni regionali:

- DGR 30.11.11 N.IX/ 2616 "Aggiornamento dei Criteri attuativi, Componente geologica, idrogeologica e sismica, del PGT dell'art. 57 primo comma, della L.R. 12/05, approvati con DGR 22.12.05 N. 8/1566 e successivamente modificati con DGRL 28.5.08 N. 8/7374", Allegato 5.

Il sito in discussione si trova in zona sismica 3 con scenario di pericolosità sismica locale (PSL) Z2.

Per la suscettività alla liquefazione, in presenza di scenari PSL di tipo Z2b soggetti a fenomeni di liquefazione, si è eseguita la valutazione di primo grado che non ha escluso la suscettibilità alla liquefazione nei terreni in discussione. Si dovrà quindi procedere con la verifica dei gradi successivi.

### Componente di prima caratterizzazione geotecnica

Sulla base delle indagini analizzate si è definito il modello di prima caratterizzazione geotecnica del sito. Il modello geologico di prima caratterizzazione, che deriva dall'integrazione di tutti i dati raccolti può essere riassunto come qui segue:

- litofacies A superficiale, addensamento medio alto, con prevalenza di alluvioni attuali e recenti, potenza 11 - 37 m,  $\phi$  medio  $39^\circ$ , Dr 25 - 30%,  $\gamma$  17-21 KN/m<sup>3</sup>;
- litofacies B profonda, con addensamento medio, costituita da alluvioni sabbiose o sabbioso fini-limose, potenza 16 - 50 m,  $\phi$  medio  $36^\circ$ , Dr 30 - 40%,  $\gamma$  16 - 18 KN/m<sup>3</sup>;

Si segnalano lenti locali di argilla organica con spessore 1.5-2.0 m a 35 - 40 m da p.c.

La soggiacenza della falda, non sempre rilevata nei sondaggi, varia da -2.00 e -8.00 m da p.c. risentendo direttamente dell'azione drenante e del regime idrologico del fiume Adda. La disomogeneità delle soggiacenze è dovuta alla diversa data di esecuzione dei sondaggi.

Il modello geotecnico di riferimento è da integrare con indagini in corrispondenza delle pile del ponte di progetto (ponte 3).

Per completare il modello geotecnico di riferimento come da NTC 2008, si dovranno eseguire prove penetrometriche sitospecifiche in corrispondenza delle pile del nuovo ponte (ponte 3). Da verificare anche la possibilità di martellamento fra le fondazioni del nuovo e dei ponti esistenti.

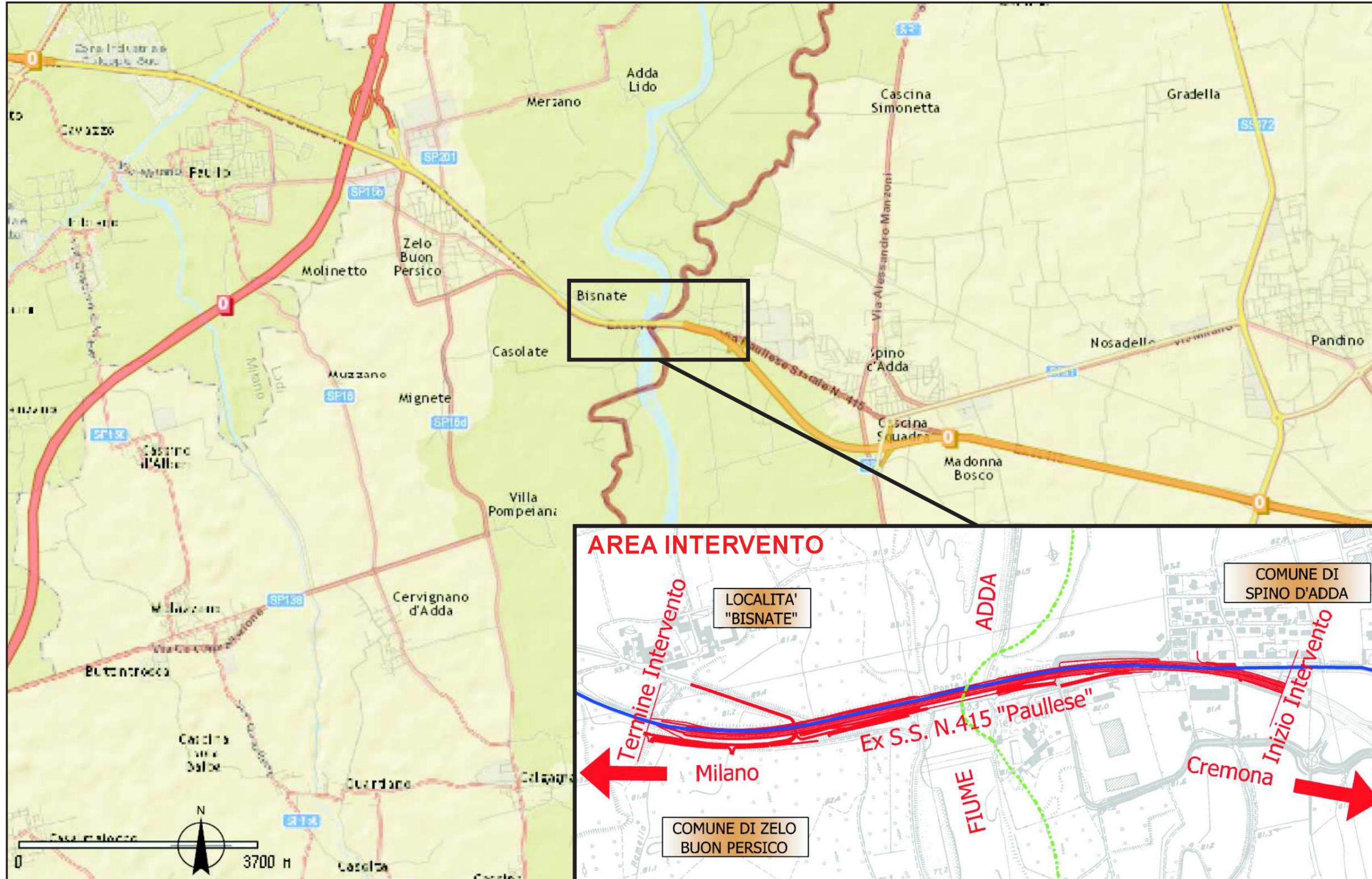
Per una visione del sito di progetto si rimanda alla documentazione fotografica ed al relativo commento di cui all'**Allegato 12**.

IL GEOLOGO

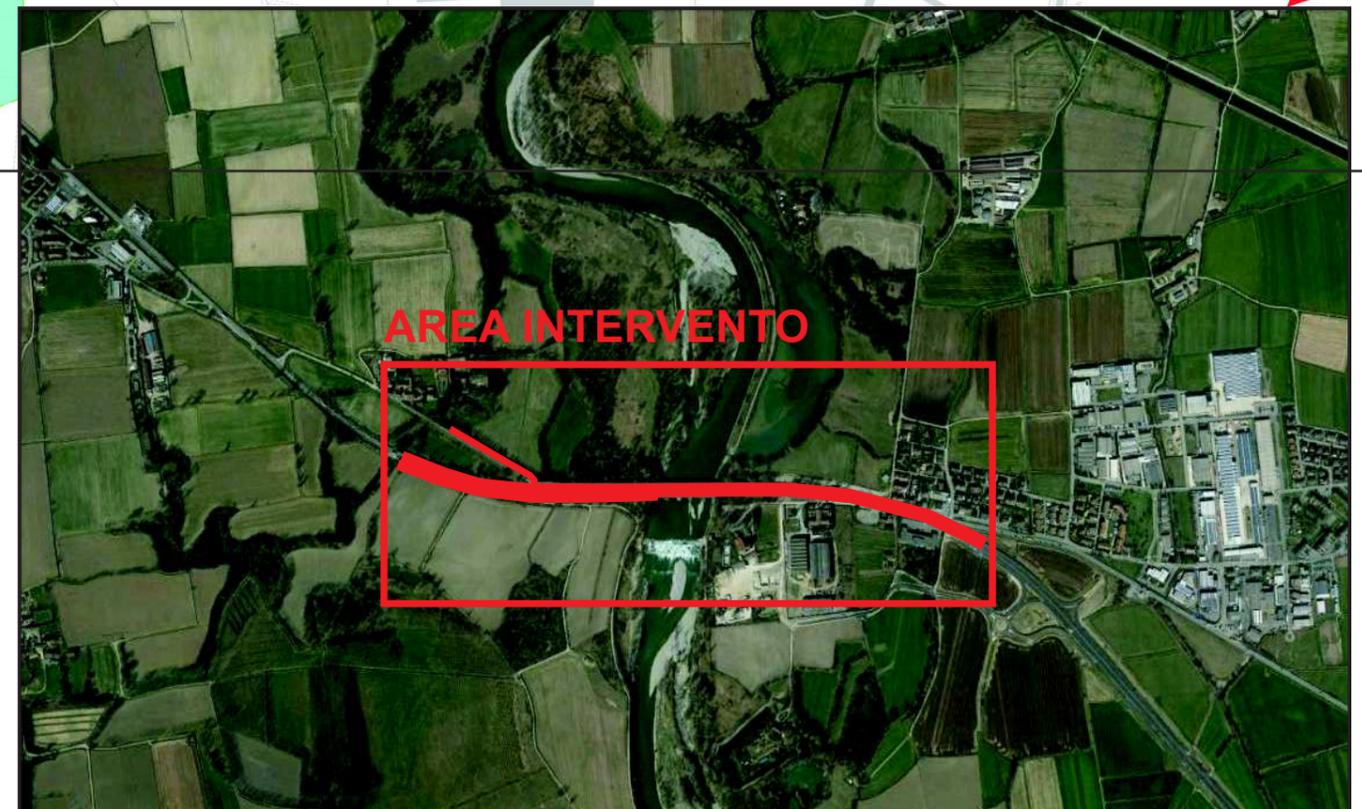
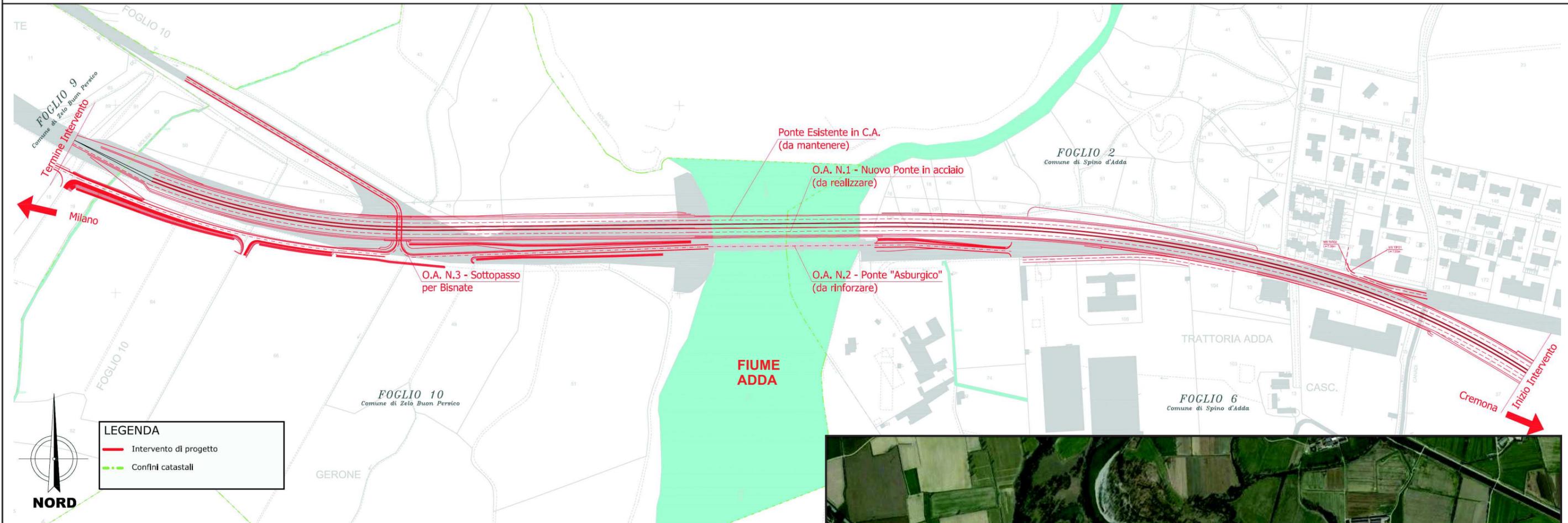
Dr Giovanni Bassi

Marzo 2016

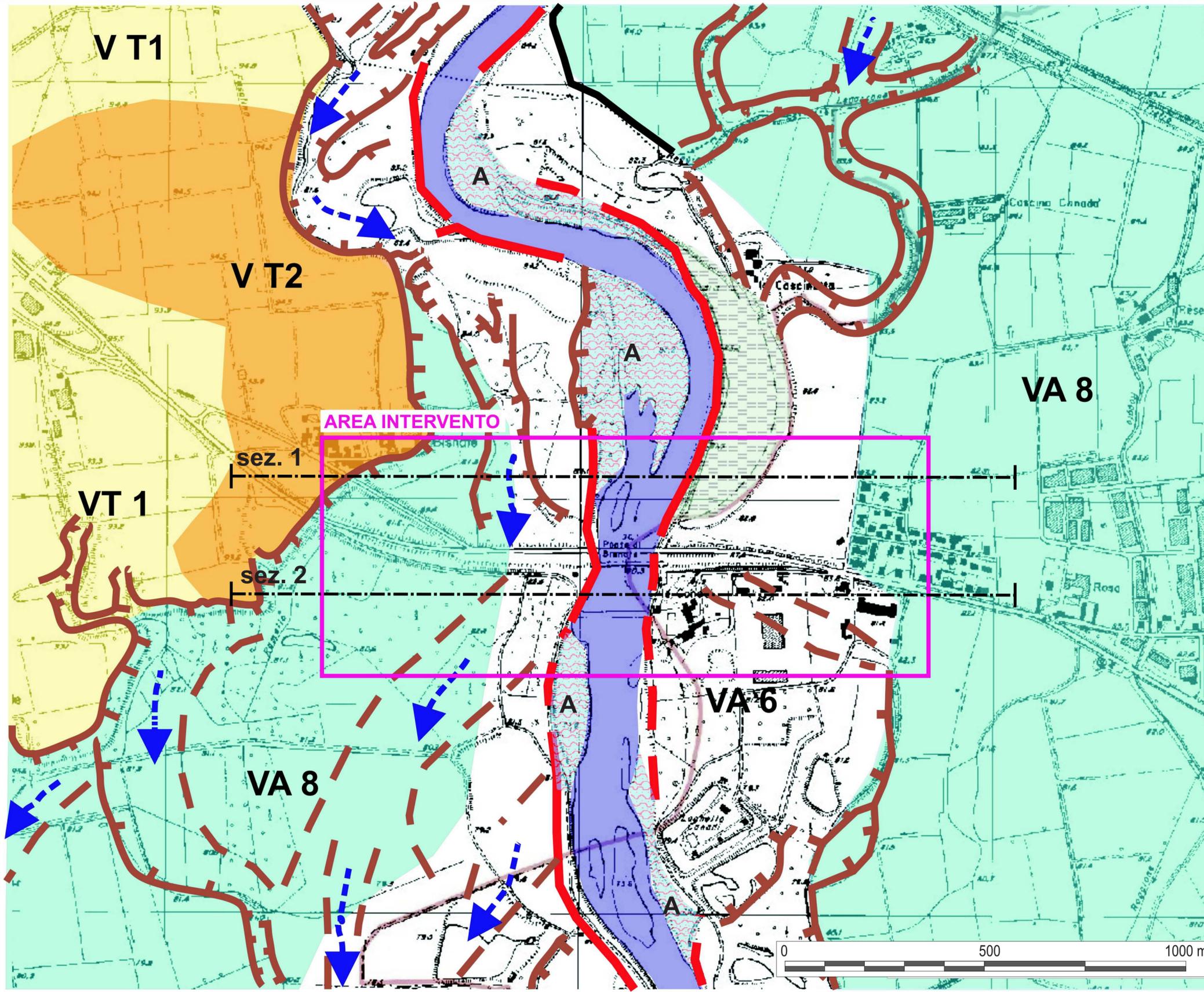
# ALLEGATO 1: COROGRAFIA



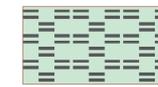
# ALLEGATO 2: ESTRATTI MAPPA



# ALLEGATO 3: CARTA GEOMORFOLOGICA



## LEGENDA



Lanca



Area inondabile di piena ordinaria

Difesa di sponda:



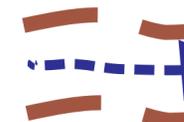
Attiva



Periodicamente attiva



Scarpata d'erosione fluviale



Paleovalveo



Argine



Traccia sezione geomorfologica (vedi All. 4)

### VALLE ALLUVIONALE FIUME ADDA



VA 6  
Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di trascinamento ed a meandri coincidono con le "golene aperte"; nelle piane a canali intrecciati e rettilinei si identificano con gli alvei di piena a vegetazione naturale riparia.



VA 8  
Superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici. Appartengono ai tratti medio-alti dei fiumi ove dominano patterns intrecciati, rettilinei e sinuosi.

### SUPERFICI TERRAZZATE



VT 1  
Terrazzi fluviali stabili, delimitati da scarpate erosive evidenti, a morfologia pianeggiante o ondulata, comprendenti antiche linee di drenaggio (paleovalvei) lievemente ribassate ed affrancate dall'idromorfia.



VT 2  
Terrazzi fluviali subpianeggianti condizionati da un drenaggio lento, causato dal ristagno e dal deflusso di acque provenienti da superfici più rilevate. Coincidono spesso con paleovalvei, conche e depressioni.

**ALLEGATO 4: SEZIONI GEOMORFOLOGICHE**

183-004-16

VALLE ALLUVIONALE FIUME ADDA

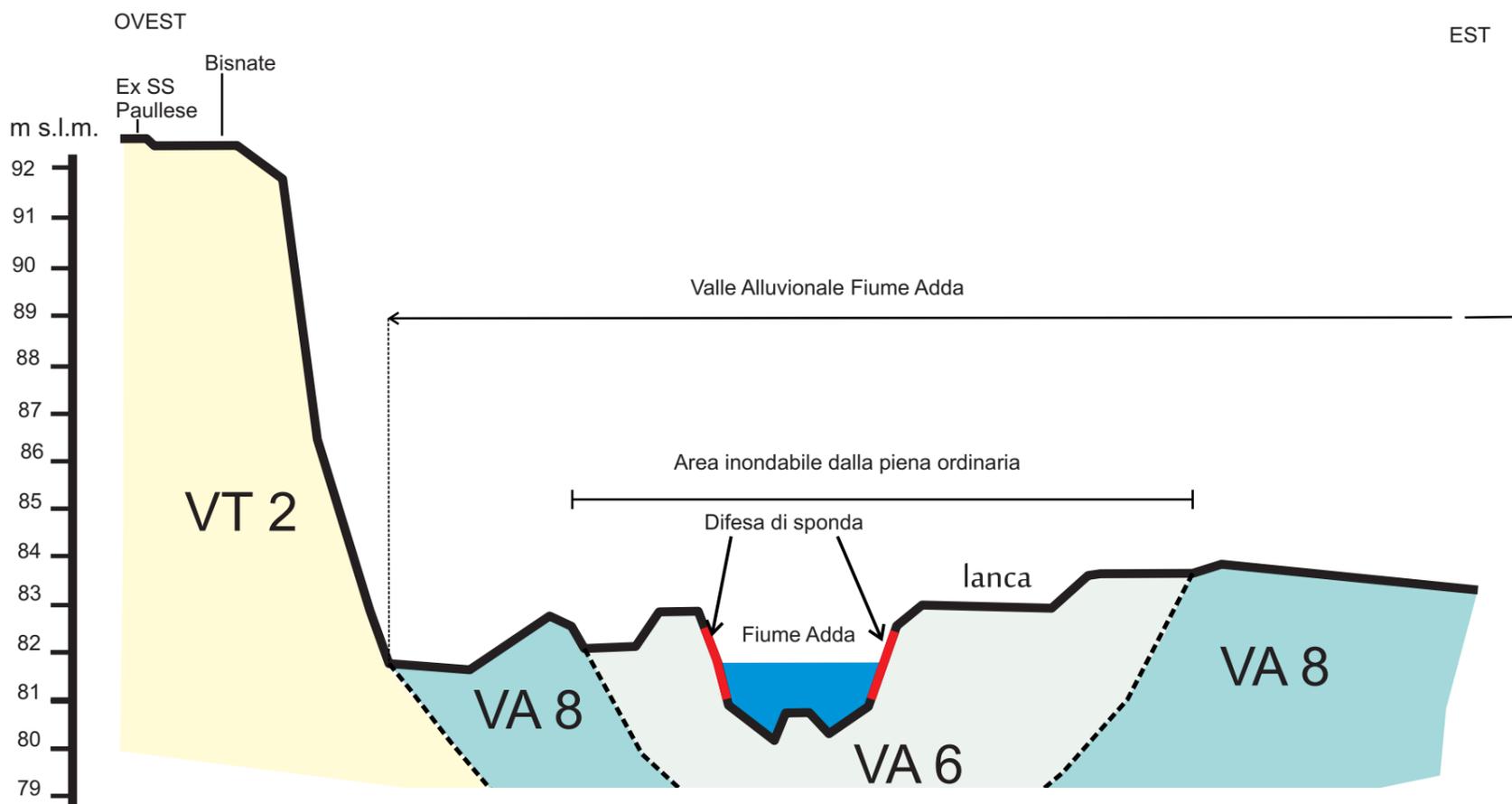
**VA6**  
Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte"; nelle piane a canali intrecciati e rettilinei si identificano con gli alvei di piena a vegetazione naturale riparia.

**VA8**  
Superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici. Appartengono ai tratti medio-alti dei fiumi ove dominano patterns intrecciati, rettilinei e sinuosi.

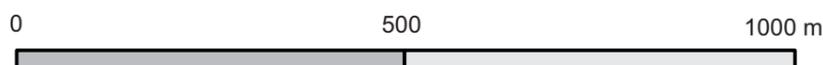
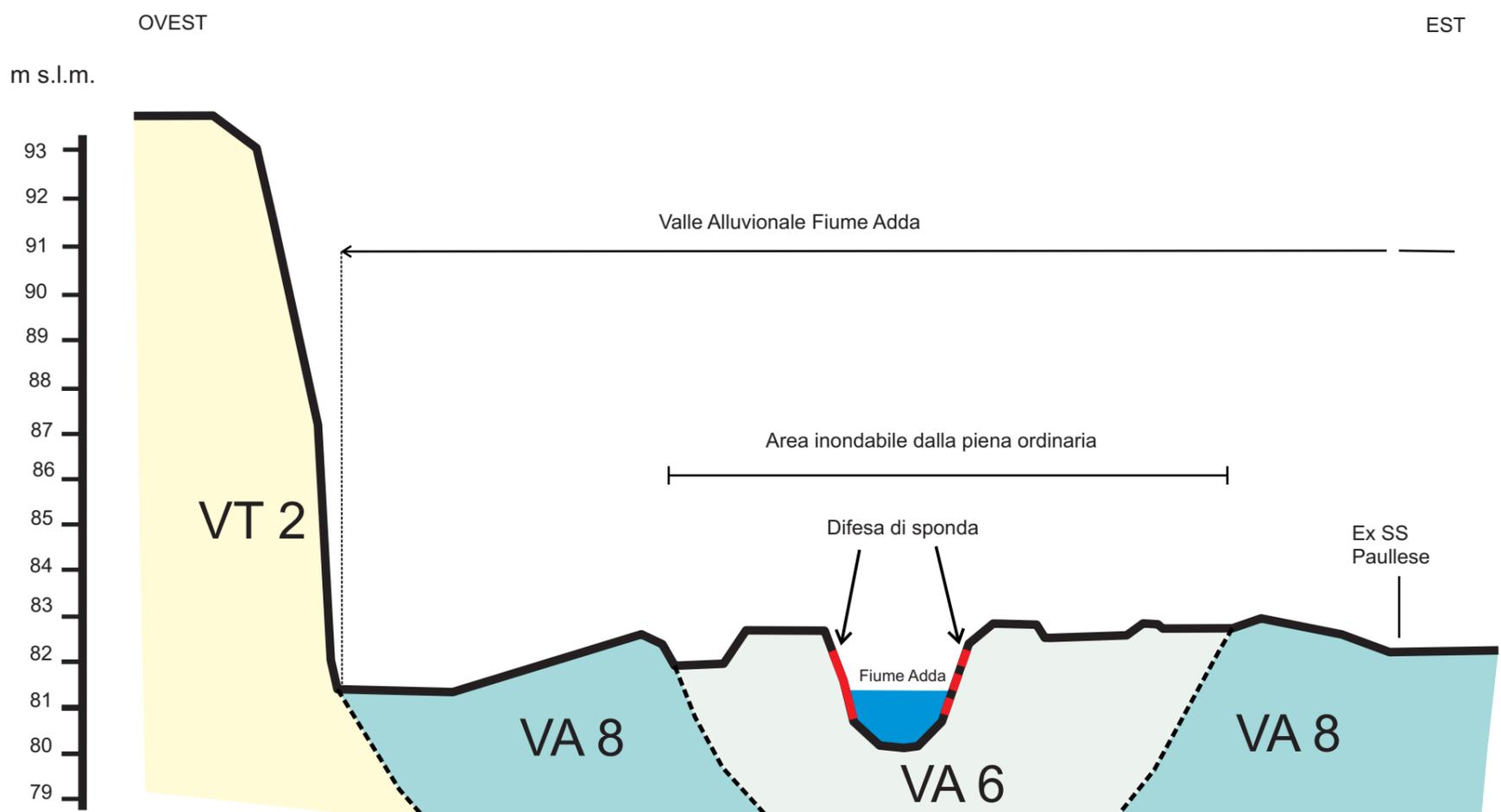
SUPERFICI TERRAZZATE

**VT2**  
Terrazzi fluviali subpianeggianti condizionati da un drenaggio lento, causato dal ristagno e dal deflusso di acque provenienti da superfici più rilevate. Coincidono spesso con paleoalvei, conche e depressioni.

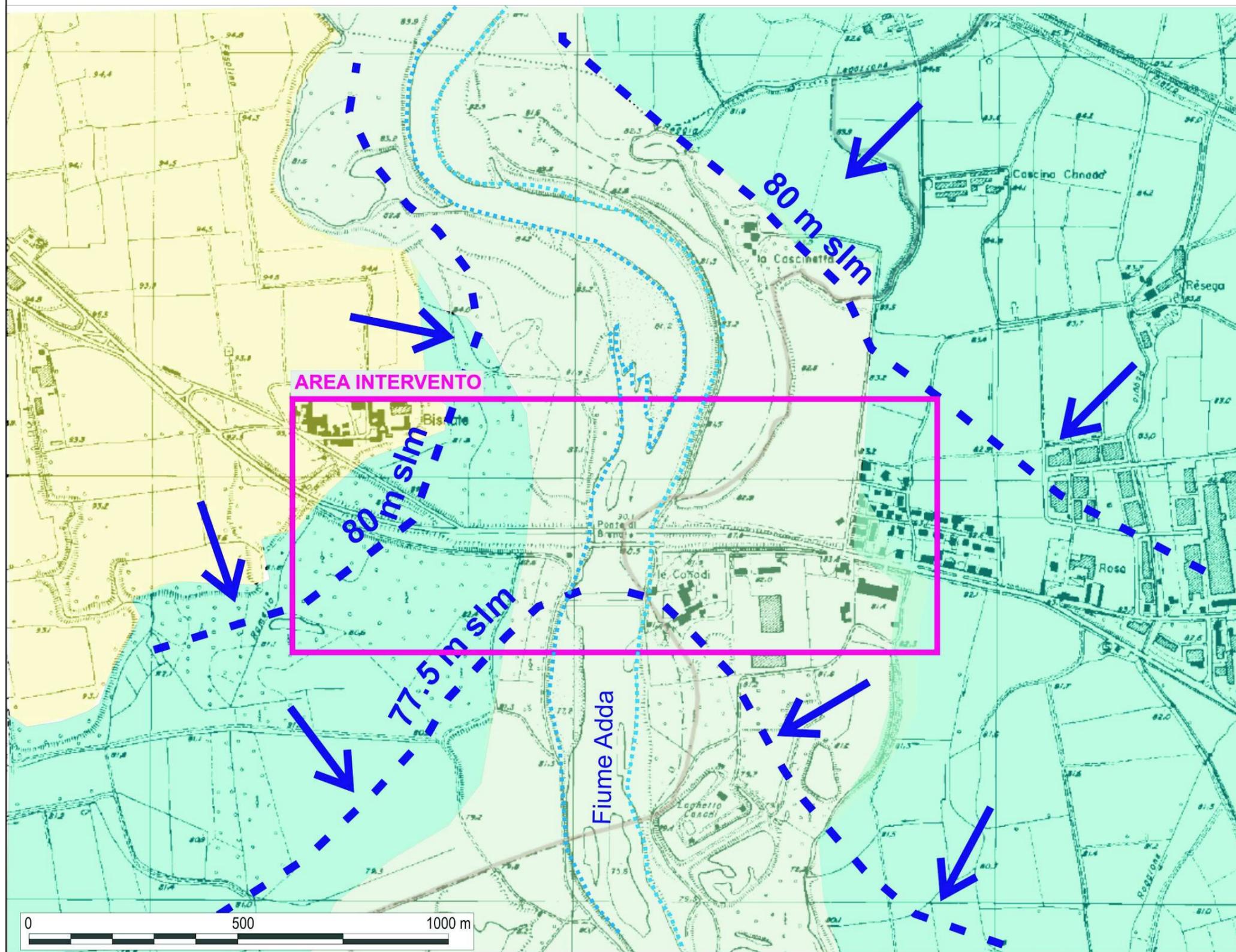
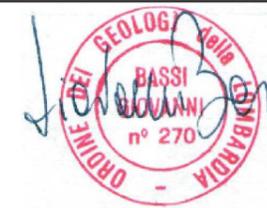
**SEZIONE 1**



**SEZIONE 2**



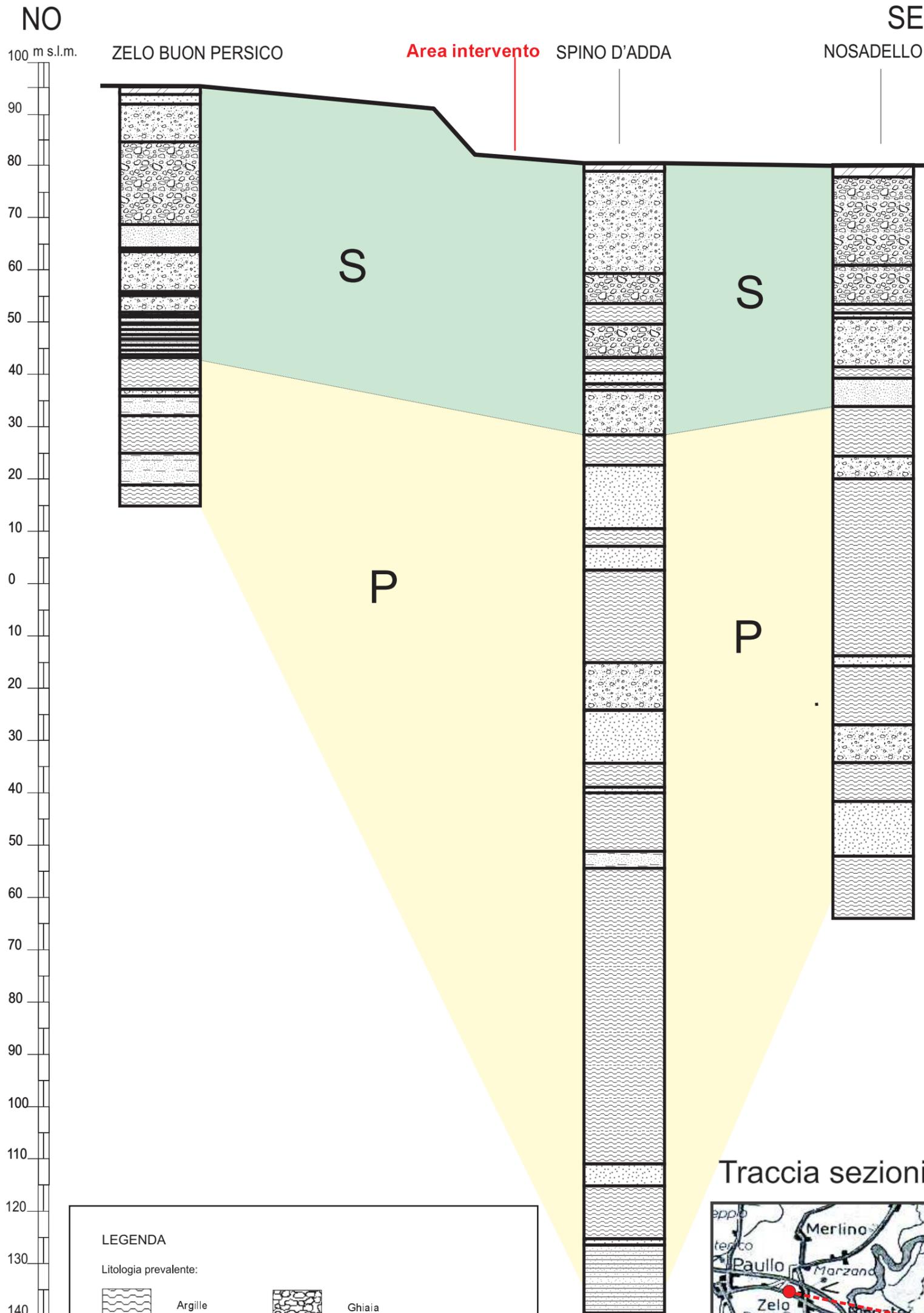
**ALLEGATO 5: CARTA IDROGEOLOGICA**



LEGENDA

- Direzione flusso di falda
- Isopiezometrica (quota in m s.l.m., Marzo 2007)
- Soggiacenza falda in m da p.c.
  - < 1.00 m
  - da 1.00 m a 1.50 m
  - > 2.00 m

**ALLEGATO 6: SEZIONE GEOLOGICA**



**LEGENDA**

Litologia prevalente:

	Argille		Ghiaia
	Sabbia		Torba

	Litozona superficiale		Correlazioni geologiche
	Litozona profonda		Ubicazione pozzi

Traccia sezioni



PROVINCIA DI CREMONA

S.P. ex S.S. n. 415 "Paullese" - Nuovo ponte sul Fiume Adda



### ALLEGATO 7: EVOLUZIONE MORFODINAMICA ALVEO FIUME ADDA

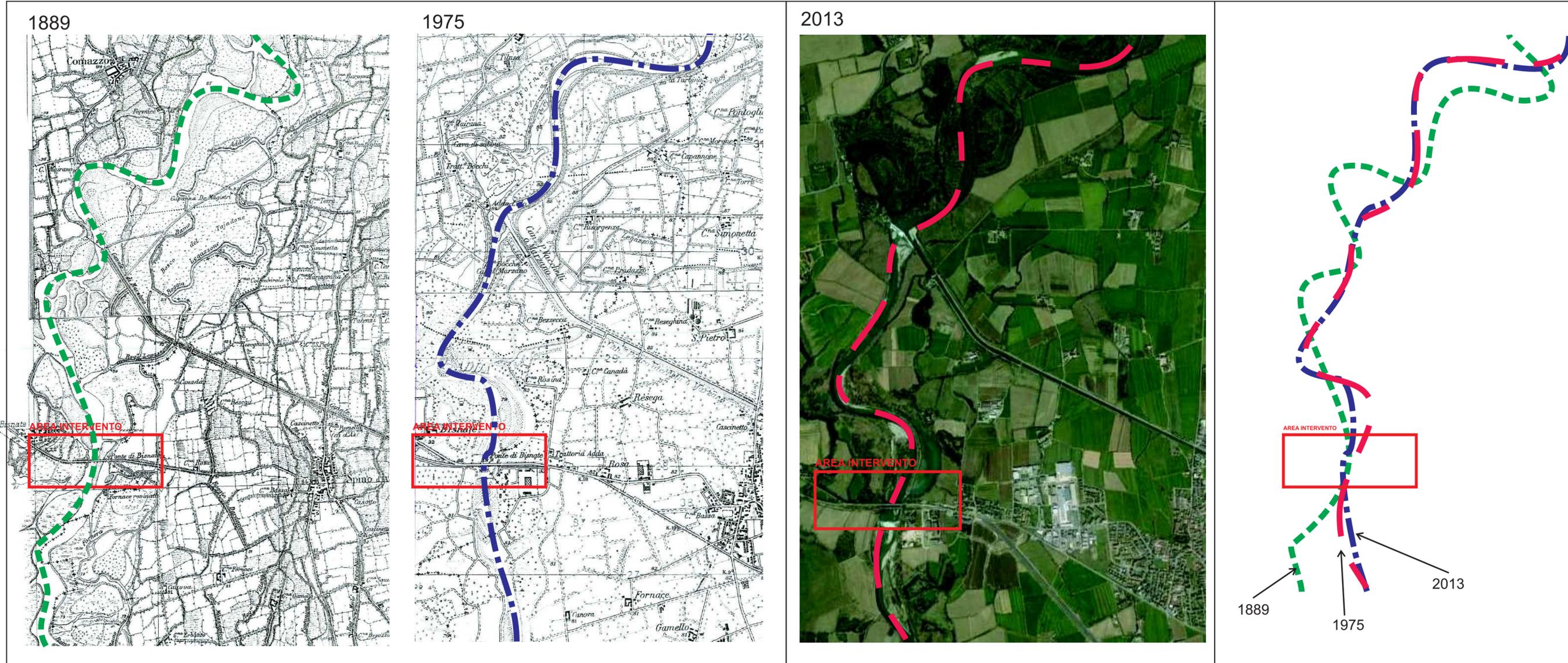
183-003-16



Carta d'Italia, scala 1: 25.000  
F 46 Rivolta d'Adda III NO  
F46 Pandino III SO

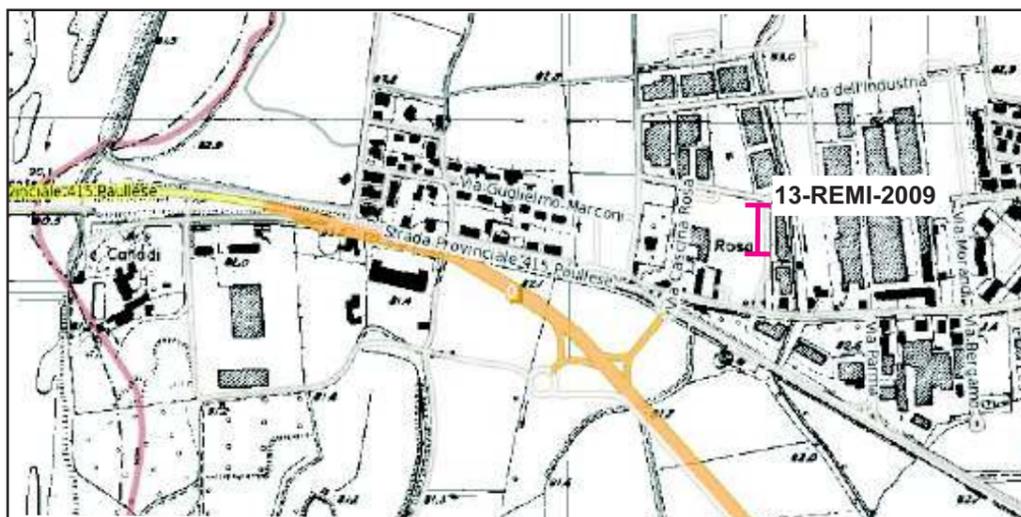
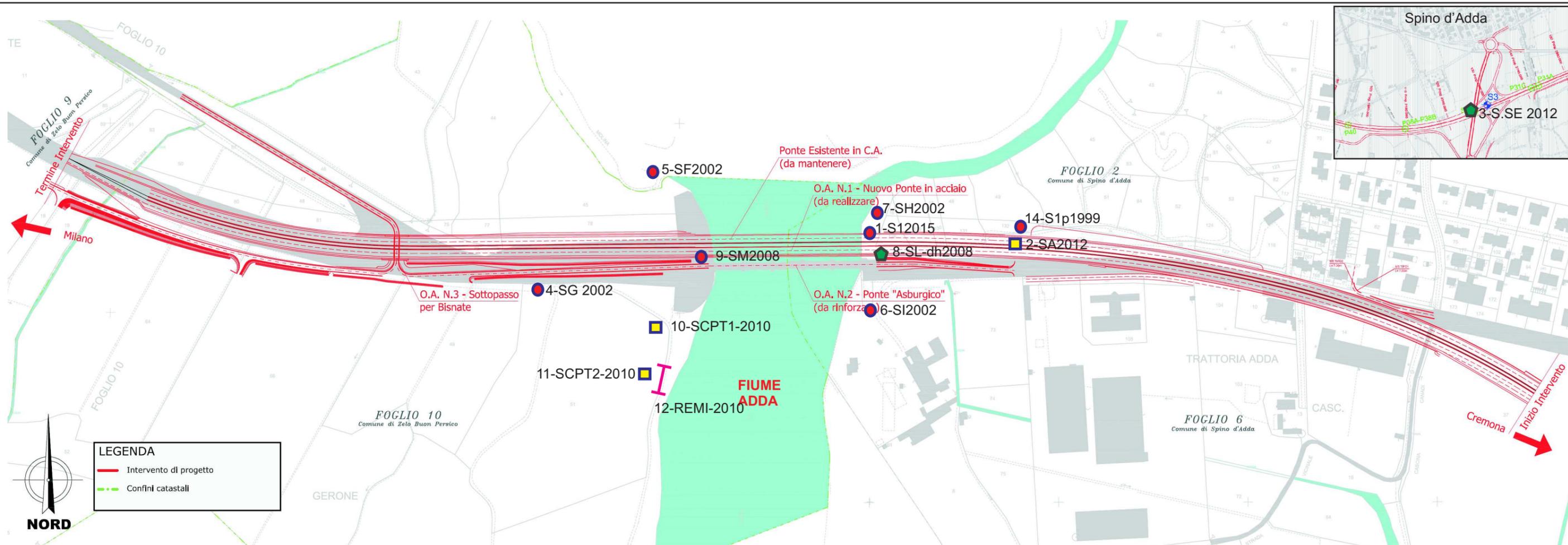
Immagine Google

Evoluzione morfodinamica alveo Adda  
1889-2013



# ALLEGATO 8: UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

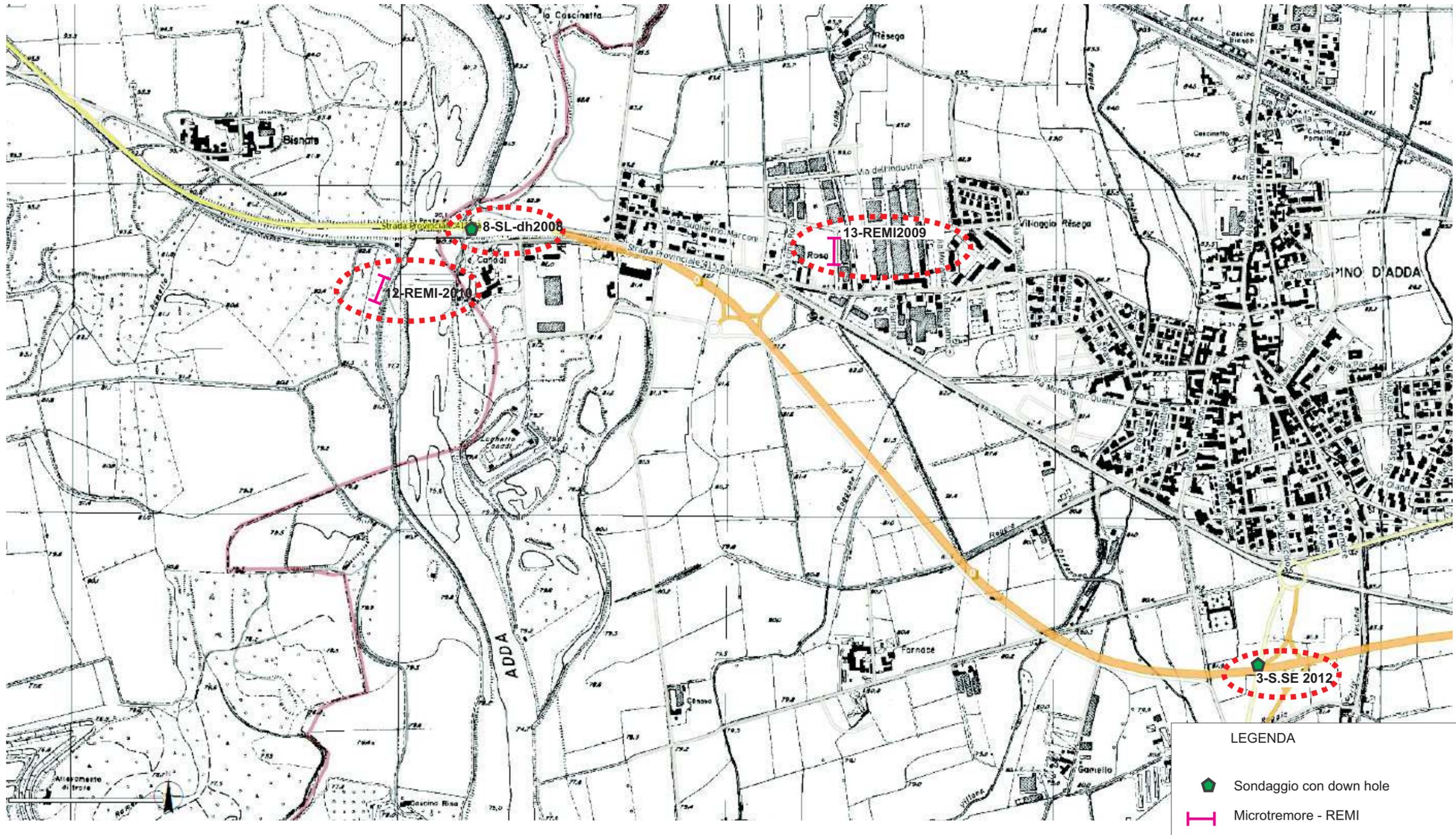
183-004-16



- LEGENDA
- Sondaggio
  - Prova penetrometrica DPSH/SCPT
  - ◆ Sondaggio con down hole
  - ┌ Indagine sismica (microtremore)

## RELAZIONE SISMICA

### ALLEGATO 9: UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



## ALLEGATO 10 – INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche reperite e interpretate sono le seguenti:

3 – S.SE - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2012 .....	2
8 – SL - dh - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2008 .....	4
12 - REMI – MICROTREMORE 2010 .....	8
13 – REMI – MICROTREMORE 2009.....	10

Le indagini geofisiche sono state eseguite da operatori diversi tra il 2009 e il 2012. Si riportano le interpretazioni eseguite dagli autori. Nella Relazione Sismica sono state integrate e reinterpretate.

### **Generalità sul Down Hole**

La tecnica del Down Hole consiste nell'eseguire misure di Vs e Vp nel perforo opportunamente armato di un sondaggio geognostico di lunghezza almeno 30 m.

La procedura semplificata utilizzata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

1. litologia prevalente dei materiali investigati
2. stratigrafia del sito
3. andamento delle Vs con la profondità fino a valori  $\geq 800$  m/sec
4. spessore e velocità sismica di ciascun strato
5. modello geofisico e geologico geotecnico del sito per la scelta dei punti più rappresentativi per l'esecuzione dell'analisi di amplificazione

Successivamente si procede alla scelta della scheda rappresentativa di valutazione, cui fare riferimento per la litologia prevalente del sito in analisi.

Tale scelta si deve basare anche sulla rispondenza dell'andamento dei valori di Vs con la profondità, ed in presenza di alternanze litologiche sostanzialmente diverse, la scheda scelta è considerata validabile, solo se l'andamento dei valori di Vs, è compatibile con la scheda prescelta.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e sismici del sito sono stati desunti da indagini dirette (prove cpt e sismica in foro tipo down hole) e per i dati stratigrafici dai sondaggi eseguiti in zona.

I parametri scelti per la procedura di 2° livello adottata, presentano perciò un grado di attendibilità medio, se riferiti ai dati litologici e stratigrafici, di grado alto se riferiti alle procedure di ricerca ed elaborazione dei dati sismici (DGR 2616/2011, All. 5).

In base a quanto sopra esposto si è utilizzata la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata dall'indagine in foro Down Hole.

Da tale verifica, la congruenza che più si approssima fra l'andamento delle Vs (da Down Hole) e la litologia prevalente del sito, è la Scheda litologia Sabbiosa”.

In particolare mancando dati litologici o stratigrafici degli orizzonti più profondi, come in precedenza accennato, in base alle stratigrafie dei pozzi della zona, si prevede una serie di alternanze di orizzonti essenzialmente sabbiosi e/o ghiaiosi con intercalazioni argillose.

#### Dati di input:

##### 1) Litologia prevalente

Si tratta di depositi alluvionali più o meno recenti, costituiti essenzialmente da bancate ghiaiose e sabbiose a medio elevata densità, intercalati a livelli limoso e sabbiosi o argilloso-limosi a spessore subordinato, che si ritrovano in profondità superiori fino e oltre 100 m.

L'addensamento dei materiali è in aumento con la profondità o con l'aumento di granulometria, il deposito complessivamente è di tipo granulare, ma con presenza di matrice fine sabbiosa e subordinatamente limosa.

Il peso di volume in mancanza di prove di laboratorio, è stato assegnato sulla base dei dati bibliografici.

##### 2) Stratigrafia del sito

Livelli superficiali essenzialmente sabbiosi alternati a ghiaie con parametri di resistenza alla penetrazione variabili fra valori di  $N_{60} = 8-15 \text{ Kg/cm}^2$  nei primi 5-8 m, mentre con l'aumento della profondità i litotipi divengono ghiaiosi più grossolani con valori di  $N_{60}$  tendenzialmente  $> 35-50$ . Si veda in dettaglio le schede delle prove eseguite.

##### 3-4) Andamento $V_s$ con la profondità / Spessore e velocità di ciascun strato

Si veda la scheda e i grafici della prova sismica in foro Down Hole (Report Ditta Beduschi Geotecnica srl - 2012).

##### 5) Sezione geologiche e modello geofisico

### 3 – S.SE - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2012

In relazione alla litologia prevalente (vedi punto 1), alla stratigrafia del sito (desunta anche dalle colonne di perforazione di pozzi) e della sua caratterizzazione sismica mediante prove sismiche in foro, è stato possibile schematizzare il seguente modello geofisico, esposto in Tab. 1:

Tab. 1

schematizzazione modello geofisico				
strato sismico n°	Profondità (m)		Velocità 'media' onda taglio dello strato $V_s$ m/sec	Periodo T (singolo strato)
	da	a		
1	0	2.0	142	0.056
2	2.0	5.0	230	0.052
3	5.0	10.0	370	0.054
4	10.0	13.0	273	0.044
5	13.0	18.0	391	0.051
6	18.0	22.0	357	0.045
7	22.0	26.0	388	0.041
8	26.0	30.0	390	0.041
9	30.0	35.0	381	0.052
10*	35*	80*	450*	0.400
11*	80*	110*	600*	0.200
12*	110*	140*	700*	0.171
13*	140*	160*	800*	0.100

\*= ipotesi basate sul gradiente di velocità  $V_s$ , ottenuto dai dati delle indagini sismiche e dalle stratigrafie dei pozzi

Prospezione Down-Hole Vs30= 322 m/sec (da -1.0 a -31 m)

Da cui si evince che il valore calcolato tenendo conto della profondità di posa della fondazione (ipotizzata a -1,0 m da pc), indica una categoria del suolo di fondazione di tipo C (cfr. All2 Ord. PCM 3274/03 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), cioè con valori di Vs30 fra 180 e 360 m/sec.

In base ai valori sopra esposti è stata calcolata l'eventuale amplificazione sismica di effetto litologico del sito in esame.

In particolare si sono ottenuti valori di periodo T, considerando tutta la sismo stratigrafia sino alla profondità utile (Vs<sup>3</sup> 800 m/sec) desunti da Tab. 1 e calcolati con la relazione: **T0-160= 1.173 sec**

dove:

hi= spessore strato i-esimo

Vsi= velocità strato i-esimo

### **Fattore di amplificazione (Fa)**

A questo punto necessita determinare il valore di Fa (Fattore amplificazione) approssimato alla prima cifra decimale, dagli abachi della scheda Regionale di valutazione per litologia Sabbiosa, scegliendo la curva più appropriata in funzione della velocità sismica e dello spessore del primo strato, ottenendo dalle curve di correlazione T-Fa<sub>0.1÷0.5</sub> (curva 2) e Fa<sub>0.5÷1.5</sub> (curva 2-3):

Fa<sub>0.1÷0.5</sub>= -8.65T<sup>2</sup>+5.44T+0.84 [curva 2 x valori di periodo 0.03<T≤0.45 (tratto polinomiale)]

Fa<sub>0.1÷0.5</sub>= 0.83-0.88lnT [curva 2 x valori di periodo 0.45<T≤0.8 (tratto logaritmico)]

Fa<sub>0.1÷0.5</sub>= 1.0 [curva 2 x valori di periodo T>0.8 (tratto rettilineo)]

Fa<sub>0.5÷1.5</sub>= -6.11T<sup>3</sup>+5.79T<sup>2</sup>+0.44T+0.93 [curva 2/3 x valori di periodo 0.08≤T≤0.8]

Fa<sub>0.5÷1.5</sub>= 1.73-0.61lnT [curva 2/3 x valori di periodo 0.8≤T≤1.8]

Ottenendo:

Fa<sub>0.1÷0.5</sub>= 1.0

Fa<sub>0.5÷1.5</sub>= 1.63

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuto energetico, confrontando il valore Fa sopra ottenuto, con analogo procedimento che è stato utilizzato, per classificare ciascun comune della regione e valido per le zone sismica di calcolo (zona 2,3,4) e per le diverse categorie del suolo di fondazione soggette ad amplificazione litologica (B, C, D ed E) per ciascuno degli intervalli di periodo considerati:

“0.1÷0.5” appropriato per la maggior parte degli edifici presenti sul territorio regionale (edifici con strutture “rigide” e sviluppo strutturale verticale max 5 piani)

“0.5÷1.5” rappresentativo del periodo proprio di alcuni edifici dei centri urbani maggiori (edifici con strutture “flessibili” e sviluppo verticale fra 5÷15 piani)

Quindi in base a:

- zona sismica assegnata ai comuni di spino d'Adda Pandino e Dovera (CR): zona 3

- alle categorie di suolo di fondazione, desunta dal parametro Vs30 ottenuto dalla prova sismica D. hole: Vs30 = 322 m/sec cat. suolo C

- al valore di soglia, previsto dallo spettro di risposta, proposto dalla normativa:

		Valori soglia per T 0.1+0.5			
Comune	Classif. sismica	Suolo A	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Spino d'A.	4	1.4	1.8	2.2	1.9
Pandino	4	1.4	1.8	2.2	2.0
Dovera	4	1.4	1.8	2.2	1.9

		Valori soglia per T 0.5+1.5			
Comune	Classif. sismica	Suolo A	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Spino d'A.	4	1.7	2.4	4.1	3.0
Pandino	4	1.7	2.4	4.2	3.1
Dovera	4	1.7	2.4	4.1	3.0

Paragonando tali valori di soglia con quelli calcolati assumendo una variabilità massima di  $\pm 0.1$  dei valori di  $F_a$ , per tenere in conto il diverso contenuto in frequenza del moto di input, si evince che:

$F_{a0.1} \pm 0.5 = 1.0 \pm 0.1 < \text{valore di soglia per suolo C}$

$F_{a0.5} \pm 1.5 = 1.63 \pm 0.1 < \text{valore di soglia per suolo C}$

Quindi si evince che nel caso (di periodo  $0.1 \div 0.5$ ) caratteristico di edifici "rigidi" utilizzando la curva 2, il valore  $F_a$  calcolato è inferiore al valore soglia corrispondente alla normativa (2.2), quindi quest'ultima è sufficiente a tenere in considerazione possibili effetti di amplificazione litologica ed in fase di progettazione esecutiva sono sufficienti gli spettri da normativa (classe di pericolosità H1).

Anche per il caso di edifici "flessibili" (periodo  $0.5 \div 1.5$ ) la normativa è da considerarsi sufficiente ed in sicurezza ed è quindi applicabile lo spettro previsto in normativa idoneo anche a prevedere possibili fenomeni locali di amplificazione litologica del sito (classe di pericolosità H1).

## 8 – SL - dh - SONDAGGIO CON DOWN HOLE – 2008

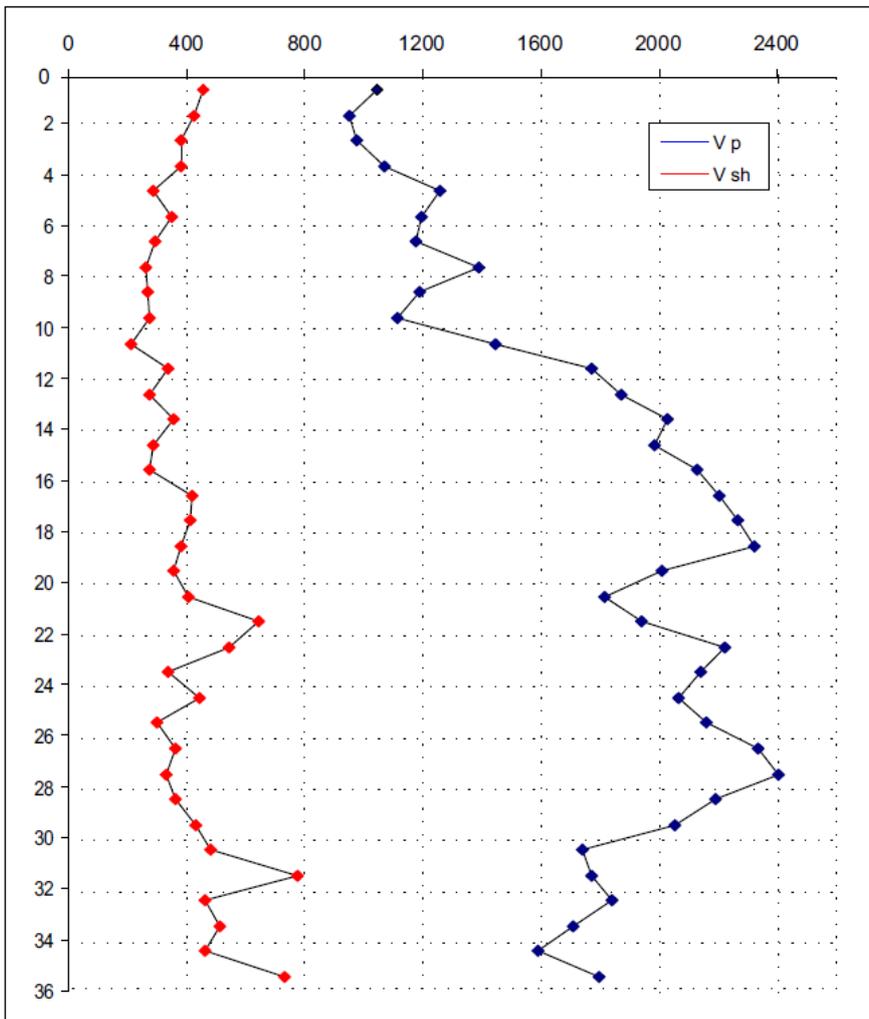
S1 (19 m): da piano campagna a 10 m di profondità i valori di velocità delle onde P (di compressione) variano fra 964 m/sec. e 1020 m/sec. mentre quelli delle onde SH (di taglio) sono compresi fra 199 m/sec. e 422 m/sec., riferibili, sulla base della stratigrafia fornita dalla D.L., ai materiali di riporto ed ai depositi di ghiaia sabbiosa. Da 10 m a 29 m di profondità le onde P hanno una velocità media di 1907 m/sec. e le SH di 342 m/sec., riferibili ai depositi di sabbie limose. DA 29 m a 36 m il valore medio delle onde di compressione diminuisce leggermente passando a 1693 m/sec. mentre la velocità delle onde di taglio ha un incremento passando ad una media di 486 m/sec., riferibili al passaggio ai depositi di limo argilloso.

L'aumento della velocità delle onde di compressione e il contemporaneo abbassamento delle onde di taglio è riferibile alla variazione della plasticità dei depositi ed alla influenza delle pressioni interstiziali dei pori.

Valori  $V_{s30}$ :

Sondaggio	$V_{s30}$	Suolo sismico
S1	317	C

Velocità onde sismiche, m/sec.



S.P. Paullese - Milano - DH SL Lato Cremona

Z	Tp	Ts	Tp Corr.	Ts Corr.	VP	VS	$\rho$	$\nu$	G	E	K
m	ms	ms	ms	ms	m/sec.	m/sec.	t / m <sup>3</sup>	-	MPa	MPa	MPa
1	8.38	19.13	1.04	2.37	964	422	1.6	0.38	285	787	1106
2	9.00	20.25	2.18	4.91	875	394	1.6	0.37	249	682	893
3	9.38	22.13	3.29	7.76	902	350	1.6	0.41	196	554	1041
4	9.63	23.75	4.30	10.61	988	351	1.7	0.43	209	597	1381
5	9.75	27.13	5.16	14.37	1159	266	1.7	0.47	121	355	2123
6	10.13	29.13	6.07	17.46	1102	323	1.7	0.45	177	515	1829
7	10.63	32.13	6.99	21.14	1085	272	1.8	0.47	133	390	1942
8	11.00	35.75	7.77	25.27	1279	242	1.8	0.48	106	314	2805
9	11.63	39.25	8.68	29.32	1098	247	1.8	0.47	109	322	2025
10	12.38	42.63	9.66	33.27	1026	253	1.9	0.47	122	358	1838
11	12.88	47.38	10.41	38.30	1334	199	1.9	0.49	75	224	3283
12	13.25	49.88	11.02	41.49	1633	314	1.9	0.48	187	555	4817
13	13.63	53.38	11.60	45.45	1726	253	1.9	0.49	121	361	5499
14	13.98	55.88	12.14	48.50	1871	327	1.9	0.48	203	604	6382
15	14.38	59.25	12.68	52.27	1832	265	2.0	0.49	141	420	6522
16	14.75	62.88	13.19	56.23	1964	253	2.0	0.49	128	381	7545
17	15.13	65.00	13.68	58.80	2029	388	2.0	0.48	301	892	7836
18	15.50	67.25	14.16	61.44	2088	379	2.0	0.48	287	850	8340
19	15.88	69.75	14.63	64.27	2141	353	2.0	0.49	250	742	8837
20	16.34	72.50	15.17	67.31	1850	330	2.0	0.48	218	646	6557
21	16.88	74.88	15.77	69.96	1672	377	2.0	0.47	284	836	5210
22	17.38	76.25	16.33	71.65	1787	592	2.0	0.44	700	2015	5455
23	17.81	78.00	16.82	73.66	2030	497	2.0	0.47	494	1451	7581
24	18.26	81.00	17.32	76.84	1994	315	2.0	0.49	199	591	7686
25	18.74	83.25	17.85	79.28	1903	409	2.0	0.48	334	986	6796
26	19.20	86.75	18.35	82.91	1990	276	2.0	0.49	152	454	7715
27	19.63	89.63	18.82	85.93	2126	331	2.1	0.49	230	686	9186
28	20.04	92.75	19.27	89.17	2233	308	2.1	0.49	199	593	10207
29	20.50	95.63	19.76	92.18	2029	333	2.1	0.49	233	693	8331
30	21.00	98.00	20.29	94.68	1890	398	2.1	0.48	333	985	7056
31	21.60	100.13	20.91	96.94	1603	443	2.1	0.46	412	1202	4846
32	22.19	101.38	21.53	98.34	1632	714	2.1	0.38	1072	2962	4165
33	22.76	103.63	22.12	100.70	1690	424	2.1	0.47	377	1106	5492
34	23.38	105.63	22.75	102.81	1576	474	2.1	0.45	472	1369	4589
35	24.04	107.88	23.43	105.16	1466	426	2.1	0.45	382	1110	4006
36	24.63	109.25	24.04	106.64	1658	673	2.1	0.40	951	2666	4506

Z	Profondità
Tp	Tempo di arrivo onde di compressione
Ts	Tempo di arrivo onde di taglio
Tp Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di compressione
Ts Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di taglio

Z	Profondità
Vp	Velocità onde di compressione
Vs	Velocità onde di taglio
$\rho$	Densità
$\nu$	Modulo di Poisson
G	Modulo taglio
E	Modulo di Young
K	Modulo di rigidità volumetrica

## Generalità su microtremore - REMI

ReMi o microtremori sono un metodo sismico che permette di ricavare, da misure in situ, profili di velocità delle onde trasversali (onde S). La norma sismica in vigore chiede la determinazione della categoria del sottosuolo sismico del sito mediante la determinazione di  $V_{s30}$  ( $V_{s30}=30/\sum_{i=1, N} h_i/V_i$ : velocità equivalente delle onde S nei i primi 30 metri di profondità). I dati sono acquisiti dalla superficie topografica, con sismografi e geofoni verticali, usata nella sismica a rifrazione, che registrano il rumore ambientale, o **microtremori**, generati da fonti antropiche o naturali; questo permette di acquisire dati senza energizzazioni del terreno. A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, della lunghezza dello stendimento e del numero di sensori impiegati il metodo permette di determinare la velocità delle onde trasversali Vs per profondità da alcune decine di metri a 100 m.

L'approfondimento geofisico è finalizzato all'analisi del rischio sismico, misura le velocità nel sottosuolo delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ). Successivamente alla rilevazione di campagna si è proceduto all'elaborazione dei dati con ricostruzione del periodo naturale di oscillazione del sito in discussione e del fattore di amplificazione sismica locale (Fa), utilizzando i metodi indicati dalla Regione Lombardia e dal D.M. 14.01.08.

Le analisi effettuate a partire dalla distribuzione verticale delle onde S seguono la metodologia riportata della DGR 2616/2011 All. 5, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazioni litologiche e geotecniche e dalla distribuzione delle Vs si individua il tipo di suolo di fondazione a cui appartengono i depositi dell'area (a, b, c, d, e), utilizzando la classificazione delle norme tecniche del DM 14-09-2005. In ogni comune, per ogni classe di suolo sono fissati dei valori massimi del fattore di amplificazione sismica (Fa), riportati nel file *soglie\_lombardia.xls* redatto dalla Regione Lombardia.
- Dalla distribuzione in profondità delle Vs si calcola il periodo di oscillazione naturale del terreno (o periodo proprio del sito  $T_p$ ).
- Sulla base degli stessi dati si procede alla valutazione della litologia dominante in ogni sito, confrontando la distribuzione verticale delle Vs con quella di 5 schede, redatte dalla Regione Lombardia, a cui sono associate equazioni e curve che permettono di ricavare, per via matematica, il fattore di amplificazione Fa, a partire dal periodo di oscillazione naturale del terreno. Poiché la varietà di situazioni geologiche che è possibile incontrare è pressoché infinita, il confronto con le 5 schede litologiche risulta generalmente sempre difficile e va condotto con molta approssimazione. In particolare si segnala l'assenza di schede litologiche relative a litologia sabbiosa dominante. La mancanza di tali schede costituisce un grave fattore limitante, poiché, nell'area d'indagine predominano, almeno nei primi 40-50 m i depositi sabbiosi.
- In ogni scheda sono riportate 3 serie di curve (corrispondenti a 3 diverse equazioni) per gli edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi (vedi figura successiva) e una sola curva per edifici con periodo maggiore di 0.5 secondi. Una volta individuata la scheda che meglio risponde alla distribuzione delle Vs rilevata, sulla base dello spessore e della velocità del primo strato s'individua a quale dei tre tipi di curva (1, 2 o 3) si deve far riferimento nel calcolo del periodo del terreno, per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi.

- Una volta individuata la curva, si calcolano i due fattori  $F_a$  per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e 0.5-1.5 secondi). Se i due valori di  $F_a$  calcolati sono inferiori (o eguali o minori per non più di 0.1) a quelli del file *soglie\_lombardia.xls* l'analisi di II livello è terminata con esito positivo altrimenti si segnalerà la necessità, in fase progettuale, di passare ad analisi di III livello o di inserire l'area in oggetto nella categoria di suolo sismico superiore.

## 12 - REMI – MICROTREMORE 2010

I dati individuati con le indagini sismiche effettuate nel territorio cremasco (velocità, m/s e profondità, m) dei singoli strati sono compendiate in Tab. 2.

Le velocità  $V_{s30}$ , calcolate nei primi 30 m in **m/s** sono riportate in Tab. 2.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3	
	H1	Vs1	H2	Vs2		Vs3
bis-1	12	260	30	400		800

Tab. 2 – distribuzione verticale delle Vs

I risultati si possono così sintetizzare:

- Il modello delle Vs prescelto è a 3 strati, con velocità crescenti in profondità.
- I suoli sismici definiti in base alla  $V_{s30}$  (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo **C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti –  $180 < V_{s30} < 360$  m/s (**329 m/s** velocità rilevata).
- Il primo strato ha uno spessore di 12 m e velocità 260 m/s. La velocità del secondo strato è di 400 m/s. La distribuzione di Vs, nei primi metri è tipica di terreni sabbiosi. Il substrato veloce non è rilevabile con precisione, ma operando con modelli diretti si è potuta stimare una profondità minima non inferiore a 30 m di profondità. Profondità superiori pur causando un incremento del valore del periodo proprio del sito, comunque confermano le conclusioni sul suolo di fondazione.
- Date le caratteristiche rilevate, la scheda litologica con la distribuzione delle Vs più simile a quella riscontrata (fig. 1), è la scheda “sabbie”.
- La curva utilizzata per il calcolo del periodo è la curva 2, scelta sulla base dello spessore e della velocità del primo strato. Per gli edifici con periodo inferiore a 0.5 s, la formula utilizzata per il calcolo di  $F_a$  (periodo proprio del sito inferiore di 0.45 s) è quella relativa al tratto polinomiale ( $0.30 < T_p < 0.45$  s).
- Con tali parametri i valori calcolati di  $F_a$  sono risultati inferiori ai valori soglia, che la legislazione regionale prevede nel comune in oggetto per i suoli di tipo **C**, per entrambe le classi di edifici ( $T \leq 0.5s$  -  $T > 0.5s$ ).

I valori soglia indicati dagli allegati regionali nel comune di Zelo Buon Persico, per suoli di tipo C, sono di 1.8 e di 2.4 rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5 s (bassi e rigidi) e superiore a 0.5 s (edifici alti ed elastici).

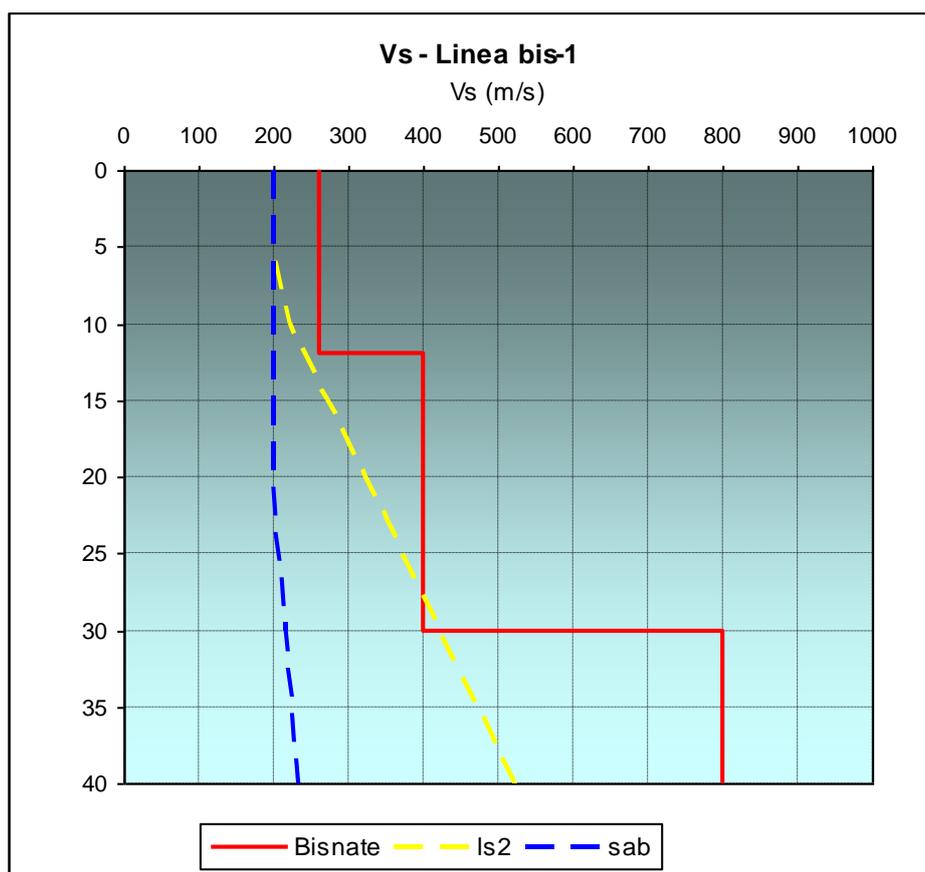


Fig. 1

In Tabella 3 sono sintetizzati i valori di  $V_{s30}$  (velocità media delle Vs nei primi 30 m), il tipo di suolo sismico, il periodo proprio del sito ( $T_p$ ) calcolato dalle Vs ed i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (Fa) per le due tipologie di edifici:  $0.1 < T \leq 0.5$  s e  $T > 0.5$  s. Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti da Regione Lombardia.

Linea	$V_{s30}$	Periodo ( $T_p$ )	Fa ( $T=01-0.5$ s)	Fa ( $T>0.5$ s)
Bis-1	329	0.35	1.7	1.5
<b>suolo sismico</b>			<b>C</b>	<b>C</b>
Fa di riferimento Regione Lombardia Comune di Zelo Buon Persico			<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

Tab. 3 –  $V_{s30}$ , suolo sismico,  $T_p$  e Fa

Il risultato definitivo è che i valori di Fa calcolati sono inferiori a quelli forniti dalla regione Lombardia, sia per edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s sia per quelli con periodo superiore. Pertanto nell'area indagata si adotteranno per tutte le tipologie di edifici gli spettri di norma relativi al suolo sismico C.

## 13 – REMI – MICROTREMORE 2009

È stato ripreso il microtremore eseguito dal Comune di Spino d'Adda per la componente geologica del PGT.

### Descrizione dei Risultati

Il rilievo è stato effettuato mediante due linee eseguite con 24 geofoni da 14,5 Hz spaziate di 5 m, ognuno con una lunghezza complessiva di 115 m.

Sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,002 secondi. Nella tabella di seguito si riportano i dati relativi alla posizione di ogni linea.

Linea	Posizione
Sp03	Area Industriale Ovest

Il modello interpretativo delle Vs è riportato nella fig. che segue e i dati dei singoli strati (profondità in m e velocità in m/s) in Tab 4.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4		Strato 5	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3	H4	Vs4	H5	Vs5
Sp03	5.5	250	31	340		<b>800</b>				

Tab. 4 – distribuzione verticale delle Vs

Nello spettro della linea Sp03 la salita finale, in profondità, è meno accentuata e spostata verso le frequenze minori. Nella fig. sotto è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea (250 m/s fino a 5.5 m poi 340 m/s fino a 31 m) poi la presenza del substrato veloce ( $V_s \geq 800$  m/s). In questo caso la profondità del substrato è determinabile con sufficiente precisione. La configurazione di velocità, in particolare la presenza del substrato a circa 30 m è compatibile con la scheda litologica ghiaiosa.

Tramite la  $V_{s30} = 319$  m/s si possono attribuire i suoli al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti -  $V_{s30} > 360$  m/s).

La configurazione di velocità del primo strato (5.5 m con 250 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa al limite tra la curva 2 e la 3. Per i calcoli successivi è stata utilizzata la curva 2. Il periodo proprio del sito ( $T_p=0.38$  s) fa ricadere l'intercetta nel tratto polinomiale della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda ghiaie, risulta di **1.6** per edifici con periodo  $< 0.5$  s e di **1.2** per edifici con periodo superiore a 0.5 s. I valori di Fa calcolati con la scheda Ls2 sono rispettivamente di **2.1** e **1.4**.

I valori soglia indicati dalla scheda regionale nel comune di Spino d'Adda, per suoli di tipo C, sono di 1.8 e di 2.4 rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5 s (bassi e lunghi) e superiore a 0.5 s (edifici alti e snelli).

Il risultato è che i valori di Fa calcolati per gli edifici con periodo inferiore, a motivo di maggior cautela, si dovranno adottare gli spettri per la categoria di suolo sismico superiore (D), oppure procedere con l'analisi sismica di 3° livello, mentre per tutti gli edifici con periodo superiore a 0.5s i valori soglia dei Fa sono inferiori a quelli regionali e sono quindi validi gli spettri di normativa per il suolo sismico C.

Si sottolinea che l'incertezza nella scelta della scheda di riferimento non inficia le conclusioni, in quanto, anche l'eventuale utilizzo della scheda litologica dei limi sabbiosi 2 al posto della scheda ghiaie, conduce a risultati di maggiore amplificazione, ma posizionati in modo simile rispetto ai valori soglia regionali.

In tabella 5 sono sintetizzati i valori di Vs<sub>30</sub> (velocità media delle Vs nei primi 30 m – fig. 2), il tipo di suolo di fondazione, il periodo proprio del sito (Tp) calcolato dalle Vs ed i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (Fa) per le due tipologie di edifici: 0.1 < T ≤ 0.5 s e T > 0.5 s. Per questi due ultimi parametri sono riportati sia i valori calcolati con la scheda ghiaie che con la scheda Ls2. Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti dalla regione Lombardia.

Linea	Vs <sub>30</sub>	Suolo sismico	Periodo (Tp)	Fa (T=01-0.5 s)	Fa (T>0.5 s)
Sp03	319	C	0.38	1.6 – 2.1	1.2-1.4
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia</b>				<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

Tab. 5 – Vs<sub>30</sub>, suolo sismico e Fa

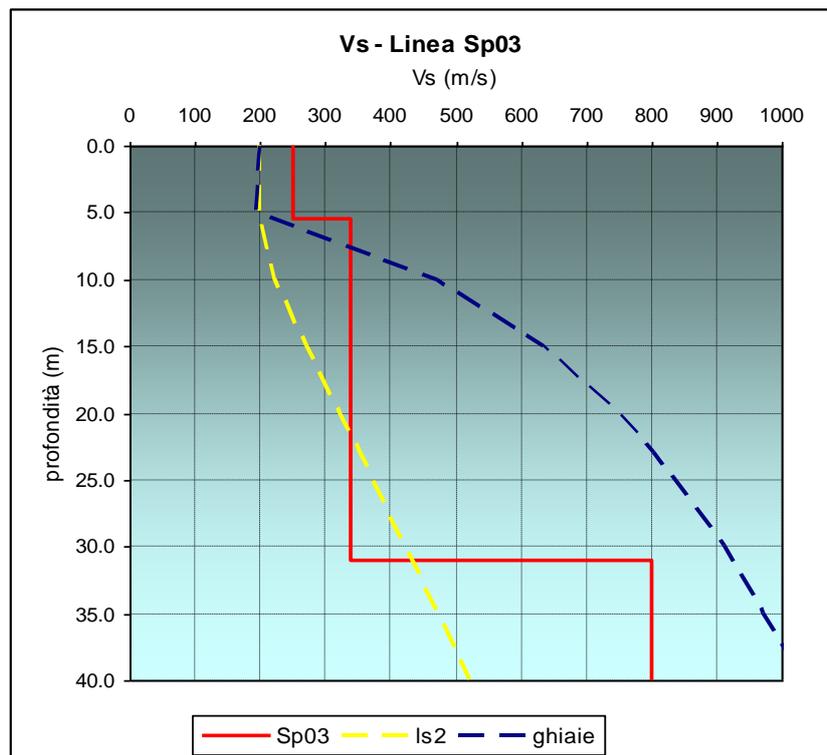
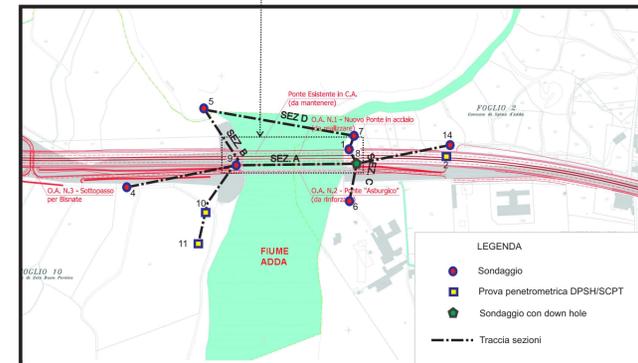
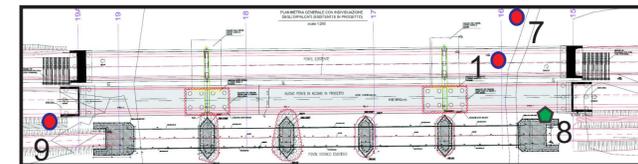
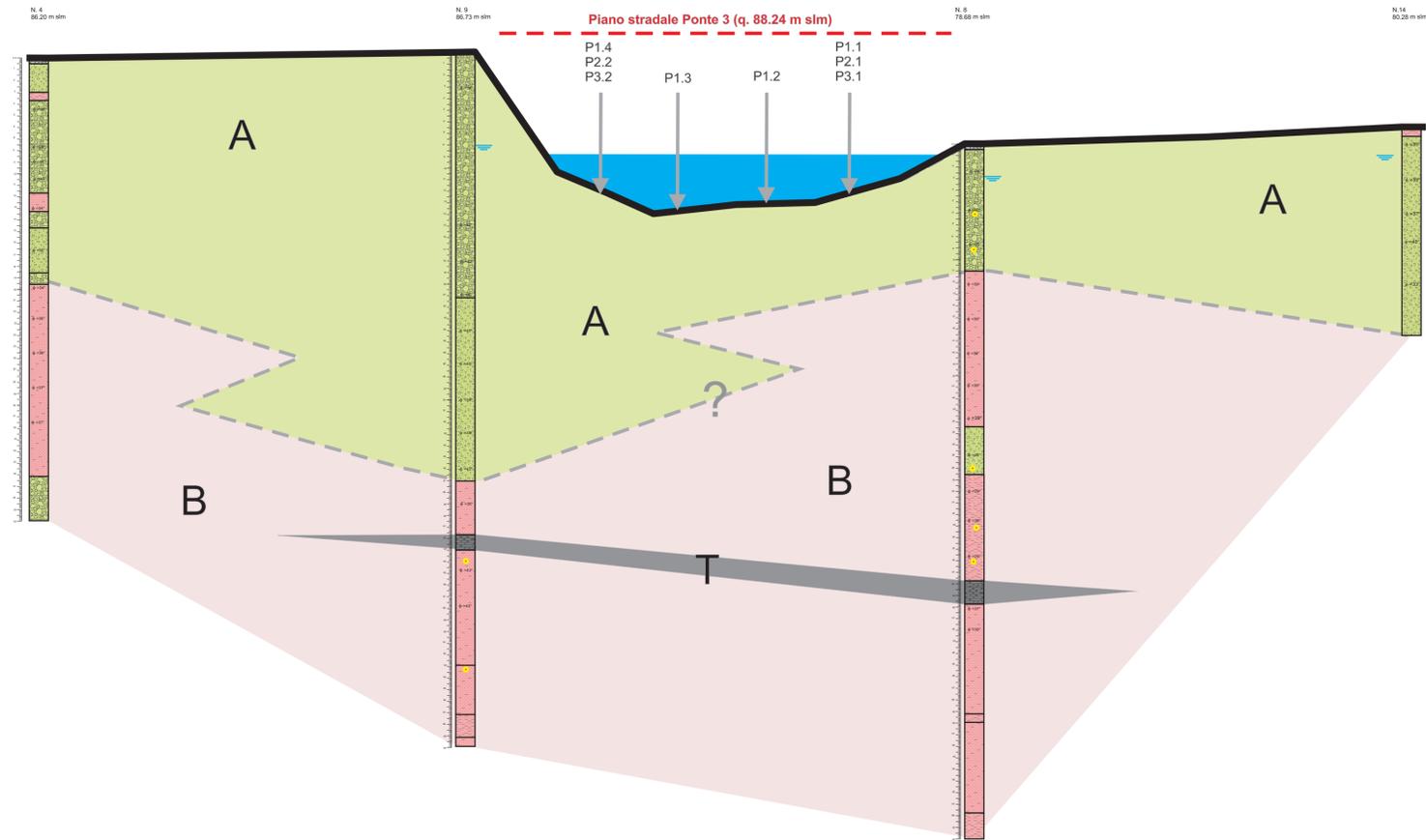


Fig. 2 - Distribuzione verticale Vs

# SEZIONE A

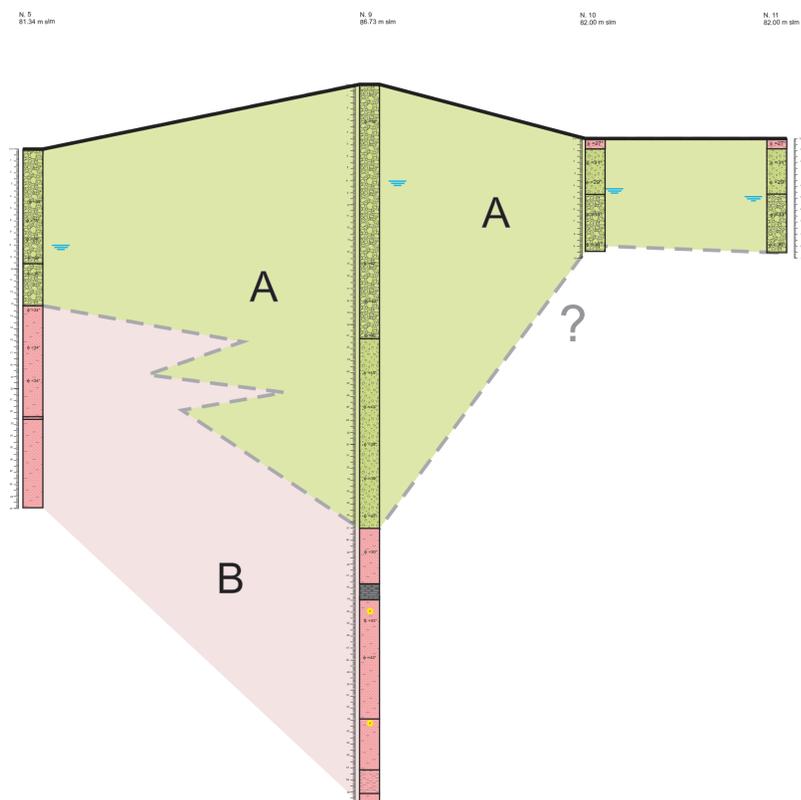


## Legenda:

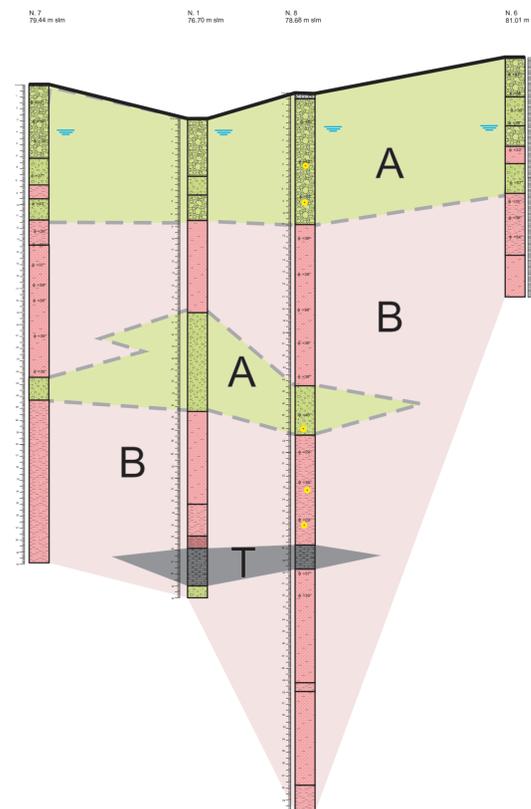
- |  |                            |      |  |
|--|----------------------------|------|--|
|  | riporto                    |      | Litozona prevalentemente ghiaioso sabbiosa     |
|  | argilla                    |      | Litozona sabbioso limosa                       |
|  | limo-limo argilloso        |      | Campione per analisi geotecnica di laboratorio |
|  | sabbia fine o limosa       |      | Angolo di attrito interno                      |
|  | sabbia con ghiaietto       | P1.1 | Ponte 1, pila 1                                |
|  | ghiaia con sabbia          | P2.1 | Ponte 2, pila 1                                |
|  | torbe o argilla organica   | P3.1 | Ponte 3, pila 1                                |
|  | Livello falda superficiale |      |  |



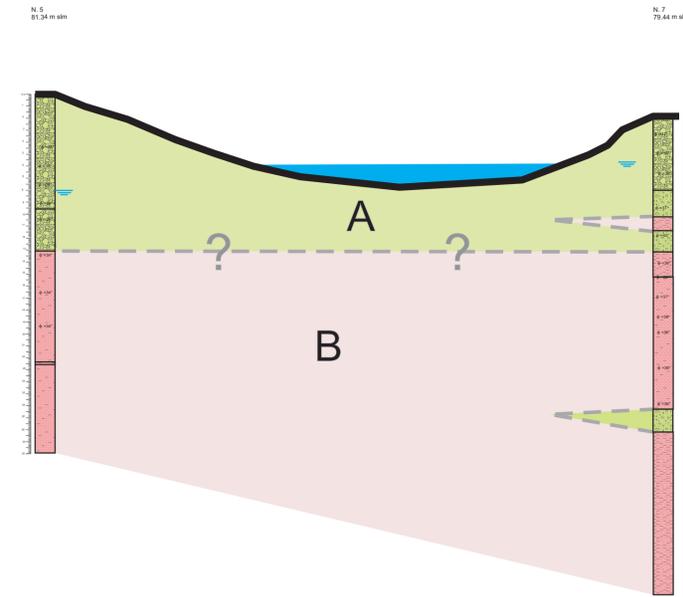
# SEZIONE B



# SEZIONE C



# SEZIONE D



PROVINCIA DI CREMONA

S.P. ex S.S. n. 415 "Paulese" - Nuovo ponte sul Fiume Adda

ALLEGATO 11: SEZIONI GEOLOGICO TECNICHE



## ALLEGATO 12: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 22-03-16

Foto A: dalla sponda sinistra alla opposta.

È lo spazio a monte di Ponte 1, in muratura e a valle di Ponte 2, in calcestruzzo armato, entro cui sarà lanciato il nuovo Ponte 3 in acciaio.

Si noti il forte abbassamento dell'alveo di magra del fiume, avvenuto negli anni 1960-70 e in parte bloccato dalla traversa eseguita a valle dei ponti.

Si noti, alla base di Ponte 2 "la piattaforma provvisionale" usata per il getto delle fondazioni e non mai demolita. Sul lato sinistro del fiume, da dove è stata scattata la foto, è in atto una forte erosione che agisce soprattutto su Ponte 1 Pila 1 (non visibile in foto) e Pila 2 entrambe protette dalla sola scogliera in blocchi di cls. Intorno alle Pile 3 e 4 di Ponte 1 furono eseguite (probabilmente nel 1980-90) palancole sormontate da piattaforma di cls. Questa protezione interessava solo le Pile 3 e 4 in sponda destra che allora era quella in più forte erosione.



Foto A

Foto B: dall'alto dell'impalcato di Ponte 1, terza pila verso Ponte 2 Pila 2.  
Si noti l'angusto spazio tra le fondazioni dei due ponti esistenti dove si collocherà, all'incirca, Pila 2 di Ponte 3 di progetto.



Foto B

Foto C: da sponda Sn, a valle di Ponte 1.  
Si notino, ai fianchi degli archi portanti di Ponte 1 Pila 3, i rinforzi con piastre d'acciaio e tiranti, eseguiti, probabilmente, insieme al rinforzo delle fondazioni. A fine novecento la corrente erodeva di più in sponda destra provocando il cedimento della Pila 3.



Foto C

Foto D: da sponda sinistra, particolare di Ponte 1 Pila 1 con massicciata in blocchi di cls fortemente erosi a monte.



Foto D

Foto E: dalla sommità di Ponte 1 Pila 2 in primo piano e poi Pila 1 viste dall'alto. A sinistra Ponte 2 Pila 1.



Foto E

Foto F: dalla sommità di Ponte 1 Pila 3 in primo piano poi Pila 4 e la base di Ponte 2 Pila 2.



Foto F

Foto G: dalla sponda sinistra Ponte 2 Pila 1 con la piattaforma provvisoria a contorno della fondazione e l'idrometro.



Foto G

Foto H: dalla sponda sinistra e da valle a monte Ponte 1 Pila 1 e Ponte 2 Pila 1.



Foto H

Foto I: dalla sponda sinistra a valle di Ponte 1 la forte erosione di sponda.



Foto I