

STAZIONE APPALTANTE



DIREZIONE GENERALE CURA DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE

## IDROVIA FERRARESE

2° Lotto 1 str/PARTE. Lavori di realizzazione del ponte provvisorio e dell'annessa viabilità di Via della Pace a Final di Rero.

RUP:

DOTT. CLAUDIO MICCOLI  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE  
SERVIZIO AREA RENO PO DI VOLANO - SEDE DI FERRARA

PROGETTAZIONE:



Via Carlo Cattaneo, 20 - 37121 VERONA (VR)  
Tel. +39 045 8053611 - Fax. +39 045 8011558  
E-Mail: [tecnital@tecnital.it](mailto:tecnital@tecnital.it)

S.p.A.



DIRETTORE TECNICO:  
DOTT. ING. SIMONE VENTURINI

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
DOTT. ING. ALESSANDRA PARIS

## PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA



ELABORATO N° :

II080P-PE-RT008-C0

		ELABORATO		CONTROLLATO		APPROVATO	
SIGLA		P.SMORGON		A.PARIS		S.VENTURINI	
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE				
	1	10/07/2018	EMISSIONE PER APPROVAZIONE				
	2						
	3						

NOME FILE :

II080P-PE-RT008-C0.doc

DATA:

LUGLIO 2018

SCALA :

**Regione Emilia Romagna**  
**Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente**


**IDROVIA FERRARESE**  
**2° Lotto 1 str/PARTE - Lavori di realizzazione del ponte provvisorio e**  
**dell'annessa viabilità di Via della Pace a Final di Rero**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

## **INDICE**

1. INTRODUZIONE	4
2. OGGETTO E SCOPO	6
3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
4.1. Inquadramento geologico	8
4.2. Inquadramento geomorfologico	9
5. ASSETTO IDROGEOLOGICO	12
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE	13
7. ASSETTO STRATIGRAFICO DI PROGETTO	17
8. CONCLUSIONI	18

 <b>Idrovia Ferrarese</b>	RELAZIONE GEOLOGICA	
Data: Luglio 2018	Rev.: 0	Doc.: II080P-PE-RT008-C0

### ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1 – Ubicazione del ponte provvisorio sul Po di Volano.....	5
Figura 4-1 – Assetto geologico - Stralcio del foglio Ferrara della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 fra Finale di Rero e Migliarino .....	8
Figura 4-2 – Assetto geomorfologico – Stralcio della Carta altimetrica della Provincia di Ferrara .....	10
Figura 6-1 – Indagine 2004/2008 – Planimetria ed ubicazione delle indagini .....	14
Figura 6-2 – Indagini geognostiche 2014 – Ortofoto con ubicazione delle verticali d'indagine nell'area di progetto .....	16

## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dei lavori per l'adeguamento dell'Idrovia Ferrarese al traffico dei natanti della V Classe Europea, è prevista la realizzazione di un nuovo tronco stradale provvisorio nella frazione Final di Rero nel comune di Tresigallo per mantenere la funzionalità dell'attuale SP15 durante la fase dei lavori, Figura 1-1.

Il nuovo percorso stradale si rende necessario in quanto i lavori previsti nell'area di intervento per l'adeguamento dell'Idrovia Ferrarese comportano la chiusura di un tratto della SP15, per la demolizione del ponte di Final di Rero e delle rampe di approccio al ponte.

La nuova strada, oltre che funzionale al traffico viario, consentirà anche il transito dei mezzi di cantiere che utilizzeranno la nuova infrastruttura per trasportare il materiale proveniente dagli scavi della nuova idrovia nell'area dell'isolotto che verrà realizzato tra l'attuale percorso del fiume e il futuro canale.

Alla conclusione dei lavori del nuovo ponte di Final di Rero, il tronco stradale di cantiere verrà demolito in modo da ripristinare lo stato ante operam dei luoghi.

La presente relazione fornisce l'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area, definendo quindi l'assetto stratigrafico di riferimento per il progetto in funzione delle indagini geognostiche realizzate.

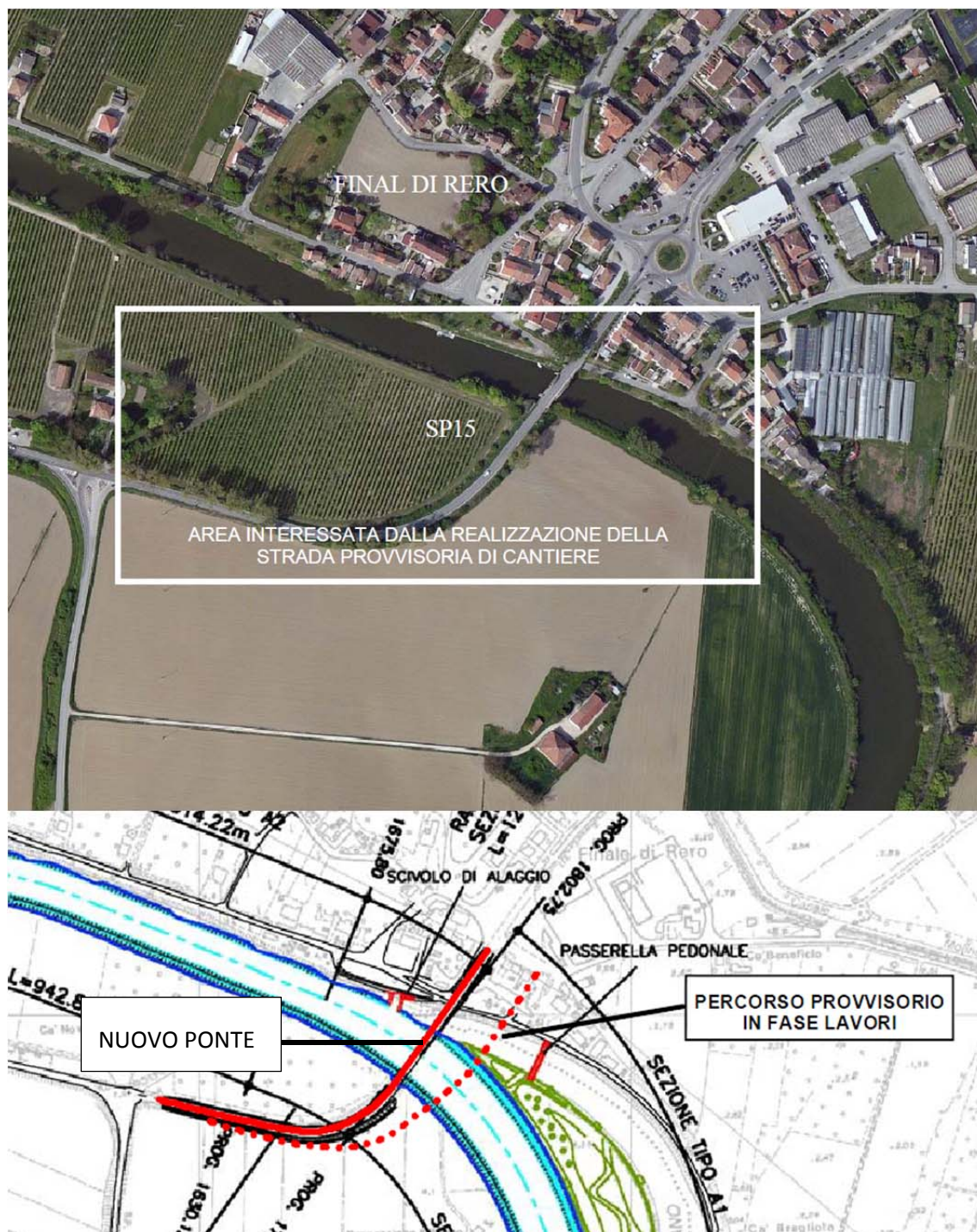


Figura 1-1 – Ubicazione del ponte provvisorio sul Po di Volano

## 2. OGGETTO E SCOPO

L'oggetto del presente rapporto sono i terreni di fondazione dell'area di progetto del ponte provvisorio sul fiume Po di Volano presso Final di Rero.

Lo scopo è quello di definire il modello geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei terreni di fondazione, al fine di individuare eventuali problematiche geologico-tecniche ed elementi morfologici che possano interagire con le opere di progetto.

### 3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

#### Normativa e Raccomandazioni

- DM 11/3/1988 Norme tecniche su terreni, stabilita dei pendii....
- Circ. LL.PP 24/9/1988. Istruzioni applicative
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica.
- Eurocodice 8. Sismica. Parte 5: aspetti geotecnici.
- Ordinanza n. 3274 del PdCM del 08/05/2003.
- Ordinanza n. 3519 del PdCM del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- Norme Tecniche per la Costruzioni. D.M. 14/1/2008.
- Circolare Ministeriale 02/02/2009 n.617 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche”.
- Adeguamento dell’Idrovia Ferrarese nel tratto da Final di Rero a Migliarino (FE) al traffico Idroviario di V Classe Europea – “Opere Finanziate” – Progetto di Variante n°1 – Relazione geotecnica.
- Adeguamento dell’Idrovia Ferrarese nel tratto da Final di Rero a Migliarino (FE) al traffico Idroviario di V Classe Europea – “Opere Finanziate” – Progetto Definitivo.



## 4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

### 4.1. Inquadramento geologico

Il Foglio 76 Ferrara della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, della quale si riporta uno stralcio dell'area di progetto in Figura 4-1, indica la presenza in superficie di terreni di natura alluvionale recenti ed attuali, che sono stati depositi in epoca storica dai fiumi Po e Reno.



**Figura 4-1 – Assetto geologico - Stralcio del foglio Ferrara della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 fra Finale di Rero e Migliarino**

Dall'esame della carta geologica risulta evidente la relazione esistente tra la natura dei sedimenti e la quota delle aree, in particolare si ha che le aree topograficamente più elevate corrispondono a terreni sabbiosi associati ai dossi fluviali degli antichi rami dei

corsi d'acqua, mentre le aree depresse sono costituite da terreni limoso – argillosi, che sono stati depositi nelle aree delimitate dai suddetti dossi.

Con riferimento all'area d'interesse progettuale il Foglio Ferrara della carta geologica distingue depositi prevalentemente sabbiosi (indicati con la lettera "S"), mentre sono presenti terreni argilloso sabbiosi (contenenti dal 40 al 60% di fine, indicati con le lettere "as") in corrispondenza di Tresigallo.

La sequenza stratigrafica risulta composta in profondità da una intercalazione di livelli sabbioso - limosi e di livelli limoso – argillosi in accordo con la divagazione dei corsi d'acqua e con le condizioni di sedimentazione dapprima lagunari e successivamente di natura prettamente alluvionale.

Nel complesso l'area studiata si caratterizza quindi per un'estrema variabilità litologica estesa sia in senso verticale che laterale, a testimonianza della complessa storia evolutiva della regione (sedimentazione fluviale, alluvionamenti, divagazioni e rotte fluviali, opere di bonifica e regimazione idraulica), che ha portato il territorio ad assumere la configurazione attuale.

#### **4.2. Inquadramento geomorfologico**

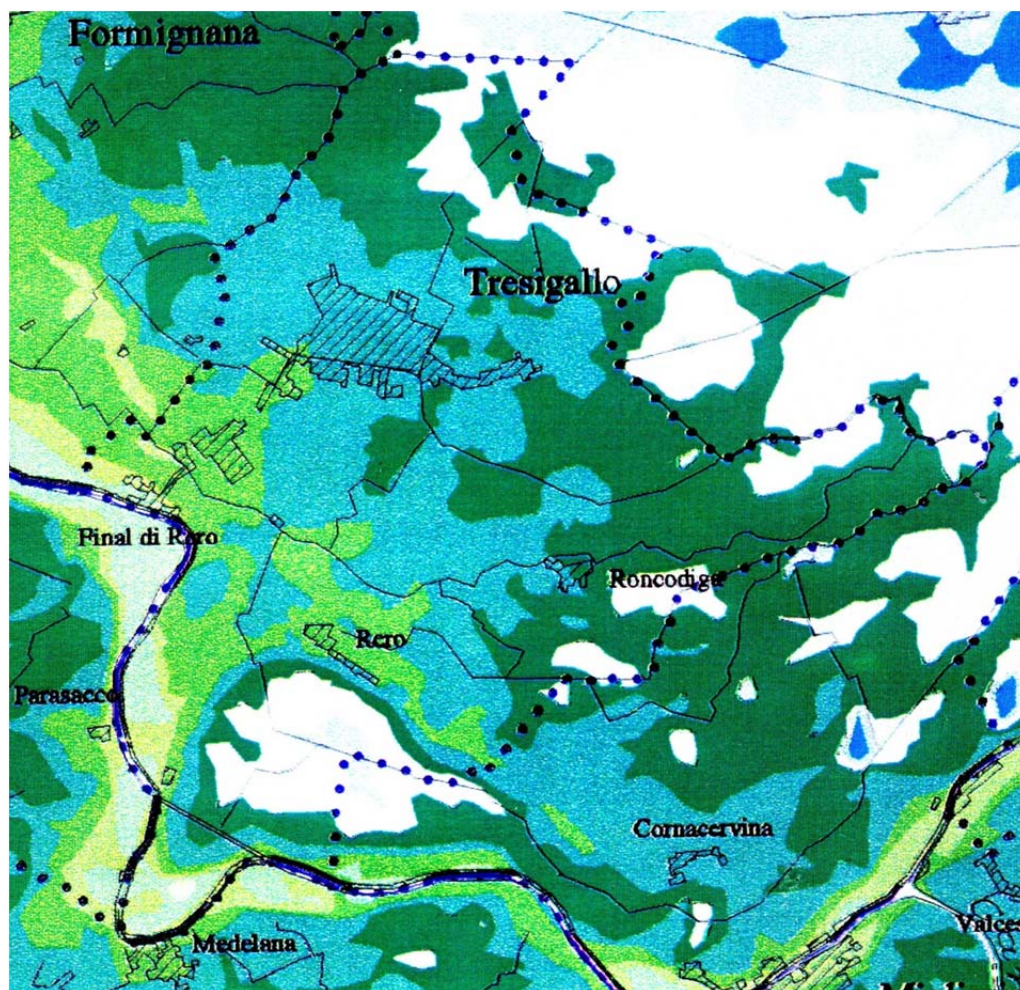
La Figura 4-2 riporta uno stralcio della Carta Altimetrica della Provincia di Ferrara in corrispondenza dell'area di progetto. In bianco sono riportate le zone morfologicamente depresse poste al di sotto del livello del mare, mentre in verde chiaro gli alti morfologici. E' evidente il paleoalveo del Po di Volano passante per Finale di Rero e la posizione di "alto morfologico" relativo dell'area d'interesse progettuale in accordo con la presenza di terreni di natura sabbiosa, indicati dalla Carta Geologica d'Italia.

La presenza di zone di alto topografico ha influenzato la sedimentazione, favorendo la divagazione dei corsi d'acqua.

Con l'azione di bonifica fin dai tempi storici si è contrastato questo meccanismo, portando alla regolarizzazione plano-altimetrica del terreno, all'irrigazione ed alla costituzione di canali drenanti per mantenere il franco agricolo.

In particolare le zone depresse di origine palustre, oggetto di bonifica (Grande Bonificazione Estense) sono distinte, in funzione delle caratteristiche geometriche, in:

- zone depresse circoscritte;
- zone depresse parzialmente circoscritte.



**Figura 4-2 – Assetto geomorfologico – Stralcio della Carta altimetrica della Provincia di Ferrara**

Tra le prime si cita la depressione presente tra il Po di Volano e di Rero, per le seconde il bordo meridionale delle valli di Ambrogio e Iolanda della Grande Bonificazione Ferrarese. Per quanto esposto risulta evidente come l'originaria distribuzione dei litotipi di superficie sia oggi ampiamente rimaneggiata dalle pratiche agricole, dalle opere di bonifica e dagli interventi per infrastrutture e canalizzazioni.

Gli elementi che si sono conservati, al di là delle trasformazioni temporali e delle interazioni fra le varie componenti antropiche sono:

- paleoalvei (dossi fluviali);
- ventagli di esondazione;
- zone depresse circoscritte e non.

Tra i primi si sottolinea il paleoalveo del Po di Volano, per l'importanza ed il ruolo morfologico ed idrogeologico che riveste. Questo corso d'acqua risulta infatti essere un ramo molto antico del Fiume Po che, prima della rotta di Ficarolo avvenuta nel dodicesimo secolo, aveva dimensioni e portate maggiori di quelle odierne. Attualmente il Po di Volano per tutto il percorso rappresenta un importante vettore di acque di scolo e di irrigazione.

Il paleoalveo posto presso Finale di Rero attraversa il territorio in direzione Rero-Cornacervina e rappresenta probabilmente l'antico corso del Po di Volano.

Non sono presenti né fenomeni di erosione delle sponde né fenomeni di instabilità potenziali o in atto.

## 5. ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'esecuzione delle opere di bonifica, ed in particolare la diffusa rete di canali di scolo con a capo importanti impianti idrovori, impongono che il livello freatico sia costantemente al di sotto del piano campagna.

In altri termini il sistema acquifero più superficiale risente sia delle precipitazioni dirette che del condizionamento della rete idrica consortile.

L'irrigazione dei terreni agricoli avviene a pioggia attingendo l'acqua dai canali di scolo che hanno quindi una doppia funzione: quella di drenaggio delle aree bonificate e convogliamento delle acque agli impianti idrovori e quella di irrigazione nei mesi estivi.

Alvei e paleoalvei, per effetto delle caratteristiche granulometriche ivi presenti, alimentano direttamente la falda (zona di alimentazione o di spartiacque sotterraneo, a flusso prevalentemente verticale) la quale viene drenata, per quasi tutto il corso dell'anno, dai canali consortili o dalle terre basse confinanti (settori di drenaggio a flusso prevalentemente orizzontale).

In linea generale il territorio può essere considerato un bacino di raccolta suddiviso, sia dalle condizioni morfologiche che dalla rete consortile, in sottobacini all'interno dei quali si raccoglie sia acqua meteorica (600-700 mm/anno) che acqua di irrigazione (200-300 mm/anno).

I canali consortili mantengono la falda ad una quota attorno ai 1.0-2.0 m dal p.c. mediante scolo e sollevamento ad opera degli impianti idrovori.

La fascia di territorio in prossimità del Po di Volano, con particolare riferimento al territorio in studio, rappresenta una zona di alimentazione in cui la falda tende ad assumere una morfologia di "alto", drenata poi dai canali consortili limitrofi.

La vulnerabilità idrogeologica, considerato che la zona viene considerata punto d'ingresso del sistema idrogeologico, ovvero area di ricarica con flusso prevalentemente verticale, è molto elevata con risposte quasi istantanee.



## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini eseguite presso l'area di progetto sono di seguito riportate

- Indagine geognostica del 2004 sull'intera area di adeguamento dell'idrovia, da Final di Rero a Migliarino;
- Indagine geognostica del 2008 sull'intera area di adeguamento dell'idrovia ad integrazione di quella del 2004;
- Indagine geognostica del 2014 ad integrazione delle precedenti a supporto della progettazione del nuovo ponte e del ponte provvisorio di Final di Rero;

Si riporta una sintesi delle prove in sito ed in laboratorio eseguite nelle suddette indagini:

### **Indagine 2004**

Durante tale campagna sono state realizzate le seguenti indagini:

- n°5 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 35 m dal p.c. ed identificati con le sigle SP1; SP2; SP3; SP4; SP5/Pz;
- n°3 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 15 m dal p.c. ed identificati con le sigle SC1/Pz, SC2; SC3/Pz;
- n°3 piezometri a tubo aperto messi in opera in corrispondenza dei sondaggi SP5, SC1 ed SC3;
- n°4 prove SPT e n° 5 prove scissometriche eseguite nel corso dei sondaggi;
- prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso delle perforazioni;
- n°6 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) spinte a profondità comprese fra 25 e 30 m. da p.c.

Delle indagini sopraindicate solo alcune rientrano nel lotto in esame e nello specifico i sondaggi SP2, SC1/Pz e la prova penetrometrica statica CPTU2.

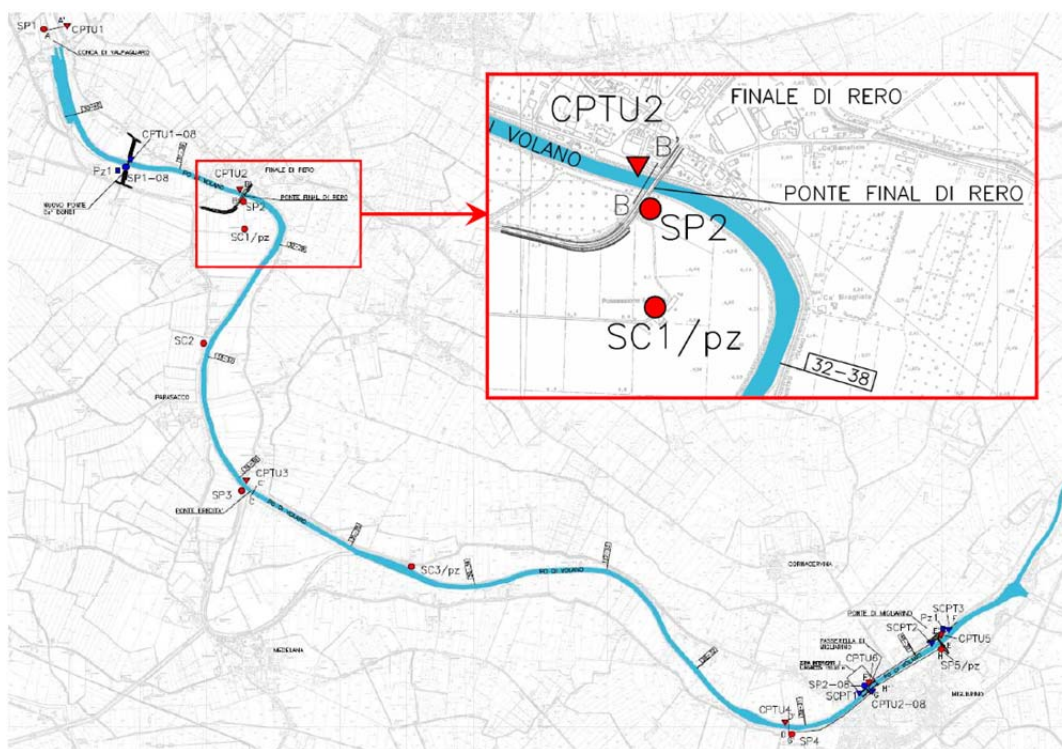
### **Indagine 2008**

Un'integrazione geognostica si è resa necessaria nel novembre 2008 in corrispondenza di aree non indagate e/o opere non previste al tempo della precedente campagna geognostica. Tale indagine è consistita in:

- n°2 sondaggi da 35 m attrezzati con piezometro a tubo aperto (SP1/pz-08; SP2/pz-08) e n°2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU1-08; CPTU2-08)
- n°3 prove penetrometriche dinamiche (DPSH1-2-3) sulla sponda sinistra del Po di Volano;
- prove SPT in foro e prove di laboratorio su campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni;
- n°2 pozzetti esplorativi con prove di carico con piastra in corrispondenza dei rilevati di approccio al ponte di Ca Dondi e Migliarino.

Delle indagini sopraindicate nessuna è stata eseguita in corrispondenza del lotto in progetto.

In Figura 6-1 è riportata una planimetria generale delle indagini del 2004 e del 2008.



**Figura 6-1 – Indagine 2004/2008 – Planimetria ed ubicazione delle indagini**

**Indagine 2014**

Nell'elaborazione del Progetto Esecutivo del nuovo ponte sul fiume Po di Volano presso l'abitato di Final di Rero è apparso necessario eseguire una campagna di indagini integrative per i seguenti motivi:

1. verificare i risultati delle indagini di prima fase;
2. approfondire le indagini in modo da interessare l'effettivo "volume significativo" in accordo con i criteri di programmazione delle indagini previsti nel D.M. 14/01/2008; in particolar modo in corrispondenza delle nuove spalle del ponte;
3. procedere con un approfondimento dei dati geotecnici e sismici.

Con tale impostazione sono state realizzate le seguenti indagini:

- Sondaggio geognostico a carotaggio continuo S1/14 profondo 50 m in corrispondenza della spalla A del ponte di Final di Rero in sponda sinistra alla quota della strada esistente;
- Sondaggio geognostico a carotaggio continuo S2/14 profondo 43 m in corrispondenza della spalla B ponte di Final di Rero in sponda destra alla quota della strada esistente;
- n°7 prove SPT in foro di cui 3 nel sondaggio S1/14 e 4 nel sondaggio S2/14;
- n°4 Prove Penetrometriche Statiche con punta elettrica (CPTE) spinte a profondità comprese tra 30.1 m e 43.6 m; di queste le più profonde (P1/14 e P2/14) in corrispondenza rispettivamente della pila centrale e della spalla B del nuovo ponte; le restanti (P3/14 e P4/14) in corrispondenza degli appoggi del ponte provvisorio.
- n°1 prova sismica di tipo MASW per la determinazione della velocità delle onde sismiche e conseguentemente del valore di  $V_{s,30}$ ; tale indagine si è resa necessaria per confermare la categoria di sottosuolo in base alla quale dimensionare le opere.

Durante la realizzazione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati campioni indisturbati per un totale di 15 (9 per il sondaggio S1/14 e 6 per il sondaggio S2/14).

In Figura 6-2 è riportata la planimetria di ubicazione delle indagini.





**Figura 6-2 – Indagini geognostiche 2014 – Ortofoto con ubicazione delle verticali d’indagine nell’area di progetto**

## 7. ASSETTO STRATIGRAFICO DI PROGETTO

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha permesso di definire delle unità stratigrafiche sulla base dell'omogeneità dei caratteri stratigrafici, granulometrici, di plasticità e di grado di addensamento/consistenza, che determinano un comportamento geotecnico omogeneo in termini di resistenza e deformabilità.

Sono state individuate le seguenti unità stratigrafiche

- **Unità I (LS):** limo sabbioso a tratti argilloso;
- **Unità II (SL):** sabbia fine e sabbia limosa;
- **Unità III (LA):** limo argilloso e argilla limosa con presenza di lenti sabbiose;
- **Unità IV (SL):** sabbia fine con sottili intercalazioni limose.

Le prove penetrometriche statiche eseguite nel 2014 in prossimità del ponte provvisorio, P3/14 e P4/14, hanno sostanzialmente confermato l'assetto stratigrafico rilevato dalle verticali indagate in prossimità del nuovo ponte di Final di Rero.

Il sondaggio S1/14, spinto ad una profondità di 50 m dal piano campagna, ha evidenziato al di sotto dell'unità IV, un alternanza di limi argillosi e sabbie limose a profondità maggiori a 38 m dal p.c. (sigla LA/SL). La profondità di tali livelli è comunque maggiore del volume di terreno interessato dalla realizzazione delle opere in progetto. E' pertanto possibile definire un assetto stratigrafico unico per entrambe le spalle del ponte in progetto, il livello della falda è posto a 1.5 m dal piano campagna.

Final di Rero – Ponte provvisorio sul Po di Volano – Stratigrafia di progetto		
Profondità (m da p.c.)	Unità geotecnica (n°)	Descrizione
0 / 3	I	limo sabbioso a tratti argilloso
3 / 10	II	sabbia fine e sabbia limosa
10 / 26	III	limo argilloso e argilla limosa con presenza di lenti sabbiose
26 / 40	IV	sabbia fine con sottili intercalazioni limose

## 8. CONCLUSIONI

L'interpretazione delle indagini in sito e di laboratorio ha permesso la caratterizzazione dei terreni di fondazione dell'opera in progetto, in funzione dei rispettivi caratteri di granulometria, plasticità, grado di addensamento/consistenza.

Le indagini eseguite in sito ed in laboratorio nel 2004 e nel 2014 hanno evidenziato un sostanziale accordo tra i risultati ottenuti.

L'assetto stratigrafico, per il volume di terreno interessato dalla realizzazione dell'opera in progetto, è composto da 4 unità stratigrafiche:

- **Unità I:** limo sabbioso a tratti argilloso, spessore medio 3 m;
- **Unità II:** sabbia fine e sabbia limosa, spessore medio 7 m;
- **Unità III:** limo argilloso e argilla limosa con presenza di lenti sabbiose, spessore medio 16 m;
- **Unità IV:** sabbia fine con sottili intercalazioni limose, spessore medio 14 m.

Nel complesso i terreni sono normal consolidati con un leggero grado di sovra consolidazione che interessa le unità III e IV. I livelli granulometricamente fini, Unità I e III, risultano essere più deformabili e con caratteristiche di resistenza inferiori rispetto ai livelli sabbiosi più competenti, Unità II e IV.

La presenza di banchi di una certa potenza di terreni a grana fine deformabili comporta l'adozione di fondazioni profonde per la realizzazione dell'opera in progetto.

Il livello di falda è posto a 1.5 m di profondità dal piano campagna.

Non sono presenti fenomeni in atto e/o potenziali di tipo erosivo e/o di instabilità delle sponde del Po di Volano.