

**Elettrodotto a 132 kV - Variante in cavo interrato  
"C.P. Schiavetti - S.E. Redipuglia"**

**RELAZIONE IDRAULICA  
VERIFICA A SIFONAMENTO DEGLI ARGINI DEL FIUME ISONZO**

**STUDIO DI INGEGNERIA  
BETTIOL Ing. LINO**

Via G. Marconi n. 7 - 31027 Spresiano (TV)  
Tel. 0422 725958 - Fax. 0422 888155  
E-mail: lbettiol@dada.it



<b>Storia delle revisioni</b>				
Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato
00	05/12/2013	Prima emissione.	F. Gobbo - M. Zanatta	L. Bettiol

<b>Storia delle revisioni</b>		
Rev.	Data	Descrizione
00	05/12/2013	Prima emissione.

Elaborato	Verificato	Approvato
	ING -REA_PRI NE	ING -REA_PRI NE

## Sommario

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
2.1	<i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA D'INTERVENTO</i> .....	4
3	DESCRIZIONE GENERALE DEL BACINO IDROGRAFICO.....	7
3.1	<i>PERICOLOSITA' IDRAULICA DEL FIUME ISONZO</i> .....	9
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	12
4.1	<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO</i> .....	15
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	18
5.1	<i>DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA TOC</i> .....	20
6	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	21
7	VERIFICA A SIFONAMENTO DEGLI ARGINI .....	24
8	BIBLIOGRAFIA .....	26

## **1 PREMESSA**

Nel corso della progettazione della variante in cavo interrato all'elettrodotto aereo a 132 kV in semplice terna "C.P. Schiavetti – S.E. Redipuglia" è stata evidenziata la necessità di verificare che i presidi arginali del fiume Isonzo non siano aggravati dall'attraversamento degli stessi, da parte del cavo elettrico, tramite TOC (Trivellazione Orizzontale controllata); in particolare si vuole verificare che la realizzazione degli attraversamenti non dia luogo a fontanazzi e, quindi, a fenomeni di sifonamento.

## **2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

Il fiume Isonzo nasce in Val di Trenta con sorgenti a quota 935 m s.l.m.m. e sfocia nell'Adriatico nelle vicinanze di Monfalcone. Il suo percorso lambisce le località slovene di Plezzo, Caporetto, Tolmino e Nova Gorica, entrando poi in territorio italiano presso Gorizia. Da qui lambisce le pendici del Carso, attraversa la Bisiacaria e va a sfociare nel mar Adriatico vicino a Staranzano.

### **2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA D'INTERVENTO**

L'attraversamento del fiume Isonzo da parte del nuovo elettrodotto interrato è previsto sul confine tra i comuni di Villesse e San Pier d'Isonzo.

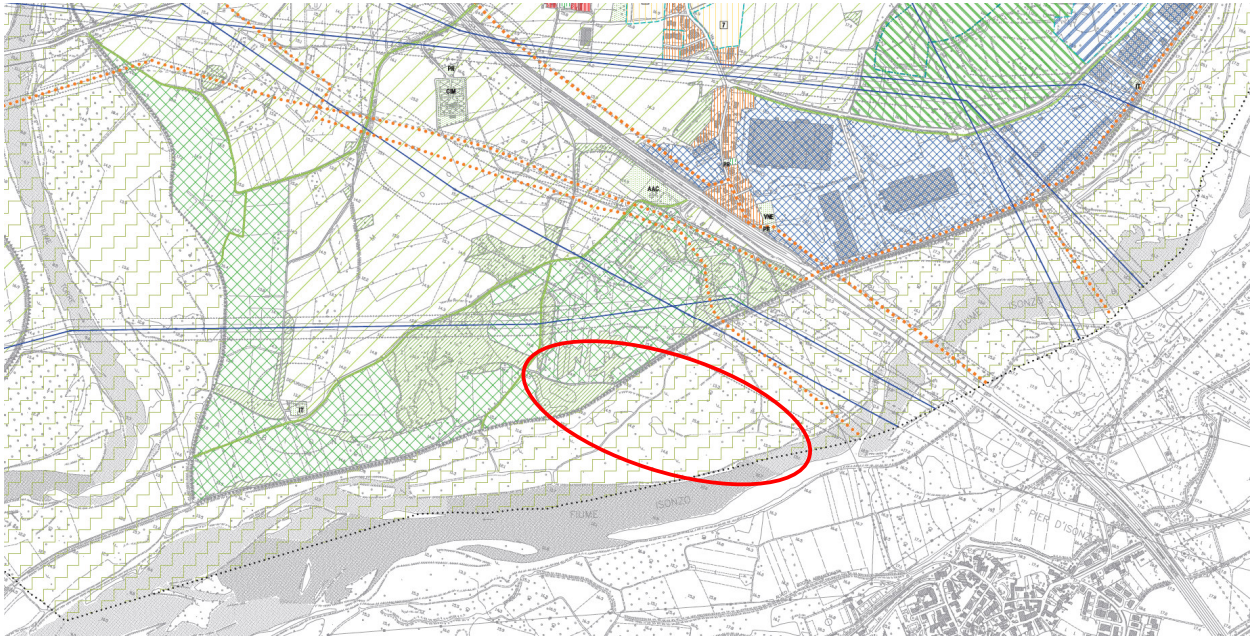


**Figura 1** Area dove è previsto l'attraversamento del fiume Isonzo.

I due comuni presentano un territorio per lo più pianeggiante compreso tra la quote di 15 e 20 metri sul livello del mare e sono già attraversati da importanti infrastrutture: l'autostrada A4 Torino-Trieste, un oleodotto, diversi elettrodotti e due metanodotti.





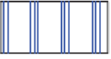











Nonostante solo una minoranza della popolazione attiva sia dedicata all'agricoltura, l'area di intervento presenta caratteri prettamente agricoli.



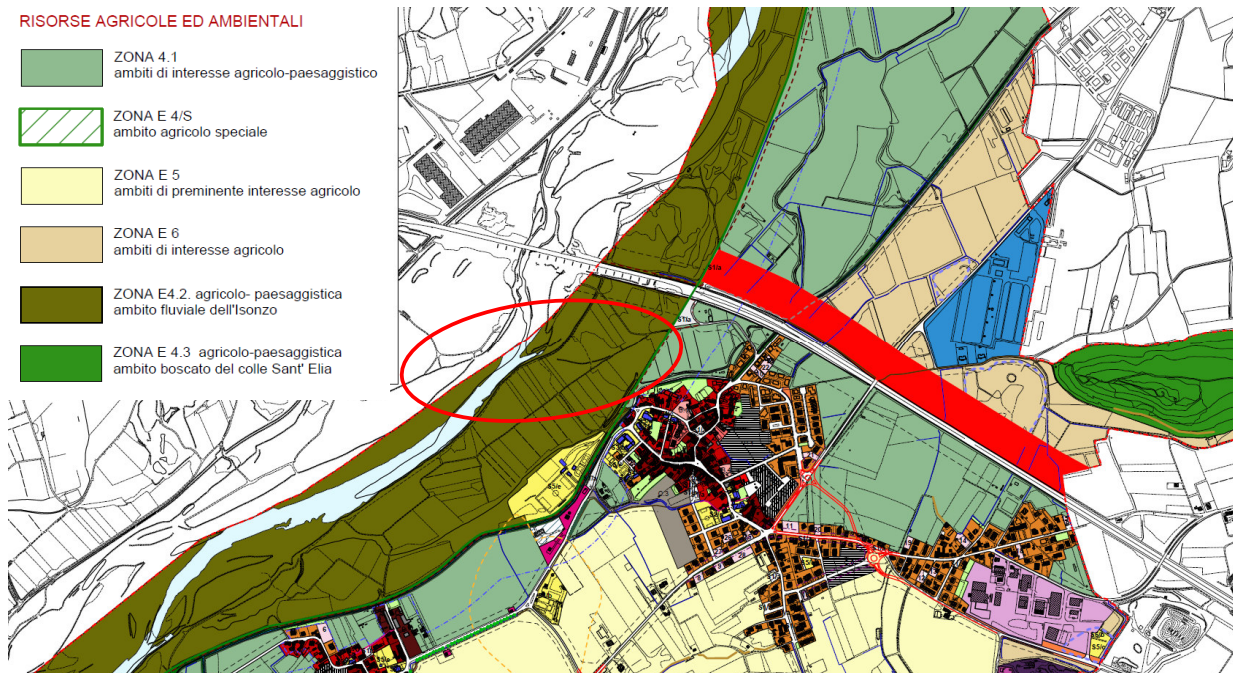


**Legenda :**

**ZONE OMOGENEE**

	Zona omogenea B/1		Zona omogenea D/4		Zona omogenea E/6
	Zona omogenea B/2		Zona omogenea DH/2		Zona omogenea E/S
	Zona omogenea B/3		Zona omogenea DH/3		
	Zona omogenea B/C		Zona omogenea HC		
	Zona omogenea C		Zona omogenea E/2		
	Zona omogenea D/2		Zona omogenea E/4		
	Zona omogenea D/3		Zona omogenea E/4 bis		

**Figura 2** Estratto dalla tavola di zonizzazione del PRG del comune di Villesse.



**Figura 3** Estratto dalla tavola di zonizzazione del PRG del comune di San Pier d'Isonzo.

### **3 DESCRIZIONE GENERALE DEL BACINO IDROGRAFICO**

Il bacino imbrifero dell'Isonzo ha un'estensione complessiva di circa 3400 km<sup>2</sup>; un terzo della sua superficie (pari a circa 1150 km<sup>2</sup>) ricade in territorio italiano, mentre la parte residua si trova in territorio sloveno. Di carattere prettamente torrentizio, il fiume Isonzo raccoglie e scarica le acque del versante meridionale delle Alpi Giulie, che separano questo bacino da quello della Sava.

La parte settentrionale del bacino è costituita prevalentemente da calcari e dolomie e poi da calcari cretaci, spesso cristallini o brecciati, che sono rocce permeabili per carsismo e per fessurazione. Nei dintorni di Gorizia, le formazioni calcaree vengono sostituite da rocce marnoso-arenacee, a permeabilità molto bassa, che si estendono verso ovest, formando le colline del Collio. La fascia di pianura che si estende ai piedi di questi livelli eocenici è ugualmente impermeabile, perché costituita da sedimenti fini e da argille di origine colluviale.

La restante parte di alta pianura, fino alla confluenza con il Vipacco, è interessata da alluvioni del Quaternario; prevalentemente calcaree e spesso ferrettizzate in superficie, in profondità sono eccezionalmente cementate ed intercalate, localmente, con livelli sabbiosi. Dopo la confluenza con il Vipacco, il territorio del bacino isontino è interessato, in sponda sinistra, dall'altopiano carsico e, in sponda destra, dalla continuazione dei terreni dell'alta pianura, costituiti dai conoidi dell'Isonzo e del Torre; più a valle si hanno alluvioni sabbiose ed argillose di origine recente e poco permeabili che continuano fino al mare.

Il corso d'acqua del fiume Isonzo ha uno sviluppo complessivo di 140 km di cui circa 100 km sono in territorio sloveno. Nel primo tratto il fiume scorre in valli tipicamente modellate da fenomeni glaciali, presentando talvolta allargamenti anche notevoli, quale quello della conca di Bovec. Successivamente il fiume scorre in una valle molto stretta.

Gli affluenti principali di destra sono il Coritena, in territorio sloveno, ed il Torre, che, invece, con i sub-affluenti Malina, Natisone, Judrio e Versa, scorre quasi totalmente in territorio italiano; a sinistra l'Isonzo è alimentato dall'Idria e dal Vipacco, con i rispettivi bacini compresi totalmente e quasi totalmente in territorio sloveno.

A causa delle caratteristiche litologiche del bacino montano, costituito da rocce calcaree con fenomeni carsici variamente sviluppati e della conseguente notevole circolazione idrica sotterranea, l'ingresso del fiume in pianura, a monte di Gorizia, non è caratterizzato dalla formazione di un conoide imponente. Il tratto di alveo che scorre nel conoide è limitato perciò alla zona tra Gorizia e Pieris, ed è costituito da alluvioni ghiaiose molto permeabili, tanto che nei periodi di magra l'Isonzo può presentarsi quasi asciutto.



Dopo la confluenza con il Vipacco, a valle di Gorizia, l'Isonzo lambisce il monte S. Michele e le estreme propaggini occidentali del Carso. A valle di Pieris, in corrispondenza della linea delle risorgive, il corso ridiventa ricco di acque, essendo alimentato dalle risorgive stesse, e sbocca nel mare con un apparato deltizio rivolto verso sud-est.

I comuni ricadenti nel bacino dell'Isonzo e dei suoi affluenti sono sessanta; i centri più importanti sono Gorizia, Cividale, Cormons, Gradisca, Manzano, S. Giovanni al Natisone e Tarcento.



**Figura 4** Bacino del fiume Isonzo.

### **3.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA DEL FIUME ISONZO**

Il bacino dell'Isonzo è uno tra i più piovosi bacini nazionali, con una precipitazione media che sfiora i 2000 mm/anno; la piovosità aumenta fortemente passando dalla pianura alle Alpi Giulie, pur presentando anche sulla pianura valori elevati.

Il regime dell'Isonzo è di carattere torrentizio, con variazioni notevoli di portata; tale carattere torrentizio è anche giustificato dal cospicuo valore della pendenza, pure nel tratto terminale a valle di Gorizia. A monte di Salcano, in territorio della Repubblica di Slovenia, la pendenza del letto è fortissima, dell'ordine del 22‰; la stessa poi, in corrispondenza dell'abitato di Salcano, diviene del 5‰ e, nel tratto tra Salcano e Gorizia, del 3‰, diminuendo, quindi, gradatamente fino alla foce.

Da Gorizia fino alla foce il fiume Isonzo è completamente arginato su entrambe le sponde; brevi tratti di arginatura mancano solo in quelle località dove la sponda naturale è prevalente sul livello di massima piena. A valle del comune di Sagrado il fiume trovano notevoli zone di espansione comprese tra rilevanti arginature maestre, poste a rassicuranti distanze dal corso vivo dello stesso, tant'è che a memoria d'uomo non si sono segnalate rotture di arginature, né allagamenti di centri abitati. Sussistono alcuni effetti di allagamenti di golene e di terreni destinati a colture varie dovuti all'innalzamento dei livelli idrici del fiume in piena, in concomitanza di alte maree.

Dalle cronache regionali, l'Isonzo non si mostra come un fiume particolarmente pericoloso; sono infatti noti eventi alluvionali anche numerosi che si sono succeduti nel tempo ma nessuno di essi è stato di particolare gravità. Quello che ha interessato la superficie maggiore si è verificato il 18-19 novembre 1940 (4400 m<sup>3</sup>/s) quando furono allagati circa 350 ettari di colture in corrispondenza dell'Isola Morosini. Successivamente gli argini furono potenziati cosicché l'evento di fine gennaio 1979, che ha provocato le massime portate a Gradisca (con un franco arginale di soli 45 cm), ha dato luogo a limitate esondazioni (200 ha circa) localizzate soprattutto in sponda destra fra Gradisca e Savogna ed alla confluenza col Vipacco.

Le esondazioni dell'Isonzo a valle di Villesse sono strettamente connesse con le portate del Torre, a loro volta fortemente influenzate da quelle del Natisone. Tuttavia, in relazione alla morfologia ed all'estensione dei rispettivi bacini idrografici, è poco probabile che precipitazioni a carattere di rovescio si verifichino contemporaneamente su di essi per cui, quando un corso d'acqua entra in fase di piena, non lo è l'altro; in tal modo le portate globali possono essere smaltite a valle della confluenza Torre - Isonzo senza effettivi inconvenienti.

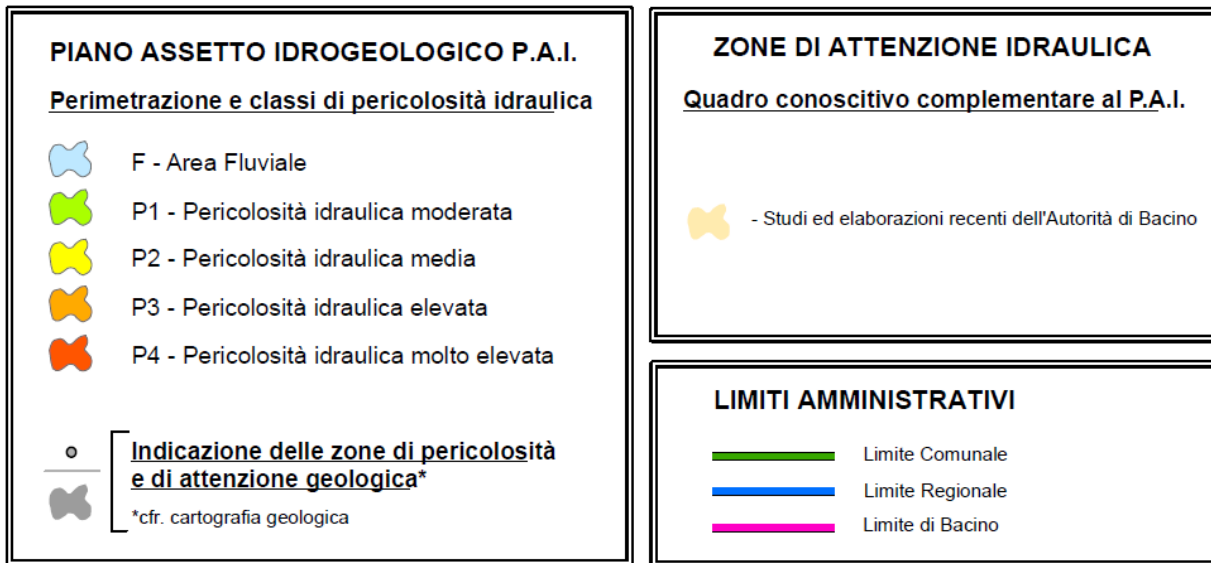
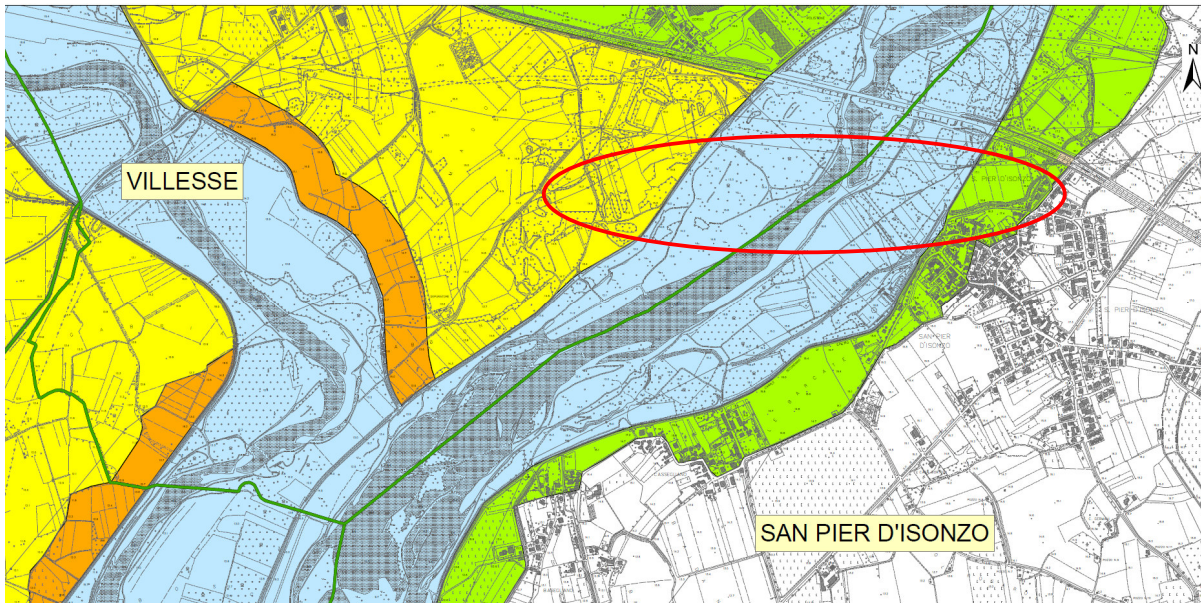
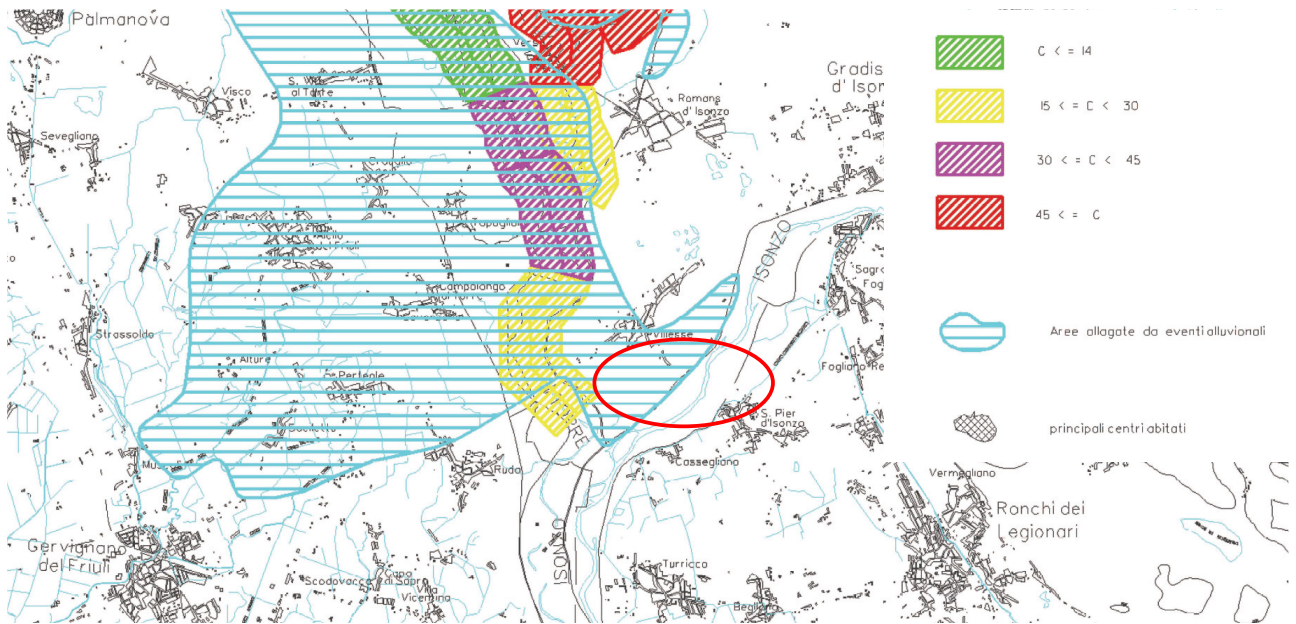


Figura 5 Estratto dalla carta della pericolosità idraulica del PAI.

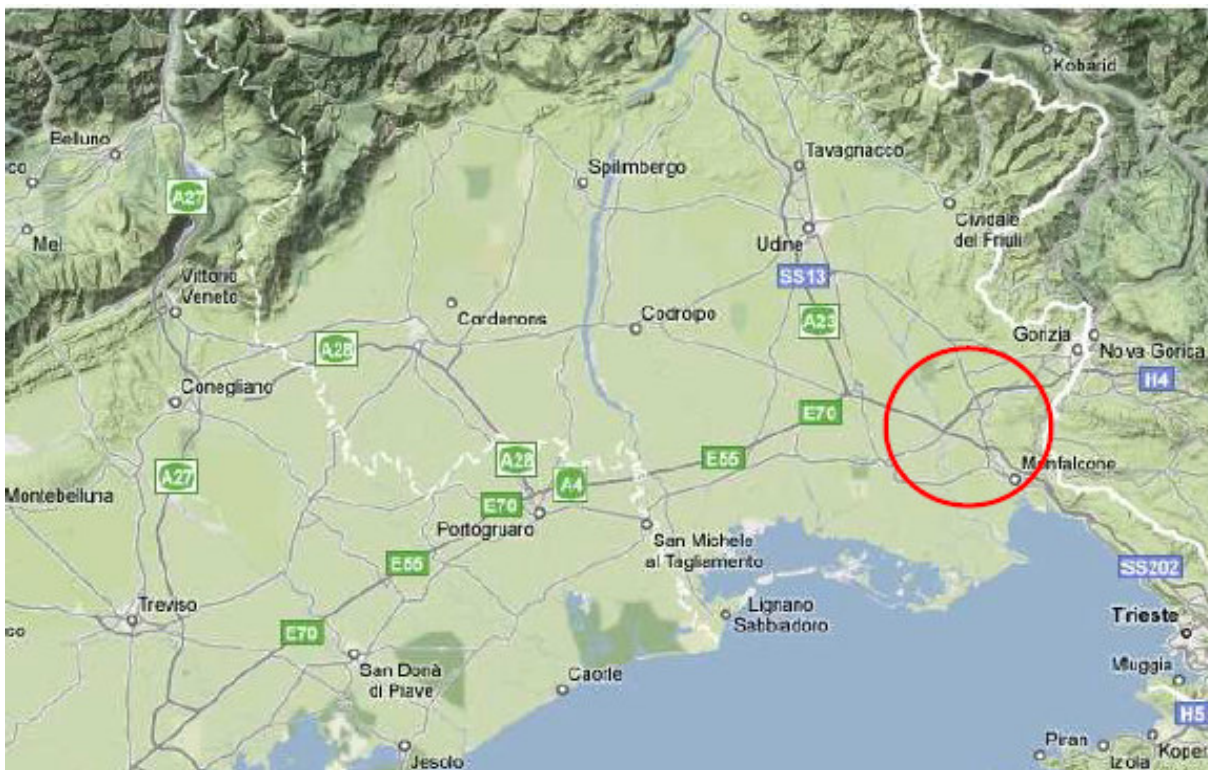




**Figura 6** Estratto dalla carta della criticità idraulica del PAI.

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area d'intervento si colloca nella bassa pianura friulana alla base del limite occidentale dell'altopiano Carsico in corrispondenza del basso corso del fiume Isonzo, le cui caratteristiche generali vengono sintetizzate dallo schema dei sistemi deposizionali riportato più sotto.

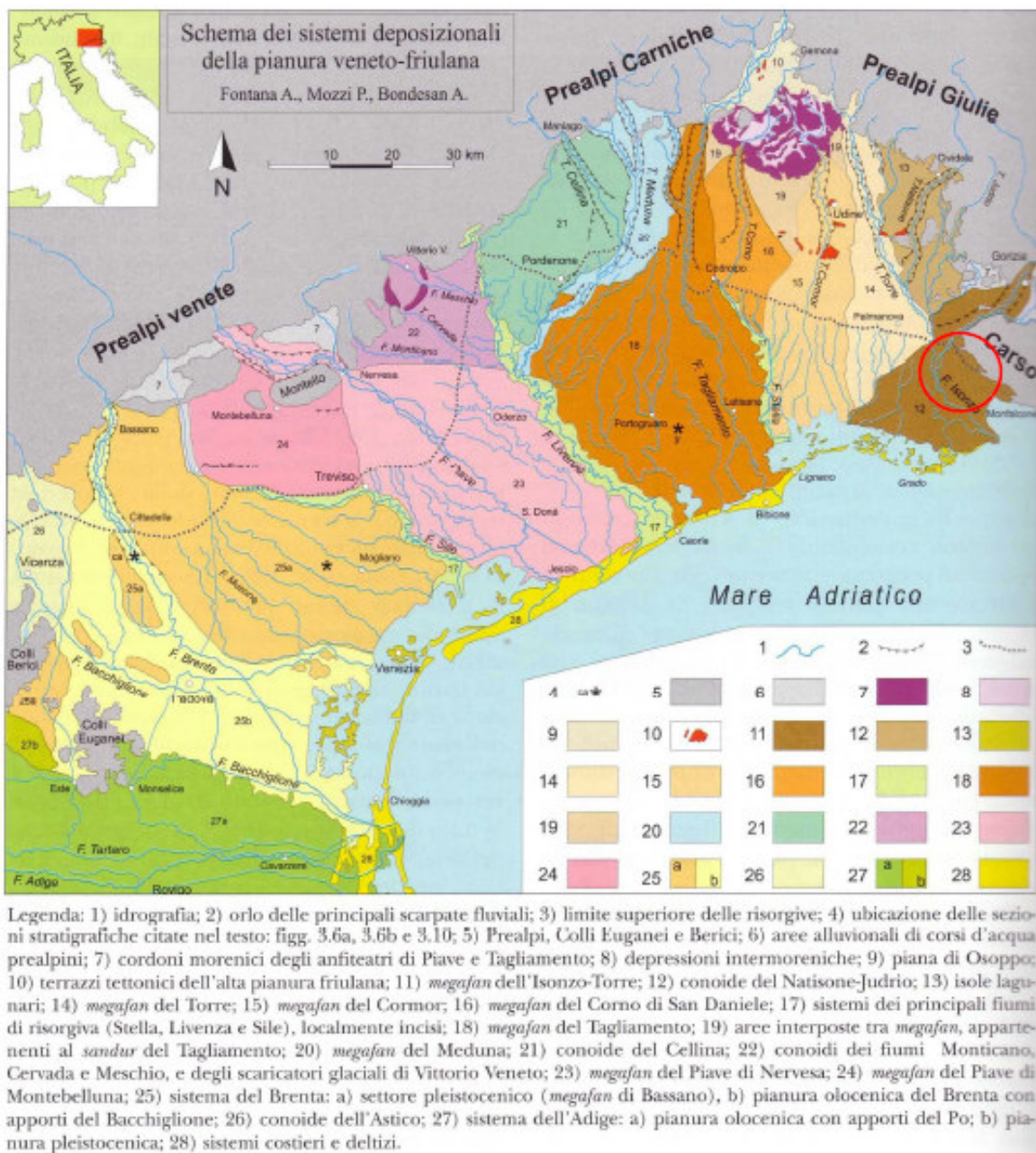


**Figura 7** Localizzazione del sito.

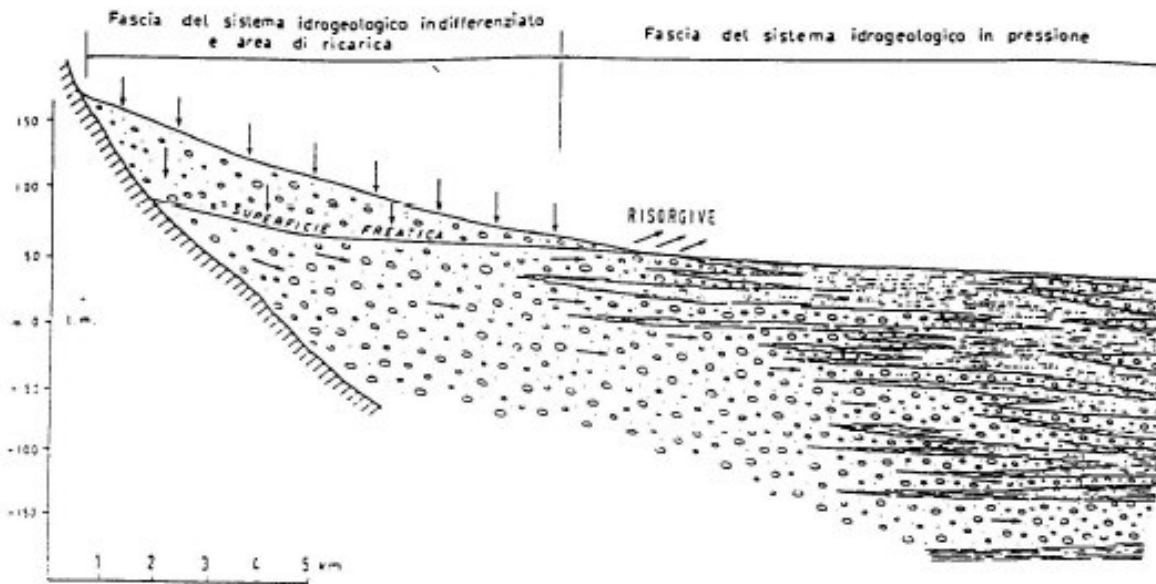
La potente coltre di sedimenti che costituiscono questa zona di bassa pianura friulana è quaternaria, con un basamento roccioso prequaternario che nell'area orientale si ritrova a pochi metri di profondità e verso ovest arriva a -250 m nel sottosuolo di Grado e a più di -600 m nei pressi di Latisana.

I sedimenti di origine naturale sono costituiti pertanto da litotipi a granulometria variabile tra le ghiaie e le sabbie medie anche se non mancano limitati interstrati di sedimenti fini limo argillosi o argillosi a volte organici. Gli strati sono frequentemente in rapporti eteropici e con caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche variabili nelle tre dimensioni.





**Figura 8** Schema dei sistemi deposizionali della Pianura Veneta Friulana.



**Figura 9** Schema idrogeologico dell'alta e media Pianura.

Da un punto di vista idrogeologico, l'area d'intervento è posta a meridione dalla linea delle risorgive ove l'acquifero freatico si suddivide in un complesso multifalda caratterizzato da livelli ghiaioso-sabbiosi variamente intercalati a depositi argillosi sempre più frequenti e più potenti.

Tale zona della pianura è come già detto costituita da potenti depositi ghiaioso-sabbiosi molto permeabili, sede di una falda freatica che presenta una soggiacenza di almeno 5 ÷ 6 m metri e la cui alimentazione è dovuta alle precipitazioni atmosferiche ed alle dispersioni dei numerosi corsi d'acqua che attraversano la pianura, ai deflussi sotterranei, ed a volte anche, e non subordinatamente, ai deflussi provenienti dalle falde profonde.

Pertanto se a cavallo della fascia delle risorgive si hanno una modesta falda freatica superficiale e alcune falde in pressione, collegate verso monte con l'acquifero freatico, a valle della Linea delle risorgive la falda freatica non è più presente con continuità, non essendoci depositi sufficientemente permeabili negli strati superficiali. Tutta questa zona è così caratterizzata dalla presenza di sistemi multifalda artesiani che subiscono una generale diminuzione di potenza e di permeabilità procedendo da nord verso sud e da est verso ovest.

Dall'analisi dello schema idrogeologico del sottosuolo della bassa pianura friulana sono individuabili una falda freatica, ove presente, ed in generale una sequenza di sette falde artesiane "superficiali" comprese tra 30 e 300 metri di profondità e, per quanto noto, tre falde "profonde" comprese tra 400 e 600 metri di profondità. Tale situazione non è sempre riscontrabile nel sottosuolo della bassa pianura in quanto le caratteristiche litostratigrafiche mutano sia arealmente che verticalmente, tanto verso nord quanto verso est ed ovest.

#### **4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO**

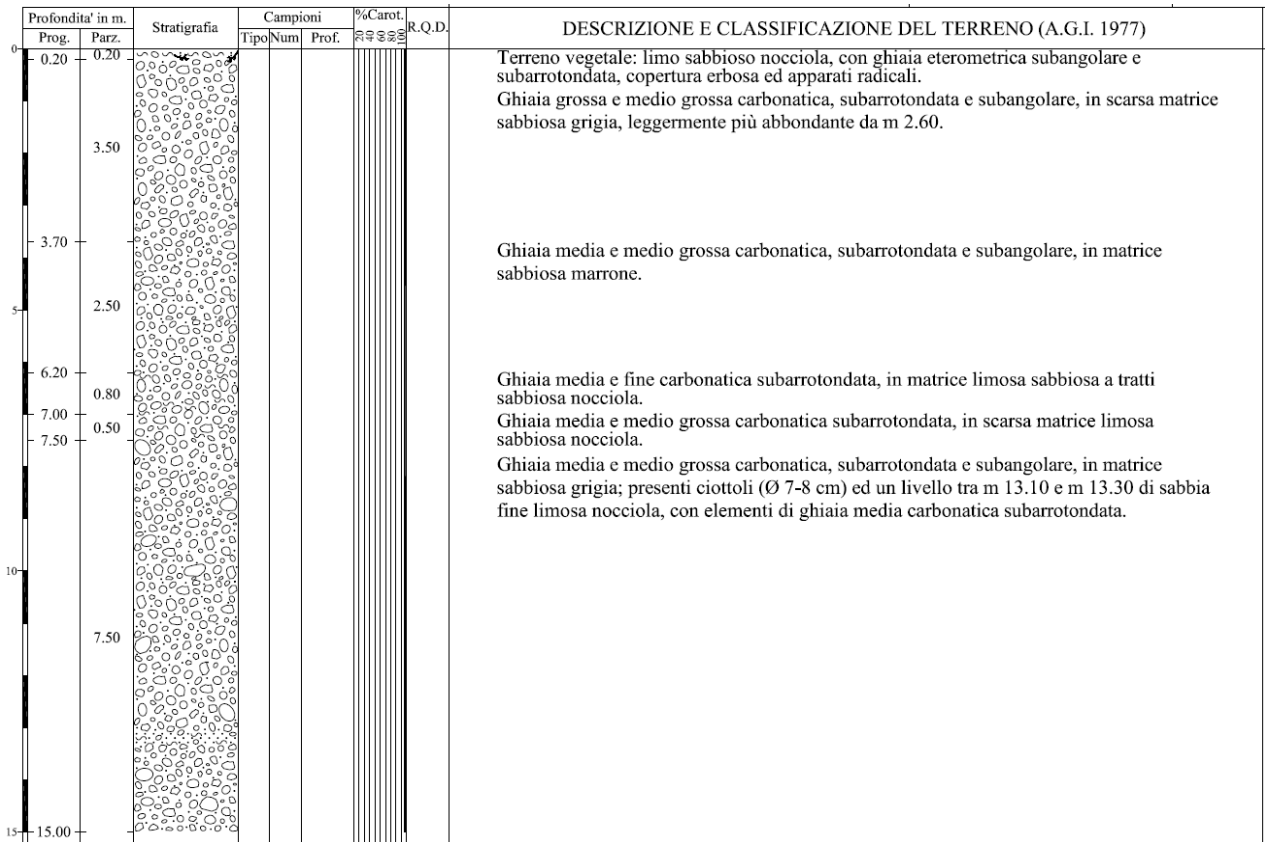
Dall'analisi dei risultati dell'indagine geognostica condotta nell'ambito della progettazione della variante in cavo interrato all'elettrodotto a 132 kV "Schiavetti - Redipuglia", può essere come di seguito schematizzata la stratigrafia del terreno.

Dal piano campagna fino a profondità variabile tra -0,10 m e -1,30, è presente terreno "vegetale" con sabbie fini limose nocciola contenenti ghiaia medio grossa e resti vegetali seguito da materiali granulari costituiti da sabbie fini e medie nocciola con rari elementi di ghiaia media. I valori di Nscpt risultano variare nel primo 0,60 m tra 30 e 60 colpi/piede a cui è possibile associare valori dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  di  $38^\circ \div 39^\circ$ .

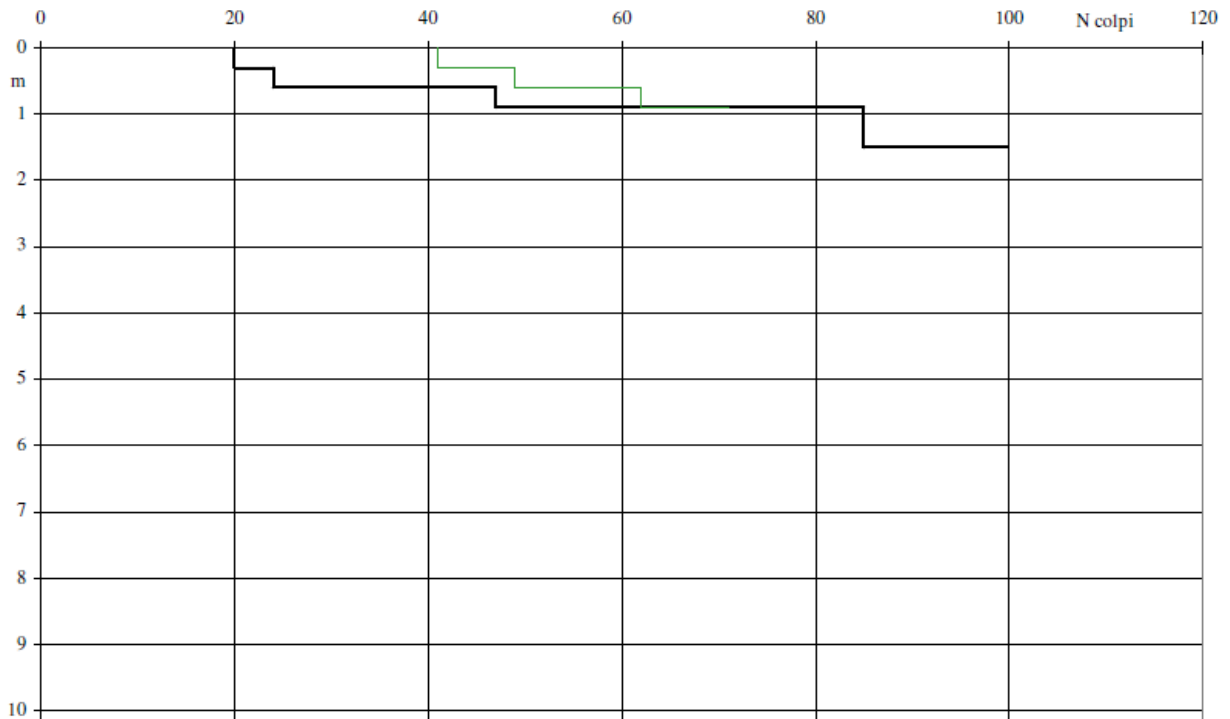
Da -0,10 ÷ -1,30 fino a -30,00 m (massima profondità d'indagine) si individua un potente banco di ghiaia da medio fine a grossa da densa a molto densa in matrice sabbiosa, contenente a tratti livelli decimetrici a matrice limoso sabbiosa e spesso ciottoli poligenici dispersi, si rinvengono localmente isolati livelli cementati.

L'andamento con la profondità del numero di colpi delle prove penetrometriche dinamiche (Nscpt) si limita ad 1,00 ÷ 1,50 m dalla superficie, profondità massima entro la quale è sempre stato raggiunto il rifiuto strumentale con valori di Nscpt crescenti da 70 ÷ 90 colpi/piede a > 100, ad indicazione per tali materiali di valori dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  maggiori di  $40^\circ$ .

# RELAZIONE IDRAULICA VERIFICA A SIFONAMENTO DEGLI ARGINI DEL FIUME ISONZO



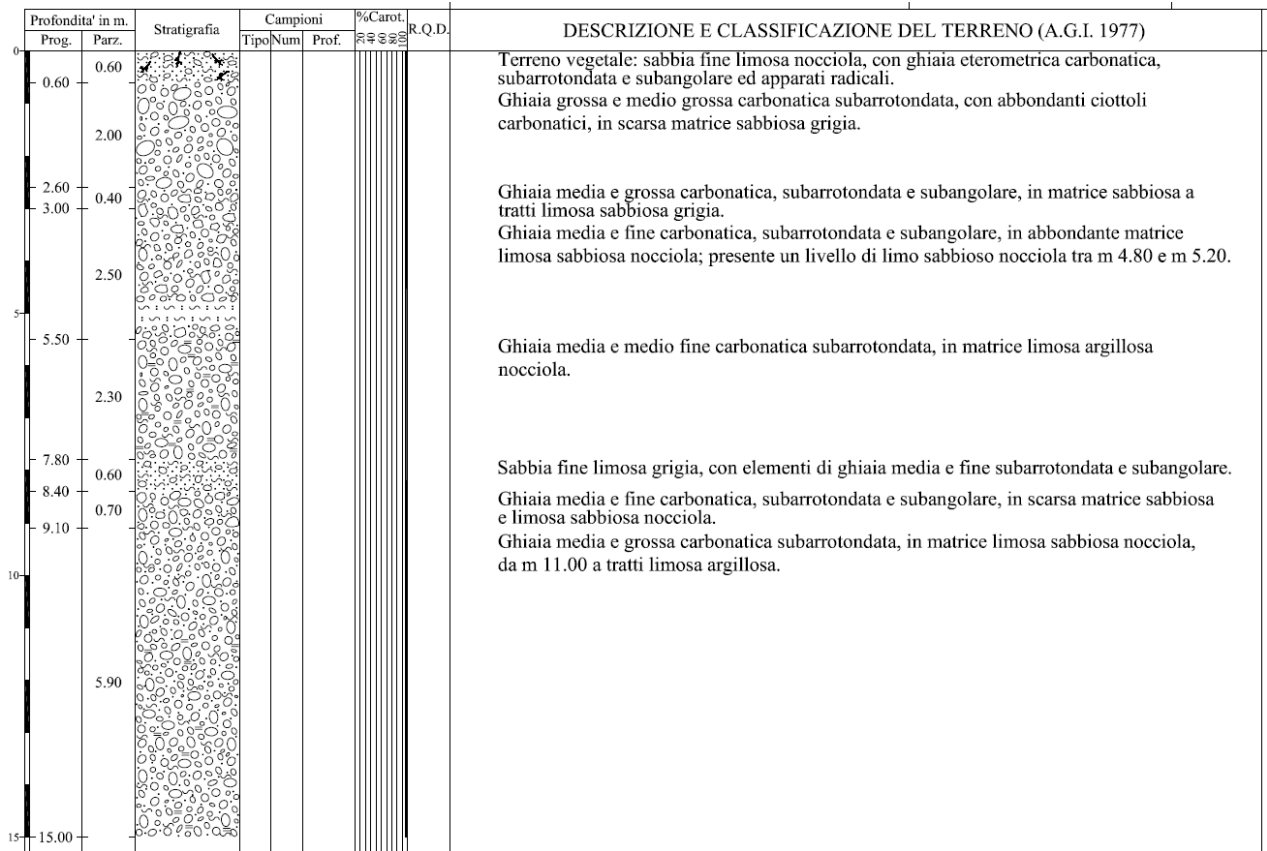
**Figura 10** Stratigrafia del terreno in prossimità dell'argine in destra idrografica del fiume Isonzo.



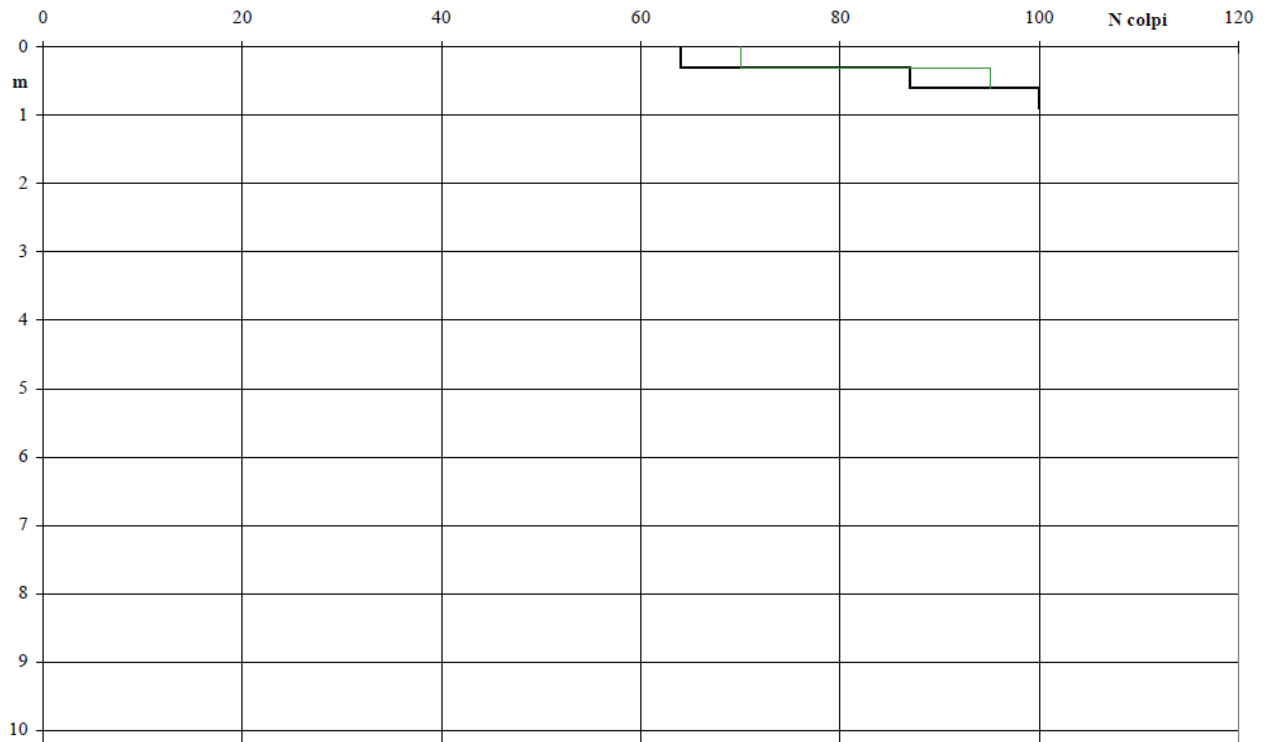
**Figura 11** Risultati della prova SCPT eseguita in prossimità dell'argine in destra idrografica del fiume Isonzo.



# RELAZIONE IDRAULICA VERIFICA A SIFONAMENTO DEGLI ARGINI DEL FIUME ISONZO



**Figura 12** Stratigrafia del terreno in prossimità dell'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo.



**Figura 13** Risultati della prova SCPT eseguita in prossimità dell'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo.

## 5 DESCRIZIONE DELLE OPERE

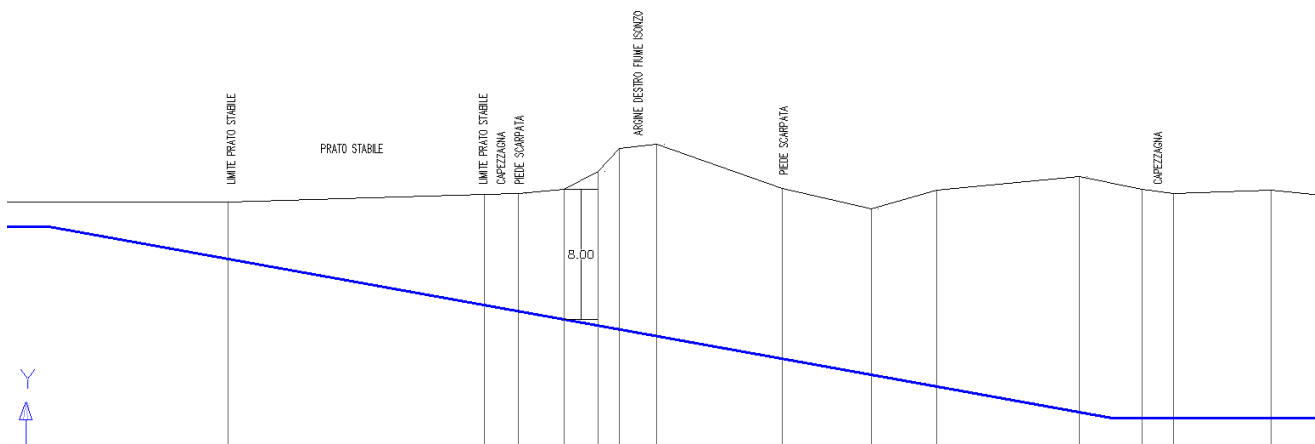
I lavori in oggetto sono necessari per consentire la realizzazione della variante all'elettrodotto a 380 kV "S.E. Planais – S.E. Redipuglia", evitando in tal modo l'incrocio tra i due elettrodotti in più punti e allontanando parzialmente l'elettrodotto a 132 kV dall'abitato di San Pier d'Isonzo.

La prima metà del tracciato si sviluppa all'interno del letto del fiume Isonzo: l'attraversamento sarà realizzato tramite Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) e avrà una lunghezza complessiva di 1025 m circa (da argine ad argine), suddiviso in tre parti: a partire dall'argine in destra idrografica, il primo sarà lungo circa 265 m, il secondo circa 560 m e il terzo circa 250 m. Tra un tratto e l'altro sarà realizzato o un pozzo per la ripresa del cavo o una buca giunti.

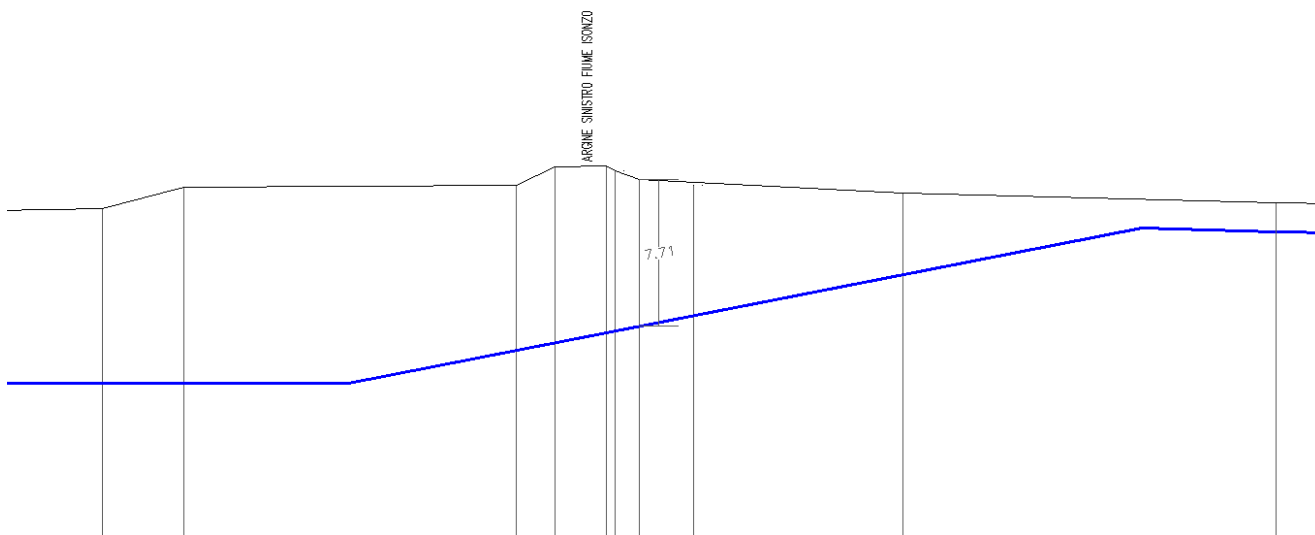
La profondità alla quale è posato il cavo sotto agli argini è di circa 8,00 m, mentre al di sotto del letto del fiume sarà di circa 9,00 m.



**Figura 14** Corografia del nuovo elettrodotto interrato.



**Figura 15** Indicazione della profondità di attraversamento dell'argine in destra idrografica del fiume Isonzo.



**Figura 16** Indicazione della profondità di attraversamento dell'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo.

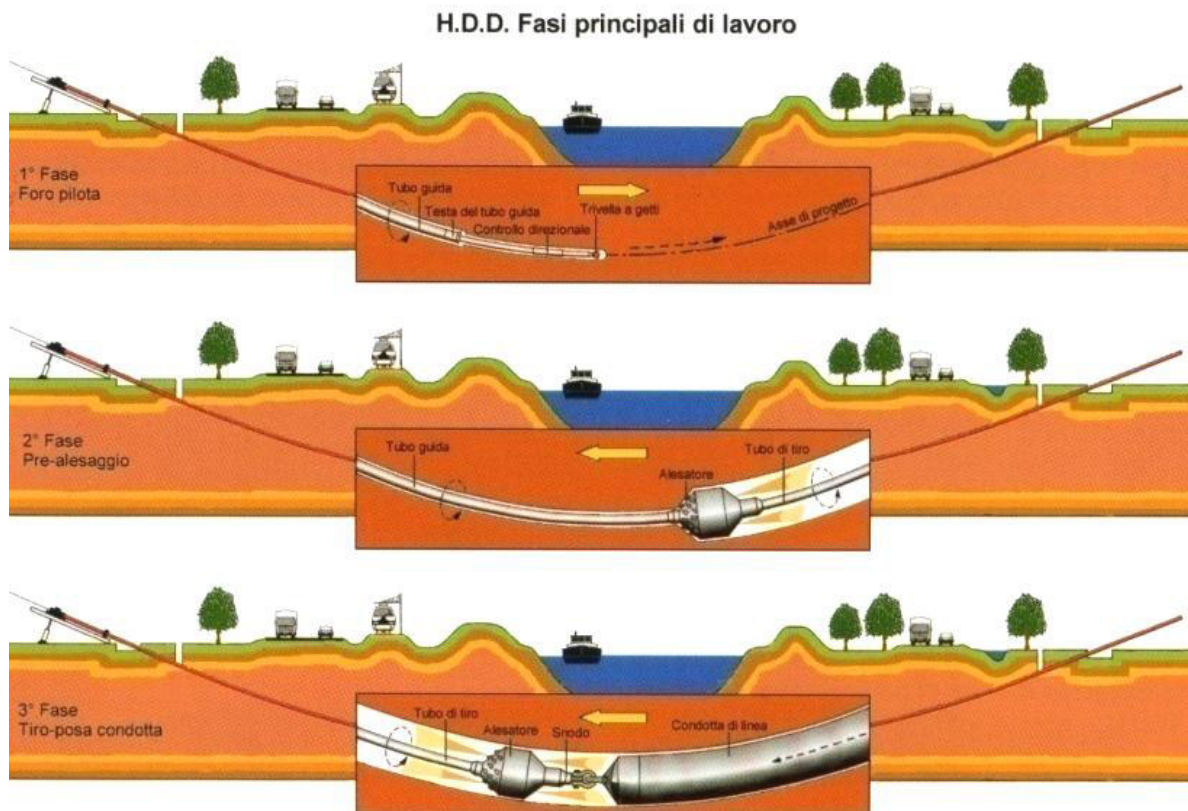
### 5.1 DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA TOC

Per l'attraversamento degli argini del fiume Isonzo è previsto l'utilizzo della tecnica della trivellazione orizzontale controllata (TOC), in modo tale da non manomettere con scavi la stabilità degli argini stessi.

Il procedimento impiegato con metodologia TOC, nella maggioranza degli attraversamenti, consta di tre fasi principali.

- 1) perforazione pilota: esecuzione di un foro pilota di piccolo diametro lungo un profilo prestabilito;
- 2) alesatura: allargamento di questo foro pilota fino ad un diametro tale da permettere l'alloggiamento della tubazione;
- 3) tiro-posa: varo della tubazione all'interno del foro.

Durante tutte le tre fasi viene utilizzato il fango di perforazione opportunamente dosato in base al tipo di terreno. Le sequenze operative riportate sotto mostrano schematicamente le tre fasi principali.



**Figura 17** Fasi tipiche per la realizzazione di un attraversamento di un corso d'acqua.



## 6 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Si riportano di seguito alcune immagini della zona di intervento al fine di una migliore comprensione dell'opera.



**Figura 18** Area esterna all'argine in destra idrografica del fiume Isonzo da cui partirà la TOC.



**Figura 19** Argine in destra idrografica del fiume Isonzo.





**Figura 20** Parte interna all'argine in destra idrografica del fiume Isonzo.



**Figura 21** Parte interna all'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo.





**Figura 22** Argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo.



**Figura 23** Area esterna all'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo in cui terminerà la TOC.

## 7 VERIFICA A SIFONAMENTO DEGLI ARGINI

Il sifonamento di un argine consiste nella progressiva asportazione del materiale che costituisce l'argine a causa dell'effetto erosivo dei moti filtranti dovuti all'innalzamento dei livelli idrici in alveo, dovuti al passaggio di una piena. Quando la differenza tra il carico idraulico nel fiume e quello del lato campagna non è dissipato dalle forze di attrito tra liquido e matrice solida del terreno, possono svilupparsi elevati gradienti idraulici a valle del rilevato. Se la forza di trascinamento dovuta all'elevato gradiente idraulico del moto di filtrazione supera il peso immerso del materiale sciolto che costituisce il terreno, questo può essere asportato dalla corrente.

Il calcolo del sifonamento di un argine si può fare utilizzando la formula di Bligh Lane, che permette di individuare il percorso più breve che l'acqua deve fare per portarsi da monte a valle attraverso il terreno:

$$L_f > c_w \cdot H$$

Dove:

- $L_f$  = linea di scorrimento;
- $c_w$  = rapporto critico di trascinamento (funzione del tipo di terreno);
- $H$  = dislivello tra pelo libero di monte e valle.

Nel caso in esame, avendo un terreno costituito da ghiaia da medio fine a grossa da densa a molto densa in matrice sabbiosa, si può assumere un valore di  $c_w$  pari a 4. Il dislivello massimo in corrispondenza dell'argine risulta pari a 3,0 m.

Terreno	Coefficiente C
Sabbia fine e limosa	8,5
Sabbia fine	7,0
Sabbia media	6,0
Sabbia grossa	5,0
Ghiaia fine	4,0
Ghiaia grossa con ciottoli	3,0
Massi con ciottoli e ghiaia	2,5
Argilla molle	3,0
Argilla media	2,0
Argilla compatta	1,8
Argilla molto compatta	1,6

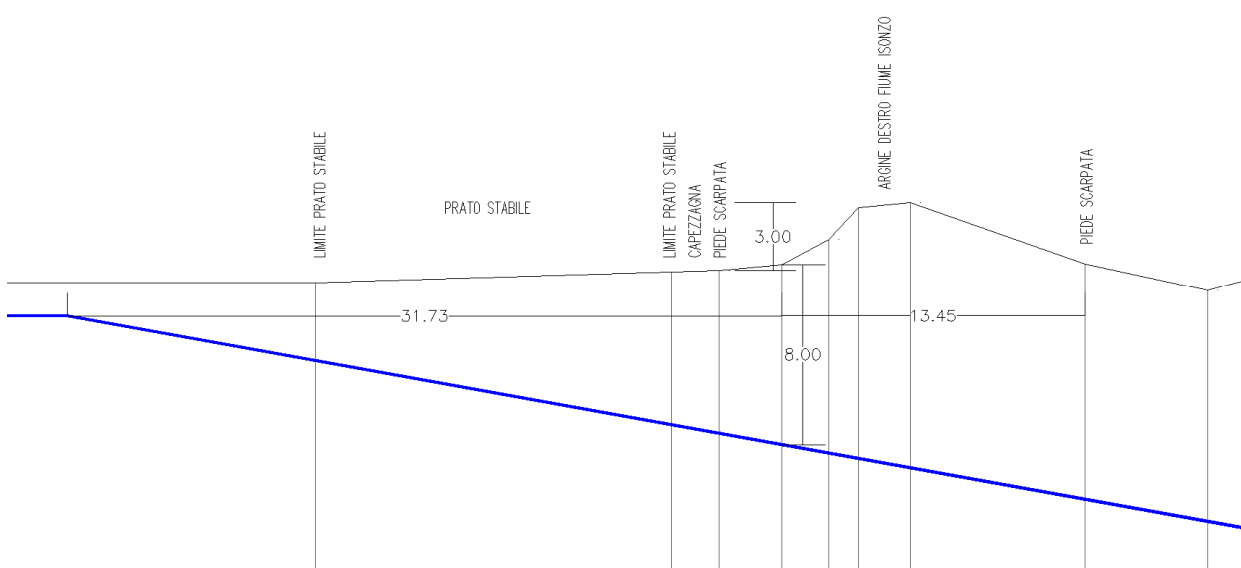
**Tabella 1** Valori di  $c_w$  per diversi tipi di terreno

La lunghezza del percorso più breve che l'acqua compie risulta dunque pari a:

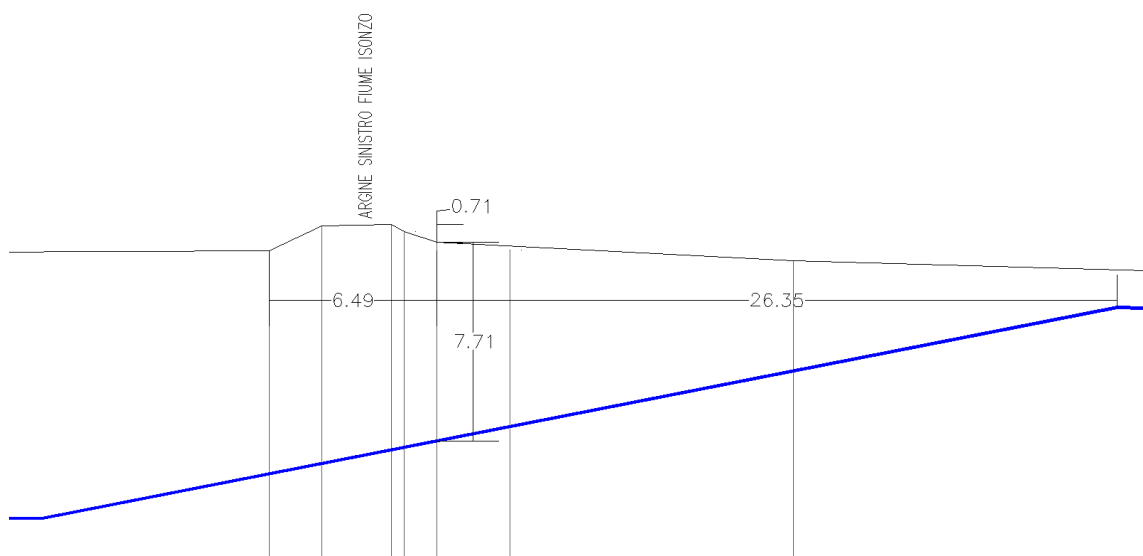
$$L = 3 * 4 = 12,00 \text{ m}$$

Il percorso in cavo della nuova trivellazione risulta ben più lungo di 12,00 . L'acqua ha perciò un moto di filtrazione più superficiale rispetto alla trivellazione che è posta a circa 8,00 m di profondità dall'argine.

La trivellazione orizzontale, che non sarà realizzata a livello del piano campagna, non risulta dunque essere una via preferenziale di percorrenza per le acque durante gli eventi di piena e quindi non aumenta il rischio di sifonamento.



**Figura 24** Larghezza dell'argine in destra idrografica del fiume Isonzo e dislivello massimo tra pelo libero di monte e valle.



**Figura 25** Larghezza dell'argine in sinistra idrografica del fiume Isonzo e dislivello massimo tra pelo libero di monte e valle.



## 8 BIBLIOGRAFIA

- *Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali - Bacino del fiume Isonzo* - Autorità di Bacino dell'Adige e dell'Alto Adriatico;
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione* - Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave e Brenta-Bacchiglione;
- *Piano Regolatore Generale Comunale* - Comune di Villesse;
- *Piano Regolatore Generale Comunale* - Comune di San Pier d'Isonzo;
- *Studio del fenomeno del sifonamento nei rilevati arginali* - E. Gaspari, A. Fiori, A. Cappelli, G. Calienda;
- *Caratterizzazione dei fluidi di perforazione per l'impiego della Horizontal Directional Drilling (HDD)* - Tesi di Laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio - Università di Bologna.

Il tecnico Dott. Ing. Lino Bettiol



ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI TREVISO  
A 727  
ING. LINO BETTIOL

## DOCUMENTI DI RIFERIMENTO:

- **ATTRAVERSAMENTO FIUME ISONZO - DVCR11014CGL50024**