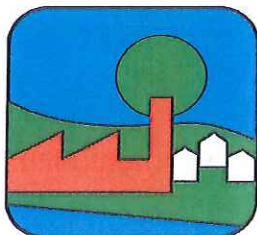


PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO



PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI RISTRUTTURAZIONE DEL CAVO DIOTTI IN COMUNE DI MERONE (CO)

DICEMBRE 2011

UN DIRETTORE TECNICO
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
FIRMA DEL PROGETTISTA
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
CALCOLI IDRAULICI
Dott. Ing. NOEMI MARIA COLOMBO

	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	D. Battaglia		
VERIFICA	N.M. Colombo		
APPROVAZIONE	G.B. Peduzzi		

ETATEC S.R.L.
SOCIETA' DI INGEGNERIA



AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001:2008
SICV - SC 06-647/EA 34

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: etatec@etatec.it

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Revisioni	N°	Descrizione			Data
	1				
	2				
	3				
Numero elaborato	TIPOLOGIA PE	COMMESSA 365/02	DOCUMENTO ED	NUMERO A.02.02	

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	3
RELAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA.....	4
INDAGINI GEORADAR SU STRUTTURA MURARIA.....	39

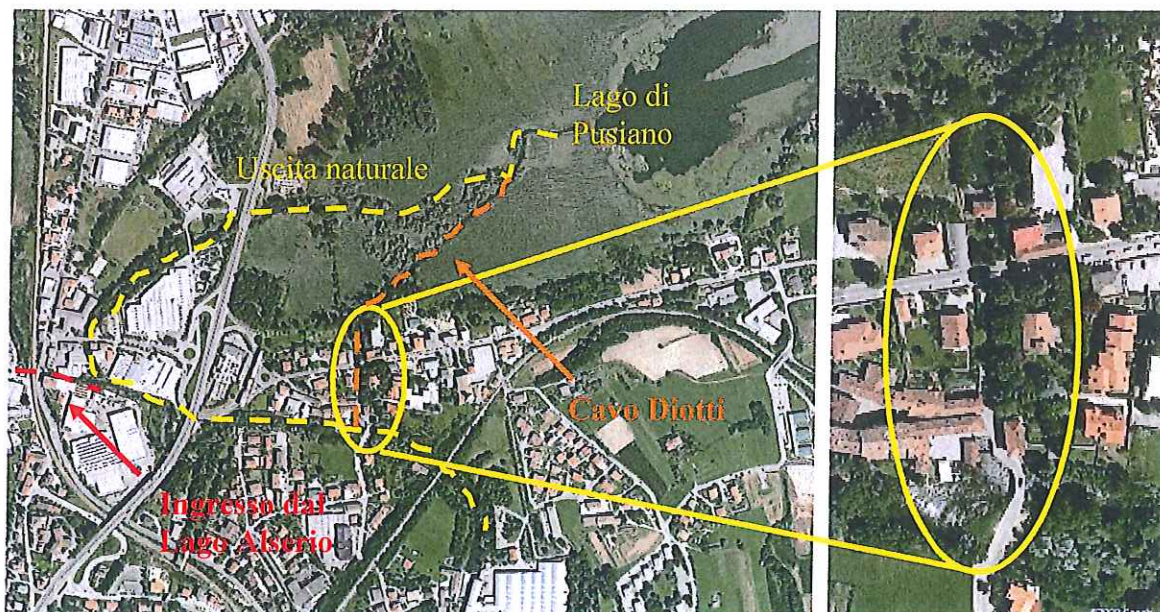
RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

1. PREMESSA

L'uscita del lago di Pusiano è caratterizzata da un ramo naturale, il Lambro, ed un ramo antropico del diciannovesimo secolo, il Cavo Diotti, che si uniscono nel nodo di confluenza in loc. Stallo. Nel tempo si è dimostrato come la regolazione del manufatto Cavo Diotti offre un'ottimizzazione dei fenomeni di accumulo e laminazione che naturalmente si realizzano nel lago di Pusiano. I benefici di questa regolazione si ripercuotono nell'intero sistema di valle, oltre che a garantire il controllo del livello del lago affinché non superino le quote di sicurezza (Pusiano).

Da qui nasce l'esigenza di ristrutturare il Cavo Diotti e quindi l'incarico affidato in data 18 marzo 2009, presso la sede del Parco Valle del Lambro (via Vittorio Veneto, 19, Triuggio MI), per la progettazione definitiva, esecutiva e alla direzione lavori delle "Opere di ristrutturazione del Cavo Diotti". Il progetto definitivo è stato consegnato nel luglio 2009, esaminato dagli enti competenti che hanno espresso i propri pareri e prescrizioni in sede di Conferenza dei Servizi, tenutasi presso il palazzo della Regione Lombardia il 31 marzo 2011.

Figura 1.1 – Immagine satellitare delle uscite del lago di Pusiano, particolare del Cavo Diotti



La relazione geologica-geotecnica si inserisce nell'ambito della "Progettazione esecutiva delle Opere di ristrutturazione del Cavo Diotti in comune di Merone (CO)" con l'obiettivo di definire gli elementi geologici e geotecnici dell'area di intervento.

Alcune prove in prossimità della Casa di Guardia erano state eseguite in fase preliminare e definitiva dall'incaricato Dott. Geol. Daniele Battaglia, a cui si sono aggiunte ulteriori prove a tergo del Cavo in fase Esecutiva.

Tra le prove aggiunte vi sono inoltre le indagini georadar sulla struttura del tombotto e sul terreno a tergo dello stesso, al fine di verificarne lo stato e la presenza di eventuali vuoti. Le indagini specifiche del caso sono state redatte da Dott. Gianluca Ascari, Akron – servizi per ingegneria geologia ambiente.

Come nelle precedenti fasi, anche nel presente progetto Esecutivo si assumono gli elaborati dei detti Professionisti incaricati.

2. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Nell'area oggetto di intervento sono state eseguite preventive prove geotecnica-geologiche per la complessità dell'opera stessa e per l'importanza degli scavi da eseguire. Per tale motivo, le aree in cui si effettueranno scavi e demolizioni, si deve operare nel seguente modo:

- i manufatti presenti devono essere gestiti come rifiuti speciali e, quindi, devono essere allontanati dal cantiere con apposito formulario, una volta attribuito il codice CER, e conferiti a discarica autorizzata o a impianto di trattamento;
- i terreni naturali, come si evince dalla relazione Geologica, non hanno buone caratteristiche tali da giustificare il riutilizzo in sito e sono pertanto da considerare come rifiuto da destinare a discarica.

Resta inteso che l'impresa è in ogni caso tenuta a comunicare alla DL eventuali anomalie rilevate durante le operazioni di scavo (presenza di terreni con colorazione o odore non naturale, presenza rifiuti sepolti ecc.) ed a effettuare tutte le procedure di legge per l'allontanamento di tali materiali.

Si prevede in questa fase di progettazione, lo smaltimento dei rifiuti a discarica attraverso mezzi autorizzati.

Milano, dicembre 2011

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

Ha collaborato

Dott. Ing. Noemi Maria Colombo






PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO

**OPERE DI RISTRUTTURAZIONE DEL CAVO DIOTTI
COMUNE DI MERONE (CO)**

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

Data: 02-12-11	Commessa: co03-09	Documento: R02-03-09
	<p>Studio Dott. Geol. Daniele Battaglia Via Stelvio 20 20844Triuggio (MB)</p> <p>Tel/Fax: 0362-997695; Cell: 335-7069973 Email: dbattaglia@georisk.it Codice Fiscale: BTT DNL 68L18 B729Z Partita IVA: 02935280962</p>	 

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTAZIONE CONSULTATA	6
3	INQUADRAMENTO GENERALE	7
3.1	Cenni sulla realizzazione del Cavo Diotti	8
3.2	Evoluzione antropica	8
4	ASSETTO GEOLOGICO	13
5	ASSETTO IDROLOGICO	16
6	ASSETTO IDROGEOLOGICO	17
7	RISCHIO IDROGEOLOGICO	18
8	RISCHIO SISMICO	20
9	INDAGINI GEOGNOSTICHE	24
9.1	Indagini progetto preliminare	24
9.2	Indagini progetto definitivo	24
9.3	Indagini progetto esecutivo	26
10	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	29
11	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	31
12	CONCLUSIONE	34

TAVOLA 1: Carta Geologica e Sezione Geotecniche

1 INTRODUZIONE

Lo scopo della relazione riguarda la valutazione delle condizioni geologiche e geotecniche dei terreni di fondazione per la progettazione esecutiva delle opere di ristrutturazione del Cavo Diotti in Comune di Merone (CO).

L'area d'intervento è evidenziata dal riquadro rosso in Figura 1.

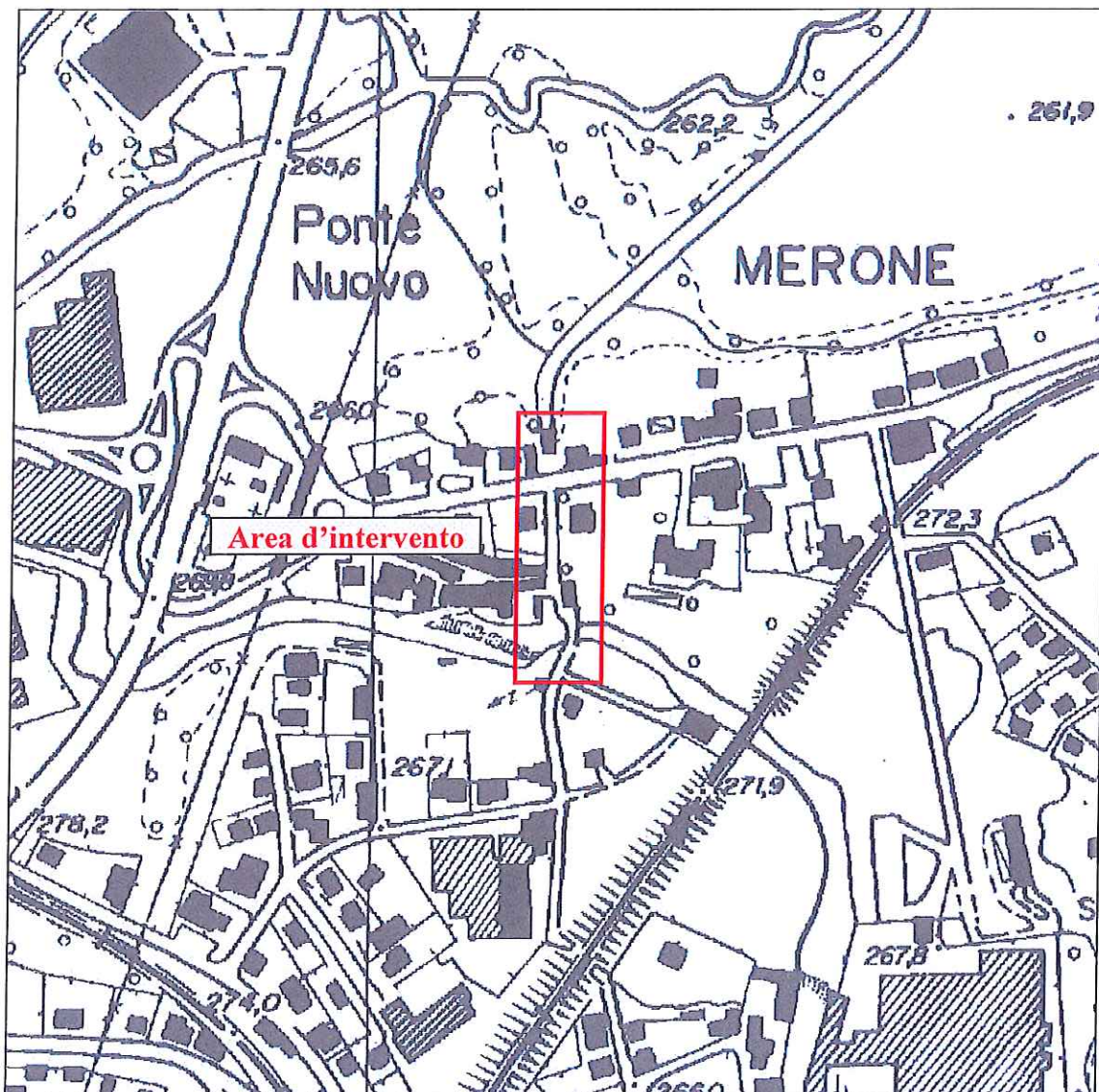


Figura 1: inquadramento opere in progetto su CTR B4c5, scala 1:5000.

Gli interventi prevedono la sostituzione delle paratoie attualmente esistenti con la costruzione di una tura temporanea a monte della "Casa del Camparo", nonché la realizzazione di un piazzale al di sopra dell'imbocco del Cavo Diotti, immediatamente a monte della strada comunale (Via Appiani).

Presso l'imbocco sud, si prevede invece la sistemazione della riva destra del Lambro, immediatamente a monte del Ponte di Via Croce, tramite realizzazione di una scogliera/muro.

Di seguito vengono riportati gli stralci delle tavole fornite dal progettista.

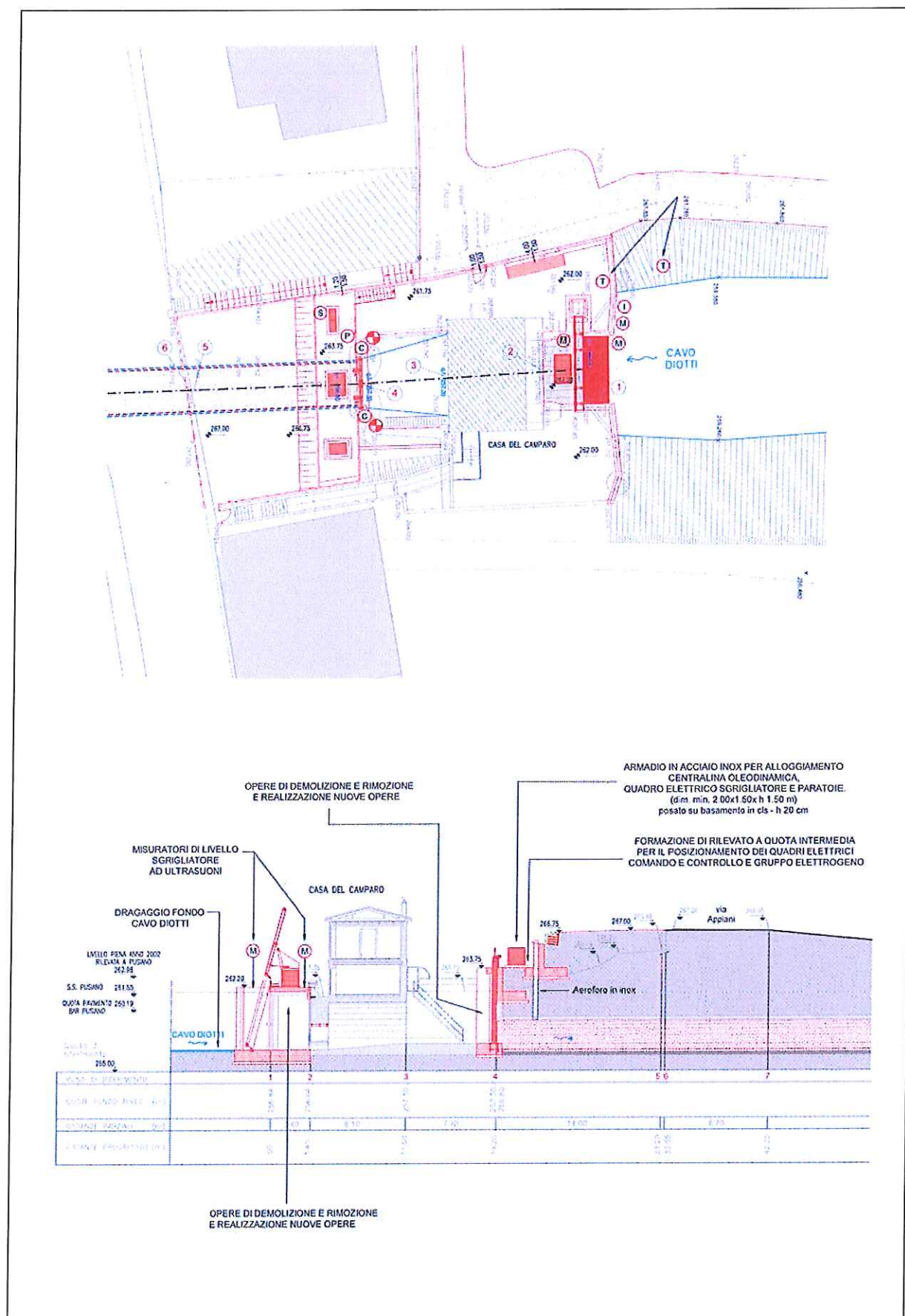


Figura 2: Interventi imbocco nord, dalla tavola "Planimetrie, sezioni e profilo longitudinale – Area d'intervento – Opere in progetto" redatta dai progettisti.

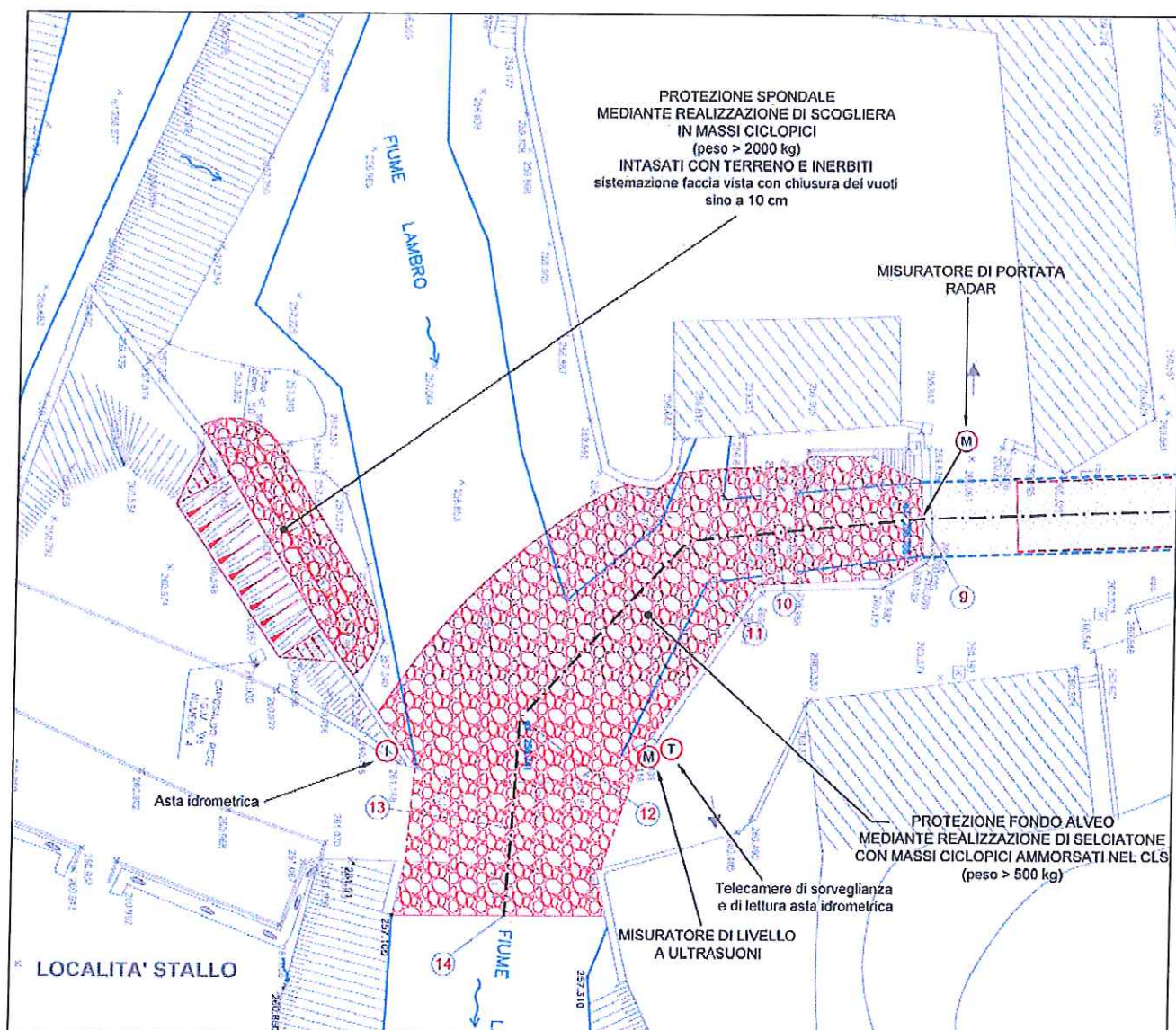


Figura 3: Interventi imbocco sud, dalla tavola "Planimetrie, sezioni e profilo longitudinale – Area d'intervento – Opere in progetto" redatta dai progettisti.

Nell'ambito della perizia sono state effettuate le seguenti attività:

- revisione del materiale bibliografico disponibile;
- revisione dei dati dell'indagine georadar e relativi carotaggi eseguita sul Cavo Diotti
- revisione della stratigrafia del nuovo sondaggio geognostico con installazione di un piezometro eseguito presso la sezione di imposta delle paratoie;
- redazione della seguente relazione geologica-geotecnica, con identificazione delle problematiche di geologia applicata che potranno interessare le opere in progetto.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

L'esecuzione delle indagini e la stesura della relazione con i rispettivi allegati tecnici, sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

- “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, D.M. 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04 febbraio 2008;
- Testo aggiornato al 5/10/99 della Legge 11/02/94 n. 109 “Legge quadro in materia di lavori pubblici”, denominata Merloni ter e regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici, ai sensi dell'art. 3 della Legge 11/02/94, n. 109 e successive modifiche;
- D.M. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e le rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e successive istruzioni;
- Ordinanza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n°3274: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche.

Inoltre è stata eseguita una ricerca bibliografica mirata alla identificazione di materiale utile per approfondire le caratteristiche specifiche dell'area in esame. La documentazione reperita consiste in:

- Progetto Preliminare per la Sistemazione del Fiume Lambro a Monte di Villasanta, redatto conto della Regione Lombardia dallo Studio Paoletti nel 1999;
- Piano Territoriale di Coordinamento del Parco Regionale della Valle del Lambro, adottato con Delibera della Giunta Regionale n. 7/601 del 28/07/00;
- Carta Geologica d'Italia n. 32, Como, scala 1:100.000 e nota illustrativa;
- Studio geologico di supporto alla 3° variante del Piano Regolatore Comunale ai sensi della LR 41/97, redatto nel 1999 dal Dott. Geol. Riccardo Cortina;
- “Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo di Territorio in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 Marzo 2005, n°12”, redatta dalla REA nel Settembre 2008.
- “Relazione geologica a supporto della progettazione preliminare” – R01-20-05, redatta dallo scrivente per il Comune di Merone nell'ambito dell'Accordo di programma per il finanziamento, la progettazione e l'esecuzione di opere per la riduzione del rischio idrogeologico a tutela del centro abitato della frazione di Pontenuovo, in data 10 Febbraio 2006.
- “Relazione geologica a supporto della progettazione definitiva” – R01-03-09, redatta dallo scrivente per il Parco Valle Lambro sui soli interventi relativi al Cavo Diotti, con data 30 Luglio 2009.
- “Indagini georadar su struttura muraria – Cavo Diotti” eseguite da Akron s.r.l. nel Novembre 2011 per conto del Parco Valle Lambro.

3 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area in esame (Figura 1 e Figura 4) è collocata in Comune di Merone, nel tratto compreso tra il canale di adduzione delle acque del Lago di Pusiano al Cavo Diotti ed il Fiume Lambro, ad una quota compresa tra 255 e 267m s.l.m.

La zona si posiziona in corrispondenza del limite tra due settori con caratteristiche morfologiche ben distinte. Verso nord è presente un'area sub-pianeggiante prodotta dai depositi lacustri dei Laghi di Pusiano e Alserio, mentre verso sud si sviluppa una dorsale collinare orientata in senso Est-Ovest su cui è stato costruito l'abitato di Merone. La dorsale viene incisa da un ampio meandro del fiume Lambro.

Come visibile in Figura 4, fatta eccezione per i settori più prossimi ai corpi lacustri, la zona risulta nel complesso urbanizzata, con la presenza di numerosi insediamenti abitativi e industriali e di infrastrutture sia ferroviarie che stradali.

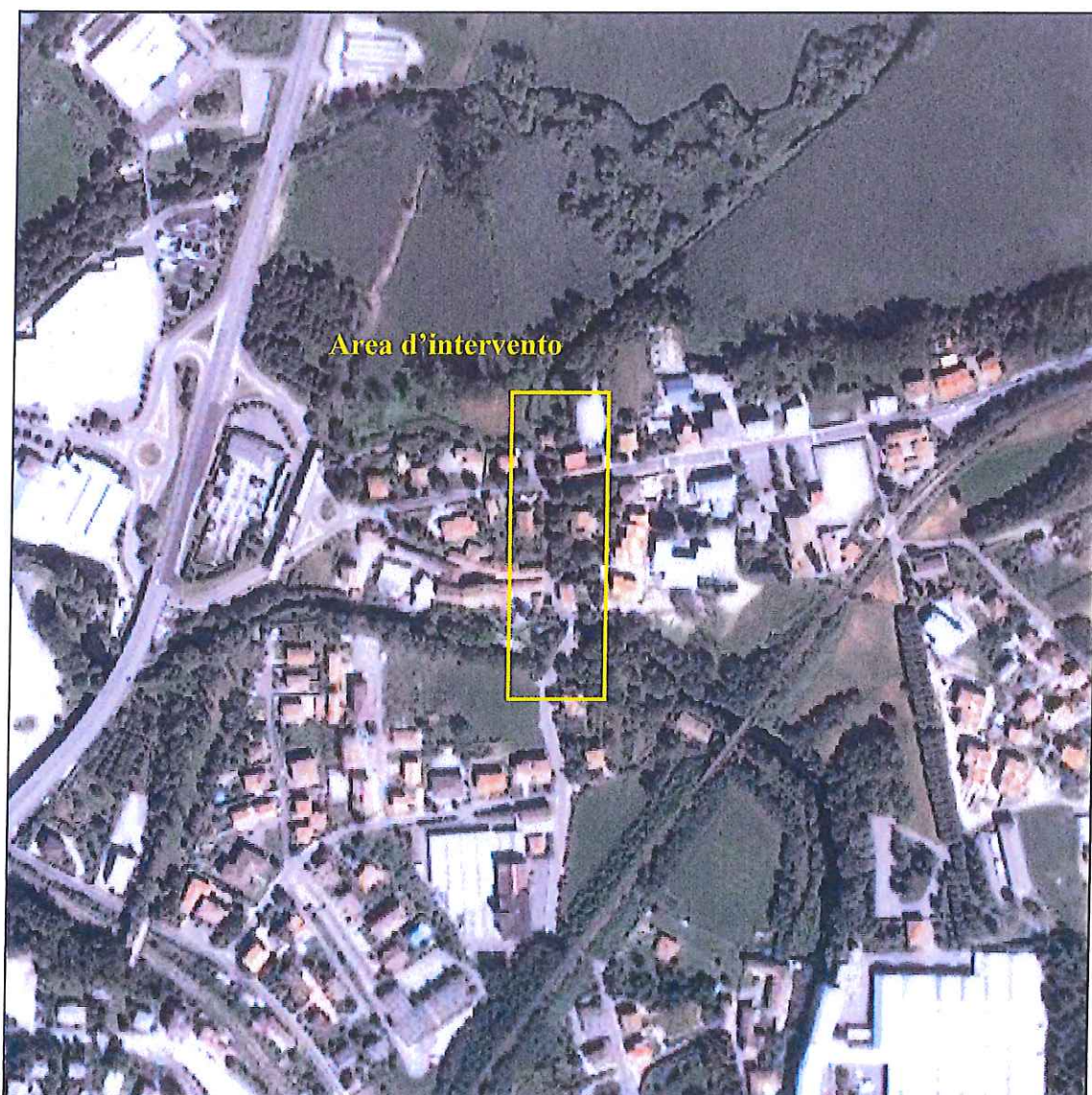


Figura 4: Inquadramento dell'area di intervento su ortofoto recente (Google Earth), scala 1:5000.

3.1 Cenni sulla realizzazione del Cavo Diotti

Il Cavo Diotti (o Cavo Reale) è una delle opere idrologiche più interessanti e travagliate costruite intorno al lago di Pusiano. L'opera prende il nome dal suo ideatore e sostenitore, l'avvocato Luigi Diotti. L'idea di costruire attraverso un canale un emissario artificiale del lago di Pusiano venne all'avvocato nel 1793, ma solo nel 1795 fu redatto il progetto.

Lo scopo dell'opera era quello di fornire l'acqua presa dal lago per il funzionamento dei mulini e per l'irrigazione dei terreni anche nei mesi in cui erano più frequenti le secche del fiume. A renderne difficile la costruzione furono, oltre alle fazioni opposte alla realizzazione, anche gli eventi storici. In quegli anni, infatti, erano presenti in Italia le truppe francesi (1796-97), cacciate dagli Austriaci nel 1799, e poi tornate nel 1800. Inoltre nel 1797 nacque la Repubblica Cisalpina, tra il 1802 ed il 1805 la Repubblica Italiana e, successivamente, il Regno d'Italia (1804-1814) creato da Napoleone.

Nel 1811 iniziarono i lavori, che consistettero nello scavo del canale, nella costruzione della casa del custode con le chiuse e dell'idrometro per la regolazione del deflusso delle acque, nella realizzazione del "Tombotto" che conduce le acque a sfociare nel Lambro.

Nel 1834 un decreto governativo ne decise la totale chiusura per sospette irregolarità nella gestione. Per più di quarant'anni il cavo Diotti rimase del tutto inutilizzato, finché nel 1876 si costituì una società fra i principali utenti del fiume Lambro che acquistò nel 1877 il lago di Pusiano e l'anno successivo presentò un progetto per la riapertura del cavo Diotti. La concessione della riapertura del Cavo Diotti avvenne con decreto ministeriale nel 1880. Da allora fino alla fine del XX secolo il canale rimase sempre in funzione, affidato alla sorveglianza di un custode e oggetto di periodiche manutenzioni per garantire un regolare deflusso delle acque.

I dati storici riportati sono stati tratti da "Il Lambro dal Pian d'Erba a Monza" di Antonio Molteni (http://www.memb.it/libro/libro_27.html) e da "Il Cavo Diotti o Cavo Reale a Merone" di L. R. (<http://www.lagocciabriantea.com/numeri/ottobre2006/cavo-diotti.htm>).

3.2 Evoluzione antropica

Al fine di verificare le condizioni morfologiche originarie e di valutare l'evoluzione antropica più recente è stata effettuata una ricostruzione storica delle attività presenti nell'area dal 1954 al 1994 attraverso la fotointerpretazione stereoscopica di fotogrammi aerei.

In particolare sono state esaminate le fotografie aeree relative agli anni 1954, 1975, 1980 e 1994.

Le foto relative all'anno 1954 (Volo GAI, strisciata 23, fotogrammi 1759 e 1760) sono riprese su pellicola pancromatica in bianco e nero ad una scala di circa 1:35.000. Nell'immagine ingrandita di Figura 5 si osserva l'esistenza della chiesa ad Ovest del Cavo Diotti e la presenza di un piazzale ad ovest ed uno ad est dell'area in esame, probabilmente associato alla costruzione di nuove abitazioni. L'attuale Via Croce, inoltre, è già esistente e risulta essere una strada sterrata. Nel suo insieme il fotogramma mostra che all'epoca le infrastrutture ferroviarie erano già presenti, mentre le zone urbanizzate erano limitate al centro di Merone, con le rimanenti aree adibite a coltivazione agricola.

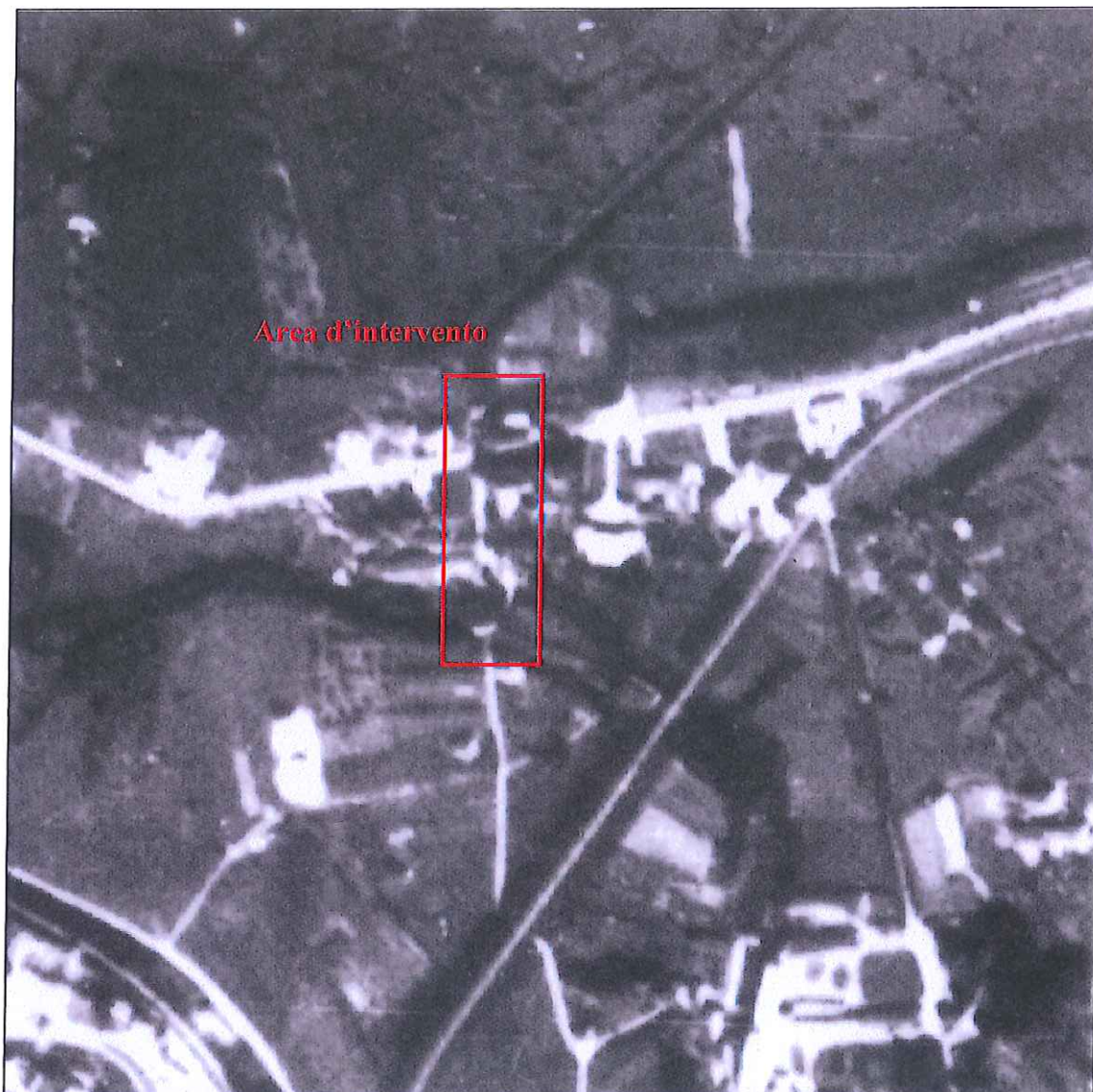


Figura 5: Dettaglio fotogramma n. 1759, strisciata 23, Volo GAI 1954

La situazione relativa al 1975 è raffigurata dalle foto di un volo eseguito dalla ditta Alifoto di Torino per conto della Regione Lombardia. I fotogrammi (strisciata 11, fotogrammi 3451-52-53) sono stati ripresi su pellicola pancromatica in bianco e nero ad una scala di circa 1:18.000 e un dettaglio di uno di essi è riprodotto in Figura 6. Nell'area dell'imbocco Nord, l'immagine mostra la presenza di due nuove abitazioni ad Ovest ed una ad Est del Cavo Diotti, dove nel fotogramma precedente erano stati osservati dei piazzali. Inoltre si osserva la costruzione della Strada Provinciale 41 e dello svincolo di Merone, realizzati in prossimità del cimitero.

Nei pressi dell'imbocco Sud, invece, è possibile osservare lo sviluppo di nuove abitazioni, ma, a causa della copertura vegetale, è difficile osservare l'area dell'alveo del Fiume Lambro e valutarne l'evoluzione rispetto alla situazione rappresentata nella foto del 1954.

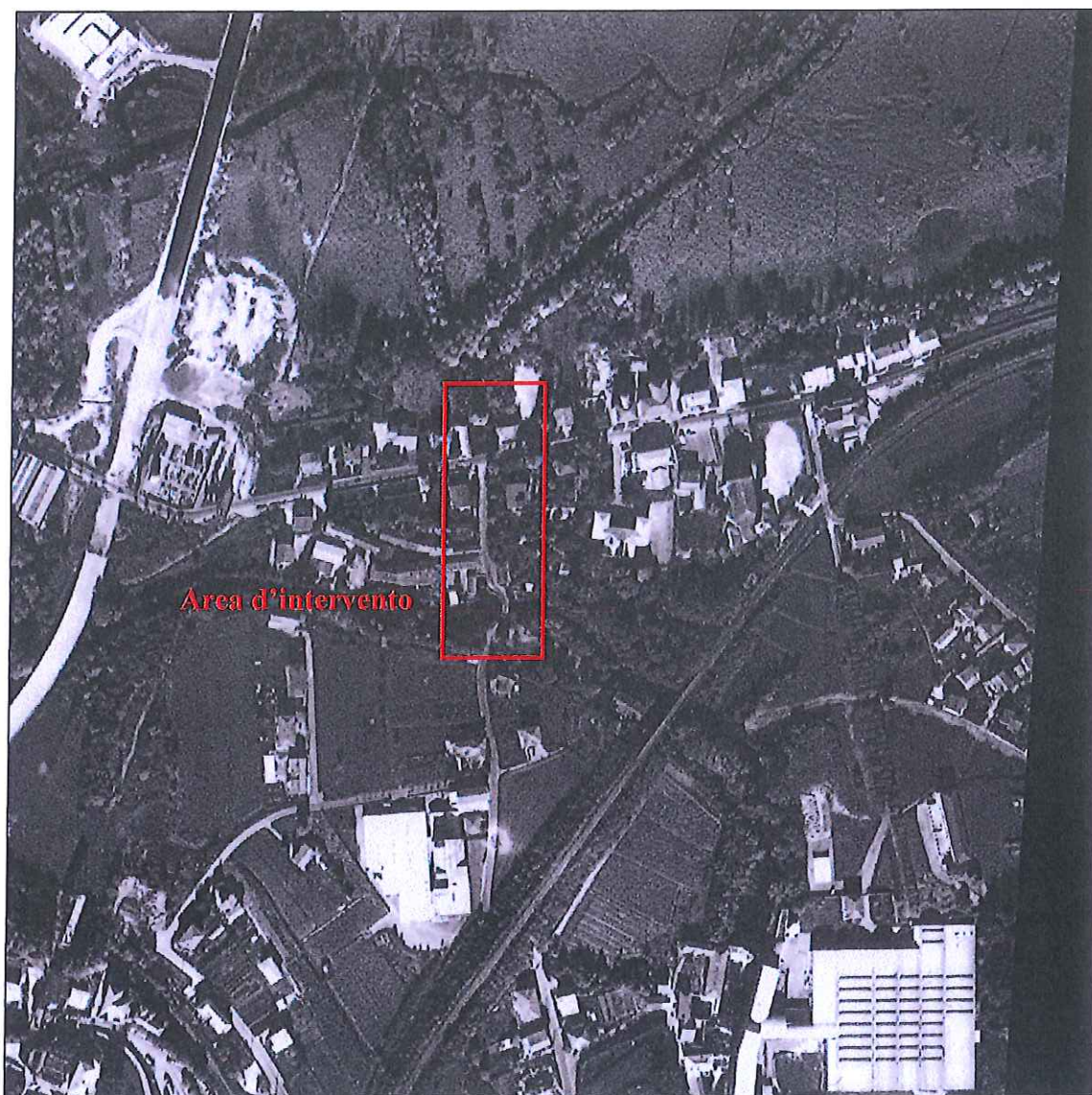


Figura 6: Dettaglio fotogramma n. 3451, strisciata 11, Volo Alifoto 1975

La situazione relativa al 1980 è raffigurata dalle foto di un volo eseguito dalla ditta CGR di Parma per conto della Regione Lombardia. I fotogrammi (strisciata 93a, fotogrammi 29-30) sono stati ripresi su pellicola pancromatica in bianco e nero ad una scala di circa 1:20.000 e un dettaglio di uno di essi è riprodotto in Figura 7. In prossimità dell'imbocco Nord non si osservano significativi cambiamenti rispetto alla precedente immagine, mentre a più grande scala si osserva la costruzione di una nuova zona industriale in un'area posizionata ad ovest della strada provinciale.

Nell'area di intervento dell'imbocco Sud, invece, è possibile osservare la realizzazione di una soglia in calcestruzzo, ubicata ad Ovest del ponte sul fiume, per la regolazione del flusso di piena del Lambro.

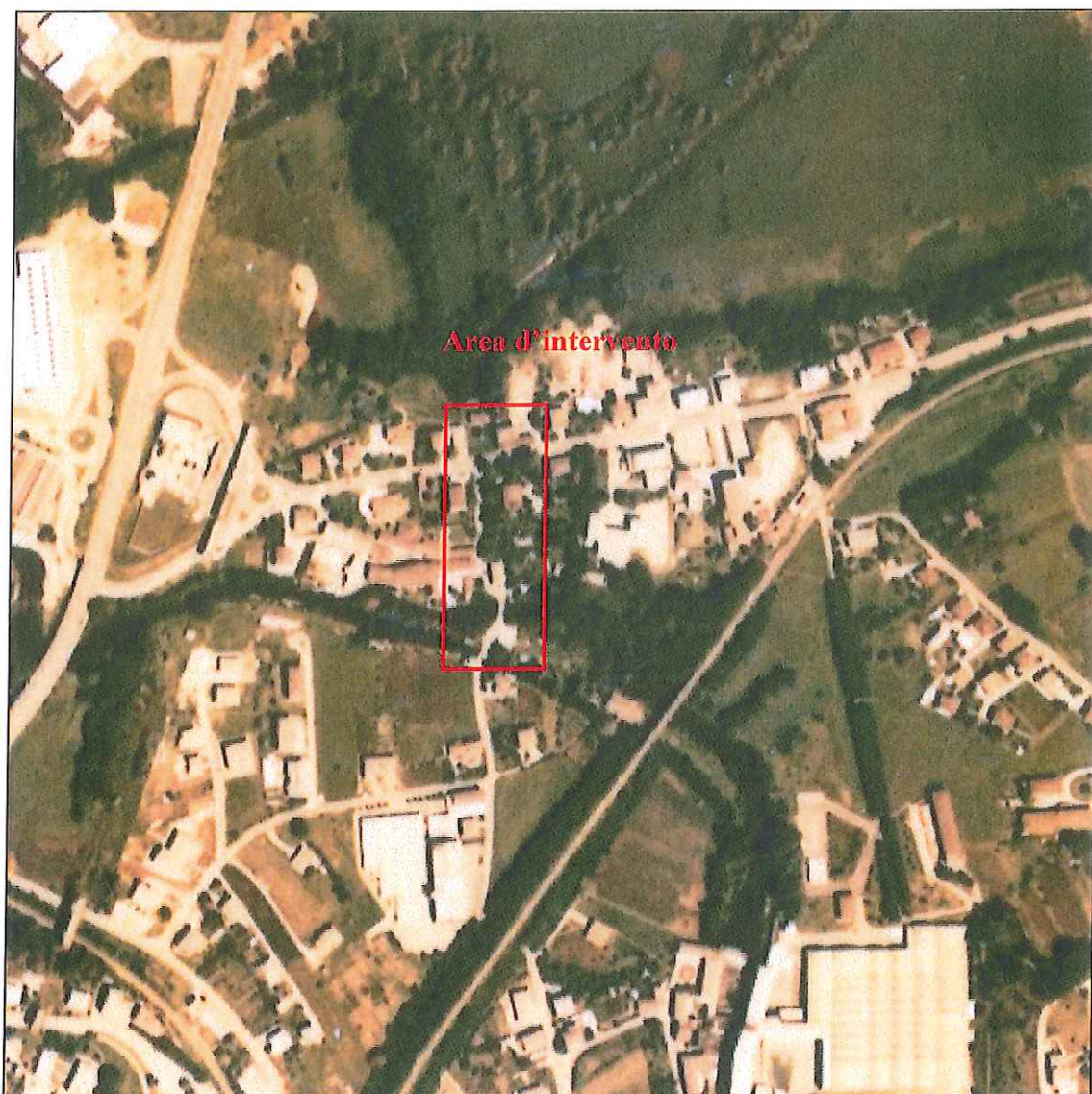


Figura 7: Dettaglio fotogramma n. 29, strisciata 93a, Volo TEM1 1980

La situazione relativa al 1994 è raffigurata dalle foto di un volo eseguito dalla ditta CGR di Parma per conto della Regione Lombardia. I fotogrammi (strisciata 14B, fotogrammi 8142-8143) sono stati ripresi su pellicola pancromatica in bianco e nero ad una scala di circa 1:30.000 e un dettaglio di uno di essi è riprodotto in Figura 8.

In prossimità dell'area d'intervento non si osserva alcun cambiamento rispetto alle precedenti immagini.

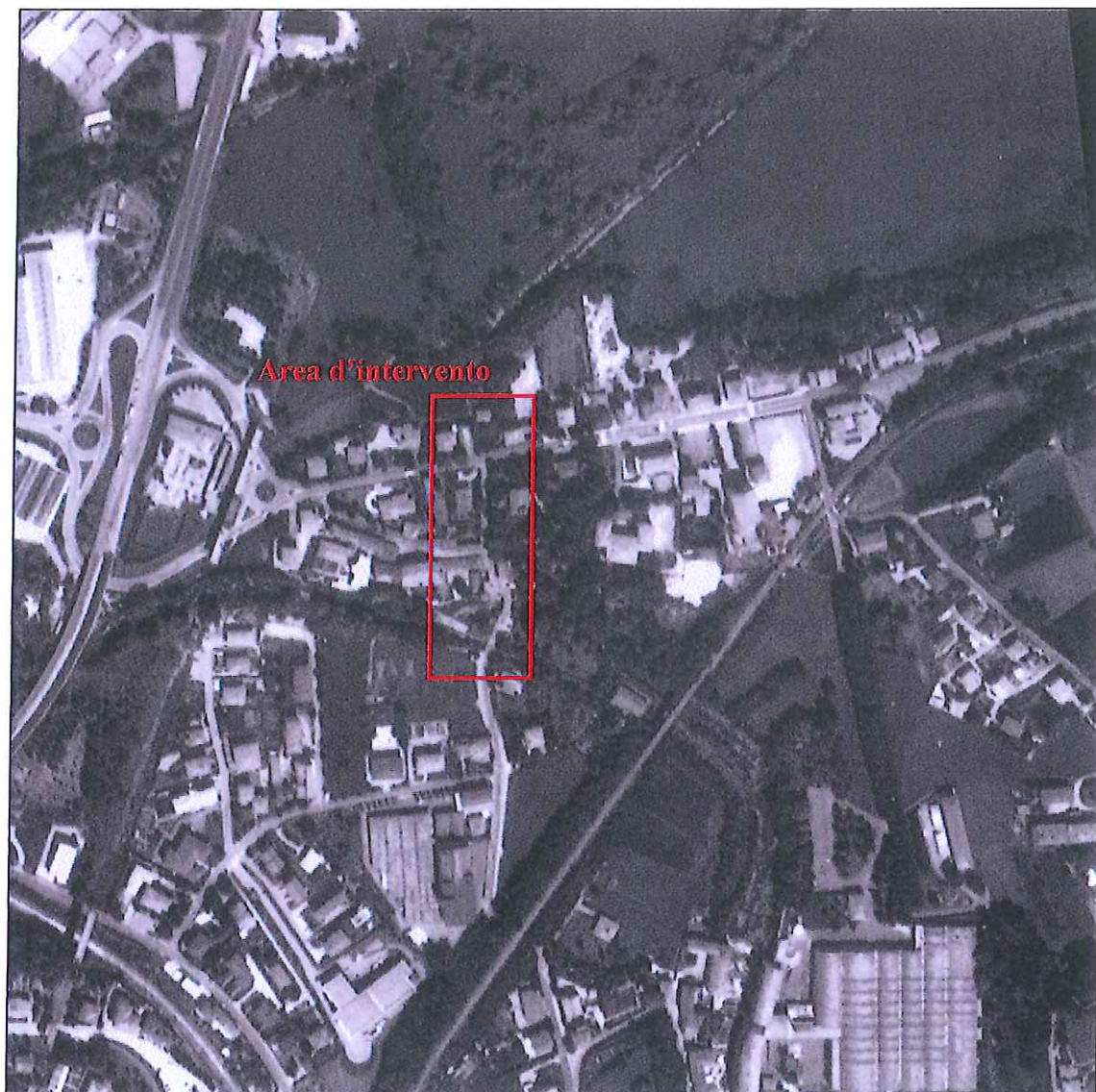


Figura 8: Dettaglio fotogramma n. 14b, strisciata 8142, 1994

Nel complesso si può ritenere che l'area in oggetto non abbia subito significative modificazioni antropiche dal 1954 ad oggi.

4 ASSETTO GEOLOGICO

L'assetto geologico generale è visibile in Figura 9, nella quale si osserva la conoide del fiume Lambro (unità a1 e a2) che si espande nel bacino occupato dai laghi di Alserio e Pusiano. Va ricordato che i laghi erano un tempo uniti in un unico lago denominato Eupili e solo in epoca storica sono stati separati dalle alluvioni del Lambro.

Verso sud il bacino lacustre è delimitato da una dorsale costituita da un substrato lapideo di età Cretacica (Scaglia Lombarda e Flysch di Bergamo, unità C₃²), localmente ricoperto da depositi morenici (puntinato azzurro), tagliato in direzione circa Nord Sud dalla valle del fiume Lambro.



Figura 9: estratto della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Foglio 32 Como.

La condizione geologica a livello comunale è rappresentata in dettaglio nella Carta Geologica e Geomorfologica del Piano di Governo del Territorio di Merone, riportata in Figura 10. Si nota che la porzione settentrionale dell'area di intervento ricade al contatto tra i depositi Lacustri del Lago di Pusiano (indicati con il numero 1 e rappresentati con colore viola-azzurro), posti a Nord e costituiti litologicamente da sedimenti fini (sabbie fini, limi ed argille intercalati a livelli di torbe), e quelli morenici-superficiali più a Sud (indicati con il numero 2 e rappresentati con colore giallo), caratterizzati da materiali più grossolani (sabbie e ghiaie con trovanti in matrice limoso-argillosa).

Nella parte più a Sud dell'area di intervento si osserva la presenza di Depositi Alluvionali recenti del Fiume Lambro, indicati con il numero 3, caratterizzati da sabbie ghiaiose intercalate a lenti limoso-argillose. Dalla Figura 10 si nota inoltre che gran parte dell'area risulta modificata da interventi antropici (tratteggio a rombi viola) e per tale motivo il terreno naturale affiora solo in lembi sporadici.

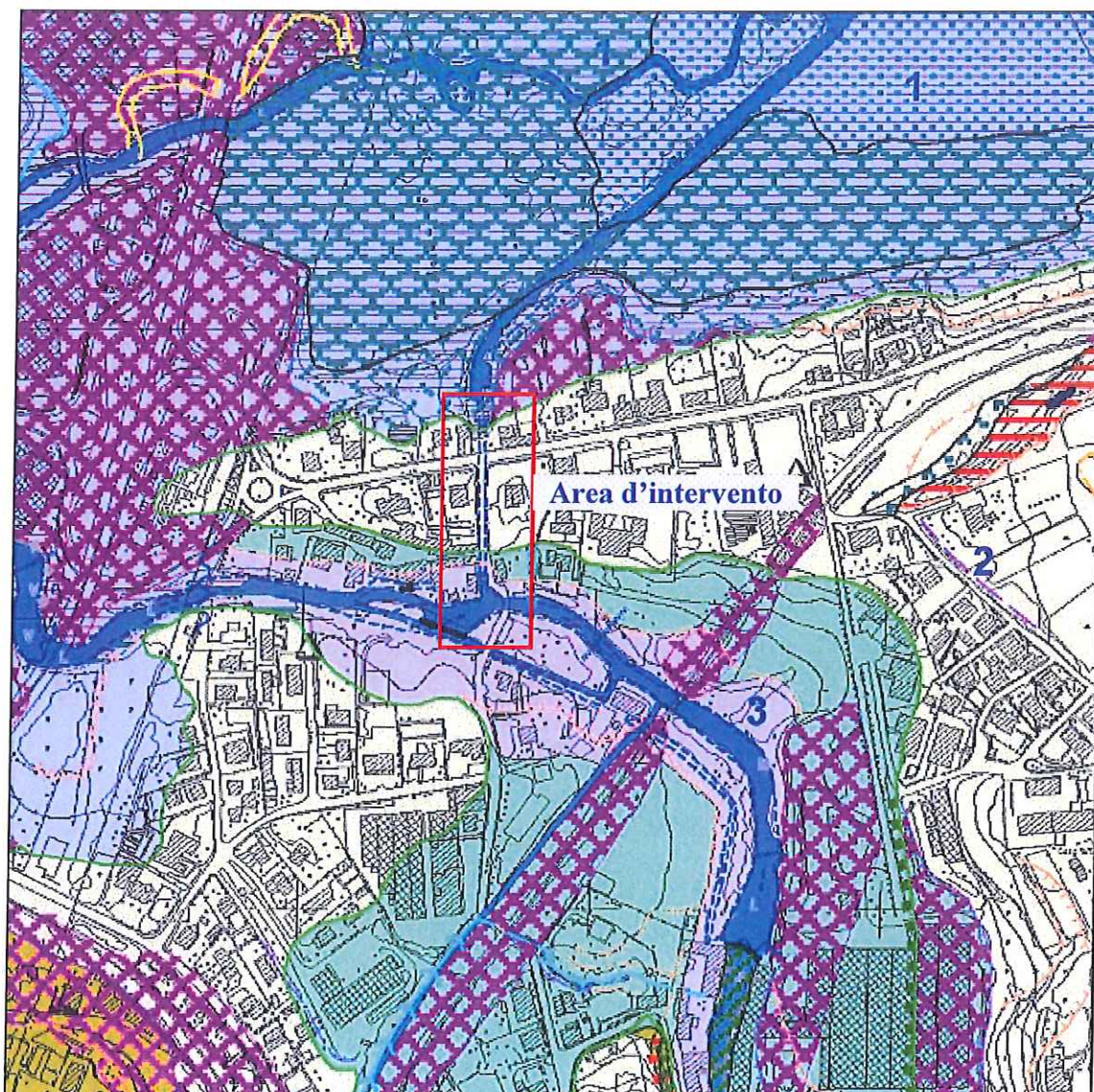


Figura 10: Carta Geologica e Geomorfologica del Piano di Governo del Territorio di Merone (REA, Febbraio 2009).

L'assetto strutturale generale della zona è rappresentato in Figura 11, dove sono riportate due sezioni geologiche pubblicate nel Piano di Governo del Territorio del Comune di Merone. In particolar modo la Sezione n°2 è tracciata in corrispondenza del Lago di Pusiano, della Cava di Brenno e del Fiume Lambro, ad una distanza di soli 2km ad Ovest rispetto all'area in esame. Si osserva una struttura monoclinale verso Sud del substrato roccioso, interrotta presso Brenno da una faglia che mette in contatto le unità cretacee (Flysch di Bergamo, Arenaria di Sarnico, Flysch di Pontida, Sass de la Luna e Maiolica, caratterizzate prevalentemente da alternanze marnoso-siltitiche e sabbiose) con la Scaglia, più recente, composta prevalentemente da calcari marnoso-siltitici di colore vario (giallo, grigio, bianco e rosso). Quest'ultima unità mostra un andamento meno regolare

rispetto alle precedenti, evidenziando la presenza di strutture plicative. In prossimità del lago di Pusiano sono inoltre presenti lembi di Ceppo.

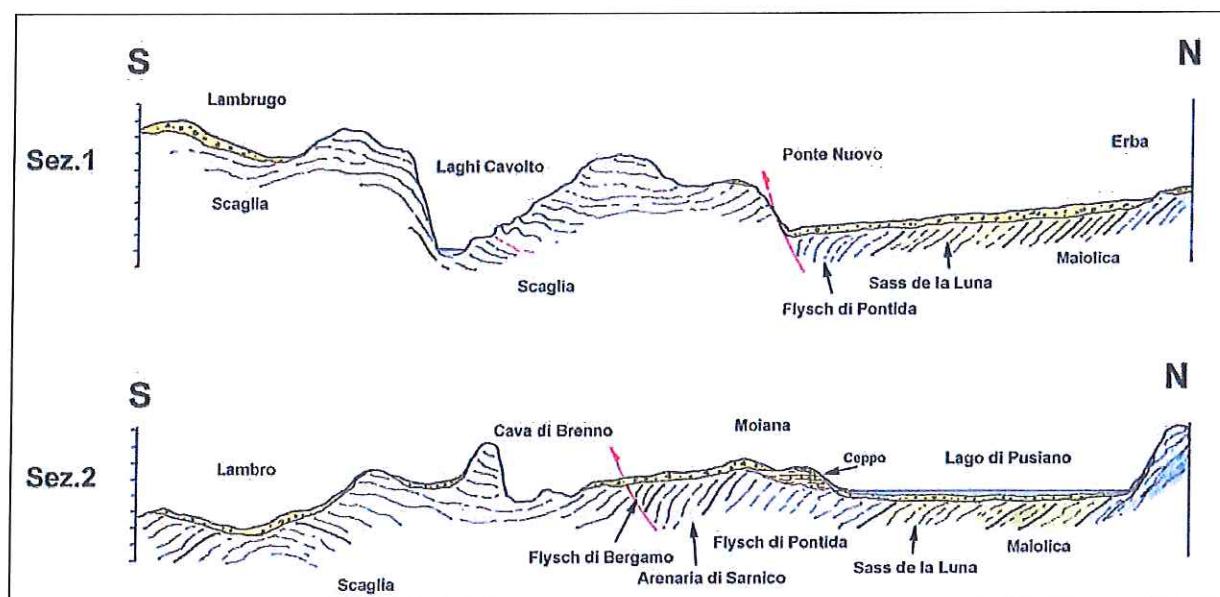


Figura 11: Sezioni Geologiche (dal Piano di Governo del Territorio di Merone, REA, Febbraio 2009).

5 ASSETTO IDROLOGICO

L'assetto idrologico della porzione di territorio all'interno della quale si collocano le opere in esame risulta alquanto complesso a causa della presenza di vari corsi d'acqua naturali, in parte modificati, connessi ad una rete di canali di origine antropica che confluiscono nel fiume Lambro in corrispondenza dell'abitato di Ponte Nuovo.

La visione d'insieme viene ben raffigurata dall'estratto della carta IGM 1:25.000 riportato in Figura 12, nella quale sono riconoscibili i seguenti elementi idrologici principali:

- i laghi di Pusiano ed Alserio
- il fiume Lambrone (realizzato nel 1820) che convoglia le acque del Lambro nel Lago di Pusiano;
- il Lambro che nasce come emissario del Lago di Pusiano
- il cavo Diotti
- la roggia Gallarana, che sottopassa con un sifone il Lambrone e convoglia le acque di alcuni fontanili presenti lungo la riva settentrionale del lago fino al Lambro in Località Ponte Nuovo.
- l'emissario del Lago di Alserio che, dopo aver incontrato la roggia Gringhella, confluisce nel Lambro sempre in Località Ponte Nuovo,

All'interno di questo quadro il Cavo Diotti risulta un nodo idraulico di primaria importanza, in quanto la quota del Lago di Pusiano viene in parte regolata dalle paratoie collocate alla base della Casa del Camparo.

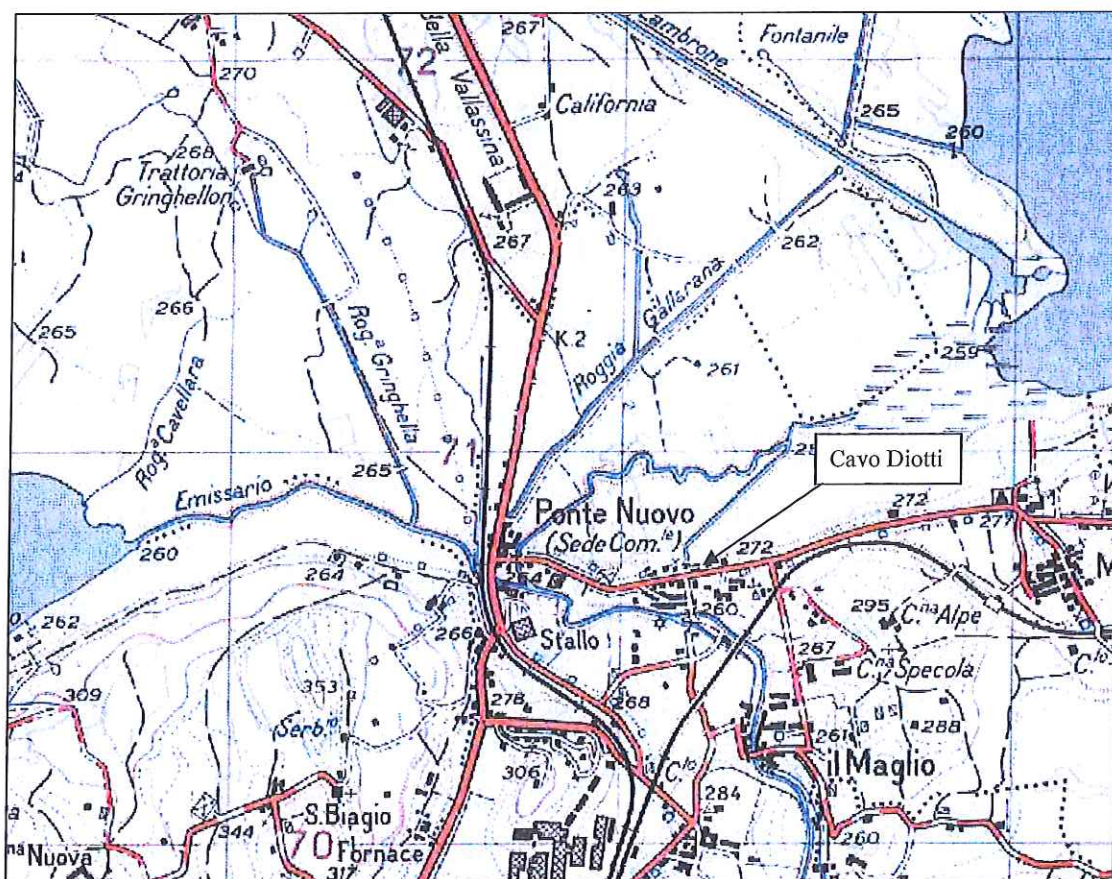


Figura 12: Estratto tavoletta IGM 1:25.000 (rilievo pre-1975)

6 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Gli acquiferi presenti nel settore di territorio in esame sono impostati principalmente nei depositi quaternari.

Un acquifero freatico è presente a nord rispetto alla zona in esame, all'interno dei depositi di conoide alluvionale che separano i laghi di Alserio e Pusiano. Tale acquifero in prossimità dei laghi si trova in condizioni subaffioranti, come evidenziato dalla presenza di vari fontanili.

In prossimità delle aree di intervento è presente una falda freatica alimentata direttamente dalla dalle acque del lago che insiste all'interno dei depositi morenici.

Il livello della falda misurato nel nuovo piezometro realizzato in quest'ultima fase di indagini si attesta all'incirca alla stessa quota del livello del Lago di Pusiano (259m slm, pari a circa 3,5 m da p.c.). Nell'imbocco sud, invece, la falda risulta connessa al livello del Lambro che risulta più basso di circa 2m rispetto a quello del lago. Si può quindi ipotizzare che la direzione di flusso principale sia circa nord-sud. Si segnala che durante l'arco dell'anno i livelli piezometrici sono soggetti ad oscillazioni anche di qualche metro connesse alla variazione di quota del livello del lago e agli agenti meteorici.

Va notato anche che l'indagine georadar ha rilevato una zona di terreno saturo, a una distanza di circa 62 m dall'imbocco nord e per un tratto di circa 10 m.

Viene infine segnalata l'assenza di pozzi ad uso idropotabile nelle vicinanze delle aree in esame.

7 RISCHIO IDROGEOLOGICO

Le condizioni di rischio idrogeologico sono valutate a livello comunale dallo Studio Geologico redatto a supporto del Piano di Governo del Territorio (2008).

In Figura 13 è riportato un estratto della Carta dei Vincoli. Con particolare attenzione alle fasce definite del PAI, si osserva che l'area di intervento ricade prevalentemente all'interno della Fascia A di "Deflusso della Piena" (localmente coincidente anche con la fascia B di "Esondazione"), mentre La Casa del Camparo risulta essere all'interno della Fascia di tipo C ("Inondazione per Piena Catastrofica").

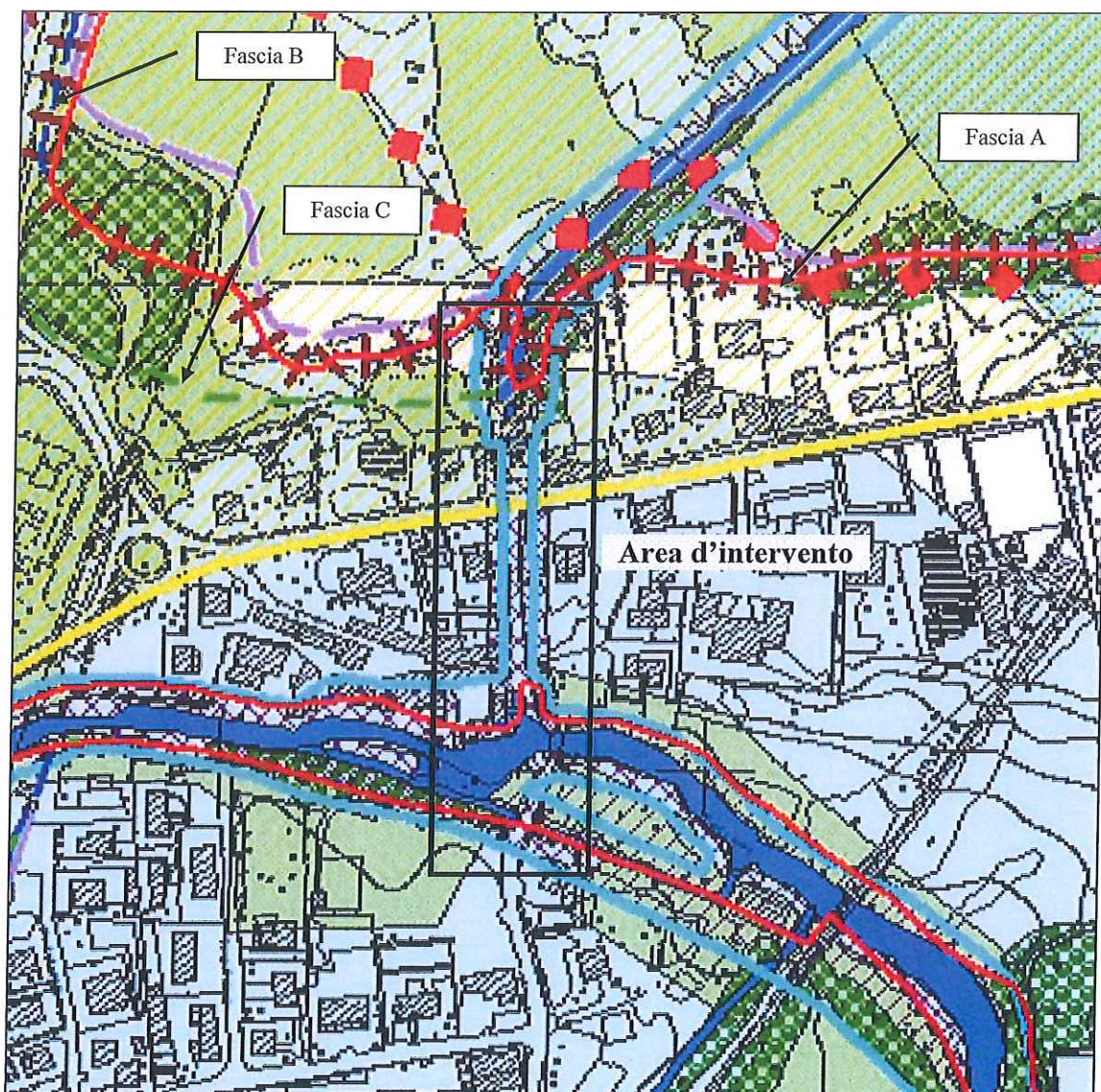


Figura 13: Carta dei Vincoli Ambientali del Piano di Governo del Territorio di Merone (REA, Settembre 2008). Legenda delle Fasce fluviali definite dal Piano di Assetto Idrogeologico: linea continua rossa: limite Fascia A (Deflusso di Piena); linea tratteggiata blu: limite Fascie B (Esondazione); linea tratto punto verde: limite Fascia C (Inondazione per piena catastrofica).

La Carta di Fattibilità (Figura 14) mostra che l'area di intervento ricade essenzialmente in Classe 4.2 (barrato orizzontale rosso), la quale delimita la Fascia A del PAI, corrispondente alle aree soggette a piena ordinaria.

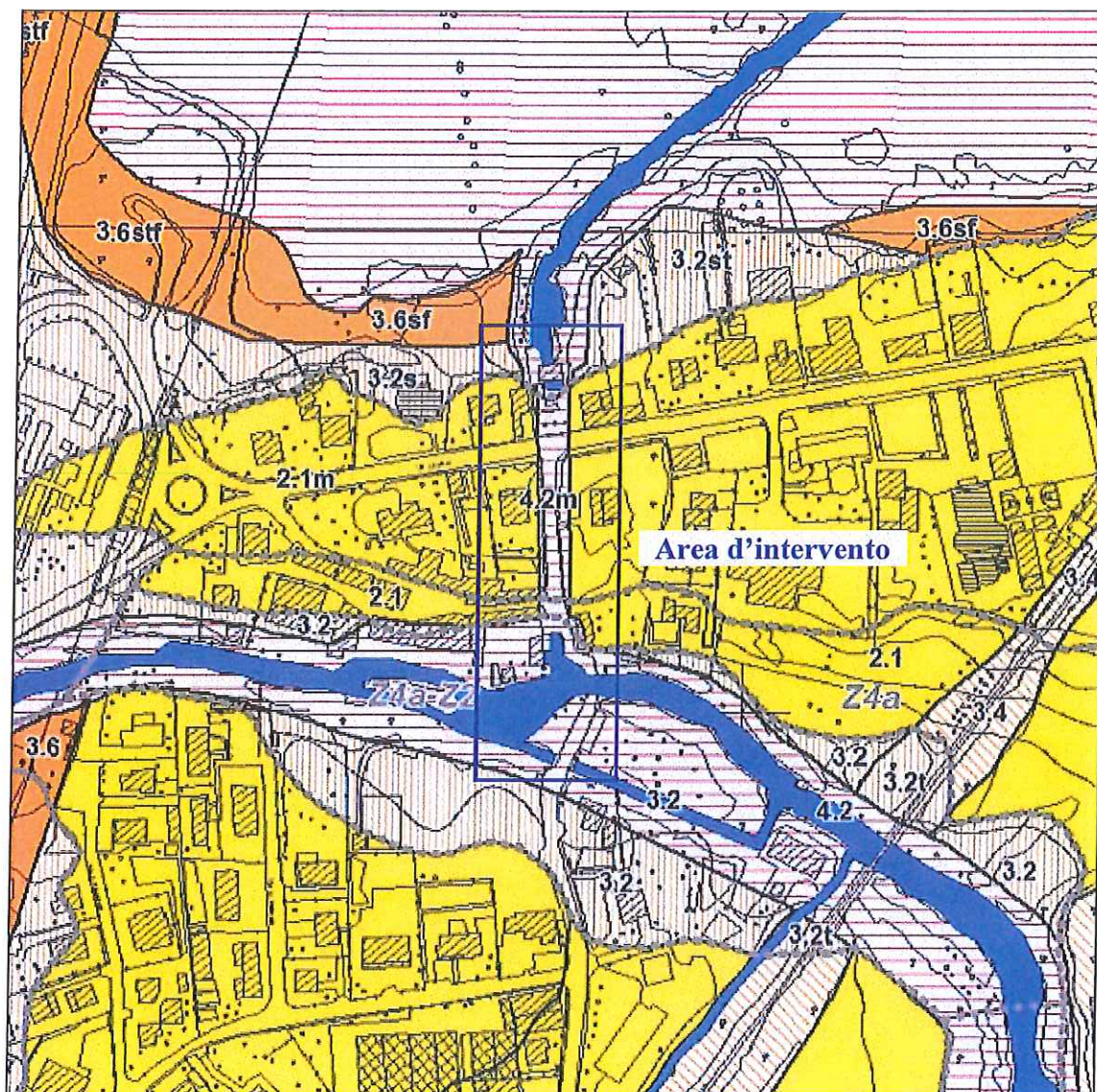


Figura 14: Estratto Carta di Fattibilità del Piano di Governo del territorio del Comune di Merone (2009).

8 RISCHIO SISMICO

I dati relativi alla sismicità storica sono stati ottenuti dal Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI2, Boschi et al., 1997). Le serie storiche relative alle città di Monza (23km di distanza), Como (16km), Lecco (14km) ed Erba (3km) sono ordinate cronologicamente in Tabella 1.

La tabella elenca le caratteristiche di 27 eventi storici avvenuti nel periodo compreso tra il 976 e il 2001, per ciascuno dei quali viene riportata la latitudine (Lat) e longitudine (Lon) dell'epicentro e le intensità epicentrali (I_0) e locali (I) nella scala Mercalli Cancani Sieberg.

Il valore maggiore di intensità è stato registrato a Como per l'evento del Vallese del 1844 che ha raggiunto il di 6,5° nella scala MCS.

Anno	Epicentro	Lat (°)	Lon (°)	I_0 (Scala MCS)	I (Scala MCS)	STAZIONE
976	Monza	45.583	9.267	5.0	5.0	MONZA
1117	Veronese	45.333	11.200	9.0	0.2	COMO
1222	Basso bresciano	45.483	10.683	8.0	1.0	COMO
1276	Italia sett.	45.083	9.550	5.0	4.6	MONZA
1346	Ferrara	44.917	11.017	7.5	5.0	MONZA
1438	Parmense	44.850	10.233	8.0	0.2	COMO
1473	Milano	45.317	9.333	4.6	4.6	MONZA
1487	Ferrara	45.133	11.300	4.5	0.1	COMO
1511	Slovenia	46.200	13.433	9.0	5.0	COMO
1513	Alessandria	44.917	8.617	5.0	0.1	COMO
1755	Vallese	46.317	7.983	8.0	5.0	COMO
1817	Alta Savoia	46.250	6.650	7.0	3.0	COMO
1855	Vallese	45.833	7.700	8.0	6.5	COMO
1873	Bellunese	46.150	12.383	9.5	4.0	COMO
1880	Vallese	46.267	8.067	7.0	3.0	MONZA
1887	Liguria occidentale	43.917	8.067	9.0	2.0	COMO
1891	Valle d'Ilasi	45.567	11.167	8.5	4.5	COMO
1895	Slovenia	46.133	14.533	8.0	4.0	LECCO
1901	Salò	45.583	10.500	8.0	3.5	MONZA
1905	Alta Savoia	46.017	7.017	7.5	4.0	LECCO
1920	Garfagnana	44.183	10.283	10.0	5.0	COMO
1929	Bolognese	44.467	11.133	8.0	5.0	ERBA
1936	Alpago-Cansiglio	46.033	12.417	9.0	6.0	LECCO
1960	Vallese	46.350	7.983	6.5	4.5	MONZA
1971	Parmense	44.817	10.350	8.0	3.5	MONZA
1983	Parmense	44.767	10.267	6.5	3.0	COMO
2001	Triangolo lariano	45.54	9.08	5.0	4.0	COMO
					4.0	ERBA
					3.5	LECCO
					4.0	MONZA
					5.0	MERONE

Tabella 1: lista dei terremoti percepiti nei comuni di Monza, Como, Lecco e Erba estratta dal Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI).

In base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche, il Comune di Merone viene attualmente classificato in zona 4, a bassa sismicità, mentre secondo la classificazione precedente non ricadeva in zona sismica.

L'accelerazione massima prevista per l'area in esame è definita in base a quanto riportato dalla Mappa di Pericolosità Sismica edita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e riprodotta in Figura 15.

La mappa indica un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni compresa tra 0.025-0.075g.

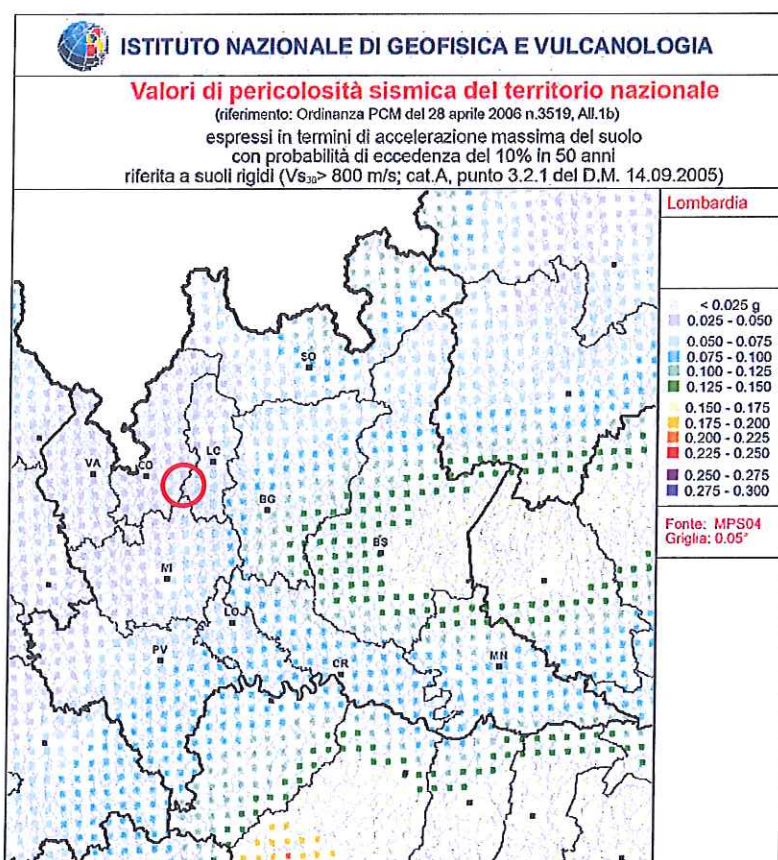


Figura 15: Accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Fonte INGV).

Per quanto concerne le categorie di sottosuolo definite nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e riportate in Tabella 2, si ritiene che il sottosuolo dell'area in esame ricada nella categoria E: Depositi di terreni a grana grossa mediamente-scarsamente addensati con spessore non superiore di 20m.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 2: Categorie di sottosuolo secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

La Carta Della Pericolosità Sismica Locale (Figura 16) prodotta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio mostra che l'intervento in esame è collocato in zone classificate con differente pericolosità.

La "Casa del Camparo" è definita come Z2 (Terreni altamente compressibili-terreni saturi, colore azzurro) ove sono previsti possibili cedimenti e/o liquefazioni. Va tuttavia osservato che in base alle indagini geognostiche condotte e illustrate nel capitolo seguente, risulta che la Casa è fondata direttamente su un substrato molto consistente e quindi si esclude che possa essere soggetta alle problematiche ascritte alla classe Z2.

Il resto dell'area di intervento in prossimità dell'imbocco nord ricade in una zona definita come Z4c (Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi, colore verde) e prevede possibili amplificazioni litologiche e geometriche. Va notato anche in questo caso che in realtà in corrispondenza del piazzale previsto è presente, al di sopra del cavo, una coltre di terreni di riporto.

In prossimità dell'imbocco sud sono descritte le classi Z4a-Z2 (Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi – Zone con terreni particolarmente scadenti e/o con depositi granulari fini saturi) e Z4a (Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi). Per tali zone sono previsti possibili amplificazioni litologiche e geometriche, cedimenti e/o liquefazioni.

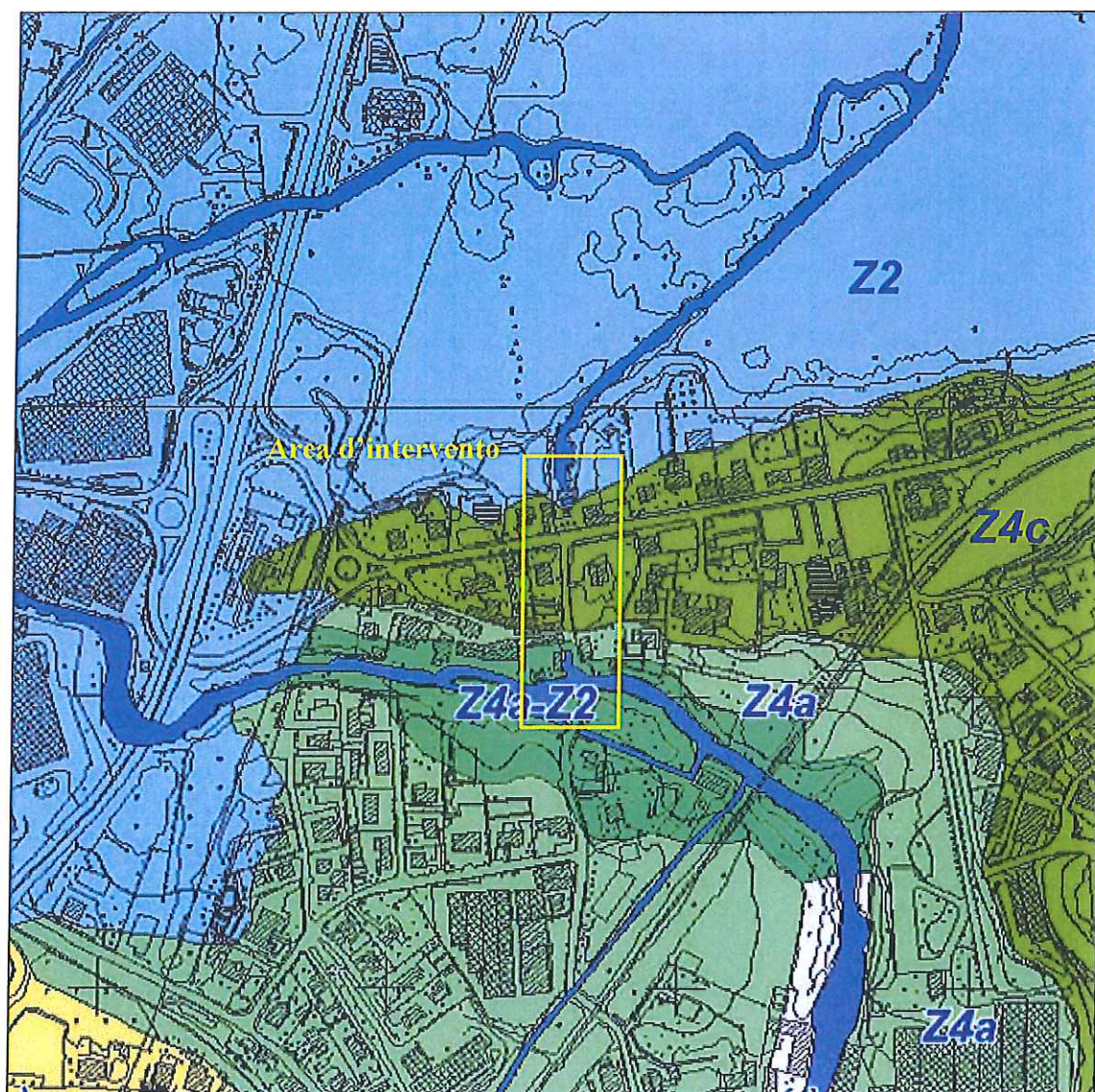


Figura 16: Carta della Pericolosità Sismica Locale del Piano di Governo del Territorio del Comune di Merone (2009).

9 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sono state realizzate tre differenti fasi di indagini: la prima nell'ambito delle attività di progettazione preliminare; la seconda nell'ambito delle attività di progettazione definitiva; la terza in fase di progettazione esecutiva.

Va notato che nell'area di intervento non è stato possibile eseguire indagini dirette sul margine orientale dell'imbocco del cavo Diotti a causa dell'inaccessibilità dei luoghi.

9.1 Indagini progetto preliminare

Nell'anno 2005, all'interno del "Programma per il finanziamento, la progettazione e l'esecuzione di opere per la riduzione del rischio idrogeologico a tutela del centro abitato della frazione di Pontenuovo" è stata eseguita la progettazione preliminare di 3 interventi ubicati in zone distinte del Comune di Merone; tra questi l'intervento al Cavo Diotti veniva definito come Intervento B.

Nell'ambito della progettazione preliminare dell'intervento B sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche, la cui ubicazione è indicata in Figura 17:

- 1 sondaggio a carotaggio continuo di lunghezza pari a 10m, con esecuzione di prove SPT in foro (sondaggio S3);
- 1 prova penetrometrica dinamica di lunghezza pari a 10m (prova D4).

I risultati di tali indagini e la caratterizzazione preliminare dell'area sono riportate nella Relazione geologica a supporto della progettazione preliminare (R01-20-05) del 10 Febbraio 2006.

9.2 Indagini progetto definitivo

Nell'ambito della fase di progettazione definitiva è stata eseguita una campagna di indagine, realizzata nel Luglio 2009, e consistita nell'esecuzione di un rilievo geologico geomorfologico di dettaglio e di 4 prove penetrometriche dinamiche.

Il rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio è stato focalizzato sulla definizione delle caratteristiche geologiche delle aree di intervento utilizzando come base topografica un rilievo di dettaglio fornito dal progettista.

La maggiore difficoltà riscontrata durante il rilievo è stato l'elevato grado di urbanizzazione della zona che non ha consentito l'identificazione di affioramenti rocciosi o di terreni naturali. Integrando però le evidenze geomorfologiche con le osservazioni geologiche effettuate in corrispondenza dell'alveo del Fiume Lambro e delle sponde del Canale di collegamento tra il Lago di Pusiano ed il Cavo Diotti, è stato possibile redigere la carta geologica di dettaglio allegata alla relazione (Tavola in Allegato I).

Nel dettaglio si osserva la presenza al di sopra del Cavo Diotti di una stretta striscia di materiali di riporto, utilizzati per colmare lo scavo a cielo aperto effettuato per la realizzazione del canale sotterraneo. Intorno a questa sono presenti Depositi morenici, mentre nella zona più a nord compaiono i Depositi Lacustri. A Sud, lungo l'alveo del fiume Lambro sono presenti Depositi Alluvionali recenti e materiali di riporto.

L'intera area, inoltre, risulta completamente urbanizzata, condizione che viene rappresentata in carta da un retino barrato inclinato blu.

Sono state realizzate 4 prove penetrometriche dinamiche in prossimità della Casa del Camparo, lungo l'unica fascia di terreno accessibile, che si estende in corrispondenza di una stradina ubicata al margine occidentale dell'area (Figura 17).

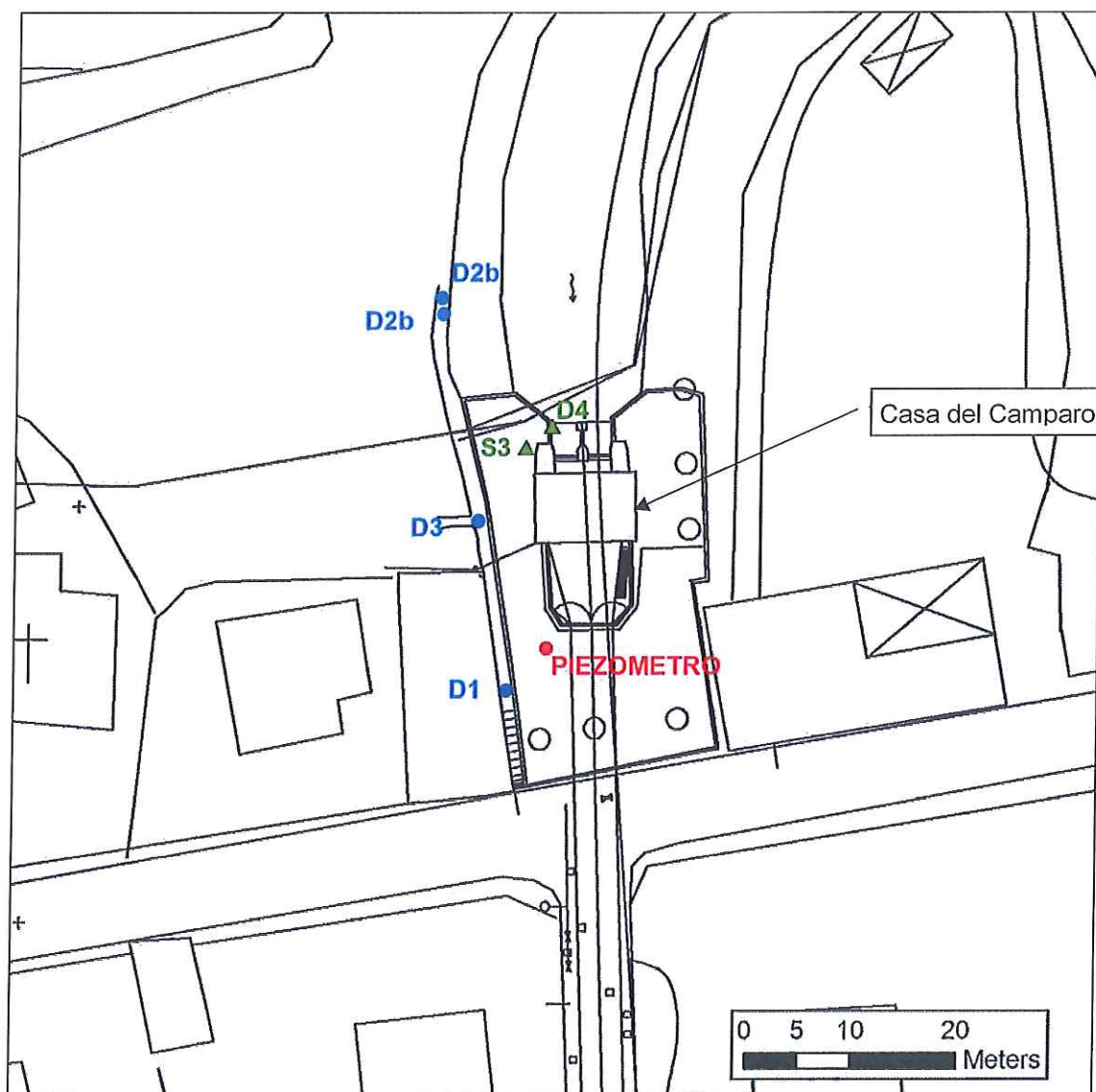


Figura 17: Ubicazione delle indagini eseguite (in rosso le indagini del 2011, in blu quelle del 2009, in verde quelle del 2005). S = Sondaggio; D = Prova Penetrometrica Dinamica.

Le prove penetrometriche dinamiche sono state realizzate da un tecnico specializzato per mezzo di un Penetrometro Pagani TG63-200 secondo lo standard EN ISO - ISSFMA.

I risultati delle prove realizzate sono sinteticamente descritti di seguito:

- La prova D1 ha incontrato valori di resistenza mediamente compresi tra 1 e 10 colpi/20cm nel tratto tra 0,2m e 1,6m di profondità. Al di sotto di tale intervallo si

registra un miglioramento delle proprietà meccaniche, particolarmente evidente dopo 4.4m da p.c., dove il numero di colpi/20cm registra il picco (44 colpi/20cm a 5m). La prova ha raggiunto il rifiuto a 5.2m da p.c.

- La prova D2a mostra resistenze medio-alte fin dal primo tratto della prova. I valori mostrano un leggero peggioramento delle caratteristiche meccaniche tra 1.4m e 2.0m di profondità (2-5 colpi/20cm), a cui segue un progressivo miglioramento fino al rifiuto (50 colpi/piede) registrato a 2.8m da p.c.
- La prova D2b, posizionata a circa 3m di distanza dalla 2a, è stata eseguita per verificare che nella precedente, in cui si era raggiunto il rifiuto a soli 2.8m di profondità, non fosse stato incontrato un trovante. La prova ha confermato i risultati della 2a, raggiungendo ancora il rifiuto a 2.8m di profondità e confermando così la presenza di un substrato rigido a profondità ridotta.
- La prova D3 ha rinvenuto resistenze medio-basse fino a 2m di profondità a cui è seguita un aumento fino a 5.2m, dove la prova ha raggiunto il rifiuto (50 colpi/20cm). Il picco è stato registrato a 5m, con un valore di 30 colpi/20cm.

Le prove mostrano una certa variabilità verticale e laterale delle resistenze dei terreni: in particolare le prove D2a e D2b, ubicate a Nord della “Casa del Camparo”, raggiungono il rifiuto a profondità molto più superficiali rispetto a quanto registrato nelle altre due prove (D1 e D3), condizione probabilmente dovuta alla presenza di un substrato rigido più superficiale.

9.3 Indagini progetto esecutivo

Nell’ambito del progetto esecutivo è stata realizzata nei giorni 12 e 13 Ottobre 2011 da parte di Akron srl una nuova campagna d’indagine, volta principalmente a valutare la condizione dei manufatti. Le indagini consistono in:

- un’indagine georadar in corrispondenza del condotto di Cavo Diotti al fine di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e l’eventuale presenza di vuoti a tergo della struttura muraria;
- prelievo di 5 carote della struttura muraria del Cavo per una verifica diretta dello spessore e dello stato di conservazione dei mattoni;
- realizzazione di un sondaggio a carotaggio continuo con installazione di un piezometro nell’area adiacente alla zona di installazione delle nuove paratoie.

L’indagine georadar ha visto l’esecuzione di 3 sezioni longitudinali, di lunghezza pari a 97 m, effettuate sulla calotta del Cavo Diotti: una in corrispondenza dell’asse del condotto e due sulle spalle. I dati sono stati acquisiti con due antenne, una da 400 MHz (Figura 18) e una da 1.5 GHz (Figura 19): la prima ha consistito di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e la presenza di vuoti a tergo della struttura muraria; mentre la seconda ha fornito un’analisi di dettaglio sullo stato di conservazione della muratura. Le radargrafie a 400 MHz escludono l’esistenza di vuoti a tergo della struttura muraria e mostrano la presenza continua di terreno a tergo della struttura. Si è riscontrata la presenza di riflettori più marcati in corrispondenza del passaggio tra struttura muraria e terreno nelle zone dove sono presenti concrezioni calcaree sulla calotta del condotto e pertanto si possono ricondurre tali anomalie alla presenza di acqua nel terreno. Le radargrafie a 1.5 GHz mostrano un manufatto generalmente in buone condizioni.



Figura 18: Antenna da 400 MHz



Figura 19: Antenna da 1.5 GHz

Il prelievo di 5 carote (Figura 20) dalla struttura muraria ha permesso di verificare localmente, in maniera diretta, gli spessori e lo stato di conservazione dei mattoni e di confermare i risultati delle prove georadar. È stata utilizzata una carotatrice Hilti a corona diamanta e diametro esterno di 52 mm (carota 1) e di 100 mm (carote 2-5); la lunghezza delle carote varia da 47 a 73 cm.



Figura 20: Esempio campione da carotaggio in calotta- carota n°2

Il sondaggio geognostico è stato perforato nei pressi della sezione di imposta delle nuove paratoie, ad una quota di circa 262.3m con diametro di 3 pollici, fino a 15 metri di profondità. Di seguito viene riportata la stratigrafia in maniera sintetica, che vede:

- da p.c. a 0.70 m: materiale di riporto;
- da 0.70 a 4.50 m: alternanze di sabbie da medie a fini, con laterizi nella porzione superficiale;
- da 4.50 a 5.35 m: limo argilloso;
- da 5.35 m a fondo foro: ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, da molto consistenti a parzialmente cementati.

Nel foro è stato installato un piezometro, con tratto cieco da piano campagna a 3 m e tratto fenestrato da 3 m fino a fondo foro.

La quota della falda risulta essere a 3.5 m di profondità.

10 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il Modello Geologico di Riferimento è illustrato nel dettaglio nella Tavola 1 - Carta geologica e Sezioni Geotecniche.

In particolare nell'area in esame sono state identificate le seguenti unità:

- Depositi Lacustri: si tratta di materiali di tipo limoso-argilloso, debolmente sabbiosi, prodotti della sedimentazione di materiale fine sul fondo del Lago di Pusiano. Si trovano nella parte Nord della zona e non dovrebbero interessare le opere in progetto.
- Depositi Superficiali eluvio colluviali: sono caratterizzati da materiali di tipo sabbioso e limoso, con locali livelli a ghiaie e ciottoli, passanti a limi argillosi. Costituiscono la parte più superficiale della dorsale collinare su cui giace l'abitato di Merone.
- Depositi Alluvionali: sono il prodotto delle dinamiche recenti del Fiume Lambro e sono composti prevalentemente da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa. Si trovano nell'alveo del fiume Lambro.
- Materiale di Riporto: si tratta del materiale collocato a riempimento dello scavo del Cavo Diotti, realizzato all'epoca come scavo a cielo aperto. Si ritrovano quindi lungo una stretta striscia di lunghezza pari a circa 115m tra la "Casa del Camparo" e lo sbocco del Cavo nel Lambro.
- Substrato Morenico Profondo: tale unità è stata osservata nei due sondaggi e è costituita da depositi morenici profondi, molto consistenti e a tratti cementati. Questi depositi sono composti da ghiaie e ciottoli, da centimetrici a pluricentimetrici talora di natura marnosa o calcarea, in matrice sabbioso-limosa. Costituiscono la dorsale collinare su cui giace l'abitato di Merone.

L'assetto del sottosuolo nelle aree di intervento è strettamente condizionato dalle attività di scavo, costruzione e successivo riporto di terreni connesse alla realizzazione nell'800 del Cavo Diotti e delle opere annesse.

In base alle evidenze delle indagini geognostiche, si ritiene che lo scavo del canale abbia interessato prevalentemente il substrato morenico e che le fondazioni della Casa del Camparo e della porzione settentrionale del Cavo siano fondate direttamente in tale unità.

Va notato tuttavia che nell'area non sono presenti affioramenti del substrato e pertanto il suo andamento al di sotto dei depositi superficiali può essere definito solamente in modo approssimativo; si ritiene in ogni caso che esso tenda ad approfondirsi spostandosi verso sud.

La porzione superiore dello scavo ha invece interessato i depositi superficiali eluvio-colluviali.

Al termine della costruzione del Cavo si è provveduto al suo ritombamento riutilizzando in parte i materiali provenienti dagli scavi stessi.

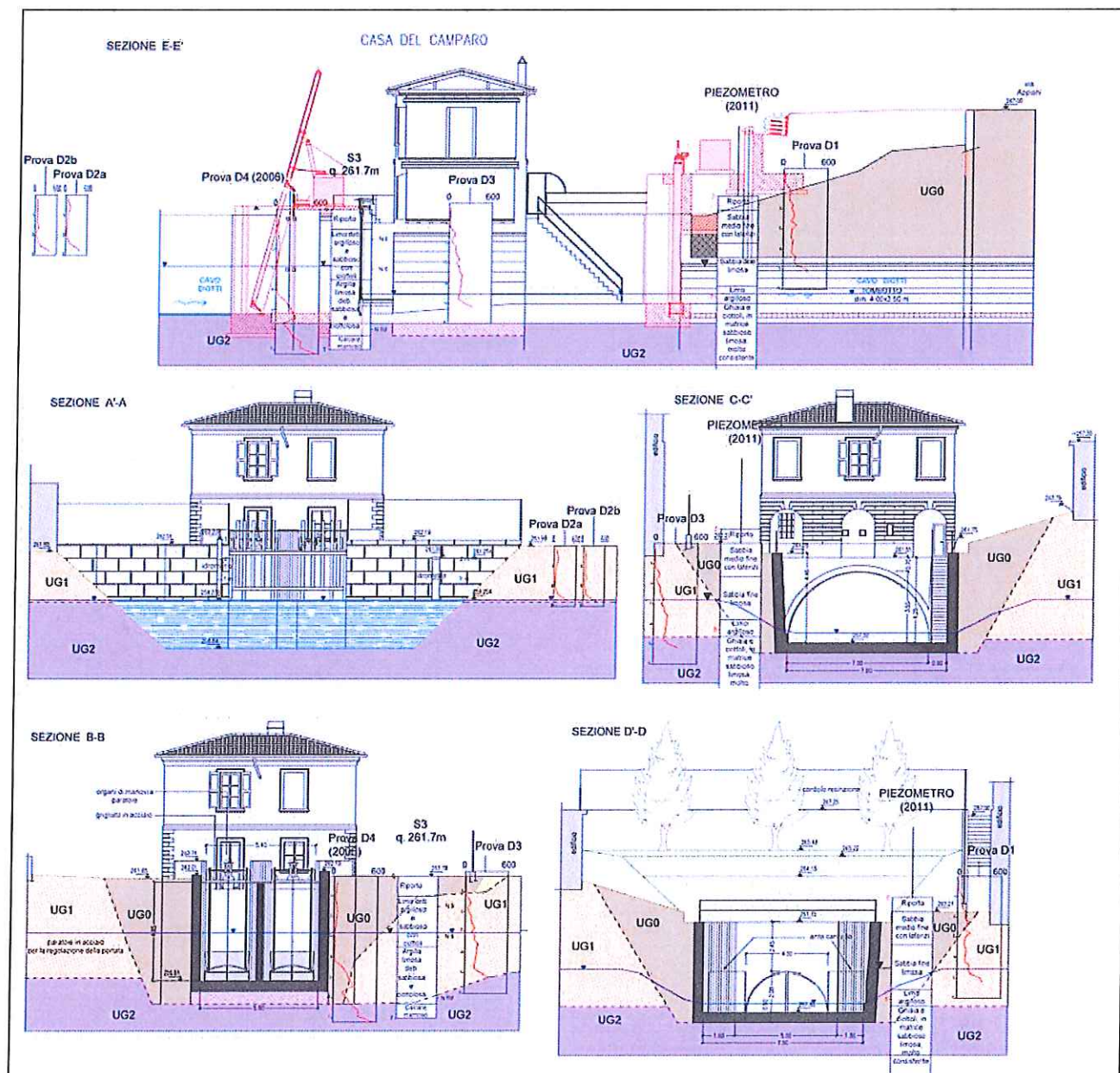


Figura 21: sezioni geotecniche trasversali e longitudinali

11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico della zona definito in base al modello geologico di riferimento ed ai risultati delle prove in situ è rappresentato dalle sezioni geotecniche illustrate in Figura 21 e nella Tavola allegata.

Nel modello sono state definite 3 unità geotecniche:

- **Unità UG0:** materiali di riporto di origine e granulometria variabile collocati al di sopra ed all'interno del Cavo Diotti;
- **Unità UG1:** sabbie medio-fini talvolta limose con locali livelli a ghiaie e ciottoli, passanti a limi argillosi, mediamente addensati che costituiscono i depositi eluvio-colluviali;
- **Unità UG2:** ghiaie e ciottoli, costituiti da calcari marnosi e marne, in matrice sabbioso-limosa, molto consistente e parzialmente cementate che costituiscono depositi morenici profondi.

Le caratteristiche classificative principali stimate per le 3 unità sono riportate nella tabella seguente.

SIGLA	UNITA'	DESCRIZIONE	COMPORTAMENTO	CLASSE UNI 10006	CLASSE ASTM
UG0	Riporto	Terreni a granulometria variabile, scarsamente addensati	Drenato	A2-A4	SM-GM
UG1	Depositi Eluvio-Colluviali	Sabbie medio-fini e limi argillosi	Non drenato	A5-A6	SM-ML
UG2	Substrato Morenico profondo	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, molto consistente	Drenato	/	GM

Tabella 3: Classi di terreno

I parametri geotecnici delle unità interessate dalle opere in progetto sono stati determinati in base all'analisi statistica dei valori di resistenza del terreno registrati dalle prove penetrometriche.

In particolare è stato fatto riferimento alle prove SPT e alle prove penetrometriche dinamiche eseguite in fase di progettazione preliminare e definitiva.

Va notato che la prova penetrometrica eseguita in fase di progettazione preliminare è stata condotta secondo lo standard AGI 1977, con registrazione del parametro N_{30} corrispondente al numero di colpi necessari a produrre un avanzamento di 30cm utilizzando una massa battente di 73 kg, mentre le 4 prove eseguite nell'ambito della progettazione definitiva sono state condotte secondo il più recente standard EN ISO – ISSMF 2003 con registrazione del parametro N_{20} corrispondente al numero di colpi necessari a produrre un avanzamento di 20cm utilizzando una massa battente di 63.5 kg. Pertanto al fine di procedere con l'analisi statistica è stato necessario convertire i valori di N_{30} in N_{20} mediante la seguente formula ottenuta dalla equivalenza della resistenza a penetrazione dei 2 strumenti.

$$N_{20} = 0.8 * N_{30}$$

I valori di riferimento utilizzati per la determinazione dei parametri geotecnici delle varie unità sono riportati in forma tabulare e grafica in Figura 22. In figura vengono anche indicati con colorazione differente le unità geotecniche a cui sono stati attribuiti i valori di N_{20} .

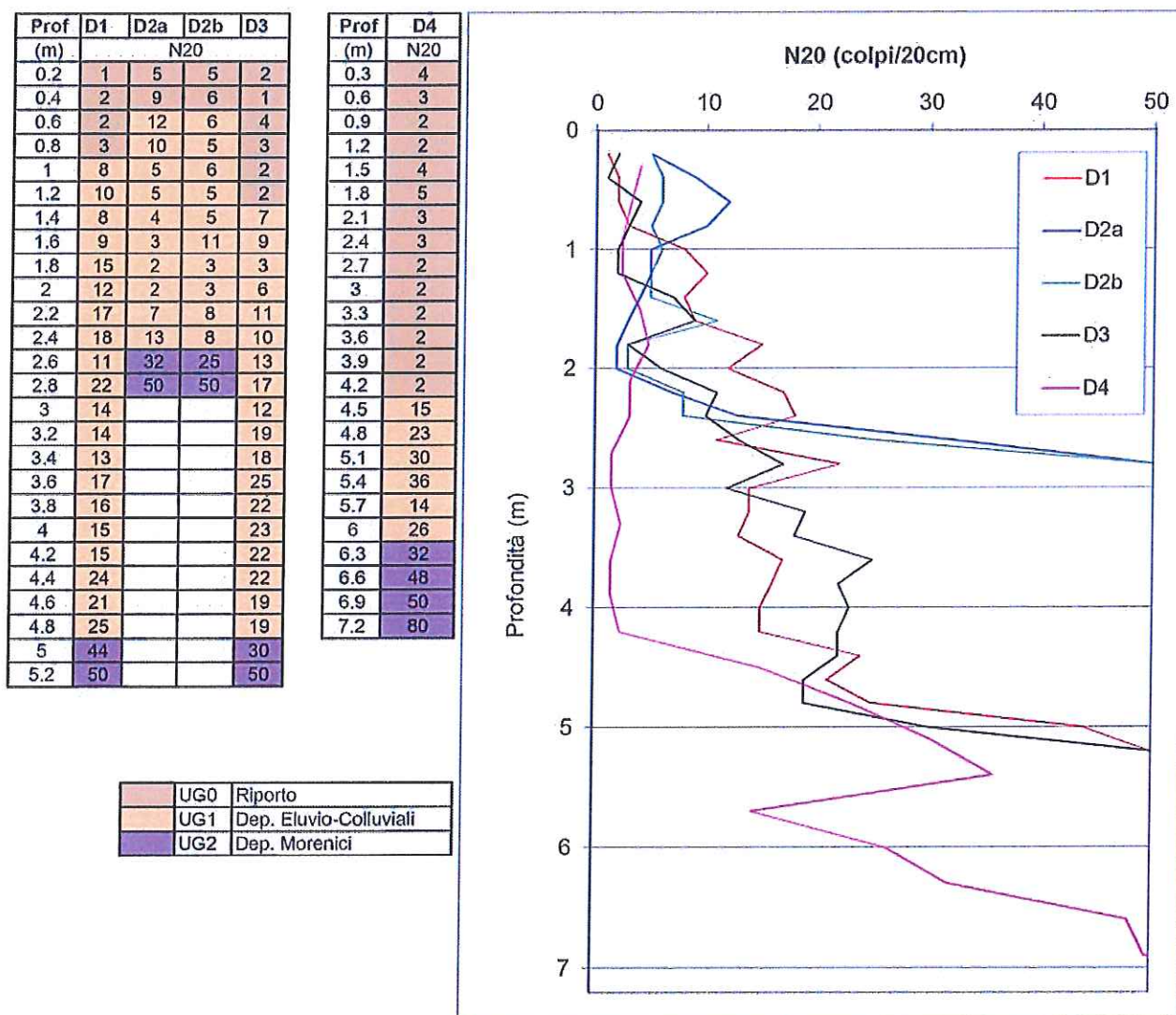


Figura 22: Sintesi tabellare e grafica dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche

I valori statistici di riferimento del parametro N_{20} per le 2 unità di terreno sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4: Valori statistici delle resistenze misurate nelle prove

N ₂₀ (colpi/20cm)					
Unità geotecnica	Media	Minimo	Massimo	Deviazione standard	Valore di riferimento
UG0	3	1	5	1	2
UG1	13	2	36	8	5

Il valore di N_{20} considerato come rappresentativo di ciascuna unità geotecnica è stato assunto pari al valore medio meno una deviazione standard. A partire da tale valore è stato determinato il corrispondente valore di N_{spt} (Standard Penetration Test) secondo la formula proposta dal costruttore del penetrometro (Pagani):

$$N_{spt} = (1.5 - 2) \times N_{20}$$

Attraverso le correlazioni proposte in letteratura per i valori di Standard Penetration Test sono stati determinati i parametri geotecnici di ciascuna unità che vengono riportati nella tabella seguente.

SIGLA	N20	Nspt	Peso di Volume nat	Densità relativa	Coesione non drenata	Coesione efficace	Attrito efficace	Modulo Deform.	Coeff Permeab.
	(colpi/20cm)	(colpi/piede)	(kN/mc)	(%)	(kPa)	(kPa)	(°)	(Mpa)	(m/s)
UG0	2	3	14-16	30-40	0	0	29-31	8-10	1E-4-1E-6
UG1	5	7	17-19	45-55	50-70	2-7	25-27	10-12	1E-6-1E-7
UG2	Rifiuto	Rifiuto	22-23		150-200	20-30	28-32	40-60	1E-6-1E-8

Densità relativa da Gibbs-Holts (1957); Coesione non drenata da Terzaghi-Peck (1967); Angolo di attrito efficace da De Mello (1971); Modulo di deformazione da Janbu (1967)

Per quanto concerne l'Unità UG2, all'interno della quale si sono sempre avuti valori di rifiuto delle prove a causa della elevata resistenza del terreno, si è fatto riferimento a parametri di letteratura tipici di questi materiali.

12 CONCLUSIONE

In conclusione si ritiene che gli interventi in progetto siano fattibili per quanto concerne le problematiche di ordine geologico, idrogeologico e geotecnico.

Di seguito vengono segnalati gli aspetti geologici e geotecnici principali che dovranno essere presi in considerazione nella redazione del progetto:

- La realizzazione della tura prevista a monte della Casa del Camparo per l'installazione delle nuove paratoie dovrà tenere in considerazione la presenza di un substrato rigido a ridotta profondità.
- Le caratteristiche di permeabilità del substrato e dei depositi sono medio basse, pertanto, in considerazione anche della ridotta differenza piezometrica tra il lago e la quota di imposta delle paratoie si ritiene che i fenomeni di filtrazione di acque al di sotto della tura saranno abbastanza contenuti.
- La realizzazione del piazzale al di sopra dell'imbocco del cavo Diotti porterà ad un aggravio di carico sul rivestimento del Cavo, si ritiene pertanto opportuno prevedere l'installazione di un sistema di monitoraggio delle deformazioni del cavo.
- L'area di sbocco del Cavo è ubicata sulla sponda destra del fiume Lambro, pertanto dovranno essere presi gli accorgimenti necessari a poter gestire eventuali piene che si dovessero verificare durante la realizzazioni degli interventi in progetto.

17 Febbraio 2012

Dottor Geologo Daniele Battaglia





servizi per ingegneria · geologia · ambiente

Indagini georadar su struttura muraria

Cavo Diotti - Merone (CO)



Commessa	Committente	Documento
11167	Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro	11167_rel
Redatto da	Revisione	Allegati
Chiara Ravasio	00	sì
Approvato da	Data	Firma
Gianluca Ascari	07/11/2011	

*Questo documento è di proprietà della Akron srl
Il documento non può essere copiato o riprodotto neppure parzialmente senza autorizzazione scritta della Akron srl*



Akron srl
C.F./P.I./Nr. Iscrizione Reg. Impr. 03145050963
Società unipersonale - capitale sociale Euro 10.000 i.v.
REA Milano soc. n. 1647540

Sede Legale e operativa
Via Di Vittorio 26 - 20030 Bovisio Masciago - MB
tel. 0362 55 99 02 - fax 0362 59 26 34
e-mail info@akronservizi.it - www.akronservizi.it

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Metodologia di indagine.....	4
2.1	Indagine georadar.....	4
2.2	Cenni di fisica delle onde elettromagnetiche.....	5
2.3	Riflessione e rifrazione di un'onda elettromagnetica.....	6
2.4	Costante dielettrica dei materiali.....	9
2.5	Potere penetrante e potere risolvete.....	10
2.6	Rappresentazione dei radargrammi.....	11
3	Strumentazione utilizzata.....	12
3.1	Indagini georadar.....	12
3.1.1	Acquisitore.....	12
3.1.2	Antenne.....	12
3.1.3	Misurazione distanze.....	13
3.2	Carotaggi.....	14
4	Descrizione del rilievo eseguito.....	15
4.1	Indagini su struttura muraria.....	15
4.2	Sondaggio geognostico.....	16
5	Elaborazione dati.....	17
6	Risultati del rilievo e conclusioni.....	18
6.1	Indagine su struttura muraria.....	18
6.2	Sondaggio geognostico.....	18

Allegati

Rif.	Descrizione
Tavola 01	Sezioni georadar e profilo interpretativo
All. 01	Documentazione fotografica carotaggi
All.02	Stratigrafia e documentazione fotografica sondaggio

Lista di distribuzione

Riferimento	n. copie	
	cartacee	digitali
Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro	1	1



1 PREMESSA

Su incarico del Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro nei giorni 12 e 13 Ottobre 2011 è stata effettuata un'indagine georadar in corrispondenza del Cavo Diotti a Merone (CO), al fine di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e l'eventuale presenza di vuoti a tergo della struttura muraria.

L'indagine georadar ha previsto l'impiego di un'antenna con frequenza pari a 400 MHz e di una con frequenza pari a 1.5 GHz.

Sono state prelevate n. 5 carote dalla struttura muraria del condotto per verifica diretta degli spessori e dello stato di conservazione dei mattoni.

È stata infine eseguita una indagine geotecnica mediante sondaggio a carotaggio continuo nell'area adiacente all'imbocco lato monte della condotta, con installazione di un piezometro.

Nel presente rapporto viene descritta la metodologia d'indagine applicata, le geometrie di rilievo, la strumentazione impiegata, le fasi di processing dei dati ed i risultati ottenuti.

I risultati finali del rilievo sono riportati in allegato (Tavola 01 – All. 01-02).



2 METODOLOGIA DI INDAGINE

2.1 INDAGINE GEORADAR

La prospezione georadar (GPR Ground Penetrating Radar) è una metodologia di indagine geofisica che si basa sulla propagazione di onde elettromagnetiche ad elevata frequenza.

L'indagine prevede l'immissione di un breve impulso elettromagnetico in un materiale per mezzo di un'antenna la cui frequenza può variare da 10 a 2.600 MHz. L'impulso si propaga nel materiale con una velocità che dipende principalmente dalla costante dielettrica del materiale stesso. Quando l'impulso incontra un'interfaccia con proprietà dielettriche differenti dal mezzo che la circonda viene parzialmente riflesso in superficie (Fig. 01).

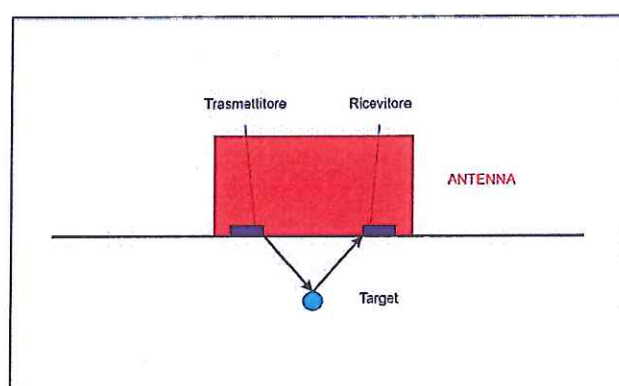


Figura 1

La prospezione radar rappresenta un rapido metodo di indagine non invasiva utilizzabile per la definizione di obiettivi in differenti ambiti, quali:

- ingegneria civile
 - controlli strutturali su manufatti
 - analisi della qualità dei getti in calcestruzzo e verifiche di spessore
 - verifiche su lesioni
 - localizzazione di armature
 - localizzazione di sottoservizi
 - analisi pavimentazioni stradali
- geologia
 - ricostruzioni stratigrafiche (a bassa profondità)
 - individuazione di discontinuità
 - individuazione di cavità
- archeologia
 - ricerca di strutture sepolte
 - analisi su strutture murarie

- ambiente
 - localizzazione sottoservizi (propedeutico a sondaggi)
 - individuazione oggetti sepolti (cisterne, serbatoi, fusti, etc)

2.2 CENNI DI FISICA DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le onde elettromagnetiche si propagano nell'aria con una velocità di 0.3 m/ns mentre nei materiali la velocità si riduce in funzione delle proprietà elettromagnetiche: permittività dielettrica relativa (costante dielettrica) ϵ_r , permeabilità magnetica relativa μ_r e conducibilità elettrica σ .

La velocità delle onde elettromagnetiche nei materiali può essere espressa dalla seguente equazione:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + (\sigma/\omega\epsilon)^2}}{2}} * \epsilon_r * \mu_r}$$

dove:

c = velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto (0.3 m/ns)

$\epsilon = \epsilon_r * \epsilon_0$ permittività dielettrica (ϵ_r costante dielettrica nel materiale, ϵ_0 costante dielettrica nel vuoto)

$\omega = \pi f$ frequenza angolare

Nei materiali non magnetici come la sabbia pulita e la ghiaia all'interno dei quali il fattore di attenuazione è considerato pari a zero, la velocità delle onde elettromagnetiche può essere ridotta alla formula:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Tale assunto non può essere applicato ai materiali caratterizzati da un'elevata conducibilità elettrica poiché provocano un'elevata attenuazione del segnale.

Il coefficiente di attenuazione può essere così espresso:

$$\alpha = \omega \sqrt{\epsilon \mu \frac{\sqrt{1 + (\sigma/\omega\epsilon)^2} - 1}{2}}$$

e nei materiali resistivi può essere così ridotto:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Ipotizzando che i materiali attraverso i quali passa l'impulso elettromagnetico, non siano magnetici (si considera μ uguale alla permeabilità magnetica del vuoto), l'equazione evidenzia come l'attenuazione sia proporzionale alla conducibilità elettrica. Pertanto risulta elevata nei materiali con un'alta conducibilità quali le argille, i metalli e le acque con un notevole quantitativo di sali disciolti, mentre è caratterizzata da bassi valori nelle ghiaie, nelle sabbie e nelle rocce cristalline.



I materiali con elevati valori di attenuazione limitano notevolmente la profondità di penetrazione del segnale, ma costituiscono degli ottimi riflettori.

La quantità di energia riflessa in superficie può essere espressa attraverso il coefficiente di riflessione R, il quale, in condizioni di bassa attenuazione e materiali non magnetici, è determinato dalla seguente equazione:

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}$$

Dove ε_1 e ε_2 rappresentano le costanti dielettriche dei mezzi separati dall'interfaccia di riflessione.

2.3 RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DI UN'ONDA ELETTROMAGNETICA

Quando un impulso elettromagnetico incontra un'interfaccia che separa materiali con differenti proprietà dielettriche, una porzione del fronte d'onda cambierà direzione a causa del fenomeno definito come dispersione.

La dispersione può verificarsi in quattro differenti modi:

1. **Riflessione** (Fig. 2A): quando l'impulso incontra l'interfaccia tra i due mezzi parte dell'energia dell'onda che incide la superficie viene riflessa nel mezzo 1 in base alla legge di Snell (angolo di riflessione = angolo di incidenza) che può essere espressa dalla seguente equazione:

$$\varphi_1 = \varphi_2$$

dove:

φ_1 = angolo di incidenza

φ_2 = angolo di riflessione

2. **Rifrazione** (Fig. 2B): quando l'impulso incontra l'interfaccia tra i due mezzi parte dell'energia dell'onda che incide la superficie attraverserà il mezzo 2 con un angolo definito dalla seguente legge di Snell

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$$

dove:

v_1 = velocità nel mezzo 1

v_2 = velocità nel mezzo 2

ϕ_1 = angolo di incidenza

ϕ_2 = angolo di rifrazione



Qualora la velocità del mezzo 2 sia maggiore di quella del mezzo 1, l'onda viaggerà lungo l'interfaccia tra i materiali con una velocità uguale a quella del mezzo 2 (riflessione totale). In questo caso l'angolo, definito angolo critico, sarà pari a 90° e può essere così espresso:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sin \varphi_1$$

3. **Diffrazione** (Fig. 2C): questo fenomeno si verifica quando l'impulso è parzialmente ostacolato da una variazione repentina di inclinazione dell'interfaccia. L'onda si disperde da un punto in varie direzioni.
4. **Risonanza** (Fig. 2D): questo fenomeno si verifica quando l'impulso incide su un oggetto di dimensioni ridotte o qualora il contrasto tra la costante dielettrica dell'oggetto e quella del mezzo incassante sia elevato. L'onda rimbalza tra differenti punti all'interno dell'oggetto.

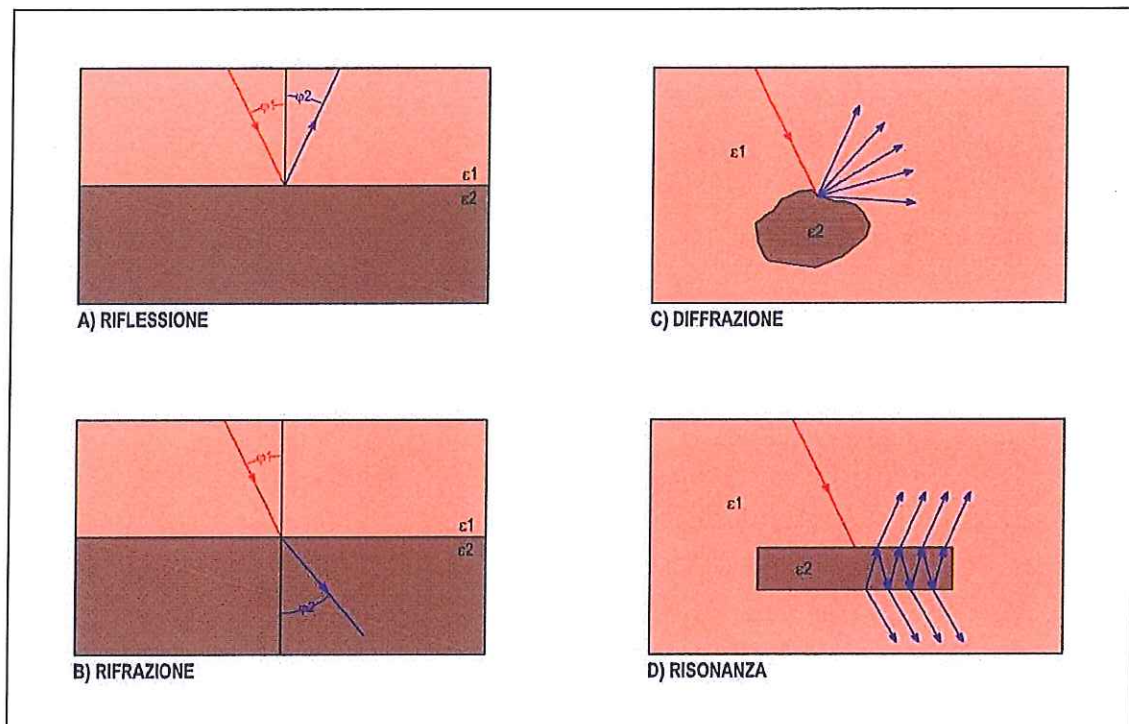


Figura 2

Il tempo che l'impulso elettromagnetico impiega dall'antenna emittente a raggiungere quella ricevente è definito tempo di transito. Misurando il tempo di transito del segnale è possibile calcolare la profondità del riflettore (h):

$$h = \frac{ct}{2\sqrt{\varepsilon}} = \frac{vt}{2}$$

dove:

v = velocità dell'impulso nel mezzo

t = tempo di transito

ε = costante dielettrica del mezzo

Quando l'impulso incontra un'interfaccia continua rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un elemento lineare (Fig. 3):

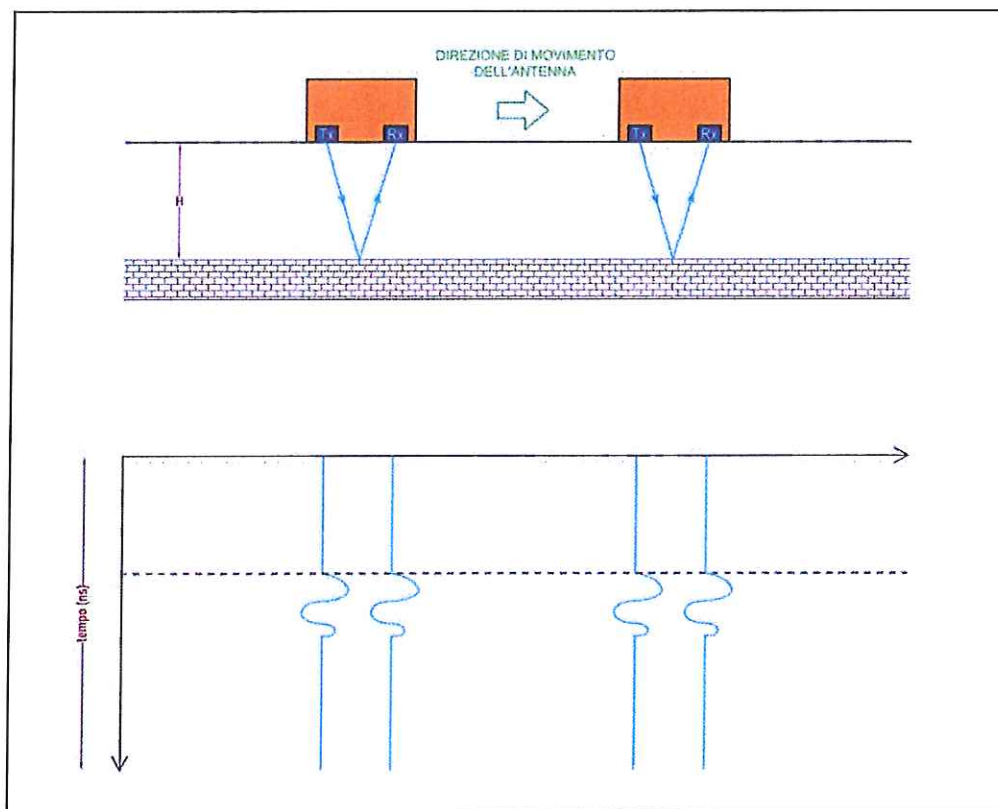


Figura 3

Quando l'impulso incontra un'interfaccia di limitata estensione laterale rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un'iperbole (Fig. 4). Tipico esempio di interfaccia di limitata estensione laterale è rappresentato dai sottoservizi (quando la linea di rilievo è perpendicolare alla direzione di sviluppo degli stessi).

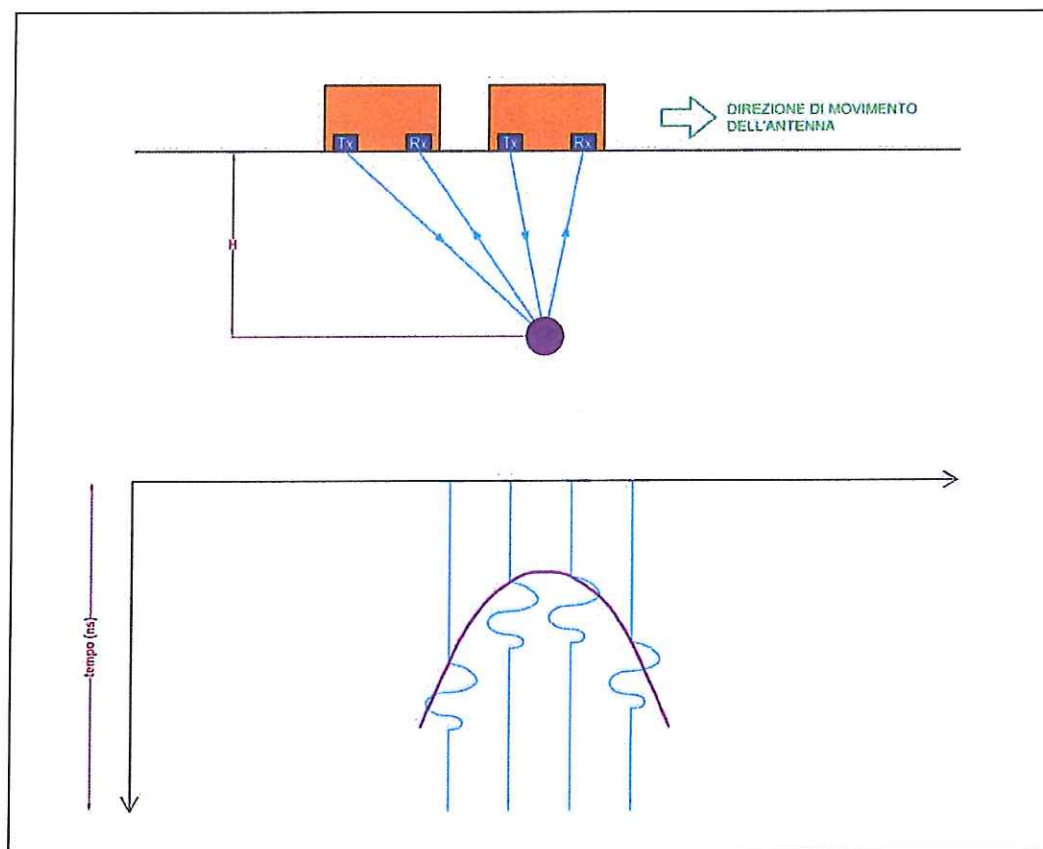


Figura 4

2.4 COSTANTE DIELETTRICA DEI MATERIALI

La costante dielettrica dei materiali è il parametro fondamentale per la metodologia GPR poiché da essa dipendono:

- velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo
- coefficienti di riflessione

Nelle rocce e nei sedimenti le costanti dielettriche dipendono principalmente dalla frequenza di misura e dalle proprietà dei materiali, quali porosità, contenuto d'acqua e caratteristiche geometriche della fase solida.

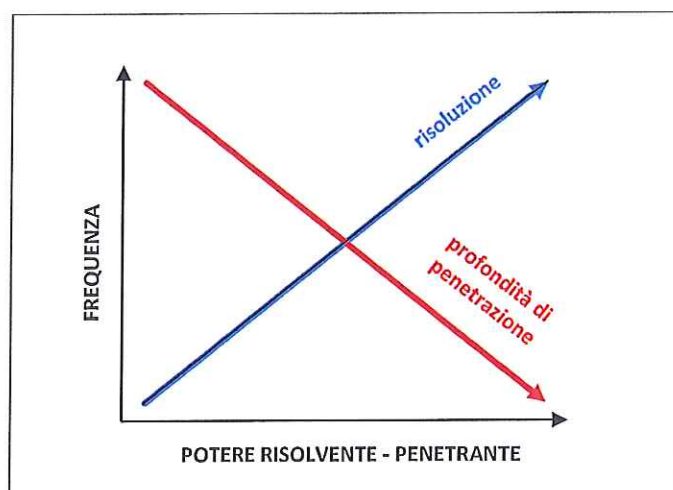
Nella tabella di seguito si riportano alcuni valori di costanti dielettriche:

Materiale	Costante dielettrica	Velocità (mm/ns)
aria	1	300
acqua	81	33
ghiaccio	3,2	167
permafrost	1-8	106-300
sabbia (asciutta)	3-6	120-170
sabbia (bagnata)	25-30	55-60
limo (bagnato)	10	95
argilla	8-15	86-110
terreno agricolo	15	77
suolo	16	75
granito	5-8	106-120
calcare	7-9	100-113
dolomia	6,8-8	106-115
basalto (bagnato)	8	106
scisti (bagnati)	7	113
arenaria (bagnata)	6	112
carbone	4-5	134-150
quarzo	4-3	145
calcestruzzo	5-8	55-120
asfalto	3-5	134-173
PVC	3	173

John Wiley & Sones "An introduction to applied and environmental geophysics" 1997

2.5 POTERE PENETRANTE E POTERE RISOLVENTE

La **profondità di penetrazione** del segnale è funzione della frequenza centrale dell'antenna, della conducibilità elettrica e dell'attenuazione dei materiali indagati.



L'attenuazione del segnale dipende dalla conducibilità elettrica dei materiali, pertanto i materiali resistivi attenuano molto lentamente il segnale, mentre nei materiali conduttivi o nelle argille l'attenuazione è rapida e la profondità di penetrazione si riduce significativamente.



La massima profondità di penetrazione si raggiunge nelle sabbie e nelle ghiaie asciutte oppure nelle arenarie (materiali resistivi).

La **risoluzione verticale** dipende principalmente dalla lunghezza d'onda λ del segnale elettromagnetico che a sua volta è determinata dalla frequenza f e dalla velocità v dei materiali (poiché $\lambda = v/f$).

Si considera come massima risoluzione verticale $\frac{1}{4}$ della lunghezza d'onda della frequenza centrale dell'antenna.

2.6 RAPPRESENTAZIONE DEI RADARGRAMMI

Le radargrafie (Fig. 6B) sono rappresentate come sequenza di scan adiacenti (Fig. 5) ai quali è attribuita una scala colore in funzione dei valori di ampiezza (Fig. 6A).

Figura 5 - Rappresentazione di uno scan (visualizzazione della forma d'onda) e della relativa scala colore (ampiezza d'onda).

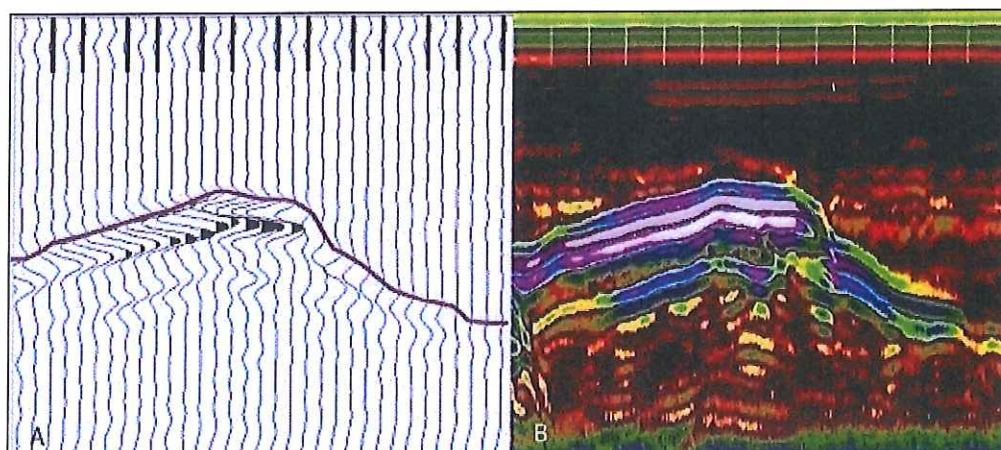
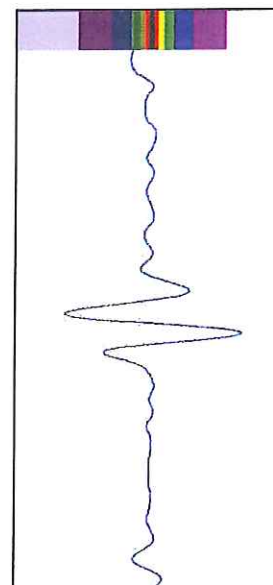


Figura 6 - Rappresentazione in modalità "wiggly" (A) e in scala colore (B).

3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

3.1 INDAGINI GEORADAR

Le prove sono state effettuate con la seguente strumentazione:

Il set di strumentazione per le indagini GPR è costituito da:

- acquirettore;
- antenna;
- odometro (strumento per misurare la lunghezza di un percorso) o strumento per l'inserimento di marker manuali.

3.1.1 ACQUISITORE

L'acquirettore utilizzato è il modello SIR 3000 della GSSI di cui sono riportate le principali caratteristiche tecniche:

Memoria di massa	1 GB
Visualizzazione dati	Linescan, O-scope, 3D
Formato dati	RADAN (dzt)
Digitalizzazione	8-bit o 16-bit
Campioni per scan	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Modalità di rilievo	free run, survey wheel, puntuale
Range temporale	0-8,000 nanosecondi
Gain	manuale o automatico, 1-5 punti di gain (-20 to +80 dB)
Possibilità di collegamento encoder distanze	SI
Possibilità di inserimento marker manuali	SI
Filtri verticali	vertical
Filtri orizzontali	stack o background removal
Frequenza di trasmissione	fino a 100 kHz

3.1.2 ANTENNE

Le antenne in un sistema radar costituiscono l'elemento fondamentale poiché determinano la risoluzione e la massima profondità di penetrazione (Fig. 7a - 7b).

La scelta dell'antenna è dettata dalla profondità dell'obiettivo da identificare e dalla precisione con la quale deve essere ricostruito. Prima di eseguire il rilievo vengono effettuati dei test con differenti antenne e setup di acquisizione per valutare la migliore soluzione da adottare.



Le antenne emettono energia con un ampio cono paragonabile ad una semisfera. Questo cono si riduce ad una apertura di 60-90 gradi quando l'antenna è a diretto contatto con la superficie oppure a breve distanza.

La distanza ottimale tra antenna e superficie dovrebbe risultare inferiore a 1/10 della lunghezza d'onda.

Antenna	Frequenza centrale (MHz)	Profondità di penetrazione (m)	Range acquisizione (ns)
A	100	2-15	300-500
B	400	0-4	20-100
C	900	0-1	10-20
D	1500	0-0,5	10-15

La profondità di penetrazione dipende dalle condizioni del sottosuolo.



Figura 7a – Antenna da 400 MHz



Figura 7b – Antenna da 1.5 GHz

3.1.3 MISURAZIONE DISTANZE

Una corretta restituzione del dato radar prevede un'equa interdistanza spaziale tra gli scan. Tale risultato può essere raggiunto con due differenti modalità.

1. utilizzo della survey wheel (odometro)
2. inserimento manuale di marker

Nel primo caso (impiego di odometro) è possibile definire in fase di acquisizione la risoluzione orizzontale del rilievo, ovvero il parametro scan/metro.

Nel secondo caso vengono manualmente inseriti dei marker (indicatori) sulla radargrafia in corrispondenza di riferimenti noti. Nella successiva fase di processing, gli scan acquisiti vengono uniformemente spazati mediante operazione di stacking.

3.2 CAROTAGGI

I prelievi diretti della struttura muraria sono stati effettuati con carotatrice Hilti modello DD-130, le cui principali caratteristiche sono:

- potenza nominale: 1900 W;
- accessibilità negli angoli: 57 mm;
- velocità a vuoto: 780-2600 giri/min;
- peso del sistema (completo di telaio): 20,7 Kg;
- guida di fissaggio carotatrice;
- pompa manuale per acqua: capacità 10 l;
- corona diamantata: diametro esterno 52mm e 100mm.



4 DESCRIZIONE DEL RILIEVO ESEGUITO

4.1 INDAGINI SU STRUTTURA MURARIA

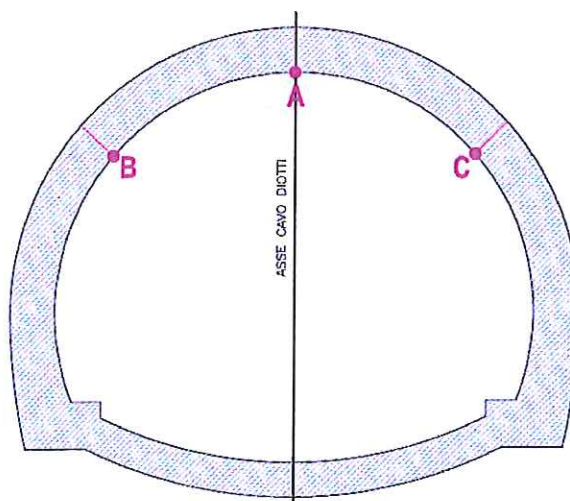
L'indagine georadar ha previsto l'esecuzione di 3 sezioni longitudinali, di lunghezza pari a 97 m, effettuate sulla calotta del Cavo Diotti di Merone (CO).

Le sezioni sono state acquisite con due diverse antenne:

- ✓ Antenna da 400 MHz al fine di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e l'eventuale presenza di vuoti a tergo della struttura muraria.
- ✓ Antenna da 1.5 GHz per un'analisi di dettaglio sullo stato di conservazione della muratura.

Ogni sezione è composta da 5 linee di rilievo (4 linee di 20 m e 1 linea di 17 m di lunghezza).

La geometria di acquisizione è riportata nello schema seguente:



Il rilievo georadar è stato condotto utilizzando il seguente setup di acquisizione:

ANTENNA 400 MHz

- Samples (campioni acquisiti per scan): 1024
- Bit/samples: 16
- Range (finestra di acquisizione in nanosecondi): 40
- Rate (numero di scan acquisiti per metro): 100
- Marker: survey wheel (1 m)
- Livelli di gain (dB): 5 (-9, -9, 9, 11, 39)

ANTENNA 1.5 GHz

- Samples (campioni acquisiti per scan): 256
- Bit/samples: 16
- Range (finestra di acquisizione in nanosecondi): 7
- Rate (numero di scan acquisiti per metro): 200
- Marker: survey wheel (0.2 m)
- Livelli di gain (dB): 1 (-6)

L'indagine ha previsto il prelievo di n.5 carote dalla struttura muraria del condotto in zone mirate, per verifica diretta degli spessori e dello stato di conservazione dei mattoni. Le carote sono state eseguite con carotatrice Hilti modello DD-130 con corona diamantata; il diametro esterno delle carote è pari a 52 mm per la carota 1 e 100 mm per le carote 2-5.

4.2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO

È stata eseguita una indagine geotecnica mediante sondaggio a carotaggio continuo nell'area adiacente all'imbocco lato monte della condotta, con installazione di un piezometro.

Il sondaggio è stato effettuato con diametro di 3 pollici e di lunghezza pari a 15 m; per i primi 3 m sono stati utilizzati tubi ciechi, da 3 m a fondo foro tubi microfessurati.



5 ELABORAZIONE DATI

Il processing dei dati ha previsto i seguenti step:

- ✓ **Identificazione riflettori e picking:** l'operazione di picking consente di identificare dei valori di picco di ampiezza che individuano dei riflettori o dei target sulle radargrafie 2D.
- ✓ **Verifica con dati diretti:** i carotaggi che hanno raggiunto la profondità del terreno naturale hanno permesso di verificare lo spessore della struttura muraria e di tarare quindi il rilievo georadar.
- ✓ **Identificazione anomalie del segnale:** l'analisi delle caratteristiche geometriche dei riflettori individuati ha permesso di identificare lo spessore della struttura muraria su tutto il cavo e l'eventuale presenza di acqua all'interno del terreno naturale.

Le sezioni georadar e i relativi profili interpretativi sono riportati in allegato (Tavola 01).

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con i seguenti software:

- data processing: Radan 6.5 (GSSI);
- rappresentazione grafica: Autocad 2010.



6 RISULTATI DEL RILIEVO E CONCLUSIONI

6.1 INDAGINE SU STRUTTURA MURARIA

Su incarico del Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro nei giorni 12 e 13 Ottobre 2011 è stata effettuata un'indagine georadar in corrispondenza del Cavo Diotti a Merone (CO), al fine di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e l'eventuale presenza di vuoti a tergo della struttura muraria.

L'indagine georadar ha previsto l'impiego di due antenne a diversa frequenza:

- ✓ Antenna da 400 MHz al fine di valutare lo spessore, lo stato di conservazione del manufatto e l'eventuale presenza di vuoti a tergo della struttura muraria.
- ✓ Antenna da 1.5 GHz per un'analisi di dettaglio sullo stato di conservazione della muratura.

Sono state prelevate n. 5 carote dalla struttura muraria del condotto per verifica diretta degli spessori e dello stato di conservazione dei mattoni. Per il prelievo è stata utilizzata una carotatrice Hilti con corona diamantata a diametro esterno pari a 52mm (carota 1) e 100mm (carote 2-5). Le foto delle carote sono riportate in allegato (All. 01).

Le radargrafie effettuate con antenna da 400 MHz hanno permesso di identificare:

- Spessore della struttura muraria (mattoni e malta cementizia);
- Presenza di acqua all'interno del terreno naturale.

Le sezioni non mostrano l'esistenza di vuoti a tergo della struttura muraria, dove si riscontra sempre la presenza di terreno naturale.

In alcune zone si riscontra la presenza di riflettori ad ampiezza maggiore in corrispondenza del passaggio da struttura muraria a terreno; in tali zone sono ben visibili sulla calotta della condotta numerose concrezioni calcaree, pertanto tale anomalia può essere ricondotta alla presenza di acqua nel terreno a tergo del manufatto.

Le radargrafie effettuate con antenna da 1.5 GHz non mostrano variazioni nello stato di conservazione del manufatto, che si presenta generalmente in buone condizioni; le carote prelevate confermano la buona conservazione della struttura muraria.

In allegato (Tavola 01) si riportano i risultati del rilievo (radargrafie e sezioni interpretative) e l'ubicazione delle carote con l'indicazione dell'eventuale raggiungimento del terreno naturale.

6.2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO

È stata eseguita una indagine geotecnica mediante sondaggio a carotaggio continuo nell'area adiacente all'imbocco lato monte della condotta, con installazione di un piezometro. Il sondaggio è stato effettuato con diametro di 3 pollici e di lunghezza pari a 15 m; la quota della falda acquifera rilevata è pari a 3.5 m di profondità da piano campagna.

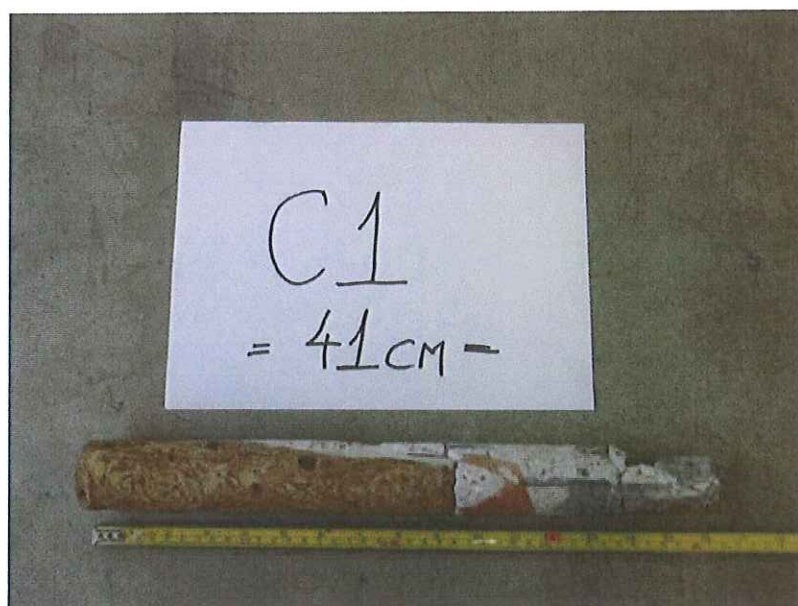
In allegato (All.02) si restituisce la stratigrafia e le foto delle cassette catalogatrici.



ALLEGATO 01

CAROTAGGI

Documentazione fotografica



CAROTA 1: lunghezza 41 cm – profondità terreno naturale non raggiunta



CAROTA 2: lunghezza 67 cm – ha raggiunto la profondità del terreno naturale



CAROTA 3: lunghezza 73 cm – profondità terreno naturale non raggiunta



CAROTA 4: lunghezza 65 cm – profondità terreno naturale non raggiunta



CAROTA 5: lunghezza 69 cm – ha raggiunto la profondità del terreno naturale

ALLEGATO 01

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

✓ **Documentazione fotografica**

✓ **Stratigrafia**



Cassetta 1: profondità 0.0 - 5.0 m



Cassetta 2: profondità 5.0 - 10.0 m



Cassetta 3: profondità 10.0 – 15.0 m

Cantiere Merone - Cavo Diotti	N. sondaggio 1
Committente AKRON Srl	Scala sondaggio 72
Perforatore Sig. Fallou	Geologo Michele Suardi
Coord.	Quota (p.c.)
Metodo perf. carotaggio continuo	Data ultimazione ottobre 2011

Profondita' m.	Potenza m.	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Piez. Tubo Aperto	Scala 1:72
0.70	0.70		Materiale di riporto sabbioso limoso bruno			
1.30	0.60		Sabbia medio fine, nocciola con un pezzo di laterizio (riporto?)			1
1.80	0.50		Sabbia debolmente ghiaiosa beige con un pezzo di laterizio (riporto?)			2
2.35	0.55		Sabbia medio fine grigio nocciola, con un pezzo di laterizio (riporto?)			3
3.10	0.75		Sabbia fine grigia			4
4.50	1.40		Sabbia fine limosa beige, con rari ciottoli centimetrici	3.50		5
5.35	0.85		Limo argilloso grigio			6
5.90	0.55		Ghiaia e sabbia limosa grigia			7
6.00	0.10		Ciottoli			8
	6.00		Ghiaia e ciottoli da centimetrici a pluricentimetrici (rari), in matrice sabbiosa limosa grigia molto consistente a tratti cementata			9
						10
						11
						12
12.00	0.10		Ciottoli			13
12.10			Ghiaia e ciottoli parzialmente cementati in matrice limosa sabbiosa grigia			14
	2.90					15
15.00						