



UNIVERSITA' DEGLI STUDI
DI TORINO

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA

Via Valperga Caluso, 35 - 10125 TORINO – Italy
Tel. 011 6705171 -0116705137 Fax 011 6705146



DIPARTIMENTO DI SCIENZE
DELLA TERRA

CONVENZIONE SCIENTIFICA TRA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E REGIONE PIEMONTE - DIREZIONE AGRICOLTURA

FINALIZZATA A

**“DEFINIZIONE DI LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE
DELLE PERDITE DEI CANALI IRRIGUI”**

RELAZIONE FINALE

Domenico Antonio De Luca (responsabile scientifico)

Cesare Comina

Enrico Destefanis

Francesco Marzano

Giorgio Carbotta

Giovanna Dino

Iride Passarella

Luciano Masciocco

Luigi Sambuelli

Luigi Perotti

Manuela Lasagna

Paolo Clemente

Sabrina Bonetto

Stefano Ghilino (Segreteria)

Torino, 26/10/2011



INDICE

PREMESSA	10
I - I CANALI IRRIGUI	12
I.1 - TRATTI DI CANALI IRRIGUI INDAGATI	13
II - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI	15
II.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	15
II.1.1 - METODO IDROCHIMICO	15
II.1.2 - METODO PIEZOMETRICO	15
II.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA	16
II.1.4 - MICROPIEZOMETRI	20
II.2 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	21
II.2.1 - ANALISI GRANULOMETRICA	21
II.2.1.1 - GRANULOMETRIA PER VAGLIATURA O SETACCIATURA	22
II.2.1.2 - GRANULOMETRIA DELLA FRAZIONE FINE, METODO DEL DENSIMETRO	24
II.2.1.3 - RAPPRESENTAZIONE DEI DATI	26
II.2.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	27
II.2.3 - PROVE PENETROMETRICHE	29
II.3 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	30
II.3.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	30
II.3.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	34
II.3.3 - UTILIZZO DEI TRACCIANTI	37
II.3.3.1 - I TRACCIANTI IONICI	38
II.3.3.2 - I TRACCIANTI COLORATI	40
II.3.3.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	42
II.3.3.4 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO CON FLUORESCINA E RODAMINA	47
II.3.3.5 - DETEZIONE DEI TRACCIANTI FLUORESCENTI	49
II.3.4 - MONITORAGGIO DELLE OSCILLAZIONI DI LIVELLO	53
II.4 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE	54
II.4.1 - STIMA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	54
II.4.1.1 - FORMULA DI DAVIS E WILSON (1967)	54
II.4.1.2 - FORMULA DI DOORENBOS (1963)	55
II.4.1.3 - PERDITE NEI CANALI DI TERRA - LOTTI (1974)	55
II.4.1.4 - FORMULA DELL' U.S. BUREAU OF RECLAMATION	56
II.4.2 - STIMA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	58



II.4.2.1 - VALUTAZIONE DELLE PERDITE TRAMITE MULINELLO IDROMETRICO	58
II.4.2.2 - VALUTAZIONE DELLE PERDITE TRAMITE DOPPIO TRACCIANTE	59
II.4.2.2.1 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE – MODIFICATO	62
II.4.2.2.2 - UTILIZZO DELLA FLUORESCEINA E RODAMINA COME TRACCIANTI INDICATORI	63
II.4.2.2.3 - TRACCIAMENTO DI RIFERIMENTO CON CLORURO DI SODIO	63
II.4.2.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	64
II.4.2.4 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE IN CONTINUO	64
III.1 - CANALE DI CALUSO	66
III.1.1 - CENNI STORICI	66
III.1.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	69
III.1.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	69
III.1.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	71
III.1.2.2.1 – L'ANFITEATRO MORENICO D'IVREA	71
III.1.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	75
III.1.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO	76
III.1.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CANALE	78
III.1.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA UTILIZZATI	80
III.1.5.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA	80
III.1.5.1.1 - METODO IDROCHIMICO	80
III.1.5.1.2 - METODO PIEZOMETRICO	82
III.1.5.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA	83
III.1.5.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALI IRRIGUI	87
III.1.5.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	87
III.1.5.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	87
III.1.5.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	93
III.1.5.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	94
III.1.5.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	98
III.1.5.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	98
III.1.5.2.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	98
III.1.5.2.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE	99
III.1.5.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	101
III.1.5.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO	101
III.1.5.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE	102
III.1.5.2.3.3 - MONITORAGGIO DELLE VARIAZIONI DEI LIVELLI IDRICI	104
III.1.5.2.3.4 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	104



III.2 - BEALERA DI OSASCO	105
III.2.1 - CENNI STORICI	105
III.2.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	105
III.2.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	105
III.2.2.2.1 - BASAMENTO CRISTALLINO	108
III.2.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	108
III.2.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE	110
III.2.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	112
III.2.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO	113
III.2.3.1 - PROFILO A - A'	113
III.2.3.2 - PROFILO B - B'	115
III.2.3.3 - INTERPRETAZIONE DEI PROFILI	117
III.2.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CANALE	119
III.2.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI	121
III.2.5.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALI IRRIGUI	121
III.2.5.1.1 - METODO IDROCHIMICO	121
III.2.5.1.2 - METODO PIEZOMETRICO	126
III.2.5.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA	128
III.2.5.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALI IRRIGUI	128
III.2.5.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	128
III.2.5.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	128
III.2.5.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	134
III.2.5.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	135
III.2.5.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	138
III.2.5.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	138
III.2.5.2.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	139
III.2.5.2.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE	140
III.2.5.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	141
III.2.5.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO	141
III.2.5.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE	141
III.2.5.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	143



III.3 - NAVIGLIO DI BOVES	144
III.3.1 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	144
III.3.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	144
III.3.1.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	146
III.3.1.2.1 - BASAMENTO CRISTALLINO	147
III.3.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE	148
III.3.1.3 - ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	150
III.3.2 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO	152
III.3.3 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE	153
III.3.4 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI	155
III.3.4.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	155
III.3.4.1.1 - METODO IDROCHIMICO	155
III.3.4.1.2 - METODO PIEZOMETRICO	159
III.3.4.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA	161
III.3.4.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	162
III.3.4.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	162
III.3.4.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	162
III.3.4.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	166
III.3.4.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	166
III.3.4.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	167
III.3.4.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	168
III.3.4.2.2.1.1 - ANALISI GRANULOMETRICA	168
III.3.4.2.2.1.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	170
III.3.4.2.2.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE	171
III.3.4.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	174
III.3.4.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO	174
III.3.4.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE	174
III.3.4.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	176



III.4 - NAVIGLIO DI BRA	177
III.4.1 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	177
III.4.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	177
III.4.1.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	179
III.4.1.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO	182
III.4.2 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO	185
III.4.3 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE	187
III.4.4 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI	189
III.4.4.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	189
III.4.4.1.1 - METODO IDROCHIMICO	189
III.4.4.1.2 - METODO PIEZOMETRICO	193
III.4.4.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA	194
III.4.4.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	197
III.4.4.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	197
III.4.4.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	197
III.4.4.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	201
III.4.4.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	202
III.4.4.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	207
III.4.4.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	207
III.4.4.2.2.1.1 - ANALISI GRANULOMETRICA	207
III.4.4.2.2.1.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	211
III.4.4.2.2.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE	212
III.4.4.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	212
III.4.4.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO	212
III.4.4.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE	213
III.4.4.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	214
III.5 - ROGGIA FRASCHETTA	215
III.5.1 - CENNI STORICI	215
III.5.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	216
III.5.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	216
III.5.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	217
III.5.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE	222
III.5.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO	223



III.5.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO	225
III.5.3.1 - PROFILO A - A'	226
III.5.3.2 - PROFILO B - B'	226
III.5.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE	229
III.5.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI	231
III.5.5.1 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI	231
III.5.5.1.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO	231
III.5.5.1.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO	231
III.5.5.1.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI	236
III.5.5.1.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO	236
III.5.5.1.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE	238
III.5.5.1.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE	238
III.5.5.1.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH	238
III.5.5.1.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE	239
III.5.5.1.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO	241
III.5.5.1.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO	241
III.5.5.1.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE	241
III.5.5.1.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO	243
III.6 – CONCLUSIONI RIASSUNTIVE	244
IV - TECNICHE GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE DI POSSIBILE PERDITA	255
IV.1 - METODOLOGIE ADOTTATE	258
IV.1.1 - TECNICA CVES	258
IV.1.2 - TECNICA SOTEBIT	263
IV.2 - CASI DI STUDIO	265
IV.2.1 - NAVIGLIO DI BRA	265
IV.2.2 - BEALERA DI OSASCO	271
IV.2.3 - CANALE DI CALUSO	282
IV.2.4 - ROGGIA FRASCHETTA	286
IV.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	291



V - TELERILEVAMENTO	293
V.1 - INTRODUZIONE	293
V.2 - DATI DISPONIBILI	296
V.2.1 - LE IMMAGINI WORLDVIEW-2	298
V.2.2 - IL PAN-SHARPENING	300
V.3 - TELERILEVAMENTO DELLA VEGETAZIONE	300
V.3.1 - INDICE DI VEGETAZIONE	302
V.4 - IL PREPROCESSING DELLE IMMAGINI	303
V.4.1 - PRE-ELABORAZIONI GEOMETRICHE	305
V.4.2 - LA CORREZIONE RADIOMETRICA	305
V.5 - AREA DI STUDIO	308
V.6 - ANALISI DELLE IMMAGINI	309
V.7 - CONCLUSIONI E SCHEDE RIASSUNTIVE	323
VI - BIBLIOGRAFIA	337



PREMESSA

- Nell'ambito della Convenzione quadro, approvata con D.G.R. n. 9-6099 dell'11 giugno 2007, e stipulata tra Regione Piemonte e Università di Torino, Politecnico di Torino, Università degli Studi del Piemonte Orientale e Università degli Studi di Scienze Gastronomiche per l'utilizzo delle competenze specialistiche degli Atenei da parte delle Direzioni regionali;
- in considerazione della necessità della Direzione Agricoltura (Settore Infrastrutture Rurali e Territorio) di avvalersi di competenze specialistiche per la definizione di una procedura volta alla quantificazione delle perdite idriche nei canali irrigui;
- in virtù della proposta scientifica trasmessa alla Direzione Agricoltura dal Dipartimento di Scienze della Terra (DST) e della relativa Determina Dirigenziale di approvazione

il suddetto DST ha ricevuto incarico per la realizzazione dello studio denominato: "Linee guida per la valutazione delle perdite dei canali irrigui", del quale il presente elaborato costituisce RELAZIONE FINALE DI PROGETTO che integra la "Relazione sulle attività svolte nel periodo marzo – ottobre 2010", presentata alla Direzione Agricoltura nell'ottobre 2010.

La ricerca è stata effettuata dall'Università degli Studi di Torino, Gruppo di Lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra (DST) coordinato dal Prof. Domenico De Luca.

I partecipanti alla convenzione sono stati i seguenti:

Domenico De Luca

Cesare Comina

Sabrina Bonetto

Luciano Masciocco

Manuela Lasagna

Giorgio Carbotta

Enrico Destefanis

Giovanna Dino



Ghilino Colletti (Segreteria)

Paolo Clemente

Francesco Marzano

Iride Passarella

Luigi Perotti

Sambuelli Luigi

La ricerca ha avuto come finalità la definizione di una procedura per la quantificazione delle perdite idriche nei canali irrigui onde consentire alla Regione di verificare la necessità o meno di procedere alla loro impermeabilizzazione. Si tratta, quindi, di una ricerca prevalentemente sperimentale, volta a chiarire i meccanismi che regolano tali perdite, con l'uso delle tecnologie e delle conoscenze più adatte alla loro quantificazione, in modo da poter scegliere quali siano le metodiche speditive che garantiscono il miglior rapporto fra risultato e prezzo, tenendo conto che dovranno essere alla portata, tecnica ed economica, degli operatori presenti sul territorio.

La ricerca si è sviluppata anche mediante la collaborazione con il Gruppo di lavoro del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale coordinato dal Prof. Stefano Ferraris; tale Gruppo ha provveduto a produrre una propria relazione finale.

Le attività di ricerca del DST sono state svolte in cinque tratti di canali delle Provincie di Torino, Alessandria e Cuneo, rappresentativi delle diverse tipologie di canale individuate di concerto con la Regione Piemonte.

La scelta degli approcci metodologici è stata differenziata per ogni canale per adattarsi alle differenti condizioni operative.



I - I CANALI IRRIGUI

L'esigenza di rifornirsi di acqua per tutti gli usi ha spinto da sempre l'uomo a procurarsi questa risorsa facendo riferimento alle condizioni naturali dei luoghi ed alla dotazione naturale.

In Italia la diversa costituzione geo - pedologica dei terreni, la differente morfologia e la particolare orografia hanno condizionato il diverso reperimento e utilizzo di una risorsa essenziale come l'acqua. Sorgenti, pozzi, fiumi e laghi hanno rappresentato motivo essenziale nel divenire della civiltà e dell'economia ed hanno costituito la prima fonte di approvvigionamento per gli usi potabili e, successivamente, per l'irrigazione, l'artigianato, l'industria e i trasporti. Di fronte alla disponibilità della risorsa, con il tempo, si sono dovute migliorare le tecniche di adduzione in relazione anche alle crescenti utilizzazioni. Perché l'acqua possa essere utilizzata è necessario che venga prelevata dal suo ambiente naturale con opere che ne regolamentino la distribuzione nel tempo e nello spazio e che sia trasportata e distribuita alle varie utenze. Queste funzioni vengono assolte da:

- opere di presa (da acque superficiali, da sorgenti, da acque sotterranee);
- opere di invaso (o di regimazione);
- opere per garantire la qualità (potabilizzazione, depurazione);
- opere di distribuzione (reti di acquedotti per gli usi civili e industriali, reti irrigue);
- opere di trasporto (canali, gallerie, tubazioni);
- opere di raccolta (reti di bonifica).

Le opere di prelievo, di adduzione e di trasporto sono legate alla diversa disponibilità di acqua che ne condiziona i diversi modi di utilizzo. Si spiegano così i numerosi progetti che, sin dall'età romana e ancor più nel basso Medioevo, hanno consentito a una fittissima rete di connessioni idriche naturali nella pianura padano-veneta, rappresentate dalle aste fluviali che convergono verso il Po, di alimentare una serie infinita di canali artificiali. Certamente i canali più utilizzati sono quelli irrigui. In Italia, infatti, l'irrigazione, diffusa su tutto il territorio italiano, veniva praticata per i prati, i seminativi, i vigneti, attraverso l'adduzione di acque tanto a pelo libero quanto attraverso condotte forzate. Erano impiegate anche acque di fiume e di falde freatiche e subalvee, quest'ultime sollevate mediante macchine quali il «timpano», la «noria», la «coclea», ecc.



I.1 - TRATTI DI CANALI IRRIGUI INDAGATI

Nel periodo compreso tra novembre 2009 e ottobre 2011 sono stati indagati 5 tratti di canali irrigui (Fig. I.1), indicati dalla Direzione Agricoltura Settore Infrastrutture Rurali e Territorio.

Nel dettaglio, i tratti di canale indagati sono:

a) Canale di Osasco

Tratto compreso tra i comuni di San Secondo di Pinerolo e Osasco nei pressi della frazione Airali sup. fino a Cascina Bianco, compreso tra i punti di coordinate (*):

	X	Y
Da	368147	4968775
a	368603	4968140

per una lunghezza di 0,9 km.

b) Canale di Caluso

Tratto compreso nel Comune di Mazzè a est della frazione di Tonengo di Mazzè, compreso tra i punti di coordinate (*):

	X	Y
Da	415149	5015339
a	416808	5013018

per una lunghezza di 3,9 km.

c) Bealera di Bra

Tratto compreso nel comune di Fossano tra Cascina Colombaro e Cascina Barbetta, compreso tra i punti di coordinate (*):

	X	Y
Da	392678	4925740
a	394910	4928541

per una lunghezza di 3,7 km.

d) Canale di Boves

Tratto compreso nel comune di Boves da frazione Tetto Monache alla stazione ferroviaria di Boves, compreso tra i punti di coordinate (*):

	X	Y
Da	382859	4910487
a	383773	4910323

per una lunghezza di 1,1 km.

e) Roggia Fraschetta

Tratto compreso nel comune di Tortona a nord di Cascina Carcassola, compreso tra i punti di coordinate (*):

	X	Y
Da	486785	4965230
a	487018	4966295

per una lunghezza di 1,1 km.

(*) le coordinate dei punti sono riferite al sistema ED 50.

Nei seguenti capitoli verranno descritti i singoli approcci metodologici applicati ed i relativi risultati su ciascun tratto di canale analizzato.

Per ciascuno dei siti elencati in precedenza sono state effettuate ricerche e elaborazione di dati (stratigrafie, misure di soggiacenza in pozzi e piezometri, lavori pregressi, ecc...) per una migliore caratterizzazione litostratigrafica e idrogeologica di base.

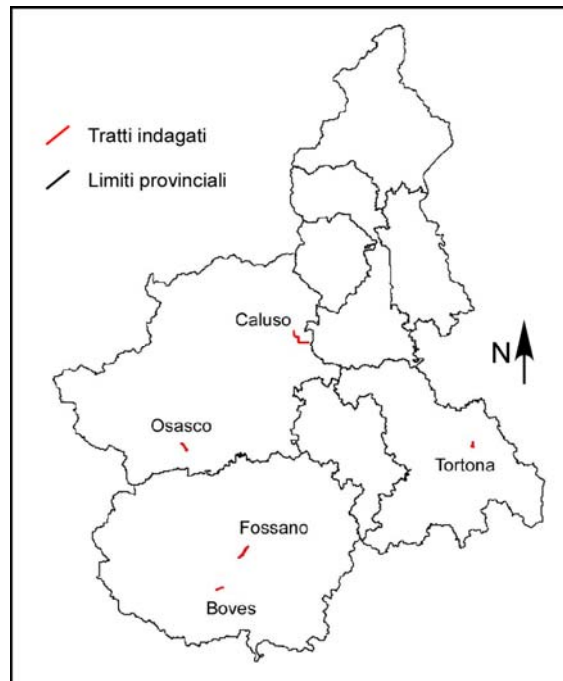


Figura I.1. Ubicazione dei 5 tratti di canali irrigui indagati.



II - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI

Vengono di seguito descritte le metodologie utilizzate nel presente studio e volte a definire le perdite dei canali in esame da un punto di vista qualitativo e quantitativo.

II.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

In letteratura si riportano numerose metodologie per la valutazione delle perdite dai canali da un punto di vista qualitativo; tali tecniche consentono di evidenziare la presenza di un flusso idrico che si muove dal canale verso la falda o viceversa, senza tuttavia dare indicazioni numeriche sui quantitativi di acqua in movimento.

II.1.1 - METODO IDROCHIMICO

Il metodo idrochimico consente di valutare, attraverso l'analisi idrochimica delle acque superficiali e sotterranee, la presenza di eventuali interazioni tra acquiferi e canali irrigui.

Le analisi possono essere più o meno complete in base agli scopi dell'indagine. Un sufficiente livello di informazioni si può raggiungere misurando la temperatura, la conducibilità elettrolitica, il contenuto salino, l'ossigeno disciolto, il pH e le loro variazioni nel tempo. Tali dati potrebbero risultare utili per verificare un'eventuale interferenza tra le acque del canale e le acque sotterranee e valutare l'entità e le modalità temporali degli scambi idrici.

II.1.2 - METODO PIEZOMETRICO

Il metodo piezometrico consente di valutare la presenza di eventuali perdite dai canali irrigui attraverso l'analisi delle modificazioni nella piezometria. Tale metodo richiede il monitoraggio dei livelli piezometrici in pozzi e piezometri esistenti e nei canali, eseguito mediante misure dirette (sondino piezometrico) e apposita strumentazione per la registrazione in continuo dei livelli. Quindi si procede con la

ricostruzione della piezometria della falda superficiale. Infine lo studio della morfologia della falda, in corrispondenza ai canali in esame, consente di evidenziare le zone in cui il flusso idrico sotterraneo si muove dal canale verso la falda (canale alimentante) o viceversa (canale drenante) (Fig. II.1). In presenza di un canale alimentante è possibile, in un secondo momento, eseguire una valutazione quantitativa delle perdite con le tecniche descritte nel paragrafo II.2.

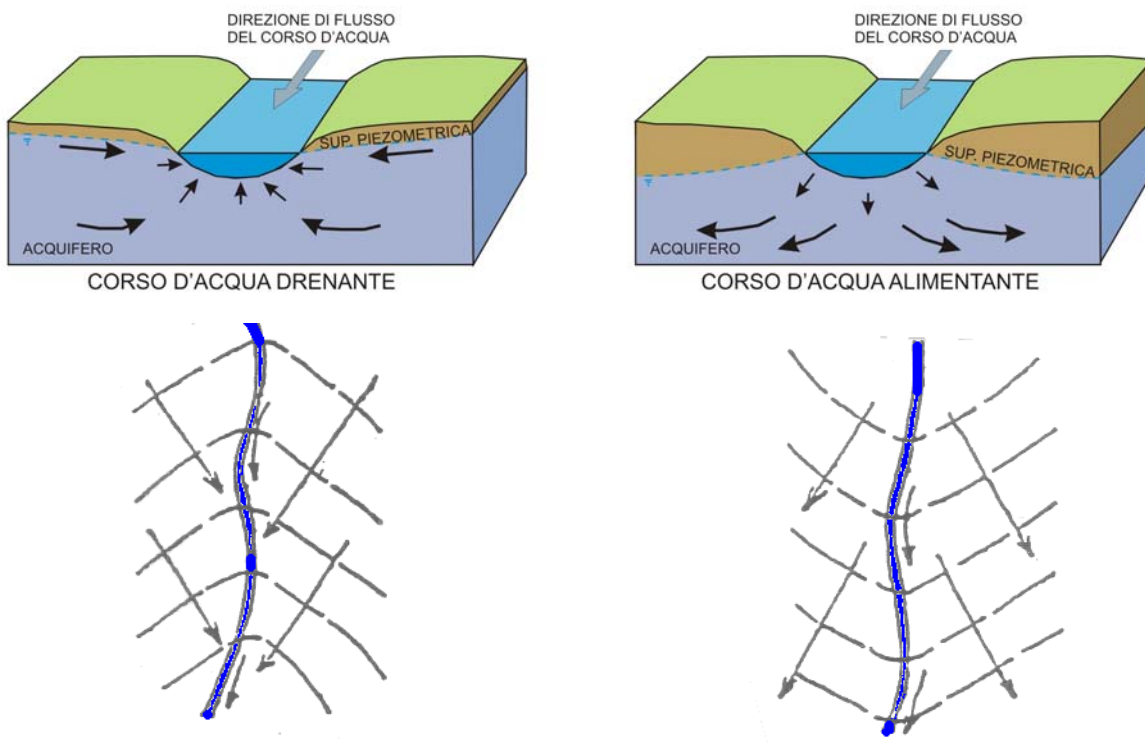


Figura II.1. Relazioni di drenaggio o alimentazione tra canale e acque sotterranee in sezione e in pianta (modificato da Lasagna & De Luca, 2008).

II.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Per ottenere utili informazioni sulla composizione del sottosuolo nei pressi dei canali possono essere effettuate tomografie elettriche.

La tomografia elettrica rappresenta una metodologia non-invasiva estremamente potente per le indagini del sottosuolo. Tale metodo permette di discriminare le caratteristiche elettriche di resistività del sottosuolo.



La resistività di un terreno esprime la sua attitudine all'attraversamento di una corrente elettrica in funzione della porosità, del grado di imbibizione e della resistività dell'acqua o dei fluidi contenuti; quest'ultimo parametro dipende dalla temperatura e dal contenuto di sali disciolti.

La resistività dei terreni, delle rocce e dell'acqua eventualmente presente nei pori di queste presenta in natura una grandissima variabilità, fino a sei ordini di grandezza (Tab. II.1). Tale aspetto permette di discriminare terreni di diversa natura litologica e granulometrica, oltre che l'eventuale presenza di acqua nei pori del terreno.

Roccia/Materiale	Resistività (ohm•m)
Argille, marne, grasse	3 - 30
Argille, marne, magre	10 - 40
Argille sabbiose, sil	25 - 105
Sabbie con argille	50 - 300
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000
Calcere, gesso	500 - 3500
Arenaria	300 - 3000
Granito	2000 - 10.000
Gneiss	400 - 6000
Rifiuti domestici	12 - 30
Fanghi industriali	40 - 200
Plume contaminato da rifiuti domestici	1 - 10
Olio esausto	150 - 700

Tabella II.1. Intervalli tipici di resistività dei terreni e delle rocce (Ward S.H., 1990).

Il sistema di acquisizione dati utilizza una distribuzione lineare di elettrodi superficiali collegati tramite cavo multiconduttore allo strumento di acquisizione.

La resistività del terreno viene misurata applicando dalla superficie un campo elettrico nel sottosuolo tramite una coppia di elettrodi e misurando poi la differenza di potenziale tra tutte le altre coppie di elettrodi disponibili nella configurazione scelta.

Si passa poi ad una seconda coppia di trasmissione e così via fino a raggiungere il numero massimo di misure indipendenti sui poli e dipoli disponibili. Si ottengono in questo modo centinaia di misure per ciascuna sezione di interesse e, con un apposito algoritmo di inversione, si riesce a ricostruire una

distribuzione realistica dei valori di resistività con la profondità. I profili geoelettrici acquisiti, quindi, permettono di effettuare un'elaborazione tomografica, che restituisce la distribuzione bidimensionale delle caratteristiche elettriche dei materiali indagati.

Nel presente studio la lunghezza dello stendimento è stata scelta di volta in volta a seconda della conformazione del territorio.

La configurazione elettrodica è stata mantenuta costante quale Wenner - Schlumberger (Fig. II.2). Essa è stata stabilita in base a:

- profondità di indagine;
- sensibilità rispetto a strutture verticali od orizzontali
- copertura orizzontale dei dati
- forza del segnale (differenza di potenziale).

L' *array Wenner - Schlumberger* risulta essere moderatamente sensibile sia a variazioni orizzontali che verticali della resistività e ha una profondità di indagine maggiore rispetto al semplice *Wenner*. Ha inoltre una buona copertura orizzontale e una forza del segnale intermedia rispetto ad altre configurazioni.

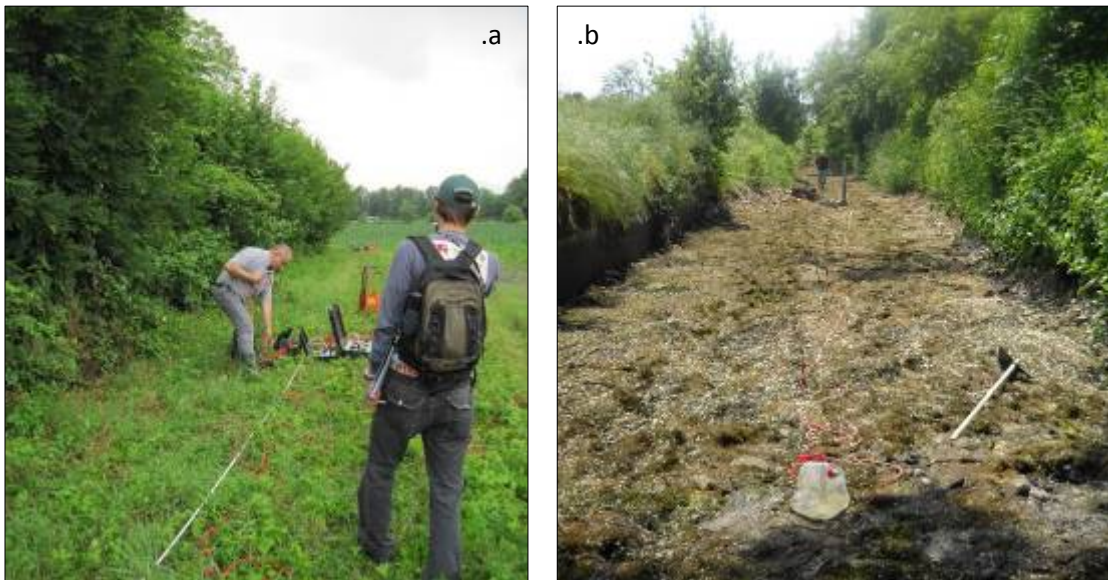


Figura II.2. Stendimento geoelettrico nei pressi del canale Bealera di Osasco (Pinerolo, TO) (a) e lungo la platea del Naviglio di Bra (Fossano, CN) (b).

Per l'interpretazione dei dati è necessario ricordare che esiste una sovrapposizione significativa tra i valori di resistività di differenti rocce (soprattutto in funzione del loro contenuto d'acqua) per cui un'identificazione univoca dei materiali non è possibile solo sulla base del loro valore di resistività (Fig. II.3).

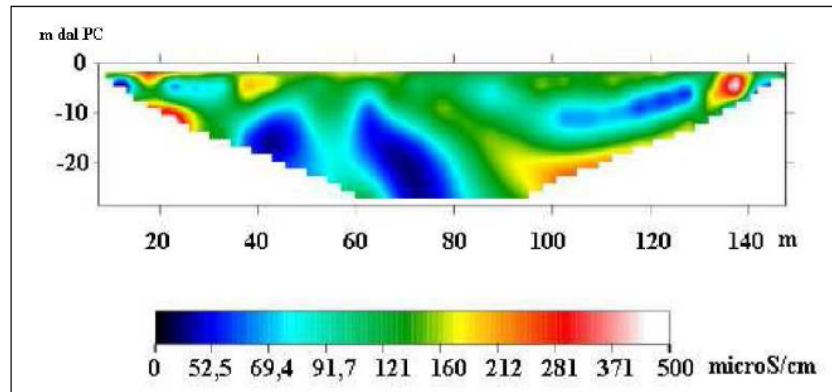


Figura II.3. Esempio di profilo delle all'interno dell'alveo di un canale (naviglio di Bra).

Un'analisi di dettaglio di una tomografia, realizzata trasversalmente o parallelamente a un canale, può permettere l'individuazione di possibili perdite dallo stesso; aree a resistività anomala (aree molto conduttive) in prossimità dell'alveo possono, infatti, testimoniare infiltrazioni d'acqua. Mediante misure periodiche è possibile inoltre monitorare le variazioni dell'umidità nel tempo.

II.1.4 - MICROPIEZOMETRI

Per comprendere l'andamento puntuale del flusso sotterraneo in relazione alle acque superficiali possono essere utilizzati dei micropiezometri.

Questo metodo si avvale dell'utilizzo di tubi di pochi centimetri di diametro, aperti a una delle estremità, finestrati a una determinata altezza e di lunghezza variabile in base alla profondità di infissione (generalmente fino a pochi metri). Tali tubi possono essere composti da diversi materiali (PVC, acciaio inossidabile, ferro) in base alle esigenze e alle modalità di infissione, che può avvenire a battitura, con l'aiuto di un penetrometro o di trivelle. Nel corso del presente studio ci si è avvalsi dell'aiuto di un penetrometro. Successivamente alla loro messa in posto è possibile misurare la soggiacenza della falda idrica per mezzo di un sondino piezometrico (Fig.II.4).

Se in un acquifero esistono punti a differente carico idraulico, si innesca un moto di filtrazione diretto dal punto a carico idraulico maggiore verso il punto a carico idraulico minore. Tale moto si sviluppa nelle tre dimensioni, per cui, per una sua corretta definizione sarebbe necessaria l'installazione di più serie parallele di micropiezometri. In questo studio si è indagato esclusivamente il moto del flusso in entrata e in uscita dalla sezione del canale, per cui si è resa necessaria una sola fila di strumenti infissi a diverse profondità perpendicolarmente all'andamento della sponda.



Figura II.4. Misura della soggiacenza delle acque sotterranee in una serie di micropiezometri infissi sulla sponda del canale Naviglio di Boves (CN).

II.2 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Vengono di seguito descritte le metodologie utilizzate nel presente studio volte a valutare le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati. Tali metodi consentono di classificare i terreni di imposta del canale e di valutare alcuni parametri degli stessi, a supporto delle metodiche empiriche suggerite per la valutazione delle perdite.

II.2.1 – ANALISI GRANULOMETRICA

L'analisi granulometrica (ASTM, 1963; ASTM, 1985) viene utilizzata per identificare le diverse frazioni granulometriche presenti in un campione di terra sciolta (Fig. II.5).

A seconda delle dimensioni della frazione di campione esaminato si effettuano due tipi di analisi granulometrica: per setacciatura o vagliatura (con grani $>75 \mu\text{m}$) e per sedimentazione o areometria (con particelle $<75 \mu\text{m}$).

La setacciatura ad umido viene utilizzata nei casi in cui le particelle tendano a unirsi formando degli agglomerati con diametro maggiore. La presenza del liquido diminuisce le forze di attrazione tra le particelle e ne migliora in questo caso la separazione.



Figura II.5. Tratto in asciutta del Naviglio di Bra (Fossano, CN) dal quale è stato possibile prelevare dei campioni di terra sciolta da analizzare attraverso prove granulometriche.



II.2.1.1 - GRANULOMETRIA PER VAGLIATURA O SETACCIATURA

Per eseguire l'analisi granulometrica mediante setacciatura è necessaria la seguente strumentazione:

a) una serie di setacci con apertura decrescente. Tra le serie di setacci le più usate è quella americana (ASTM); ad esempio possono essere impiegati i seguenti setacci della serie ASTM : 1" - 1/2" - 1/4" - n. 10 - 18 - 40 - 60 - 100 - 140 - 200 ; nel presente studio sono stati utilizzati i setacci indicati nella norma ASTM con diametro dei fori compreso tra 75 mm e 0,075 mm.

b) una bilancia avente portata di circa 10 kg e sensibilità di circa 1 g. Un'altra bilancia avente portata > 0.8 kg e sensibilità di 0.1 g;

c) una stufa per essiccare il materiale;

d) un essiccatore per contenere il materiale estratto dalla stufa durante il raffreddamento prima di iniziare la vagliatura.

Il campione di terra prelevato ed inviato in laboratorio viene omogeneizzato mediante successive quartature; la massa dei provini deve essere valutata in relazione alla dimensione massima dei grani presenti: maggiore è la dimensione massima dei granuli, maggiore la massa del provino da utilizzare per la setacciatura (Tab. II.2).

Ø max delle particelle costituenti il terreno in esame	Peso minimo del campione umido da analizzare
2,0 mm	115 g
9,5 mm	500 g
19,0 mm	1000 g
25,4 mm	2000g
38,1 mm	3000 g
50,8 mm	4000 g
76,2 mm	5000 g

Tabella II.2 - Peso del campione in base al Ø max delle particelle del terreno (Raviolo, 1993)

Il provino viene, quindi, essiccato in stufa alla temperatura di 105-110°C e lasciato raffreddare in essiccatore fino alla temperatura ambiente.



Il materiale essiccato, una volta pesato (massa = M_t), viene deposto sulla pila di setacci posti in rodine di luce decrescente; il passaggio del materiale tra i vari setacci può essere favorito dall'utilizzo di getti d'acqua e con l'azione di un pennello morbido, fino a che le acque di lavaggio escano limpide.

Queste operazioni devono essere eseguite con la massima attenzione per evitare perdite accidentali di terra.

In presenza di una elevata frazione di materiale fine, prima della setacciatura il materiale essiccato può essere immerso in acqua il tempo necessario affinché avvenga il completo distacco della frazione fine dei granuli più grossi e la completa disgregazione dei grumi.

Eseguita la setacciatura per via umida, il materiale trattenuto sui singoli setacci verrà raccolto ed essiccato alla temperatura di 105-110 °C; quindi verrà lasciato raffreddare fino alla temperatura ambiente e pesato. Le masse del materiale trattenuto su ogni setaccio devono essere annotate e riportate su apposito modulo.

La percentuale di passante ai singoli setacci è calcolata come percentuale del peso totale (P_{totale}) del campione iniziale:

$$\% \text{passante} = (P_{\text{totale}} - \sum (P_{\text{tratt}})) / P_{\text{totale}} * 100$$

dove

- P_{totale} = peso totale
- P_{tratt} = peso delle frazioni trattenute dai setacci di diametro uguale o superiore

Il passante al setaccio da 0.075 mm (200 mesh) viene ricavato come differenza fra la massa totale iniziale M_t del materiale prima del lavaggio e la somma M_1 delle masse trattenute sui singoli setacci dopo il lavaggio:

$$M_{0.075} = M_t - M_1$$

I granuli inferiori a 0.075 mm (limi e argille) verranno successivamente esaminati attraverso il metodo della aerometria o sedimentazione, basato sulla diversa velocità di sedimentazione dei grani, in funzione della loro dimensione.



II.2.1.2 - GRANULOMETRIA DELLA FRAZIONE FINE, METODO DEL DENSIMETRO

L'analisi per sedimentazione (o aerometria) viene riservata alla frazione di terra passante al setaccio da 0.075 mm di apertura (200 mesh).

La prova viene di norma effettuata solo in presenza di una percentuale di passante al setaccio 0.075 mm maggiore del 20%.

La prova consiste nel misurare ad intervalli di tempo prefissati la densità di una sospensione di terra in acqua distillata con un densimetro (o aerometro): dalle misure si risale alla distribuzione granulometrica della frazione fine di una terra.

Si inseriscono 40 g di materiale essiccato passante al setaccio 0.075 mm insieme a 125 cc di soluzione di esametafosfato e acqua distillata in un recipiente, e si lascia la sospensione a riposare circa 12 ore. Quindi si aggiunge acqua distillata e si miscela mediante mescolatore elettrico per circa 15 min.

Il contenuto viene immediatamente trasferito all'interno del cilindro di prova, che viene riempito con acqua distillata fino alla linea di fede (1 l). Chiusa l'estremità superiore con tappo idoneo, si capovolge ripetutamente il cilindro fino alla completa omogeneizzazione della sospensione.

Il cilindro viene sistemato nella vasca termostatica e si procede alla registrazione della densità della sospensione con l'aerometro o densimetro (Fig. II.6) dopo 30", 1', 2', 4', 8', 15', 30', 60', 120', 240', 500', 1440', ecc., dall'inizio della sedimentazione.

Ciascuna registrazione va preceduta dall'immersione lenta dell'aerometro nella sospensione 20-25" prima della lettura; al termine della registrazione l'aerometro viene lentamente rimosso e posto in acqua distillata pulita.

In corrispondenza di ciascuna registrazione deve essere annotata la temperatura della sospensione.

La prova si ritiene conclusa quando la densità della sospensione risulta all'incirca quella dell'acqua pura (per le terre argillose devono prevedersi all'incirca 3-5 giorni di prova).



Figura II.6. Densimetro impiegato per la realizzazione della prova.

CORREZIONE DEL MENISCO (C_m)

In corrispondenza del densimetro la miscela acqua-terreno tende a risalire lungo la superficie dello strumento falsando la lettura. Questo fenomeno si corregge sommando al valore letto un fattore di correzione (C_m) circa pari a 0,5 alla lettura (R). Per cui:

$$R' = R + C_m$$

dove:

R' = lettura al pelo libero

R = lettura areometro

CORREZIONE DELLA TEMPERATURA (C_t)

La correzione della temperatura è dovuta alla variazione di densità della soluzione in funzione della temperatura della stessa, rispetto alla temperatura di calibrazione dell'aerometro, pari a 20 °C.

Tale correzione è ottenuta mediante la relazione:

$$C_t = 0,18 \cdot T - 3,59$$

dove T = temperatura durante prova

CORREZIONE DELLA SOLUZIONE DISPERDENTE (C_d)

La sostanza antiflocculante che viene utilizzata durante la prova tende a modificare la densità della soluzione. La determinazioni di coefficienti che minimizzino l'effetto della variazione di densità viene ottenuta analiticamente e graficamente. Il valore di C_d varia tra 3.5 e 4.

La lettura aerometrica ridotta R'' sarà quindi pari a :

$$R'' = R' + C_d + C_t$$

II.2.1.3 - RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

I dati ricavati dalle due prove (setacciatura e areometria) vengono plottati e rappresentati sotto forma di una curva su un grafico semilog avente sull'asse delle ascisse i diametri delle particelle ed in ordinate la percentuale di passante (Fig. II.7).

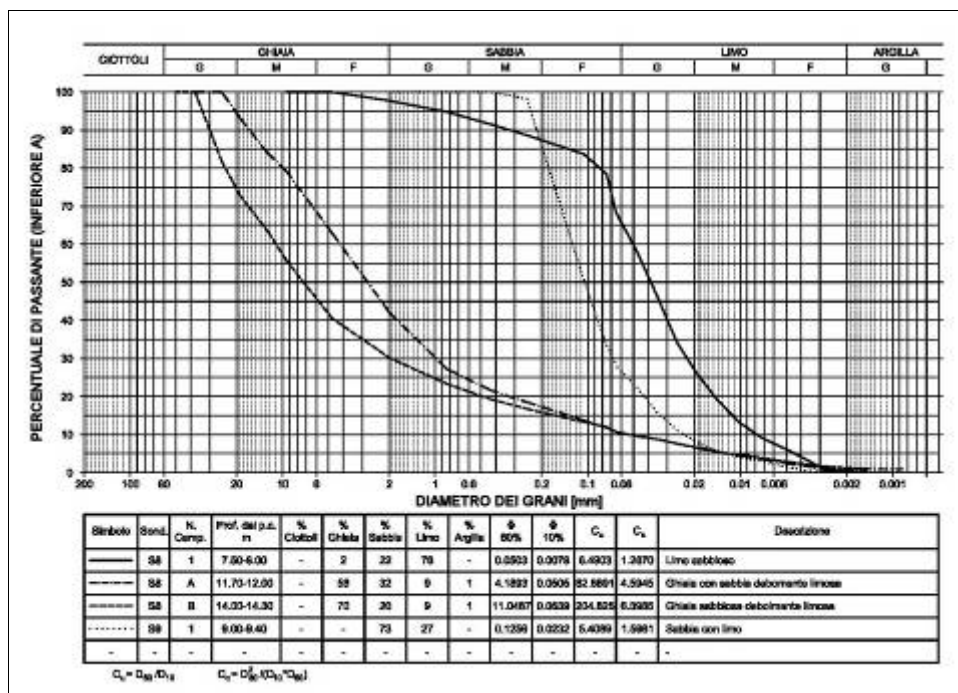


Figura II.7. Esempi di diverse curve granulometriche con relativa interpretazione.



II.2.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

Il permeametro Guelph è una delle apparecchiature maggiormente utilizzate per la determinazione in sito della conducibilità idraulica in terreno saturo (*field saturated hydraulic conductivity*, Kfs) fino alla profondità massima di un metro. Tale strumento è dotato di grande praticità, sia nell'assemblaggio, sia nell'utilizzo.

Il permeametro Guelph (Fig. II.8) è costituito da tre cilindri in plexiglass. I due cilindri più esterni, aventi differente diametro, costituiscono serbatoi distinti e separati per l'immissione di acqua. Il tubo più interno, avente diametro minore degli altri due ed utile per la fuoriuscita dell'aria, passa al centro dello strumento ed ha la funzione di aprire e chiudere la parte inferiore del permeametro a contatto con il terreno, costituita da un anello di gomma sagomato a tenuta stagna, impedendo così la fuoriuscita dell'acqua. Il tubo più interno, oltre alla funzione di aprire e chiudere il flusso dell'acqua, è inoltre graduato in centimetri per permettere di regolare il carico idraulico da impostare mediante sollevamento o abbassamento del tubo stesso.

La scelta dei serbatoi da utilizzare è funzione del tipo di terreno che si vuole indagare: per terreni caratterizzati da bassa permeabilità si usa solo il tubo interno che, avendo un diametro minore, permette la lettura anche per piccoli abbassamenti del livello d'acqua. Per terreni ad alta permeabilità vanno usati entrambi.

Una volta riempiti i serbatoi si può dare inizio alla prova. Si effettuano diverse letture di livello a intervalli di tempo regolari con due differenti carichi idraulici stabiliti dall'operatore. Da questi si ricavano le velocità di abbassamento che andranno successivamente inserite in una formula per il calcolo del Kfs.

Tale valore permette di stimare il tasso di infiltrazione dei terreni lungo i quali sono impostati i canali irrigui.

Mediamente, in funzione dell'umidità del suolo di partenza, sono necessari complessivamente circa 40 minuti per un'intera prova.



Figura II.8. Prova infiltrometrica con permeametro Guelph nei pressi del Canale di Caluso (Tonengo di Mazzè, TO).

II.2.3 - PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche dinamiche permettono di studiare la resistenza del terreno, tramite infissione verticale di una batteria di aste terminanti con una punta metallica. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere un maglio da un'altezza costante (Fig. II.9). Durante la prova viene registrato il numero di colpi (NDP), necessari all'infissione della punta per una determinata profondità. Da questi valori si ricava l'andamento della resistenza alla penetrazione al variare della profondità e, quindi, indicazioni riguardo il grado di addensamento e di consistenza del terreno.

L'attrezzatura consiste in:

- dispositivo di battitura, con sistema di sganciamento automatico a caduta costante;
- testa di battuta in acciaio ad elevata resistenza, fissata rigidamente alla sommità della batteria di aste;
- punta conica in acciaio con sommità cilindrica: si può decidere se fissarla alle aste o lasciarla nel terreno una volta estratte le aste ("punte a perdere");
- aste di collegamento rettilinee in acciaio resistente a ridotta deformabilità;
- dispositivo per il conteggio automatico del numero di colpi.

In particolare in questo studio è stato impiegato un penetrometro leggero, con massa battente di 30 kg e altezza di caduta del maglio di 20 cm, punte a perdere di forma conica con apertura di 60° e aste di lunghezza 1 m e peso 2,93 kg l'una.



Figura II.9. Prova penetrometrica presso il Naviglio di Boves.

II.3 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Vengono di seguito descritte alcune metodologie utilizzate nel presente studio e volte a quantificare le portate dei canali in esame. Tali metodiche hanno un'importanza fondamentale ai fini della Ricerca, essendo di supporto alla valutazione delle perdite dai canali stessi mediante misure differenziali di portata tra una sezione di monte e una sezione di valle.

II.3.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

Il mulinello idrometrico (o correntometro) è uno strumento veloce, pratico ed efficace per misurare la velocità (V) dell'acqua in una sezione di canale. È costituito da un'elica ad asse orizzontale che gira a velocità differente in funzione della corrente. Tale elica è posta al fondo di un'asta graduata ed è collegata a un display sull'estremità opposta (Fig. II.10).

La velocità dell'acqua viene desunta dal numero dei giri che l'elica compie in un intervallo di tempo definito. Dopo aver ricavato l'ampiezza della sezione di flusso (A), si può calcolare la portata istantanea (Q) attraverso la formula:

$$Q [m^3/s] = V * A$$

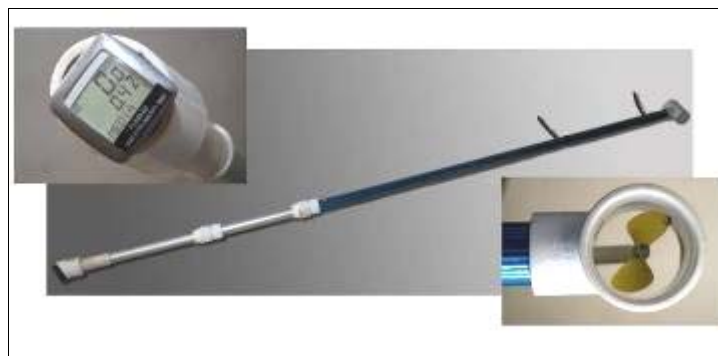


Figura II.10. Correntometro (o mulinello) utilizzato, particolare del display e della testa.

La sezione viene misurata attraverso un'asta graduata che, immersa nel canale, consente di valutare la profondità dell'alveo in punti prestabiliti ed equidistanti tra loro (Fig. II.11).



Figura II.11. Misura della sezione di un canale.

In pratica, il mulinello viene posto a varie profondità lungo più verticali della sezione considerata, in modo da potere ricostruire, per ogni verticale, il diagramma di velocità. Nel dettaglio, sull'intera larghezza della sezione del canale vengono identificate dieci stazioni di misura (ASTM D4409 - 95(2008)) equidistanti e in corrispondenza a ciascuna di esse vengono impostate le verticali di misura. Per ogni verticale vengono poi effettuate una o più letture a diverse altezze in base alla profondità del corso d'acqua; ciò ha lo scopo di ridurre gli errori dovuti al moto turbolento e alla scabrezza del fondo. Al fine di determinare con precisione la velocità in un punto, è necessario immergere lo strumento per un intervallo di misura di tempo variabile tra 40 e 70 secondi. E 'quindi necessario per il processo di misurazione copra un arco di tempo abbastanza lungo per regolare e mediare le fluttuazioni di velocità.

Generalmente per misure speditive si effettuano misure al 20% e all'80% della profondità della verticale; per profondità del canale superiori a 1 metro, viene effettuata una ulteriore misura al 50% della profondità, mentre per profondità inferiori ai 30 cm viene effettuata un'unica misura al 60% della profondità.

I valori di velocità vengono poi elaborati mediante il metodo dei concetti: l'intera sezione esaminata, quindi, viene suddivisa in sezioni verticali più piccole, definite *conci*, caratterizzate ciascuna da una verticale di misura (Fig. II.12).

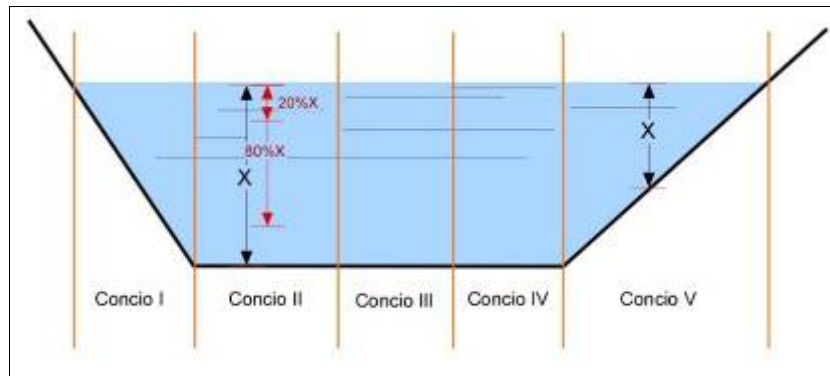


Figura II.12. Schema di una sezione di canale con indicate i conchi e le profondità a cui effettuare le misure di velocità.

Per ciascun conchio viene quindi calcolata la sezione e, conoscendo la velocità media dell'acqua nel conchio stesso, la portata. Il confronto della portata in differenti sezioni del canale potrà permettere di valutare la perdita o il guadagno di acqua in quel determinato tratto.

Per ottenere risultati oggettivi si è fatto riferimento ad appositi standard ASTM e ISO, in particolare:

- ASTM D4409 - 95(2008) "Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Rotating Element Current Meters".
- ASTM D3858 - 95(2008) "Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".
- ASTM D5089 - 95(2008) "Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Electromagnetic Current Meters".
- ISO3455 (1976) "Calibration of Rotating-Element Current Meters in Straight Open Tanks".

Considerando in particolare lo standard ASTM D3858 - 95(2008) il mulinello utilizzato per tale prova risulta avere le caratteristiche idonee allo scopo. In particolare la girante con asse parallelo al deflusso dell'acqua risulta essere la più adatta al range di velocità in cui ricadono le portate dei canali indagati ($0,7 \text{ m}^3/\text{s} - 3 \text{ m}^3/\text{s}$).

La precisione di una misura di portata con il metodo del mulinello è direttamente collegata a diversi aspetti.

Precisione nelle misure di larghezza di sezione nel totale e parziali

Gli errori nelle misurazioni possono essere connessi sia alla valutazione della larghezza tra le verticali sia alla profondità delle singole letture del livello dell'acqua.



Questi errori possono essere estremamente variabili a seconda della profondità e la rugosità del canale, velocità di flusso, la stabilità dei materiali letto, rugosità della superficie dell'acqua, la distanza di osservazione sopra la superficie dell'acqua e l'adeguatezza degli strumenti di misurazione.

Precisione nelle misure di velocità

Gli errori nel determinare le velocità in un punto verticale dipendono dalla precisione degli strumenti di misura (contatore di corrente), dal metodo utilizzato per la misurazione della velocità, dalla precisione nel posizionamento del misuratore di corrente, dalla durata del periodo di campionamento di velocità, dalla vicinanza ai bordi e l'irregolarità della distribuzione di velocità nel tempo e nello spazio. Il correntometro non dovrebbe essere utilizzato per velocità al di fuori dei limiti di taratura. Le osservazioni di velocità sono generalmente rilevate a due cifre decimali, in metri al secondo.

Precisione nella valutazione della portata

Gli errori nella determinazione complessiva del flusso di portata con il metodo del mulinello riguardano in particolare la scelta del numero delle verticali e al numero di punti di misura in ogni verticale. Gli errori dipendono anche dalla larghezza del canale, dal rapporto tra larghezza e profondità, dal metodo di calcolo utilizzato e dall'irregolarità della velocità di flusso nel tempo e nello spazio.

Secondo lo standard ASTM l'errore è del 4,2% per un periodo di 25 s di osservazione, utilizzando il metodo a 0,6 di profondità su 16 sezioni parziali. Nonostante non sia stata dimostrata l'entità dell'errore per analisi a 0,2 e 0,8 di profondità su 10 verticali, con tempi di misura pari a 60', è presumibile che la precisione delle misure si attesti al 5,0%.

II.3.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

Un metodo alternativo, veloce e di semplice applicazione, anche se approssimativo, per la misura della portata di un corso d'acqua è l'utilizzo dei galleggianti (Fig. II.13 e II.14).

PROCEDURA

- A. Scelto un tratto di canale che sia il più regolare possibile e nel quale i filetti liquidi si possano ritenere rettilinei e paralleli, si ricostruiscono le sezioni alle due estremità, utilizzando un'asta graduata; conoscendo la larghezza del canale e misurando le profondità dell'acqua in vari punti delle due sezioni, si calcolano le aree (A_1 e A_2);
- B. eseguire la media delle aree delle due sezioni, ottenendo un valore medio A ;

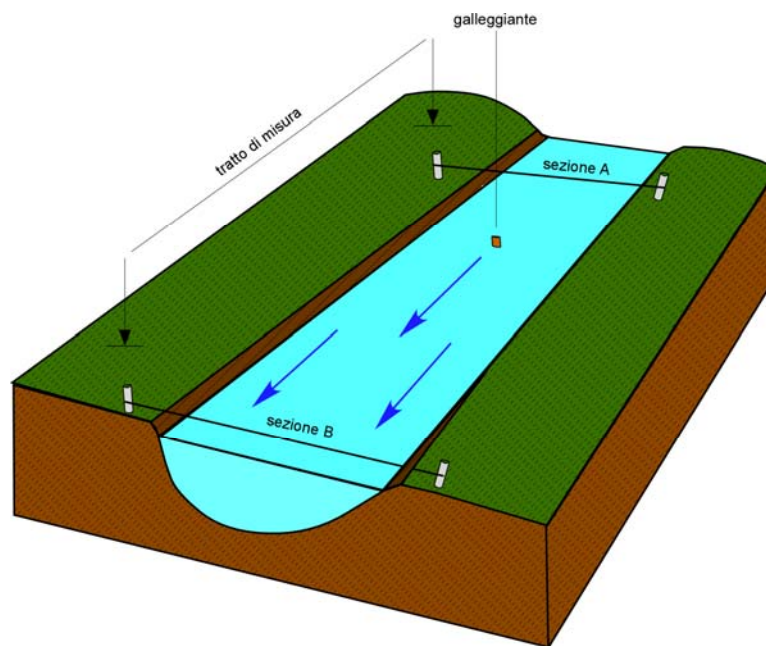


Figura II.13. Misura di portata con galleggianti.

calcolare la velocità dell'acqua tra le 2 estremità del tratto prescelto, misurando con un cronometro il tempo necessario ad un galleggiante per spostarsi lungo il tratto del canale; la velocità superficiale V_s (m/s) per ogni galleggiante è calcolata mediante la seguente equazione:

$$V_s = L / t$$

dove



- L = lunghezza del tratto di canale indagato (m)
- T = tempo impiegato dal galleggiante per percorrere il tratto L (s)

C. ripetere almeno 10 volte la misura e eseguire la media; si ricava, quindi, il valore medio delle velocità superficiali V_s ;

D. Si trasforma la velocità superficiale V_s in velocità media V_m lungo la sezione media. Se sono disponibili delle misure eseguite con il mulinello in occasioni precedenti si può costruire il grafico che rappresenta, in funzione dell'altezza idrometrica h , l'andamento del rapporto V_m/V_s ; il rapporto generalmente cresce al crescere di h . Utilizzando il grafico si trasforma il valore misurato di V_s nel corrispondente valore di V_m . Se non sono disponibili precedenti osservazioni si stima il valore del rapporto V_m/V_s adoperando i valori medi riportati nella Tabella II.2.

Caratteristiche del corso d'acqua	V/V _s
Velocità basse	0,80
Pendenze deboli, fiumi di media grandezza	0,85
Pendenze medie, fiumi di media grandezza	0,90-0,95
Grandi fiumi	0,95
Velocità forti, profondità maggiori di 4 m	1,00
Velocità medie, fiumi di montagna	1,05

Tabella II.3. Valori del rapporto tra velocità media V e velocità media superficiale V_s della corrente (Roche, 1963).

E. La portata del canale Q (m^3/s) si ottiene quindi moltiplicando la velocità media V_m per l'area della sezione trasversale A secondo l'equazione:

$$Q = V_m * A$$



Figura II.14. Misura di velocità superficiale con il metodo dei galleggianti su un tratto del Canale di Caluso.



II.3.3 - UTILIZZO DEI TRACCIANTI

Le misure di portata per mezzo di mulinelli idrometrici, in condizioni di bassi regimi di flusso e basse velocità, possono risultare difficoltosi e talvolta non attendibili.

Un'alternativa per le misure di portata di un canale può consistere nell'immissione e la registrazione del comportamento di un tracciante in acqua.

I traccianti sono sostanze che immesse in soluzione nell'acqua in movimento permettono di seguirne il percorso e le velocità. Essi hanno un ruolo importante nello studio dei flussi, della loro velocità e della loro dispersione. Le sostanze utilizzate a tale scopo presentano un ampio range di caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche; in funzione dell'interazione di queste proprietà con quelle idrologiche e idrogeologiche, viene scelto il tracciante più idoneo (Custodio, 2005).

Risulta inoltre importante considerare i seguenti aspetti:

- *Presenza di fondo del tracciante*: se il tracciante è naturalmente presente nell'acqua, la sua concentrazione di fondo deve essere bassa. È importante conoscere anche il grado di diluizione del tracciante in acqua, funzione della modalità di iniezione e della dispersione. Una diluizione eccessiva, infatti, può essere dannosa in quanto la concentrazione rinvenuta nel punto di campionamento potrebbe risultare più bassa della concentrazione di fondo, impedendo la valutazione corretta della misura.

- *Mobilità*: il comportamento fisico del tracciante in acqua è il criterio di selezione più importante. Un tracciante viene definito conservativo nel caso in cui sia stabile, solubile in acqua, abbia una densità e viscosità simile a quella dell'acqua, e non sia soggetto a precipitazione ed adsorbimento. I traccianti conservativi si muovono alla stessa velocità e nella stessa direzione dell'acqua. I traccianti non-conservativi tendono, invece, a procedere più lentamente a causa dell'interazione con la matrice solida, come il fondo e le sponde, o con la vegetazione riparia o di fondo nel caso dei canali e, in generale, dei corsi d'acqua superficiali.

- *Tossicità*: al fine di evitare la contaminazione delle acque superficiali e di falda, è necessario utilizzare traccianti non tossici. Nel caso invece si usino traccianti tossici, questi devono rispettare i limiti imposti da legge.

Un tracciante ideale a scopo idrologico deve dunque essere conservativo, non tossico, economico, facilmente stoccabile alle basse concentrazioni, ampiamente disponibile, tecnologicamente semplice da gestire, e non deve modificare le proprietà fisico-chimiche del mezzo studiato. Nel caso in cui sia naturalmente presente nell'acqua del canale, deve essere ben nota la concentrazione di fondo. Inoltre, è



fondamentale per la buona riuscita della prova, ottenere una completa diluizione del tracciante in acqua sull'intera sezione del canale in esame. La scarsa diluizione del tracciante infatti potrebbe portare a misurazioni erranee della concentrazione del tracciante stesso, che si riflettono in misure erranee di portata (Custodio, 2005).

I traccianti più utilizzati a scopo idrologico possono essere raggruppati in 6 diverse categorie:

- traccianti ionici;
- coloranti;
- gas;
- isotopi;
- temperatura dell'acqua;
- traccianti particellari.

Allo scopo di misurare le perdite dei canali irrigui sono stati utilizzati traccianti appartenenti alle prime due categorie; subordinatamente, in alcune località, è stata utilizzata anche la temperatura per verificare un'eventuale correlazione canale-falda.

II.3.3.1 - I TRACCIANTI IONICI

I traccianti ionici inorganici comprendono quei composti che, soggetti a dissoluzione in acqua, liberano ioni a carica positiva (cationi) o negativa (anioni). Un ampio numero di traccianti ionici è presente in falda naturalmente a elevata concentrazione; se essi vengono scelti come traccianti è necessaria un'iniezione di tracciante ad alta concentrazione, ponendo attenzione a non avere effetti negativi sulla qualità dell'acqua e sulla componente biotica dell'acquifero. Una concentrazione eccessiva può anche determinare una elevata discrepanza tra le densità dei due fluidi (acqua e soluzione con tracciante ionico) alterando il deflusso del tracciante.

Il cloruro di sodio (NaCl) è il tracciante ionico generalmente più utilizzato specialmente per la sua facile reperibilità e per il suo basso costo. Nell'ambito del presente studio, per la valutazione della portata dei canali, è stata valutata la variazione di conducibilità elettrolitica (CE) indotta dall'immissione di una soluzione salina nell'acqua del canale. L'iniezione in acqua di una quantità sufficiente di NaCl, infatti, provoca un aumento del contenuto di ioni e, di conseguenza, un incremento della CE.



Al fine della elaborazione dei dati, è importante conoscere il valore di conducibilità elettrolitica di fondo del corso d'acqua/canale e la sua variazione in rapporto alla variazione di concentrazione di soluzione.

Una fase importante, inoltre, è la valutazione della quantità di NaCl da immettere nel canale. Tale valore deve essere quantificato in modo tale da ottenere almeno un raddoppio del valore di C.E.(conducibilità elettrolitica) dell'acqua del canale o, in caso di elevate CE del canale, almeno un aumento pari a 200-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Inoltre è fondamentale per la buona riuscita della prova provvedere a una completa diluizione del sale, in modo da non immettere nel canale una quantità di sale non disciolto che potrebbe falsare le misure di portata.

Una componente importante da considerare quando viene utilizzato un tracciante ionico è la densità della soluzione in immissione. Nel caso del cloruro di sodio la tabella II.4 mostra le differenti densità delle soluzioni in funzione della concentrazione di sale disciolto. Tale differenza di densità potrebbe portare, nel caso di un flusso non turbolento, a una non completa e corretta miscelazione, favorendo una stratificazione della soluzione acqua-NaCl sul fondo del corso d'acqua.

Concentrazione di NaCl [g/l]	Densità [kg/l]
10	1,0071
100	1,0744
200	1,1525
358 (concentrazione di saturazione)	1,2024

Tabella II.4. Densità di una soluzione di NaCl in H₂O (T=15 °C).

La stratificazione del tracciante salino nel canale è un fenomeno assolutamente da evitare mediante una corretta valutazione del quantitativo di sale da utilizzare, in funzione delle caratteristiche idrauliche di ciascun canale (velocità dell'acqua e portata), e una adeguata modalità di immissione del tracciante stesso nel canale.



II.3.3.2 - I TRACCIANTI COLORATI

I traccianti colorati sono sostanze generalmente semplici da utilizzare ed efficaci; possono essere fluorescenti o non fluorescenti. Generalmente vengono utilizzati traccianti fluorescenti in quanto sono facilmente reperibili, permettono rapide analisi in campo e sono economici. La classificazione viene generalmente fatta in funzione del colore (SMART P.L. & LAIDLAW I.M.S., 1977); esistono: traccianti rosa-arancio (Rhodamina B, Rhodamina WT, Sulforhodamina B), verdi (Fluoresceina, Pyranina, Eosina) e blu (Tinopal, Acido amino G) (Tab. II.5).

L'intensità della fluorescenza è sfruttata nei test per quantificare la concentrazione del tracciante, ma questa può variare per effetto di diverse variabili come la temperatura, il pH, il contenuto di CaCO_3 , l'adsorbimento, il decadimento fotochimico e biologico.

Nome	Emissione massima (nm) λ	Tendenza all'adsorbimento	Intensità di fluorescenza (%)	Compatibilità ambientale
Fluoresceina	513	Molto bassa	100	Molto buona
Pyranina	512	?	6-18	Media
Eosina	535	Bassa	18	Media
Rhodamina B	582	Elevata	60	Bassa
Rhodamina WT	583	Moderata	25	Buona
Sulforhodamina B	584	Moderata	30	Bassa
Tinopal (CBS-X)	435	Moderata	60	Buono
Sodio Naptinato	420	Bassa	18	Buono
Acido amino G	459	?	1	?

Tabella II.5. Tabella comparativa di alcuni tra i traccianti colorati più utilizzati in idrogeologia.

I traccianti colorati hanno molte delle proprietà di un tracciante ideale. Tuttavia presentano l'inconveniente di non permettere il completo reperimento della massa iniettata, a causa della possibile interazione con la matrice solida. Essendo soggetti ad assorbimento, quindi, non si comportano come composti perfettamente conservativi: infatti tendono ad essere assorbiti su materiali organici, sull'argilla, sui limi, sulle piante e anche sulle bottiglie di vetro utilizzate per un eventuale campionamento; ciò rende in alcuni casi l'interpretazione dei test difficoltosa.

Ad alcuni di questi inconvenienti si è ovviato attraverso l'uso di un fluorometro, apparecchio che permette l'analisi istantanea e quasi in continuo dell'acqua "tracciata", evitando il campionamento per

mezzo di contenitori. Il fenomeno dell'assorbimento da parte di argilla e limi, che potrebbe dare problemi nei tracciamenti in falda, è un fattore trascurabile nei tracciamenti dei corsi d'acqua superficiali.

Un altro fattore da considerare nella scelta dei traccianti fluorescenti è la tossicità. In uno studio condotto da SMART (1984) su 12 traccianti, emerge che soltanto tre (Tinopal, Fluoresceina, Rhodamina WT) risultano non tossici.

Inoltre, poiché nei corsi d'acqua è talora possibile misurare un valore di fluorescenza di base, è necessario, prima di eseguire le elaborazioni dei dati di concentrazione, porre attenzione a tale valore.

I traccianti utilizzati nell'ambito del presente studio sono la **fluoresceina e la rodamina WT**.

La **fluoresceina o uranina**, detta anche uranina o Acido Giallo 73, ha formula chimica $C_{20} H_{12} O_5 Na_2$ ed è un tracciante organico (Fig. II.15) tra i più utilizzati in idrologia grazie al suo costo e alle sue buone doti di tracciabilità. Il suo utilizzo è complicato dalla naturale fluorescenza di fondo che può rendere difficile l'interpretazione dei risultati dei test.

Nome: Fluoresceina sodica
CAS: 518-47-8
C.I. :45 350, Acid yellow73
Formula: $C_{20} H_{12} O_5 Na_2$
PM: 376,28

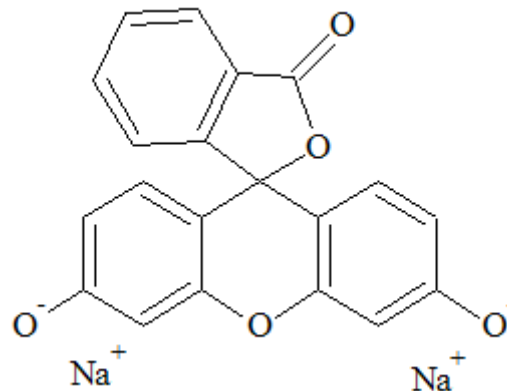


Figura II.15. Scheda tecnica della fluoresceina sodica.

Tale sostanza, inoltre, è soggetta a fotodecadimento; pertanto prima dell'uso deve essere prestata particolare attenzione alla sua protezione dall'esposizione alla luce.

La **rodamina WT** ha formula $C_{29}H_{31} N_2 O_5 Cl 2Na$; tale tracciante è un derivato della rodamina B, molto utilizzato negli anni sessanta; i due traccianti hanno caratteristiche chimico-fisiche simili, ma la rodamina WT presenta il vantaggio di non essere adsorbita dai sedimenti in sospensione (Fig. II.16).

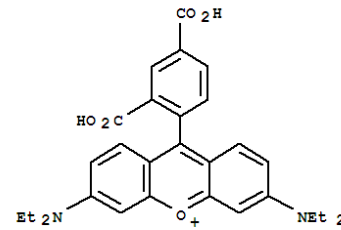
Nome: Rhodamina WT

CAS: 37299-86-8

C.I. :Acid red388

Formula: $C_{29}H_{31} N_2 O_5 Cl 2Na$

PM: 567



• Cl⁻

• 2 Na

Figura II.16. Scheda tecnica della Rhodamina WT.

II.3.3.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Per le misure di portata dei canali è stato scelto come tracciante il cloruro di sodio (NaCl). È risultato essere un buon tracciante per diversi motivi: è economico e di facile reperibilità, non risulta essere tossico o dannoso all'ambiente nelle concentrazioni utilizzate, è facilmente rilevabile attraverso misure con conducimetro.

Vi sono due modalità di esecuzione della prova a seconda del tipo di immissione del tracciante: istantanea (*slug*) o con un flusso costante nel tempo. In entrambi i casi la prova viene effettuata immettendo il tracciante in un determinato punto e misurandone l'arrivo a valle (Fig. II.17).



Figura II.17. Misura della conducibilità durante una prova di tracciamento sul Canale di Caluso (Tonengo di Mazzè, TO).

I calcoli per determinare la portata del corso d'acqua si basano sul principio della conservazione della massa del tracciante.

Il sistema a iniezione costante risulta essere più adatto a corsi d'acqua con bassi flussi, inferiori a $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre per portate superiori si preferisce quello a immissione istantanea. Quest'ultimo risulta essere valido fino a portate di circa $10\text{-}15 \text{ m}^3/\text{s}$. Nel caso d'indagine dei canali irrigui, avendo portate comprese tra $0,7$ e $3 \text{ m}^3/\text{s}$ risulta, dunque, essere più idoneo il secondo metodo.

PROCEDURA

A. Si procede facendo disciogliere un determinato quantitativo di sale all'interno di uno o più barili; bisogna tenere presente che il coefficiente di solubilità del sale in acqua a 20°C è di 358 g/l ed è opportuno tenersi ben al di sotto di tale valore di concentrazione, per evitare la presenza di sale non disciolto che potrebbe depositarsi al fondo del contenitore e invalidare la prova.

B. Successivamente si immette repentinamente la soluzione precedentemente ottenuta il più possibile al centro del canale (l'iniezione risulta facilitata se eseguita in corrispondenza ad un attraversamento).

C. Dal momento dell'immissione si inizia la registrazione della conducibilità dell'acqua a intervalli regolari di 5 s in una sezione scelta a valle. In tale sezione di misura si annoterà, quindi, la variazione della conducibilità elettrolitica nell'acqua, misurata in un punto del canale mediante un conducimetro portatile.

Poiché alcune porzioni della sezione del corso d'acqua presentano velocità differenti rispetto ad altre (il flusso tende ad essere più veloce verso il centro e verso la superficie) (Fig. II.18), il *plume* di acqua salata si allunga per effetto della dispersione longitudinale.

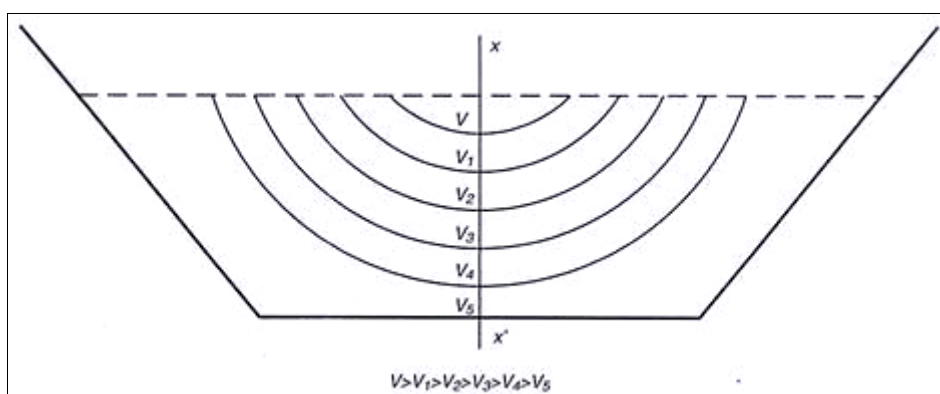


Figura II.18. Schema in sezione trasversale della velocità dell'acqua in un canale.

Tale *plume* è composto da una zona a bassa concentrazione in testa, seguita da una parte centrale a concentrazione maggiore, per finire con una coda a concentrazione decrescente. Il segnale registrato dal conducimetro nella sezione di valle può essere inserito su un grafico conducibilità vs tempo ottenendo una curva concava a campana con una parte distale maggiormente allungata (Fig. II.19).

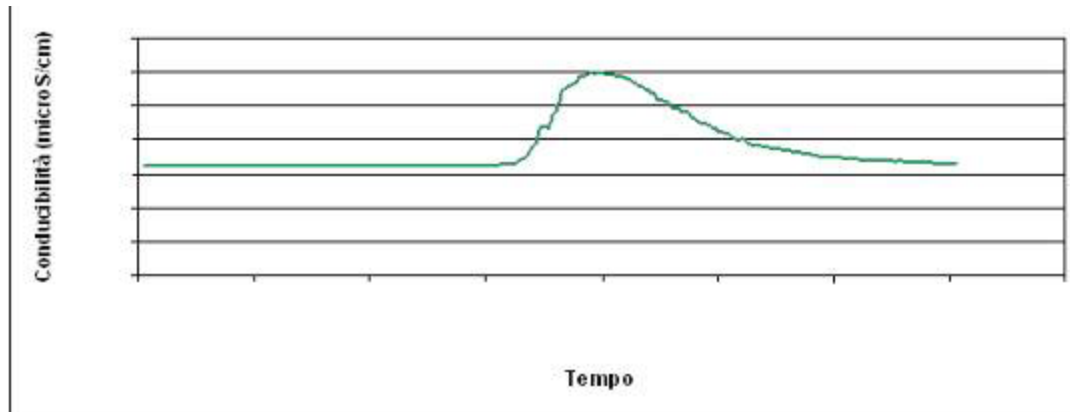


Figura II.19. Andamento della variazione di conducibilità elettrolitica in funzione del tempo durante una prova di tracciamento con NaCl.

Il tempo richiesto per l'arrivo del picco di conducibilità elettrolitica nella sezione di misura di valle è proporzionale alla velocità media del canale, mentre la durata del passaggio dell'onda salina dipende dal fattore di dispersione longitudinale che, a sua volta, deriva dalla variabilità delle velocità all'interno della sezione del corso d'acqua.

Nelle esperienze effettuate il tempo di passaggio dell'onda varia da meno di un minuto a 20 minuti.

Per rendere più rappresentativo il valore di conducibilità dell'intera sezione del canale si è ideato un metodo di rilievo della CE mediante prelievo dell'acqua del canale con un **sistema di multicampionamento**. Tale sistema è stato realizzato mediante una incastellatura di aste di acciaio (Fig. II.20) o catene (Fig. II.21), che sostengono 9 tubi di piccolo diametro collegati a una pompa autoadescante. Nel dettaglio, la pompa preleva l'acqua del canale (Fig. II.22) contemporaneamente in 9 punti, distribuiti uniformemente attraverso tutta la sezione del canale. Tale sistema è stato messo a punto dal Gruppo di Lavoro del DST appositamente per la presente Ricerca.



Figura II.20. Sistema di multicampionamento attraverso una maglia di catene e tubicini.



Figura II.21. Sistema di multicampionamento attraverso una incastellatura di aste e tubicini.

Il campionamento contemporaneo in diversi punti della sezione consente di ridurre l'errore del metodo, stimato attorno al 5% da MOORE (2005); il multicampionamento riduce il possibile errore generato da una non omogenea distribuzione del tracciante nella sezione di canale misurata, e consente, di conseguenza, una misura più precisa della portata, consentendo di indagare anche perdite di minore entità rispetto all'utilizzo di altri metodi.



Figura II.22. Sistema di multicampionamento con pompa autoadescante.

Un ulteriore tipologia di multicampionamento adottata in alcuni canali ha, inoltre, previsto il prelievo dell'acqua del canale in bottiglie da 500 cc tramite l'utilizzo di una pompa. Si è, quindi, misurato il valore di conducibilità dell'acqua in ciascuna bottiglia.

D. I valori di conducibilità registrati vengono trasformati in valori di concentrazione attraverso l'utilizzo di una retta di taratura. Questa viene prodotta in laboratorio rilevando il cambiamento della conducibilità elettrolitica dell'acqua del canale rispetto all'aggiunta di determinate quantità di sale.

La portata viene calcolata applicando l'equazione seguente:



$$Q = \frac{M}{dt * \sum C}$$

dove

Q = portata (l/s);

M = massa totale del sale immesso (g);

dt = intervallo di tempo tra due misure di conducibilità elettrolitica (s);

$\sum C$ = sommatoria delle concentrazioni registrate (g/l).

II.3.3.4 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO CON FLUORESCEINA E RODAMINA

La fluoresceina e la rodamina, generalmente utilizzate negli studi idrogeologici, sono state impiegate per la valutazione delle perdite dei canali (Fig. II.23, Fig II.24).

I due traccianti devono essere preparati in laboratorio, mediante pesatura e diluizione degli stessi, in modo da agevolare le attività sul campo. La fluoresceina, inoltre, è stata mantenuta al riparo dalla luce, onde evitare fenomeni di fotodegradazione.

Per la buona riuscita della prova, bisogna porre particolare attenzione ad ottenere una buona omogeneizzazione dei traccianti in acqua sull'intera sezione del canale in esame. La scarsa diluizione del tracciante, infatti, può portare a misurazioni erronee della concentrazione del tracciante stesso mediante il fluorometro.

Le modalità di realizzazione delle prove di portata con traccianti fluorescenti sono le medesime descritte per le prove di portata con NaCl. Rispetto alla determinazione di Q mediante tracciamento salino, l'utilizzo della fluoresceina o rodamina non richiede la produzione di una retta di taratura, in quanto il segnale viene già restituito sotto forma di concentrazione. Risultano tuttavia differenti le modalità di registrazione dei valori di concentrazione, in quanto la concentrazione dei traccianti fluorescenti deve essere misurata attraverso uno strumento specifico (fluorometro).



Figura II.23. Utilizzo della fluoresceina nei canali come tracciante.



Figura II.24. Utilizzo della rodamina nei canali come tracciante.

II.3.3.5 - DETEZIONE DEI TRACCIANTI FLUORESCENTI

Le misure di della concentrazione della fluoresceina e della rodamina possono essere eseguite in laboratorio o sul terreno.

Nell'ambito del presente studio è stato utilizzato un fluorometro *flow-through* da campo GGUN - FL30 prodotto dalla ditta Albilia S.r.l. (Fig. II.25). Il fluorometro è uno strumento capace di rilevare i parametri di fluorescenza di un fluido, ovvero l'intensità e la distribuzione della lunghezza d'onda dello spettro d'emissione dopo l'eccitazione indotta da un certo spettro di luce. Questi parametri vengono poi utilizzati per riconoscere la presenza e la concentrazione di specifiche molecole in un mezzo.

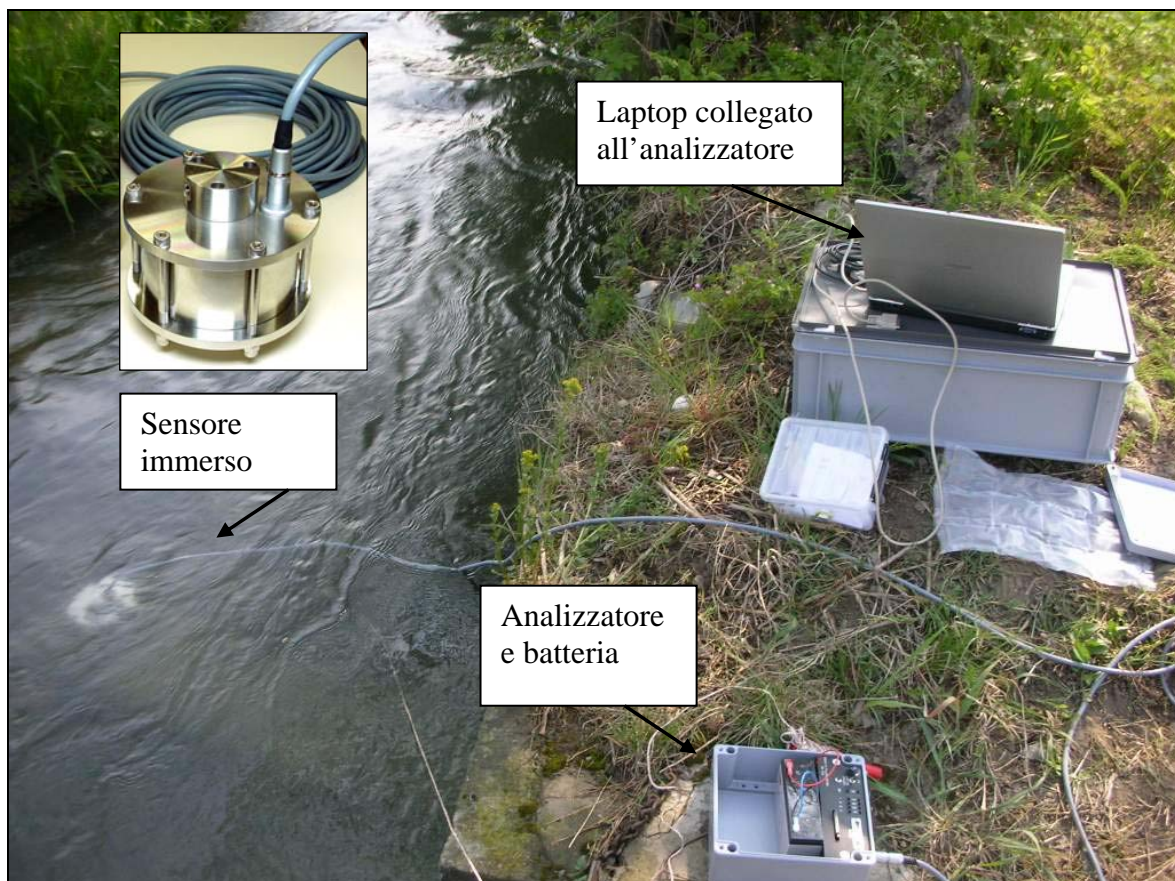


Figura II.25. Fluorometro GGUN-FL30 utilizzato per le prove di tracciamento con la fluoresceina e rodamina sui canali.

Il fluorometro GGUN - FL30 consta di un sensore a immersione di forma cilindrica collegato attraverso un cavo a un centralina alimentata da una batteria da 12 V con una sede per l'eventuale utilizzo di una scheda di memoria in cui possono essere registrati i dati del tracciamento. La batteria e la scheda di memoria permettono il suo eventuale utilizzo anche per tracciamenti in cui sia richiesto un lungo periodo di campionamento (autonomia fino a 30 giorni).

Una cella ottica di vetro posizionata al centro dello strumento misura la concentrazione del tracciante in acqua attraverso il flusso che ne passa attraverso. Le componenti ottiche utilizzate per la misura della concentrazione del tracciante sono installate lungo gli assi ortogonali con una forma di due croci ad angolo retto (Fig. II.26).

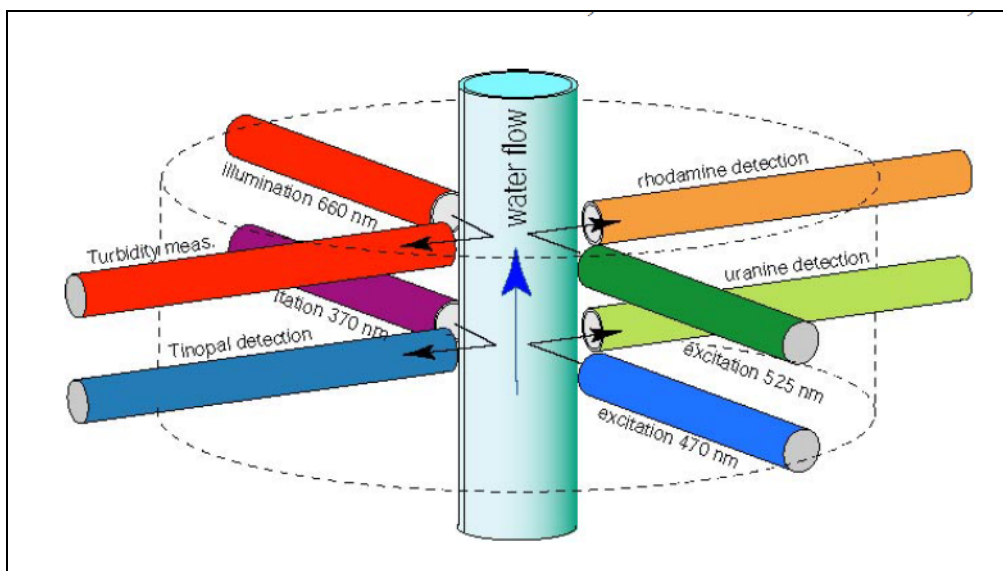


Figura II.26. Sistema della cella ottica contenuta all'interno del fluorometro e delle quattro serie di fonti luminose e foto detettori.

Il dispositivo di misura consiste in un sistema di eccitazione, composto da una sorgente luminosa quasi-monocromatica, un filtro e una lente condensatrice, e da un sistema di rilevazione, orientato a 90° rispetto al fascio luminoso e composto da lenti, un filtro e un foto detettore.

Le sorgenti luminose e i rispettivi sensori sono selezionati in base allo spettro di emissione del colorante.

Poiché non esiste una linearità perfetta tra concentrazione di tracciante in acqua e segnale di fluorescenza trasmesso, il fluorometro deve essere calibrato con differenti soluzioni a concentrazioni crescenti. Tale segnale è, inoltre, influenzato in parte dalla torbidità dell'acqua in cui registra: le particelle in

sospensione, colpite sporadicamente dal fascio di eccitazione della cella, possono produrre dei falsi segnali simulando la presenza di tracciante (Fig. II.27). Per evitare questo falso segnale il fluorometro deve essere ulteriormente calibrato con soluzioni a torbidità differenti (di prassi vengono usate a 1, 10 e 100 NTU - unità nefelometriche).

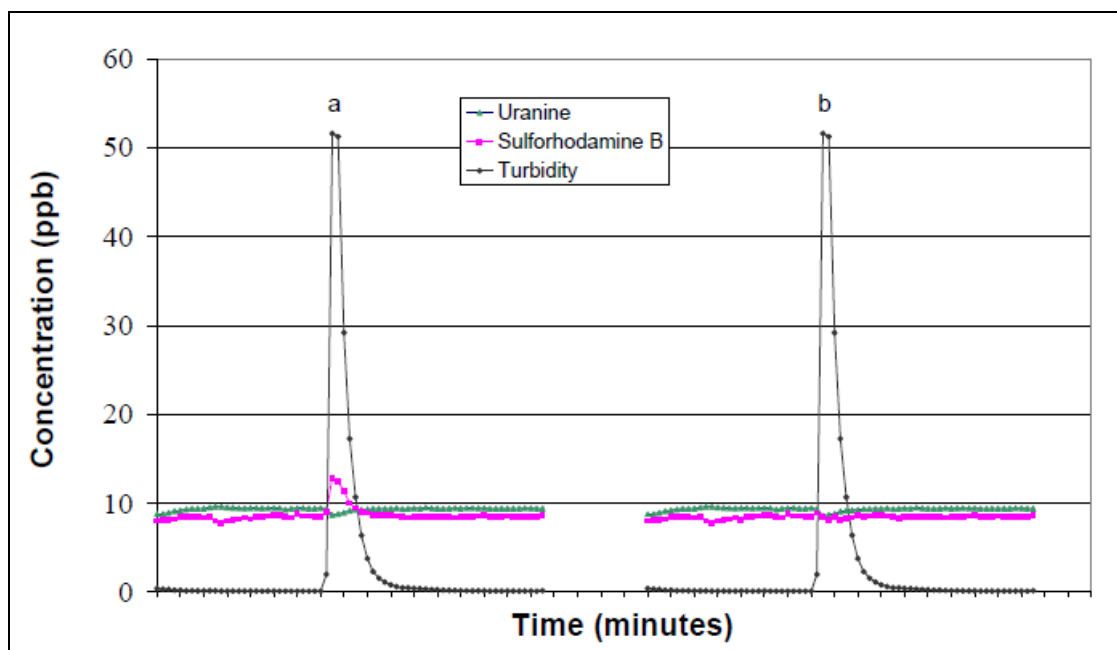


Figura II.27. Influenza della torbidità sulla misura della concentrazione di un tracciante con (a) e senza (b) correzione.

L'uso di un fluorometro *flow-through* da campo presenta diversi vantaggi rispetto al campionamento e all'analisi delle acque in laboratorio con i classici fluorometri da laboratorio. La misura viene restituita e visualizzata in tempo reale sul terreno mediante il collegamento dello strumento con un computer portatile. Il passaggio continuo di flusso all'interno della cella di misura azzerà l'eventuale rischio di contaminazione dei campioni. Inoltre l'immersione dello strumento e il passaggio in continuo del flusso permette di effettuare misure anche in condizione di clima molto freddo senza problemi di congelamento.

L'utilizzo di un fluorometro necessita di una valutazione preliminare circa la migliore posizione in cui ubicarlo all'interno del canale. Generalmente lo strumento viene posto nella parte centrale del canale;



qualora il fondo del canale evidenzi forti asperità, il fluorometro va sollevato di qualche cm dal fondo del canale.

Poiché il posizionamento del fluorometro viene eseguito da un operatore il quale si immerge nell'acqua del canale, scegliendo la posizione più idonea per lo strumento, l'applicazione di tale strumento potrebbe essere limitata in caso di canali con portate, velocità e profondità dell'acqua molto elevate.

Il fluorometro utilizzato consente di misurare concentrazioni di fluoresceina e rodamina nel range 0.01 ppb-100 ppb; di conseguenza risulta importante valutare con accuratezza la quantità di tracciante da utilizzare in funzione delle caratteristiche idrauliche di ciascun canale (velocità dell'acqua, e portata).

Infine, è fondamentale per la buona riuscita della prova, ottenere una completa omogeneizzazione del tracciante in acqua sull'intera sezione del canale in esame, in modo da misurare un valore di concentrazione rappresentativo.

II.3.4 - MONITORAGGIO DELLE OSCILLAZIONI DI LIVELLO

Poiché non sempre ci si trova a operare in regime costante, al fine di valutare correttamente le portate dei canali e quindi le perdite degli stessi, è necessario conoscere le oscillazioni di livello dell'acqua nei canali nel tempo.

Si può utilizzare:

- a) un'asta metrata fissata su un bordo del canale
- b) appositi sensori di livello in continuo, posizionati nella sezione di monte o di valle dei tratti indagati.

Più precisamente si tratta di trasduttori di pressione piezoelettrici Mini DIVER (Fig. II.28), apparecchi a immersione che, attraverso la misura della pressione della colonna di aria e d'acqua loro sovrastante, riescono a monitorare le oscillazioni di livello restituendo l'ampiezza delle oscillazioni in centimetri.



Figura II.28. Trasduttore di pressione utilizzato per il monitoraggio del livello dei canali.

Gli intervalli di misura possono essere settati in base allo scopo e alla durata del monitoraggio. Nella presente Ricerca le letture sono state effettuate con intervalli variabili tra i 10 s e il minuto per tutta la durata delle misure. L'utilizzo dei Mini DIVER è stato implementato alle altre misure eseguite nei canali nelle campagne di misure del 2011.



II.4 – VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE

II.4.1 – STIMA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Le perdite per infiltrazione da un canale dipendono sia dalla permeabilità del terreno, sia dalla differenza di livello tra il pelo libero nel canale e la quota piezometrica della falda. Per accertare la situazione sono necessarie indagini in loco, ripetute nelle diverse condizioni.

In mancanza di informazioni di dettaglio, per valutazioni di massima possono essere impiegate formulazioni empiriche.

II.4.1.1 - FORMULA DI DAVIS E WILSON (1967)

Le perdite da un canale vengono calcolate come Q in m^3/s mediante l'equazione di Davis e Wilson (1967) (Dhillon G.S., 1967):

$$Q = 0,45 * k * \frac{C * L * \sqrt[3]{h}}{4 * 10^6 + 365 * \sqrt{v}}$$

dove:

- C = contorno bagnato dell'alveo [m]
- L = lunghezza del canale [m]
- h = tirante d'acqua [m]
- v = velocità media dell'acqua [m/s]
- k = coefficiente di infiltrazione da assegnare in base al tipo di alveo

Il valore del coefficiente k da utilizzare nella formula di Davis e Wilson (1967) è riportato in Tab. II.6.



TIPI DI ALVEO	k
Rivestimento in calcestruzzo (spessore > 7 cm)	1
Rivestimento bituminoso di piccolo spessore	5
Alveo naturale in terreno argilloso	12
Alveo naturale in terreno limoso - argilloso	15
Alveo naturale in terreno limoso - sabbioso	30
Alveo naturale in terreno sabbioso	40
Alveo naturale in terreno sabbioso - ghiaioso	70

Tabella II.6. Tabella per l'assegnazione dei valori al coefficiente k all'interno della formula di Davis e Wilson (1967).

II.4.1.2 - FORMULA DI DOORENBOS (1963)

L'equazione di Doorenbos (1963) consente di valutare le perdite da un canale come Q in m³/giorno per m² di contorno bagnato, secondo l'equazione seguente:

$$Q = 86,4 * C * \sqrt{h}$$

dove:

- h = altezza d'acqua [m]
- C = parametro numerico il cui valore varia tra 0,0015 per terreni argillosi a 0,0030 per terreni sabbiosi.

II.4.1.3 - PERDITE NEI CANALI DI TERRA - LOTTI (1974)

Le perdite nei canali di terra possono essere calcolate mediante l'equazione di Lotti (1974 - USA Design Directives); le perdite nei differenti terreni, valutate in m³/giorno per m² di contorno bagnato, sono riportate in Tab. II.7.



NATURA DEI TERRENI	PERDITE (m/giorno)
Argillo - limosi impermeabili	0,076 ÷ 0,106
Argillo - limosi con crosta dura sottogiacente meno di 0,60 ÷ 1,00 sotto il fondo del canale	0,106 ÷ 0,152
Argillo - limoso ordinari, terreni provenienti da decomposizione di rocce vulcaniche	0,152 ÷ 0,228
Argillo - sabbiosi conglomerati	0,228 ÷ 0,305
Sabbio - argillosi	0,305 ÷ 0,457
Sabbiosi	0,457 ÷ 0,533
Alluvionali (miscugli di sabbia e ghiaia)	0,609 ÷ 0,762
Ciottolosi e porosi	0,762 ÷ 0,914
Ghiaie molto permeabili	0,914 ÷ 1,829

Tabella II.7. Schema dei valori delle perdite in base alle USA Design Directives.

II.4.1.4 - FORMULA DELL' U.S. BUREAU OF RECLAMATION

La formula dell'U.S. Bureau of Reclamation consente di valutare le perdite dai canali per infiltrazione mediante la seguente equazione:

$$P = 0,001 * C * \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

in cui:

- P = perdita per unità di lunghezza del canale [m³/s/km];
- Q = portata [m³/s]
- V = velocità dell'acqua [m/s]
- C = costante dipendente dalla natura del terreno

Il valore della costante C da utilizzare nella formula dell'U.S. Bureau of Reclamation è riportato in Tab. II.8.



TIPI DI TERRENO	C
Ghiaia cementata e hardpan con franco sabbioso	0,34
Argilla e franco argilloso	0,41
Franco sabbioso	0,66
Cenere vulcanica	0,68
Sabbia	1,20
Suolo sabbioso con roccia	1,68
Suolo sabbioso e ghiaioso	2,20

Tabella II.8. Coefficiente C della formula del U.S. Bureau of Reclamation per il calcolo delle perdite per infiltrazione (Kraatz, 1971).

II.4.2 - STIMA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

II.4.2.1 - VALUTAZIONE DELLE PERDITE TRAMITE MULINELLO IDROMETRICO

Le perdite dai canali irrigui possono essere valutate mediante l'utilizzo del mulinello idrometrico. In dettaglio si esegue la differenza tra la portata misurata nella sezione di monte e la portata nella sezione di valle, eseguite con l'ausilio del mulinello. Al fine di evitare errori legati alle variazioni delle portate del canale nel tempo, le due misure di portata devono essere eseguite nelle sezioni di misura contemporaneamente (Fig. II.29) e in condizioni di moto permanente.

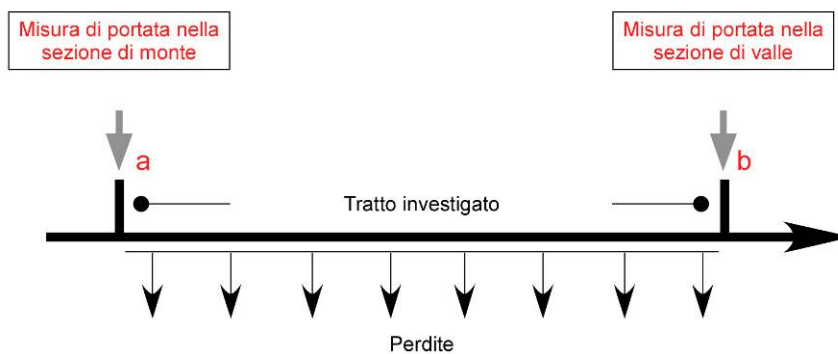


Figura II.29. Schema concettuale delle misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico.



II.4.2.2 - VALUTAZIONE DELLE PERDITE TRAMITE DOPPIO TRACCIANTE

Il metodo con doppio tracciante permette di valutare le perdite dei canali irrigui mediante l'utilizzo di due traccianti da immettere nell'acqua del canale in due postazioni differenti.

Il metodo è stato adattato a partire dalla metodica QUEST (QUantification of Exfiltration from Sewer with artificial Tracer) (Rieckermann J. & Gujer W., 2002; Rieckermann J. et al., 2003; Rieckermann J. et al, 2005; Prigiobbe V. et al., 2005 Bertrand-Krajewski et al., 2005) utilizzata per individuare le perdite nei sistemi fognari urbani.

La misura delle perdite di acqua dai canali può essere valutata attraverso un bilancio di massa di una sostanza tracciante (nel seguito definita tracciante "indicatore") nel tratto di canale indagato. Nella sezione di monte del canale viene immessa una massa nota di tracciante. Ipotizzando un completo miscelamento tracciante – acqua, l'eventuale perdita di tracciante è proporzionale alla perdita di acqua. Nella sezione a valle del canale indagato vengono quindi calcolate le perdite di acqua mediante l'equazione seguente:

$$E = 1 - \frac{M_{rilevata}}{M_{immessa}} \quad (1)$$

dove

- E = perdita, espressa come proporzione della portata del canale
- $M_{immessa}$ = massa di tracciante immessa in soluzione a monte (g)
- $M_{rilevata}$ = massa di tracciante registrata a valle (g)

La valutazione della massa di tracciante rilevata a valle $M_{rilevata}$ richiede l'integrazione delle concentrazioni istantanee del tracciante nel tempo e della portata. Poiché la valutazione della portata nel canale, mediante l'utilizzo dei mulinelli idrometrici, potrebbe essere poco accurata e di difficile esecuzione, il metodo prevede l'utilizzo di un secondo tracciante, definito di "riferimento", in modo da eliminare la necessità di una valutazione delle portate.

L'immissione dei due traccianti avviene come in Figura II.30.

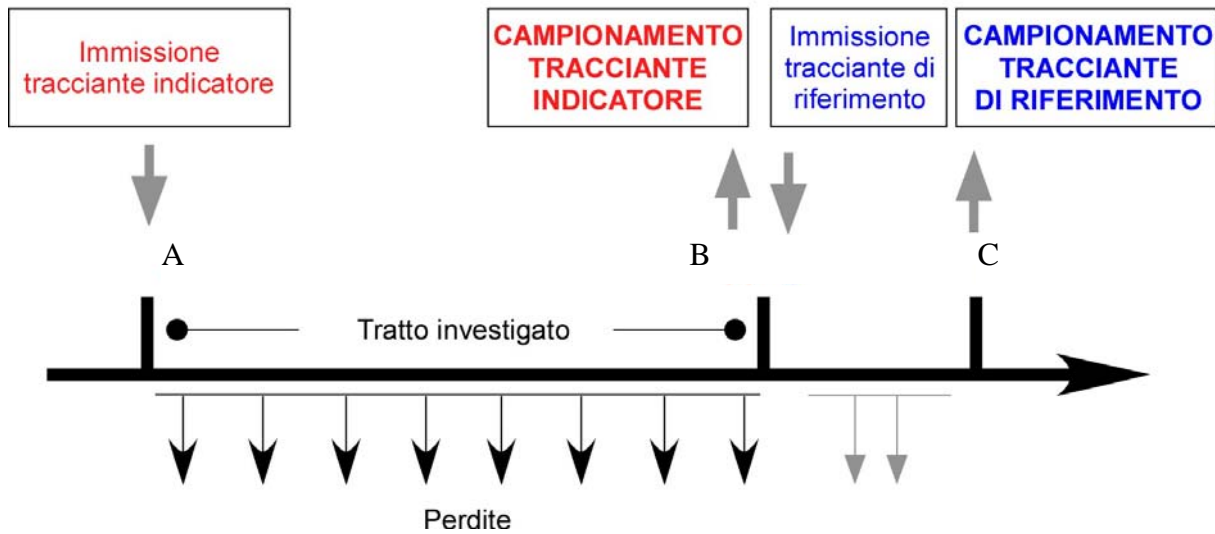


Figura II.30. Schema concettuale del metodo con doppio tracciante.

La lunghezza del tratto BC deve necessariamente essere inferiore di un ordine di grandezza rispetto a AB, in modo da minimizzare le perdite di tale tratto di canale.

Quindi le differenze nelle masse dei traccianti tra il punto di iniezione e il punto di campionamento possono essere utilizzate per valutare le perdite dai canali secondo la seguente relazione:

$$\begin{aligned}
 E &= 1 - \frac{M_{rif,immessa}}{M_{ind,immessa}} * \frac{M_{ind,rilevata}}{M_{rif,rilevata}} = 1 - \frac{M_{rif,immessa}}{M_{ind,immessa}} * \frac{\int Q * C_{ind}(t) dt}{\int Q * C_{rif}(t) dt} = \\
 &= 1 - \frac{M_{rif,immessa}}{A_{rif}} * \frac{A_{ind}}{M_{ind,immessa}} = 1 - \frac{Q_{rif}}{Q_{ind}} \quad (2)
 \end{aligned}$$

dove

- $M_{RIF,immessa}$ = massa di tracciante di riferimento immessa (g)
- $M_{IND,immessa}$ = massa di tracciante indicatore immessa (g)
- $M_{RIF,rilevata}$ = massa di tracciante di riferimento registrata a valle (g)
- $M_{IND,rilevata}$ = massa di tracciante indicatore registrata a valle (g)
- C_{RIF} = concentrazione di tracciante di riferimento a valle (mg/l)
- C_{IND} = concentrazione di tracciante indicatore a valle (mg/l)
- Q = portata del canale nella sezione di valle (m^3/s)

- A_{rif} = area sottesa alla curva concentrazione vs tempo del tracciante di riferimento (Fig. II.31)
- A_{ind} = area sottesa alla curva concentrazione vs tempo del tracciante indicatore (Fig. II.31)
- Q_{rif} = portata misurata mediante tracciante di riferimento
- Q_{ind} = portata misurata mediante tracciante indicatore

L'equazione (2) non considera le perdite nel tratto BC, ovvero nel tratto a valle dell'immissione del tracciante di riferimento. Come detto, tuttavia tale tratto viene scelto in modo tale da essere sufficientemente corto, e quindi con perdite trascurabili.

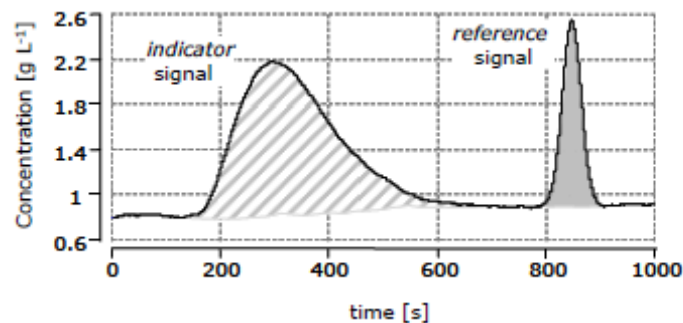


Figura II.31. Esempi di data-set necessari per il metodo QUEST (Bertrand-Krajewski et al 2005).

Nell'ambito del presente studio sono stati scelti la fluoresceina e la rodamina come traccianti indicatori e il cloruro di sodio come tracciante di riferimento. L'immissione dei traccianti, mediante una modalità a "slug", prevede:

- immissione in A della fluoresceina o rodamina (traccianti indicatori)
- misura in B della concentrazione di fluoresceina o rodamina mediante fluorometro
- immissione in B del cloruro di sodio (tracciante di riferimento)
- misura in C della concentrazione di cloruro di sodio mediante conducimetro da campo

Tale metodo consente di raggiungere un errore della misura delle perdite pari al 2-3% (Rieckermann et al, 2003; Ellis et al 2010).

II.4.2.2.1 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE - MODIFICATO

Il metodo con doppio tracciante – Modificato (Fig. II.32) è una versione adattata del metodo con doppio tracciante. In particolare l'immissione dei traccianti, mediante una modalità a "slug", prevede:

- immissione in A del tracciante indicatore
- immissione in B del tracciante di riferimento
- misura in C sia della concentrazione del tracciante indicatore e sia del tracciante di riferimento

Il metodo con doppio tracciante – M è stato sperimentato sia utilizzando la fluoresceina come tracciante indicatore e la rodamina come tracciante di riferimento sia con la fluoresceina come tracciante indicatore e il cloruro di sodio come tracciante di riferimento. La formula utilizzata per la valutazione delle perdite rimane la stessa del metodo standard.

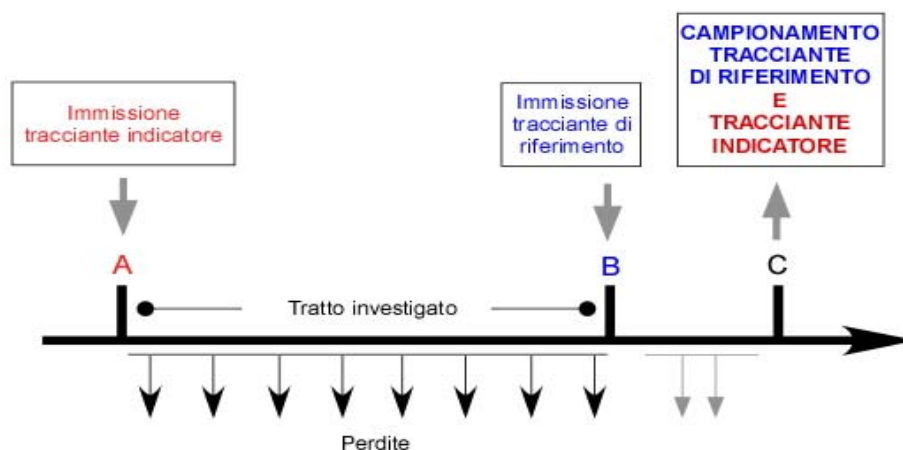


Figura II.32. Schema concettuale del metodo con doppio tracciante - M.

II.4.2.2.2 - UTILIZZO DELLA FLUORESCEINA E RODAMINA COME TRACCIANTI INDICATORI

La fluoresceina e rodamina vengono utilizzati come traccianti indicatori, quindi immessi nel punto di misura A e registrati nel punto di misura B (metodo con doppio tracciante) o C (metodo con doppio tracciante – M).

L'acquisizione dei dati in B o C avviene mediante utilizzo di un fluorometro, che consente di misurare l'arrivo del plume di tracciante in continuo. L'acquisizione viene interrotta dopo il completo passaggio del *plume*, quando il segnale si è riportato sui valori di base registrati in partenza (Fig. II.33).

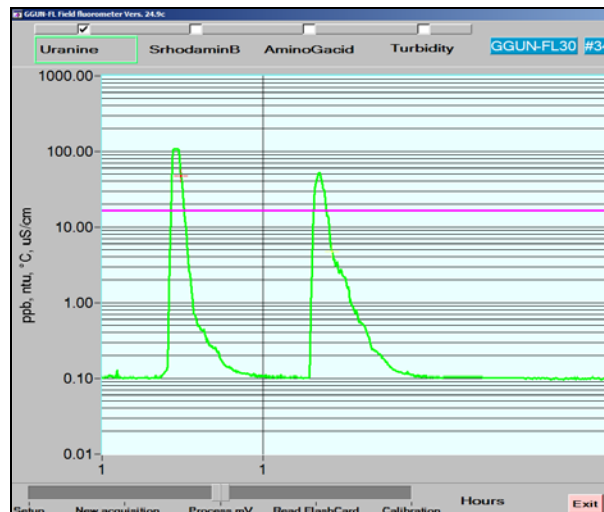


Figura II.33. Esempi di andamento dei plume di fluoresceina.

I dati di concentrazione vengono elaborati mediante l'equazione (cfr. paragrafo II.4.2.2)

Il valore di Q ottenuto rappresenta la portata del canale sottratte le perdite nel tratto indagato.

II.4.2.2.3 - TRACCIAMENTO DI RIFERIMENTO CON CLORURO DI SODIO

Tale tipo di tracciamento era già stato utilizzato precedentemente per ottenere la misura di portata dei canali. In questo caso viene accoppiato ad un tracciamento con tracciante fluorescente per fare da riferimento.

Le modalità di esecuzione sono le stesse di quelle prima riportate nel paragrafo II.4.2.2.



Per minimizzare l'effetto di una eventuale oscillazione del livello idrometrico, l'immissione del tracciante salino deve essere circa contemporaneo all'arrivo del tracciante fluorescente nel punto di rilevazione dello stesso.

II.4.2.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

Il metodo con tracciante e mulinello ricalca il metodo con doppio tracciante, e ne utilizza le medesime equazioni. La differenza risiede nella diversa valutazione delle portate Q_{rif} e Q_{ind} : mentre nel metodo con doppio tracciante tali valori vengono stimati mediante l'utilizzo di due traccianti, nel metodo con tracciante e mulinello, la portata Q_{rif} nella sezione di canale di valle viene misurata con mulinello idrometrico, mentre la portata Q_{ind} è ricavata mediante tracciamento con tracciante fluorescente (fluoresceina o rodamina) immesso nella sezione di monte e misurato nella sezione di valle.

II.4.2.4 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE IN CONTINUO

Il metodo con doppio tracciante in continuo utilizza due differenti sostanze traccianti immesse in modo continuo e costante a monte e a valle del tratto investigato. Anche questo metodo, come il metodo con doppio tracciante a immissione a slug, si basa sul principio per cui un segnale (quello riferito al tracciante immesso più a monte) sia soggetto a una perdita per infiltrazione, mentre l'altro (più a valle e più vicino al punto di campionamento) sia conservativo (Fig. II.31).

Nel caso in cui la stessa quantità di tracciante venga immessa sia da monte che da valle e venga successivamente rilevata la medesima concentrazione, il flusso sarà stabile e non sarà affetto da perdite e infiltrazioni. Nel caso siano presenti perdite nel tratto, invece, la concentrazione nel punto di prelievo del tracciante immesso più a monte sarà più bassa rispetto al punto in cui è stata immessa, mentre il tracciante di valle rimarrà costante nel tempo.

Questo metodo permetterebbe di eliminare il problema legato ad errori connessi alle oscillazioni di livello del canale.



Nel caso del metodo con doppio tracciante in continuo il valore di perdita verrebbe calcolato attraverso la formula:

$$E = 1 - \frac{C_{rif}}{C_{ind}} * \frac{Q_{rif}}{Q_{ind}} * \frac{(C_{ind} - C_{indback})}{(C_{rif} - C_{rifback})}$$

dove:

- C_{ind} = concentrazione del tracciante indicatore nel punto di rilevamento
- C_{ref} = concentrazione del tracciante di riferimento nel punto di rilevamento
- $C_{ind\ back}$ = concentrazione del tracciante indicatore già esistente nell'acqua
- $C_{ref\ back}$ = concentrazione del tracciante di riferimento già esistente nell'acqua
- Q_{ind} = portata di immissione del tracciante indicatore
- Q_{ref} = portata di immissione del tracciante di riferimento
- C_{ind} = concentrazione della soluzione tracciante indicatore in immissione
- C_{ref} = concentrazione della soluzione tracciante di riferimento in immissione

In Rjeckermann (2003) si riporta che l'errore percentuale di tale metodo è di circa il 2% sulla portata totale del corso d'acqua.

III.1 - CANALE DI CALUSO

III.1.1 - CENNI STORICI

Il Canale di Caluso non ha origini recenti, sebbene possa essere collocato fra le più antiche derivazioni del torrente Orco. Le prime canalizzazioni di cui si ha notizia (VITTONATTO G., 2009) risalgono, infatti, a epoca medievale, mentre lo scavo del Canale di Caluso fu compiuto negli anni 1556 -1559. L'impulso per tale opera fu dato dal maresciallo di Francia Charles de Cossè de Brissac, Signore di Caluso, allora Comandante supremo delle truppe francesi impegnate in Piemonte nella guerra contro l'Impero e luogotenente generale del re di Francia in quella parte del territorio piemontese, Caluso compreso, che era stata annessa alla Monarchia Francese.

Il maresciallo de Brissac, durante un suo soggiorno a corte nel 1556, richiese e ottenne dal Re di Francia le Lettere Patenti della concessione di derivare dall'Orco "quarantotto piedi d'acqua in quadratura"; queste patenti, che stabilivano tra l'altro l'obbligo a carico del Maresciallo di indennizzare i proprietari delle terre espropriate e di riparare le strade danneggiate per effetto dei lavori, furono concesse nel 1556 (Fig. III.1).

De Brissac, particolarmente sensibile alle sorti dell'economia piemontese e in special modo dell'agricoltura, emanò il 31 ottobre 1557 un'ordinanza con la quale, intendendo incrementare la rete dei canali d'irrigazione, prometteva a privati e comunità assistenza nella presentazione delle loro richieste al Re per concessioni d'acqua irrigua e, inoltre, accordava loro l'esenzione delle tasse ordinarie e straordinarie per le terre occupate dall'alveo dei canali realizzati.

Mancano informazioni riguardo il costo dell'opera, il numero di lavoratori impiegati e la data esatta di conclusione. Da fonti documentarie dell'epoca, si può dedurre che lo scavo, iniziato nel 1556, fu concluso nel dicembre 1559. Fortunatamente lo scavo dell'alveo era in fase di avanzata realizzazione quando, nell'aprile 1559, fu stipulato il trattato di pace Chateau - Cambresis, che concludeva la lunga guerra tra l'Impero e la Monarchia Francese e imponeva alla Francia, tra l'altro, la restituzione delle terre conquistate ai Duchi di Savoia e di Mantova.

A seguito di questa riconsegna si era venuta a determinare una complessa situazione giuridica per il Canale di Caluso o "*Bealera Bissacca*" (dal nome del suo realizzatore). Il canale, infatti, in parte scorreva nel territorio del ducato di Savoia dove aveva il suo imbocco e, in parte, in quello del Marchesato di Monferrato che era sotto i duchi di Mantova.

Come pertinenza del feudo mantovano, il canale ne seguì poi le vicende, passando in tal modo attraverso vari possessori fra cui Isabella Gonzaga, nipote di Anna d'Alençon e suo figlio, il Marchese del Vasto, da cui pervenne a Michele Peretti, nipote del Papa Sisto V e, successivamente, a Manilo e Carlo

Guglielmo Valperga, agli Scaglia di Verrua e infine ai Valperga di Masino che lo cedettero al Regio Patrimonio Sabauda circa 200 anni dopo la sua costruzione. La convenzione fu stipulata il 18 marzo 1760 e da quel momento le vicende del canale si separarono da quelle di Caluso.

Seguirono poi nella seconda metà del XVIII secolo una serie di lavori consistenti nel rifacimento dell'edificio d'imbocco, dello sbarramento in pietra sull'Orco, nella rettifica dell'alveo, nell'apertura di due gallerie sotterranee di circa 400 m ciascuna sotto la collina di San Giorgio Canavese e, infine, nell'allargamento e nel prolungamento del canale fino alla Mandria di Chivasso. Al termine delle risistemazioni si ottenne un notevole aumento di portata media che portò un incremento nel numero di ruote d'acqua alimentate, da 8 a 31, e un conseguente ingrandimento del comprensorio irriguo fino a 15.000 giornate piemontesi, equivalenti a 5700 ettari di estensione.



Figura. III.1. Imbocco del tratto in galleria a monte di San Giorgio Canavese costruito nel 1764.

In tal modo il Regio Naviglio di Caluso diventò il più importante canale d'irrigazione appartenente direttamente allo Stato sabauda, se si considera che i grandi canali piemontesi in esercizio, cioè il naviglio di Ivrea, la roggia Busca, la roggia Rizzo Biraga erano a quel tempo privati e i canali De Pretis, Cavour e Farini non erano stati ancora realizzati.

Durante il periodo napoleonico il canale fu ceduto in affitto alla Società Pastorale che aveva la gestione della Mandria di Chivasso.

Dopo la restaurazione, il canale ritornò nel 1818 sotto l'amministrazione statale, rimanendovi fino al 1865 (fig. 1.1), quando fu nuovamente ceduto, prima in affitto all'Avvocato Ferrero, che lo amministrò fino al 31 dicembre 1883 e, successivamente, dal 1° gennaio 1884, in concessione al Consorzio Conduttore del Canale Demaniale di Caluso, che ne cura tuttora autonomamente la gestione. Fu il Consorzio a costruire la ricordata diga di Spineto, nel 1950, all'imbocco del canale, oltre a esercitarne la manutenzione.

È inoltre opportuno menzionare che nel 1980 il Demanio Pubblico trasferì il Canale di Caluso al Demanio della Regione Piemonte che, contemporaneamente, lo consegnò in gestione al Consorzio Conduttore del Canale Demaniale di Caluso.

Con la convenzione stipulata tra il Consorzio e le utenze di Forza Motrice del 1984 (rinnovata nel 1994) sono stati definiti i rapporti fra le stesse e il Consorzio conseguenti all'aggregazione a seguito del passaggio di competenze fra Stato e Regione.

III.1.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

III.1.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il tratto di canale oggetto di studio è collocato fra Tonengo ed Arè, rispettivamente frazioni dei comuni di Mazzè e Caluso (Fig. III.2).

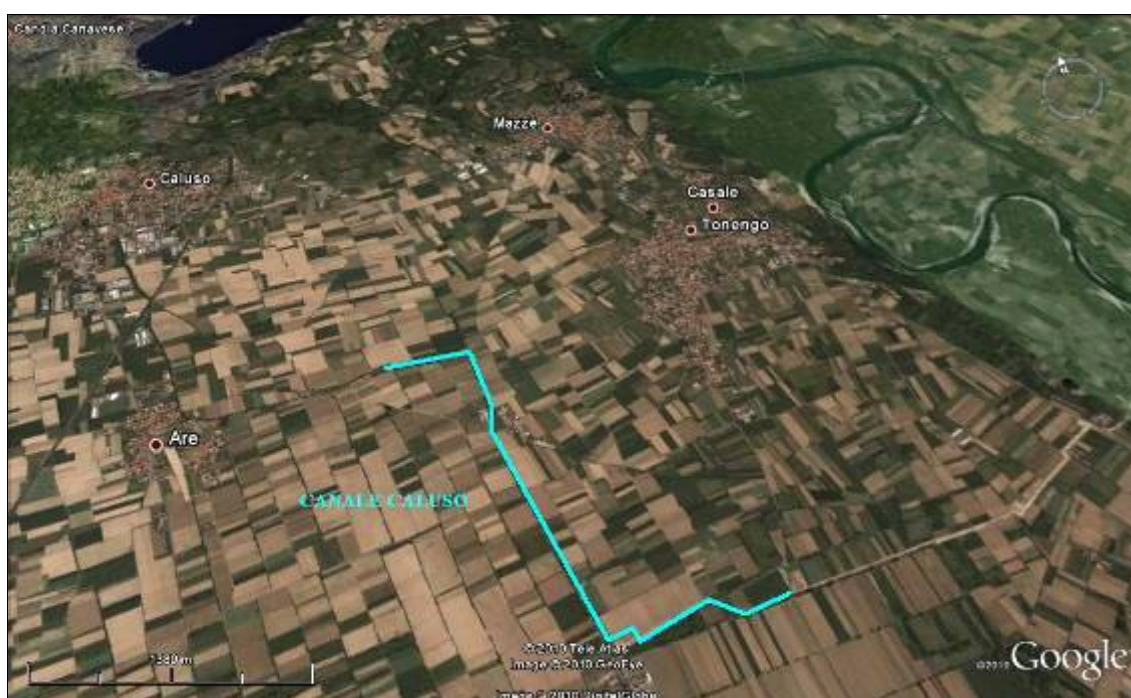


Figura III.2. Veduta aerea del tratto di canale oggetto di studio, evidenziato dalla linea azzurra (Google Earth, 2010 mod.).

I comuni di Caluso e Mazzè si trovano nel settore nordorientale della Provincia di Torino (Canavese). Il Canavese è una regione storico – geografica del Piemonte estesa tra la Serra di Ivrea, il Fiume Po, il Fiume Stura di Lanzo e le Alpi Graie. Esso è generalmente suddiviso in: Alto Canavese (Cuornè, Rivarolo Canavese e le valli Orco e Soana), Eporediese (zona Ivrea con il suo anfiteatro morenico) e Basso Canavese (Caluso, Mazzè e Chivasso).

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio attraversato dal Canale di Caluso è caratterizzato da un vasto settore pianeggiante che, a partire dalle cerchie moreniche del settore frontale dell'Anfiteatro Morenico d'Ivrea, si estende fino al Fiume Po.

Tale pianura viene indicata come "*alto terrazzo fluvio-glaciale rissiano*", geneticamente legato all'Anfiteatro Morenico d'Ivrea (note illustrative ai fogli 56 – 57 della Carta Geologica D'Italia, 1969). La pianura o piana fluvio-glaciale è una tipica forma di accumulo di depositi fluvio-glaciali generata dal torrente

proglaciale al margine frontale degli anfiteatri morenici, quindi non direttamente legata all'attività del ghiacciaio, ma alle sue acque di fusione che defluivano a valle della fronte glaciale.

Il corso d'acqua principale è rappresentato dal Fiume Dora Baltea, il quale incide profondamente la pianura fluvioglaciale, suddividendola in due pianalti: quello occidentale di San Giusto Canavese–Tonengo–Montanaro-Torrazza, in destra idrografica e quello di Villareggia–Santhià–Crescentino-Castell'Apertole, in sinistra idrografica (GIANOTTI F., 2008).

Il Fiume Dora Baltea raggiunge la pianura fluvioglaciale oltrepassando il cordone morenico frontale in corrispondenza della forra di Mazzè, unico sfioratore ancora in attività.

Il Fiume Dora Baltea scorre su una piana alluvionale topograficamente depressa rispetto alla sovrastante piana fluvioglaciale, delimitata da scarpate di terrazzo alte decine di metri. Questa pianura alluvionale è facilmente inondabile durante i periodi di piena del corso d'acqua; ciò è desumibile dalla presenza di alvei abbandonati recentemente. Il Fiume Dora Baltea segue una direzione di deflusso N – S; l'alveo fluviale possiede un andamento a meandri, con riduzione della sinuosità verso sud.

III.1.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il settore del Canavese in cui scorre il tratto del Canale di Caluso esaminato è caratterizzato, dal punto di vista geologico, da depositi fluvioglaciali riferibili al Pleistocene medio che vanno a costituire l'alto terrazzo fluvioglaciale rissiano (BONSIGNORE G. *et al.*, 1969a). Questi depositi sono legati alla dinamica glaciale dell'antico Ghiacciaio Balteo che ha edificato l'Anfiteatro Morenico d'Ivrea.

III.1.2.2.1 - L'ANFITEATRO MORENICO D'IVREA

L'Anfiteatro Morenico d'Ivrea (AMI) è un imponente complesso di cerchie moreniche edificato dal Ghiacciaio Balteo allo sbocco della Valle d'Aosta nel corso di una decina di glaciazioni succedutesi nel Pleistocene.

L'AMI si estende su un'area di 500 km² compresi interamente nel territorio piemontese, dei quali circa 200 km² appartengono alla vasta depressione interna e i restanti 300 km² sono occupati dalle cerchie moreniche. L'AMI si estende in direzione longitudinale circa N-S per 27 km, dallo sbocco vallivo fino allo sfioratore di Mazzè e possiede un'ampiezza massima di 31 km in direzione trasversale E-W, tra Pranzalito e Salussola. Queste caratteristiche pongono l'AMI al terzo posto fra gli anfiteatri morenici delle Alpi Italiane, dopo quelli del Garda e del Verbano.

Il bacino montano del F. Dora Baltea si estende per 3.355 km², compresi quasi interamente nella Regione Autonoma Valle d'Aosta, tranne che negli ultimi 10 km di valle prossimi al suo sbocco, circa 91 km², che ricadono nel territorio della Regione Piemonte. Il bacino è formato da una valle principale lunga circa 90 km, percorsa dal F. Dora Baltea, e da una trentina di valli tributarie, poste sia a destra sia in sinistra idrografica. La presenza nel bacino di importanti centri di alimentazione glaciale riferibili ad alcuni fra i maggiori rilievi europei (M. Bianco, M. Rosa, M. Cervino, M. Gran Paradiso), è la principale causa della maestosità dell'Anfiteatro Morenico d'Ivrea.

Una peculiarità dell'AMI è la presenza di differenti litologie che compongono i depositi glacigenici; ciò avviene poiché la valle della Dora Baltea attraversa i grandi sistemi tettonometamorfici che costituiscono la catena alpina, dall'Elvetico al Sudalpino (Fig. III.3).

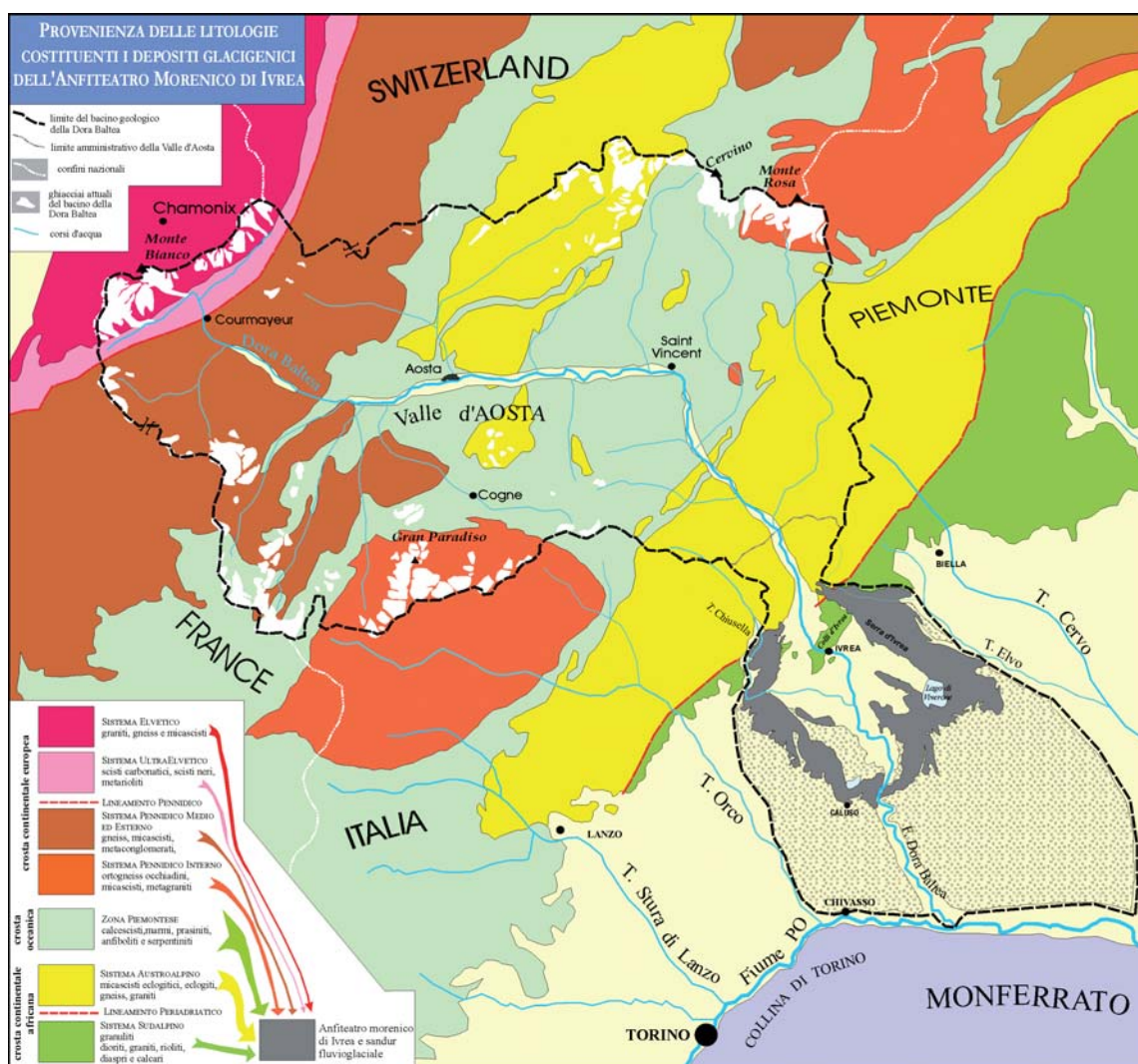


Figura III.3. Rappresentazione schematica del bacino del F. Dora Baltea in cui sono indicati i vari sistemi tettonometamorfici alpini attraversati dal corso d'acqua (GIANOTTI F., 2008).

All'interno dell'AMI sono stati individuati tre principali gruppi di depositi morenici: il *Gruppo di Borgo*, il *Gruppo della Serra* e il *Gruppo di Bollengo*.

- Il *Gruppo di Borgo* comprende i depositi glaciali che formano i cordoni morenici più esterni dell'anfiteatro, riferibili al Pleistocene inferiore e medio. L'età antica è suggerita dalla presenza di resti di potenti suoli di colore rosso (2.5YR÷10R) e dalla cancellazione dell'aspetto originario delle forme dovuto all'erosione.
- Il *Gruppo della Serra* è costituito da depositi glaciali e fluvio-glaciali, questi presenti nella parte interna dell'anfiteatro e sulla maggior parte dei conoidi fluvio-glaciali della zona. Di questa formazione fa parte la Serra d'Ivrea, dalla quale deriva il nome del gruppo. La Serra d'Ivrea è la morena laterale sinistra caratteristica dell'AMI. Essa si estende per 21 km da Andrate a Dorzano e si eleva sul fondovalle alluvionale del F. Dora Baltea raggiungendo anche 690 m di dislivello. La Serra è costituita da sette cordoni morenici subparalleli e presenta in pianta un andamento rettilineo,

soprattutto nei primi 16 km, da Andrate a Zimone. L'età della formazione è riferibile al Pleistocene medio, suggerita dalla presenza di suoli molto meno evoluti, con indice di colore 7.5YR (rosso-giallastro).

- Il Gruppo di Bollengo comprende gli archi morenici più interni e recenti riferibili al *Last Glacial Maximum* (LGM), l'ultimo episodio glaciale del Pleistocene superiore. L'età recente della formazione è suggerita dalla presenza di suoli poco potenti di colore bruno-giallastro e da un modesto rimodellamento delle forme. Oltre ai depositi glaciali e fluvioglaciali, nella formazione vi sono anche depositi lacustri che testimoniano la presenza di un antico lago proglaciale tra la fronte del ghiacciaio e l'arco morenico del Gruppo della Serra; i laghi di Candia e Viverone sono la testimonianza di questo paleolago.

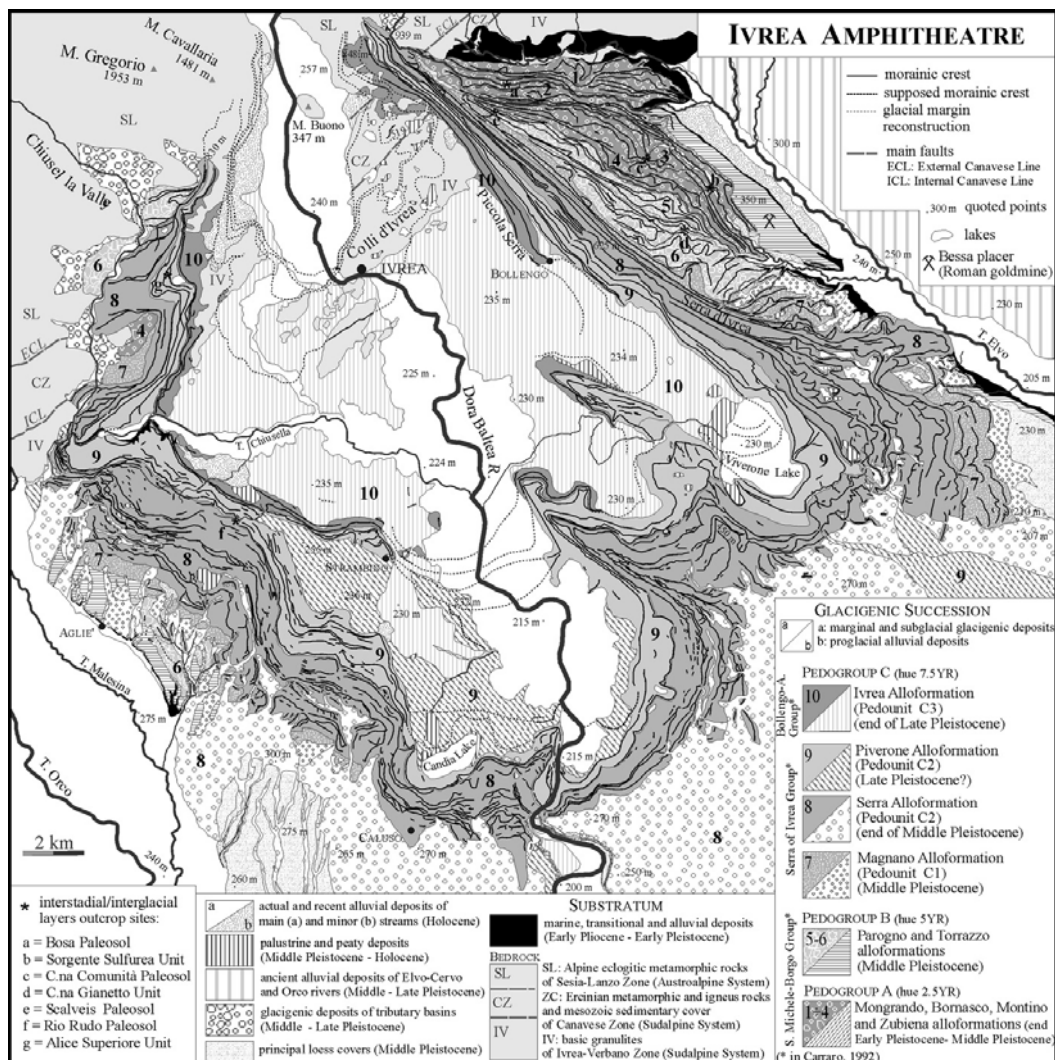


Figura III.4. Carta Geologica dell'Anfiteatro Morenico d'Ivrea (GIANOTTI F. et al, 2008).

Recentemente, sulla base di criteri pedostratigrafici e geologici, sono state distinte nell'AMI dieci unità stratigrafiche, dette alloformazioni (GIANOTTI F. *et al*, 2008), ognuna comprendente i depositi e le forme generate in almeno dieci episodi glaciali (Fig. III.4).

III.1.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il sottosuolo dell'area in cui scorre il Canale di Caluso può essere suddiviso, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche, in due Complessi (BORTOLAMI *et al.*, 2002a): il *Complesso Superficiale* e il *Complesso Villafranchiano*.

- Il *Complesso Superficiale* comprende i depositi fluviali olocenici e i depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio e superiore. I depositi fluviali sono distribuiti lungo il F. Dora Baltea, sono di natura prevalentemente ghiaiosa, godono di un'elevata permeabilità. I depositi fluvioglaciali, che formano l'alto terrazzo fluvioglaciale rissiano (BONSIGNORE G. *et al.*, 1969a), sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinate intercalazioni limoso – argillose e possiedono un'elevata permeabilità. L'insieme dei depositi fluviali e fluvioglaciali rappresenta l'Acquifero Superficiale, contenente una falda idrica a superficie libera in diretta connessione con i corsi d'acqua. Le isopiezometriche riferite alla falda idrica a superficie libera presentano un andamento all'incirca E – W e con valori del livello piezometrico decrescenti verso sud, in direzione del Fiume Po. Le linee di flusso, perpendicolari alle isopiezometriche, mostrando un andamento N – S. Le soggiacenze variano da 10 m a 20 m di profondità del piano campagna. Lungo la scarpata del terrazzo, che segna il passaggio tra alta pianura fluvioglaciale rissiana e la piana alluvionale del F. Dora Baltea, tra Casale e Rondissone, sono presenti emergenze idriche che formano un definito orizzonte sorgentifero. La profondità della base dell'acquifero superficiale è compresa fra i 10 m e i 60 m rispetto al piano campagna e questa superficie riflette l'andamento della superficie topografica (BORTOLAMI G. *et al.*, 2002a e b).
- Il *Complesso Villafranchiano* è costituito da un'alternanza di ghiaie e sabbie, di ambiente fluviale, e di limi e argille con frequenti intercalazioni di livelli ricchi di sostanza organica, di ambiente lacustre – palustre. In corrispondenza dei livelli più permeabili, identificati dai sedimenti fluviali, sono contenute varie falde idriche in pressione, confinate dai livelli limoso–argillosi.

III.1.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

Sono state realizzate due sezioni litostratigrafiche (Fig. III.5) tramite l'interpolazione di dati rinvenuti nelle stratigrafie di pozzi per acqua collocati nei Comuni di Caluso, Mazzè e Rondissone. Le stratigrafie sono state reperite presso l' "archivio stratigrafie" del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e il "catasto derivazioni, pozzi, sorgenti e scarichi di acque reflue" consultabile sul sito della Provincia di Torino.

Dalle sezioni (Fig. III.6 e III.7) si evince che i sedimenti maggiormente presenti sono ghiaie e sabbie che costituiscono strati di spessore pluridecamentrico. Inoltre la base dell'acquifero superficiale è individuabile all'incirca a quota 200 m dal piano campagna per la presenza di un livello limoso-argilloso continuo di potenza decametrica.

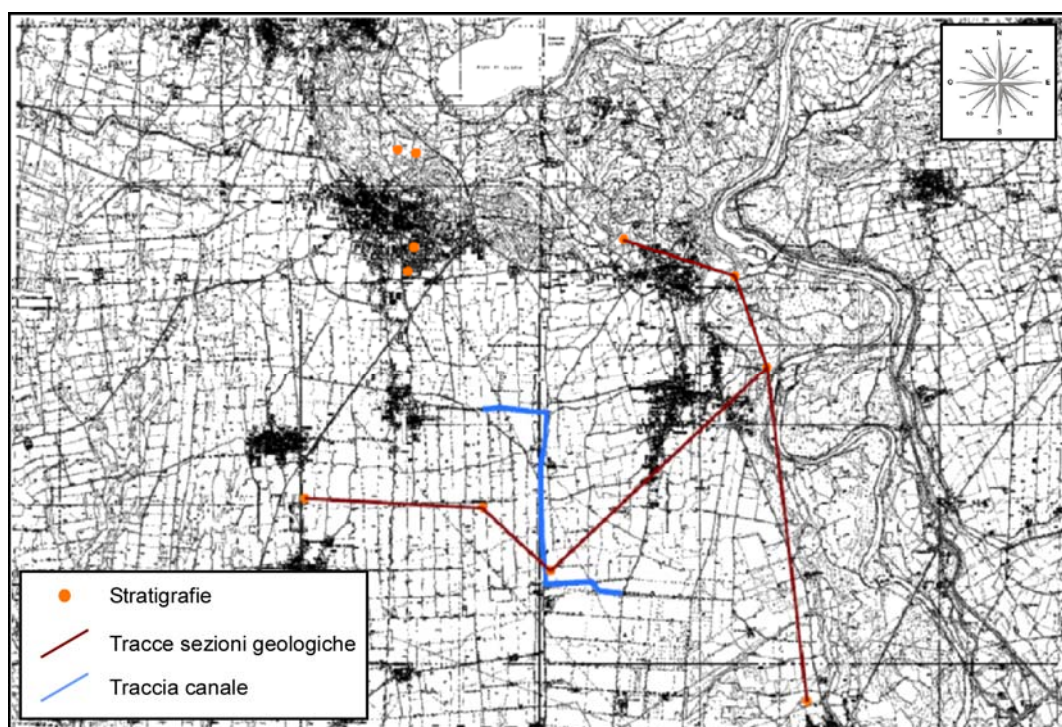


Figura III.5. Ubicazione delle sezioni litostratigrafiche realizzate (scala 1:100000).

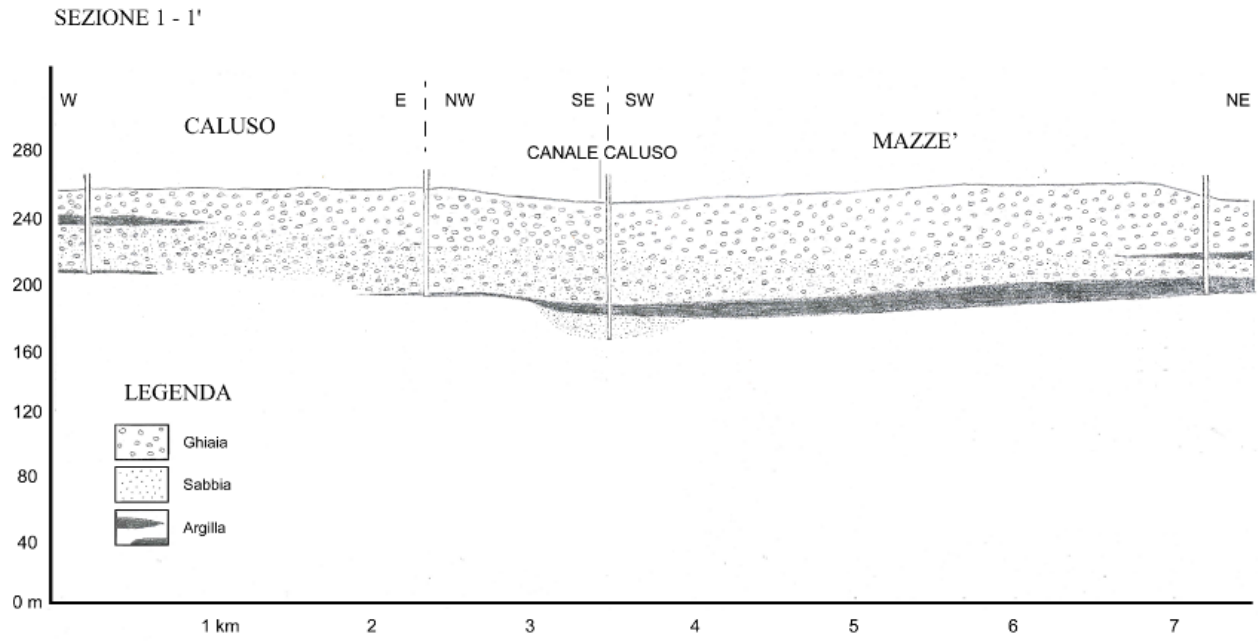


Figura III.6 – Ricostruzione litostratigrafica sul profilo 1-1'

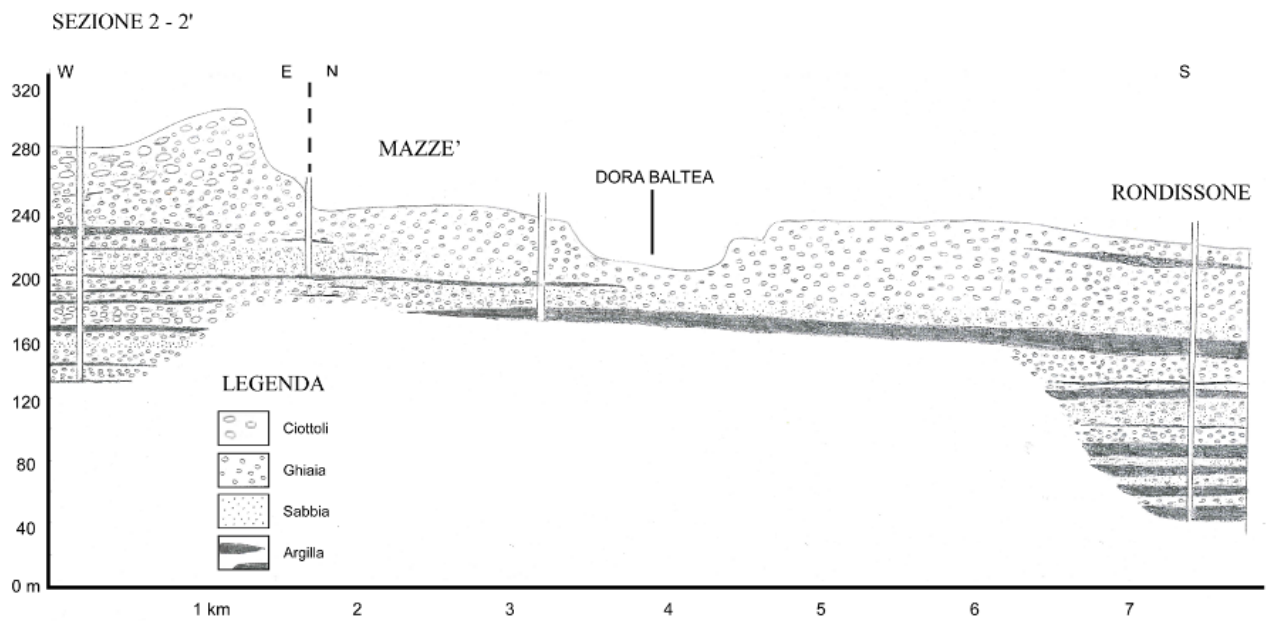


Figura III.7 – Ricostruzione litostratigrafica sul profilo 2-2'.

III.1.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CANALE

Il Canale di Caluso scorre sia in alveo naturale (Fig III.8) sia in alveo cementato (Fig III.9); nello specifico la composizione del tracciato del tratto di canale analizzato è elencata nelle Tabelle III.1 e III.2 e in Fig. III.10.

Tipo di materiale	Platea (m)	Sponda destra (m)	Sponda sinistra (m)
Calcestruzzo	1490	1750	1470
Acciottolato sciolto	1950	0	0
Terra	910	2535	2850

Tabella III.1. Composizione del tracciato del tratto di canale studiato.

Tipo di materiale	Platea (%)	Sponda destra (%)	Sponda sinistra (%)
Calcestruzzo	34,25	40,84	33,79
Acciottolato sciolto	44,83	0,00	0,00
Terra	20,92	59,16	65,52

Tabella III.2. Composizione del tracciato del tratto di canale studiato (in percentuale).

Sulle sponde del tratto di canale in alveo naturale è presente una fitta vegetazione prevalentemente di tipo arbustivo, spesso accostata a piccoli alberi da fusto.



Figura III.8. Tratto in alveo naturale del Canale di Caluso posto in frazione Arè.



Figura III.9. Tratto in alveo cementato del Canale di Caluso situato in frazione Tonengo.

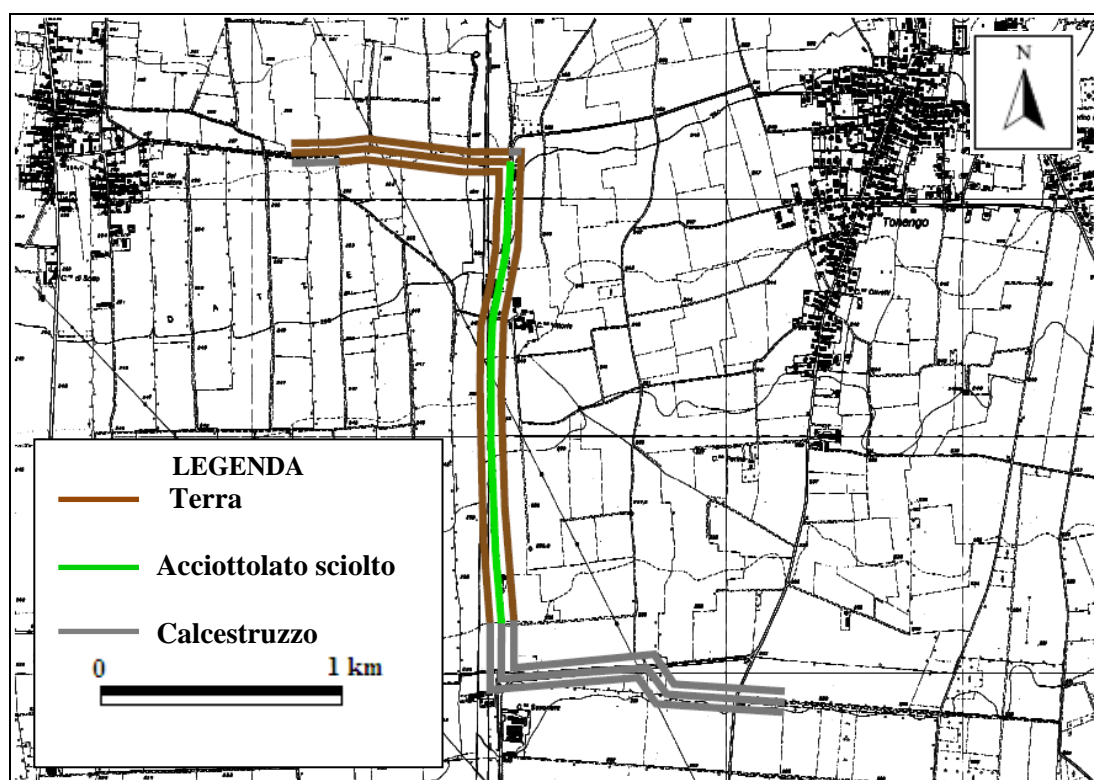


Figura III.10. Composizione del tracciato del tratto del Canale di Caluso studiato.

III.1.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA UTILIZZATI

Si riportano nel seguito i metodi adottati per il Canale Caluso per la valutazione delle possibili perdite dallo stesso.

III.1.5.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA

Per il Canale Caluso è stato possibile applicare alcune metodologie per la valutazione delle perdite dai canali da un punto di vista qualitativo, ed in particolare il metodo idrochimico, il metodo piezometrico e la tomografia elettrica. Tali metodiche, tuttavia, non danno indicazioni numeriche sui flussi idrici.

III.1.5.1.1 - METODO IDROCHIMICO

Nell'ambito della campagna piezometrica condotta nel settembre 2010 è stato possibile reperire un campione d'acqua da un pozzo. Inoltre sono stati prelevati due campioni di acqua del canale, uno a monte in corrispondenza della sezione S1, e uno a valle, in corrispondenza della sezione S4.

Si è potuto procedere così con l'esecuzione dell'analisi idrochimica dell'acqua presso il Laboratorio di Idrochimica del Dipartimento Scienze della Terra.

I parametri valutati per ogni campione sono stati il pH, la conducibilità elettrolitica, l'alcalinità, espressa dalla quantità di HCO_3^- in soluzione, il contenuto di Calcio e Magnesio, il contenuto di Sodio e Potassio, il contenuto di Cloruri, Nitrati e Solfati. Nella Tabella III.3 si riportano i risultati ottenuti dall'analisi.

CAMPIONE	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	HCO_3^- meq/l	Ca^{2+} meq/l	Mg^{2+} meq/l	Na^+ meq/l	K^+ meq/l	Cl^- meq/l	NO_3^- meq/l	SO_4^{2-} meq/l
Caluso Monte (canale)	7,3	84	0,73	0,7	0,12	0,09	0,03	0,05	0,05	0,1
Caluso Valle (canale)	7,38	81	0,72	0,71	0,13	0,09	0,03	0,04	0,04	0,1
Caluso Pozzo B (acque sotterranee)	6,91	191	1,3	0,81	1,31	0,15	0,02	0,19	0,51	0,2

Tabella III.3. Analisi idrochimica dei campioni d'acqua.

Sulla base dei dati idrochimici è stato possibile classificare le acque in base al loro chimismo utilizzando i diagrammi di Piper e Schoeller. Dai diagrammi di Piper (Fig. III.11) si osserva che sia le acque

del canale, sia quella della falda superficiale appartengono alla facies idrochimica delle acque bicarbonato calciche/magnesiache.

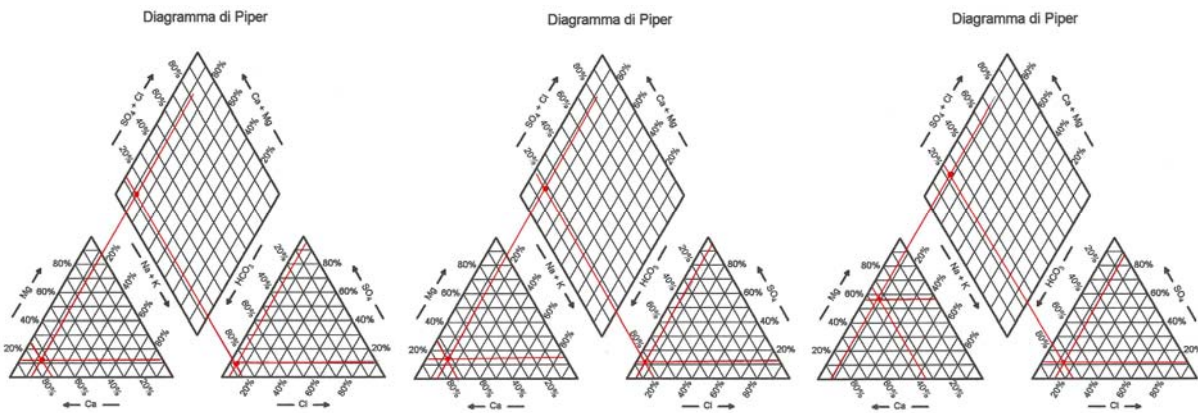


Figura III.11, Diagramma di Piper riferito ai campioni di monte, valle il pozzo B.

Dal diagramma di Schoeller (Fig. III.12) si nota come le acque del Canale di Caluso mostrino pressoché la stessa composizione chimica, anche se sono state prelevate a km di distanza; l'acqua di falda superficiale si differenzia soprattutto nel contenuto in magnesio, che è maggiore rispetto a quello delle acque del canale.

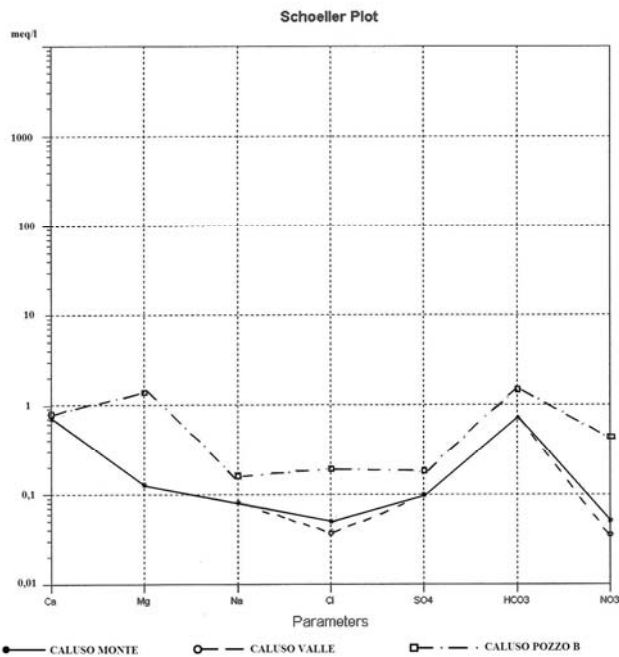


Figura III.12. Diagramma di Schoeller riferito ai tre campioni.

III.1.5.1.2 - METODO PIEZOMETRICO

Per valutare i rapporti tra circolazione idrica sotterranea e corsi d'acqua superficiali nell'area di studio, è stata eseguita una campagna piezometrica nell'area oggetto di studio.

La prima fase del lavoro, svolta nel settembre 2010, è consistita nella ricerca di idonei punti di misura preesistenti, quali pozzi e piezometri. Nell'area sono stati individuati solo due pozzi (Fig. III.13) in cui è stato possibile effettuare le misure di soggiacenza, poiché molti pozzi non sono più agibili mentre per altri è stata negata la possibilità di accesso e utilizzo da parte dei proprietari.

Le misure di soggiacenza e livello piezometrico sono riportate in tabella III.4.

Denominazione pozzo	Soggiacenza (m)	Livello piezometrico (m s.l.m.)
POZZO A	10,94	234,06
POZZO B	18,70	202,3

Tabella III.4. Soggiacenza e livello piezometrico nei pozzi individuati.



Figura III.13. Ubicazione dei pozzi individuati.

I dati non sono però sufficienti per redigere una carta piezometrica della falda idrica a superficie libera; di conseguenza, al fine di comprendere l'andamento della superficie piezometrica, si è fatto riferimento alla Carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera riferita all'estate 2002 (AAVV 2005b) (Fig.III.14).

Data la scala di tale carta, tuttavia, non è stato possibile definire in dettaglio i rapporti tra canale e acque sotterranee.

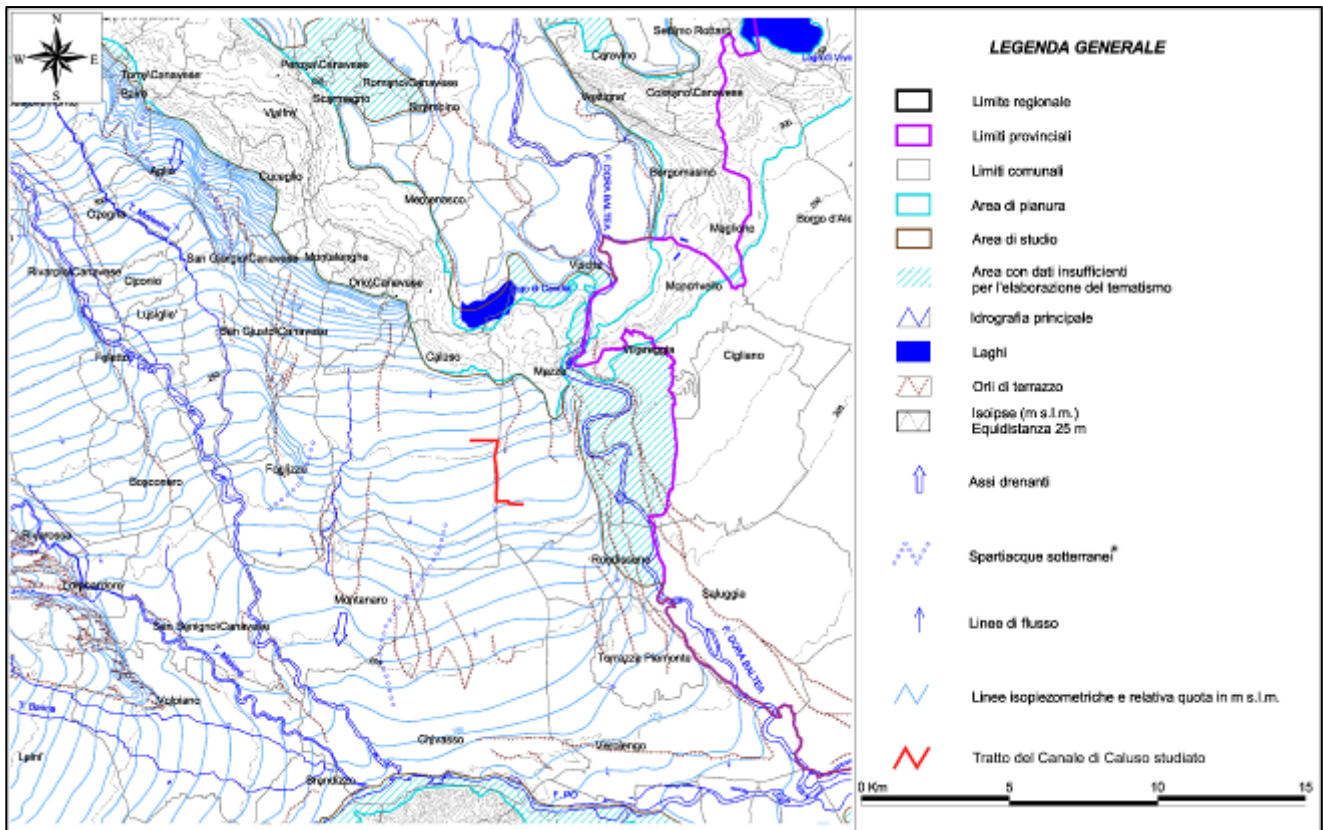


Figura III.14. Estratto della Carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera (AAVV,2005b).

III.1.5.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Per ottenere informazioni sulla composizione del sottosuolo nei pressi del canale, sono state effettuate due tomografie elettriche nel settembre 2010: una trasversale al canale, nella frazione Arè (Fig. III.15), e una parallela alla sponda sinistra, in località Tonengo (Fig. III.16). Per difficoltà logistiche, lo stendimento trasversale è stato posto a circa 200 m dalla sponda sinistra del canale, non comprendendone l'alveo.



Figura III.15. Particolare dello stendimento geoelettrico trasversale al canale situato ad Arè .



Figura III.16. Particolare dello stendimento geoelettrico parallelo alla sponda sinistra del canale posto a Tonengo .

Lo stendimento trasversale al canale ha una lunghezza totale pari a 155 m ed è costituito da 32 elettrodi posti a 5 m di distanza l'uno dall'altro (Fig. III.17). La configurazione usata è stata la Wenner – Schlumberger.

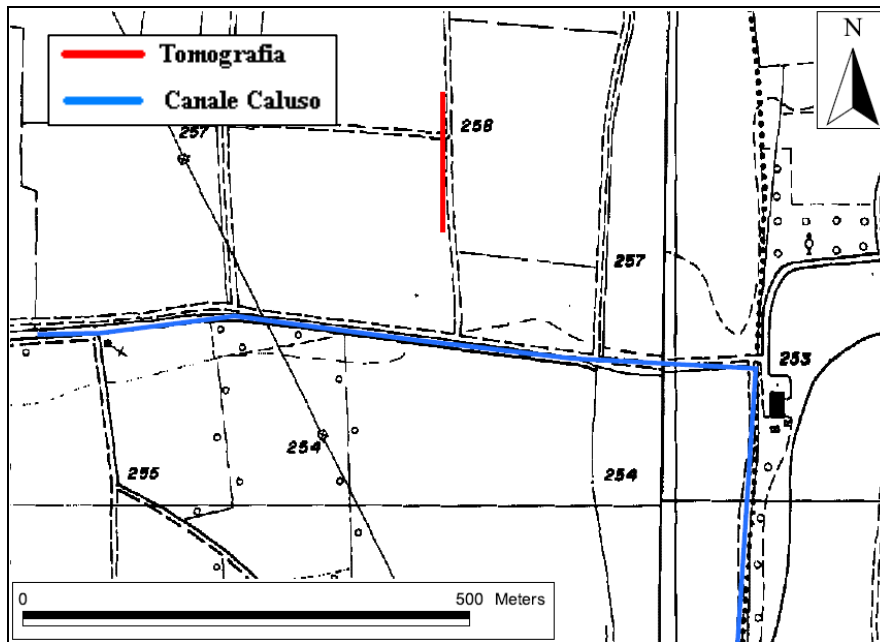


Figura III.17. Ubicazione dello stendimento geoelettrico trasversale al canale.

Dai dati ricavati dalle misurazione geoelettriche è stato possibile elaborare un profilo di resistività del sottosuolo Figura III.18. Dal profilo si può dedurre che fino alla profondità di 10 m vi è uno strato ad alta resistività, probabilmente costituito da ghiaie. A maggiori profondità si rileva un abbassamento significativo dei valori di resistività: ciò è dovuto probabilmente alla presenza di terreno saturo in acqua. Tale ipotesi può essere avvalorata dal fatto che, in prossimità della zona in cui è stata effettuata la tomografia, i valori di soggiacenza si attestano sui 10 m di profondità da p.c.

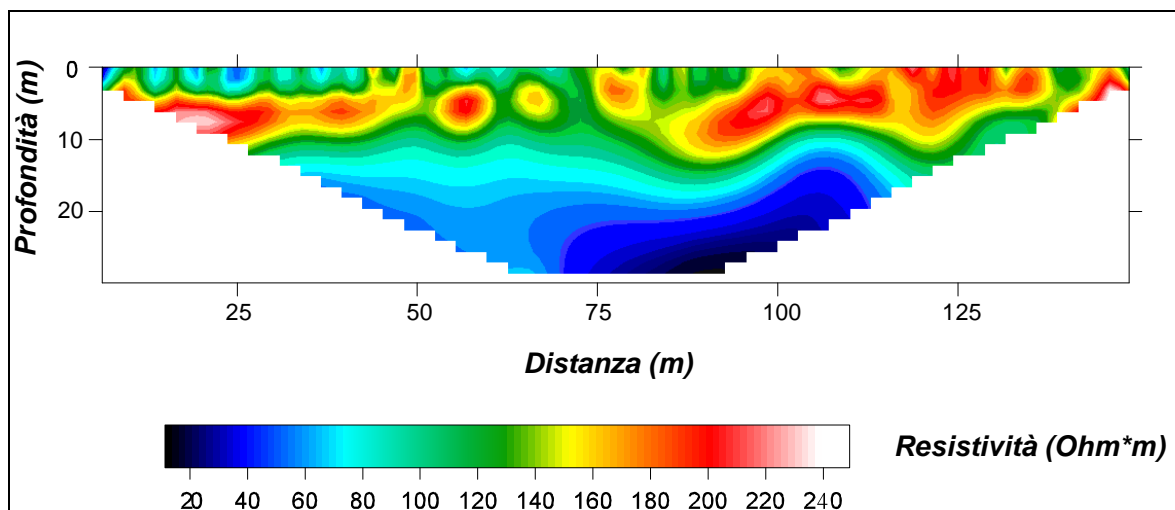


Figura III.18. Risultato della tomografia elettrica trasversale al canale.

Lo stendimento parallelo al canale ha una lunghezza totale pari a 80 m ed è costituito da 16 elettrodi distanziati di 5 m (Fig. III.19). La configurazione usata è stata Wenner – Schlumberger

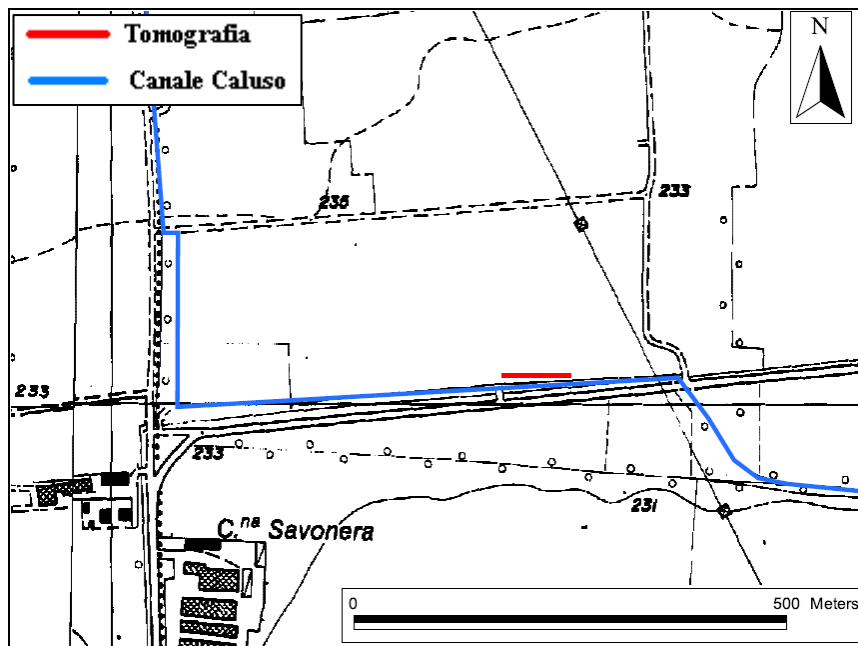


Figura III.19. Ubicazione dello stendimento geoelettrico parallelo al canale.

I dati ottenuti dalle misurazione geoelettriche sono stati elaborati ed è stato ottenuto il profilo di resistività visibile in Figura III.20.

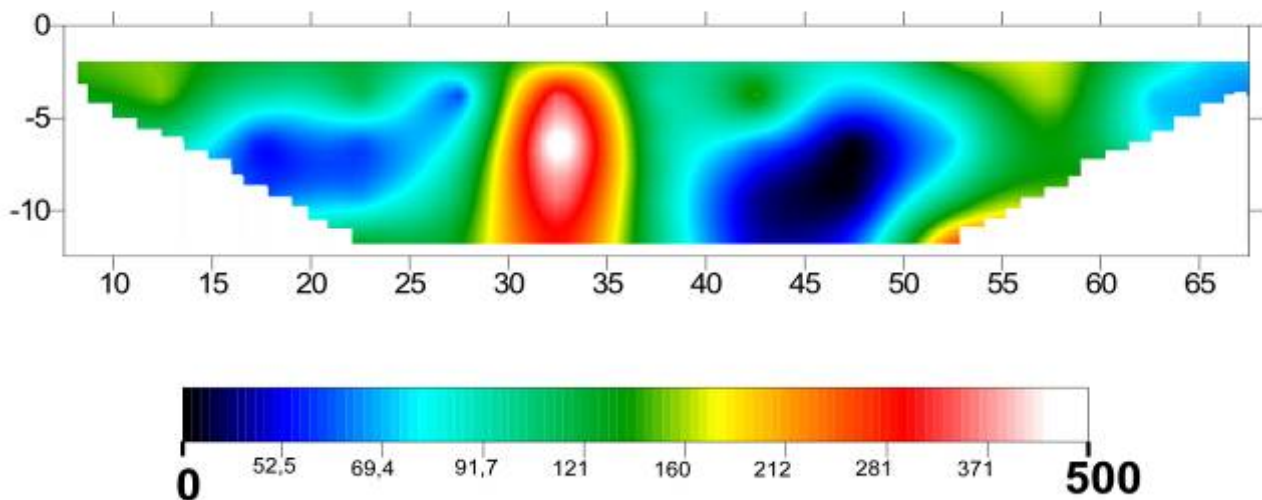


Figura III.20. Risultato della tomografia parallela alla sponda del canale.

Dal profilo si osservano, nei primi metri di profondità, valori di resistività elevati, dovuti probabilmente alla presenza di ghiaie. Alla profondità di circa 4 m si incontrano valori di resistività minori: ciò può segnalare la presenza di livelli limoso-argillosi.

III.1.5.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per il Canale Caluso è stato possibile valutare le perdite, da un punto di vista quantitativo, sia mediante l'applicazione di formule empiriche, sia attraverso la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico, il metodo con doppio tracciante e il metodo con tracciante e mulinello.

III.1.5.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le indagini di terreno svolte durante diverse campagne di misura per la valutazione della portata dei canali. Tali indagini sono essenziali e propedeutiche per la successiva valutazione delle perdite.

III.1.5.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

PROVA 1 (TARATURA DEL METODO) (luglio 2010)

Nel luglio 2010 sono state eseguite due misure di portata del canale, in un tratto di monte (S3) e in un tratto di valle (S4); tale porzione di canale, situato in frazione Tonengo (Fig. III.21), presenta un alveo cementato. I risultati di tali prove, che dovrebbero evidenziare perdite nulle dato il fondo impermeabile del canale, sono state utilizzate come taratura del metodo.

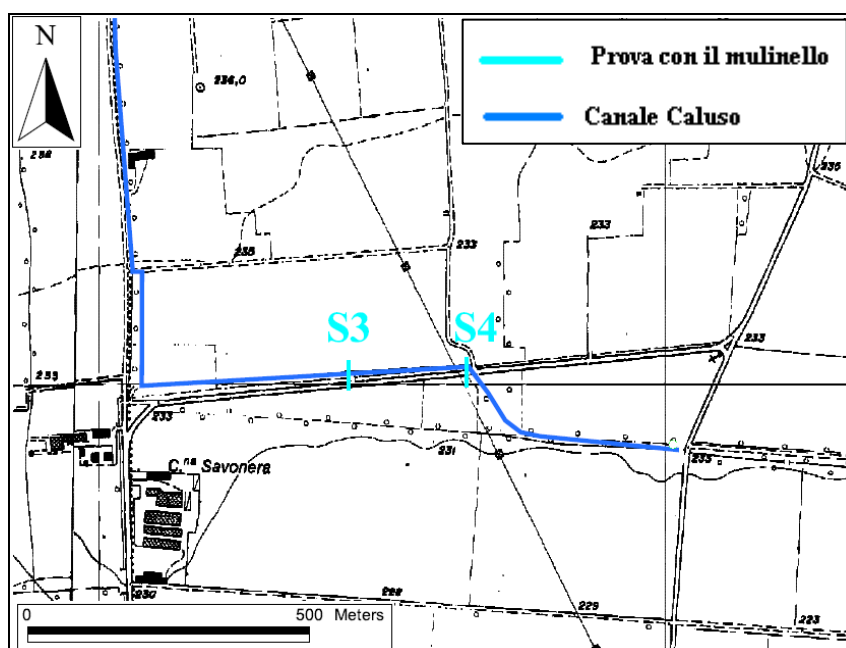


Figura III.21. Localizzazione delle sezioni S3 e S4.

Le caratteristiche della sezione di monte (S3) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 510 cm;
- numero di conci: 12;
- larghezza concio: 50 cm; un solo concio 10 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 cm.

Il profilo dell'alveo è rappresentato in Figura III.22.

L'elaborazione dei dati (tab. 7.5) ha fornito un valore di portata $Q = 0,69 \text{ m}^3/\text{s}$.

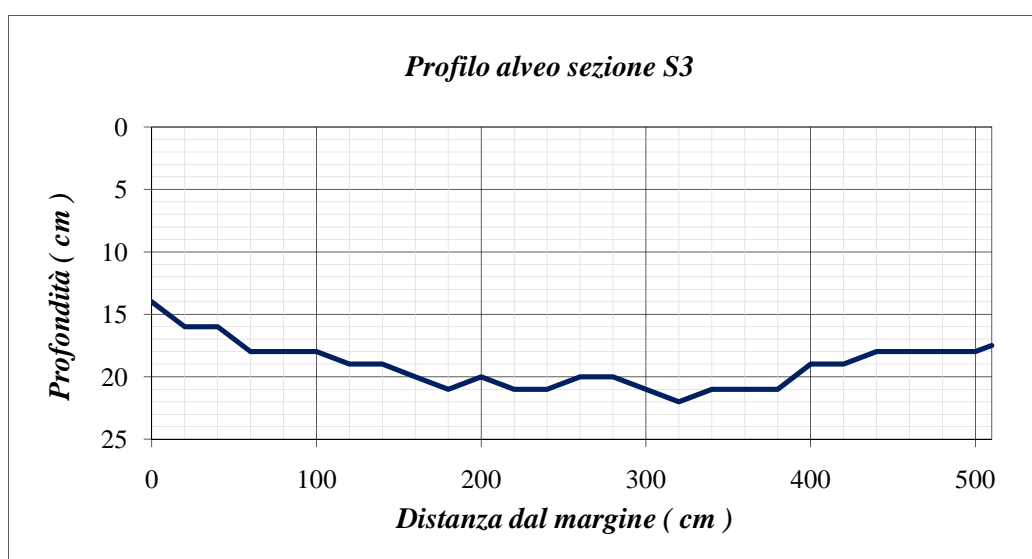


Figura III.22. Profilo dell'alveo della sezione di misura S3.

Le caratteristiche della sezione di valle (S4) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 510 cm;
- numero di conci: 12;
- larghezza concio: 50 cm; un solo concio 10 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 cm.

La misura del profilo dell'alveo è rappresentato in Figura III.23 e III.24.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0,73 \text{ m}^3/\text{s}$.

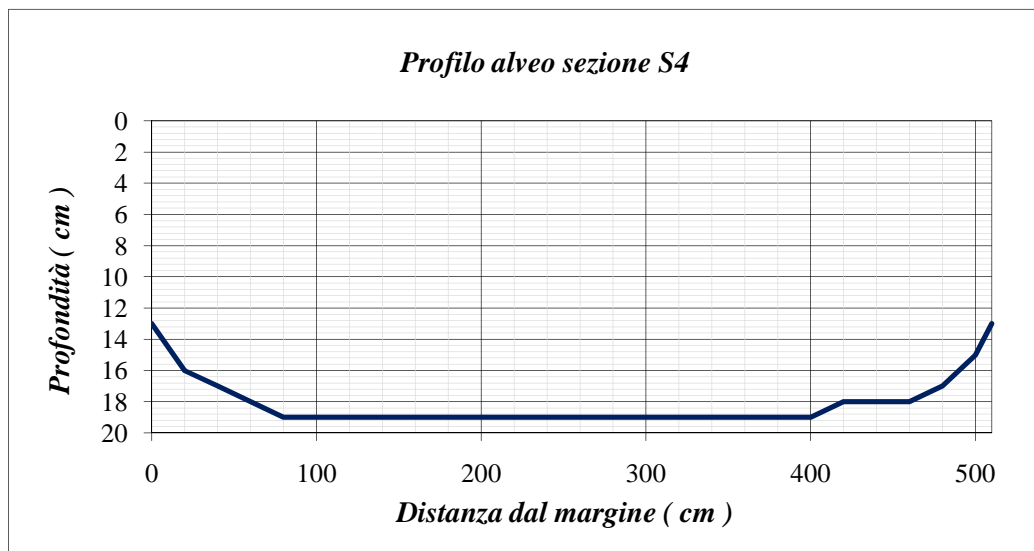


Figura III.23. Profilo dell'alveo della sezione di misura S4.



Figura III.24. Misura della profondità dell'alveo con asta graduata e misure di velocità della corrente con il mulinello.

PROVA 2 (luglio 2010)

Eseguita la taratura del metodo e dimostrata la validità dello stesso, si è proceduto nella stessa data (luglio 2010) con la valutazione delle possibili perdite del canale tra la sezione di monte S1 e la sezione di valle S2 (Fig. III.25).

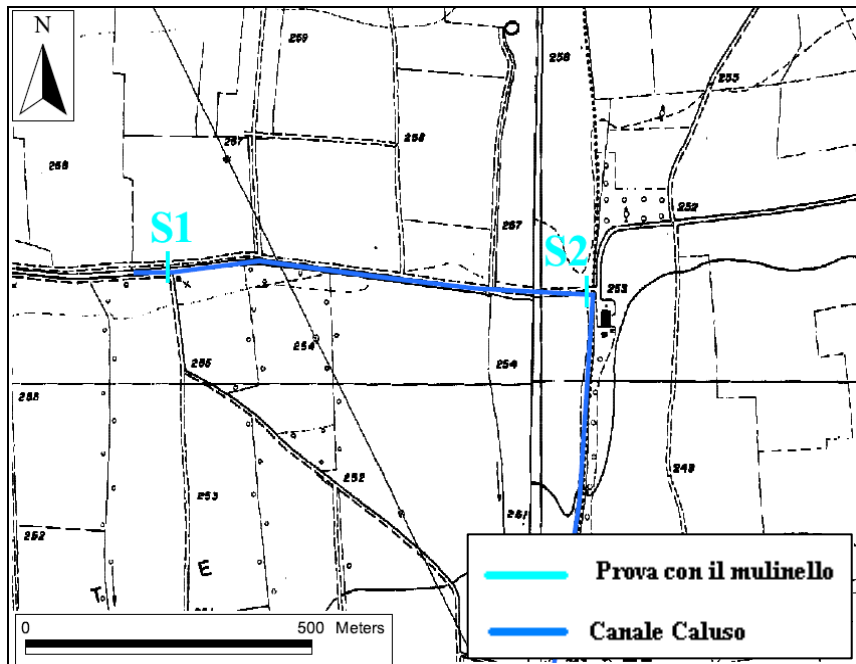


Figura III.25. Ubicazione delle sezioni S1 e S2.

Le caratteristiche della sezione di monte (S1) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 360 cm;
- numero di conci: 5;
- larghezza concio: 60 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 15 cm e 55 cm.

Il profilo dell'alveo è rappresentato in Figura III.26.

L'elaborazione dei dati (tab. 8.1a,b) ha fornito un valore di portata $Q = 2,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

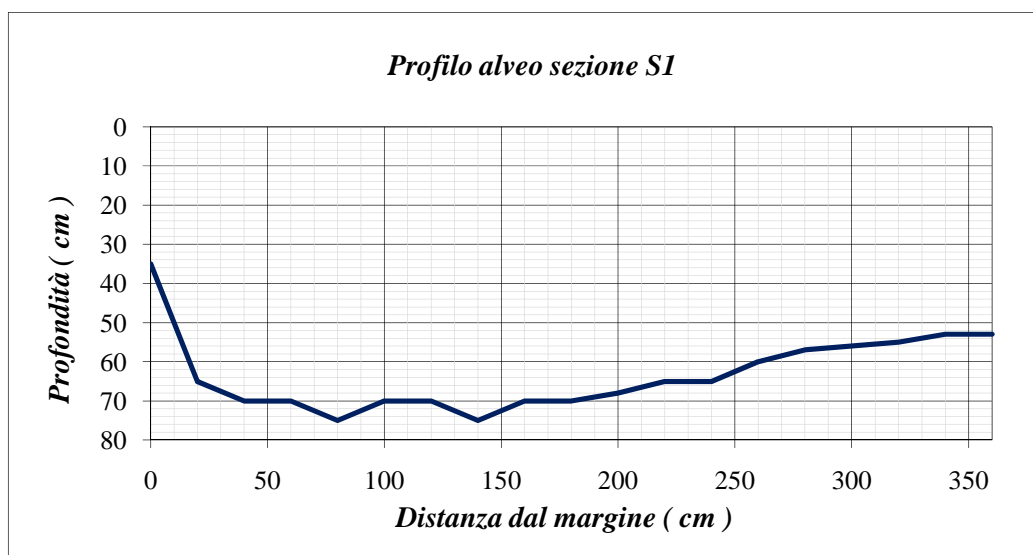


Figura III.26. Profilo dell'alveo della sezione di misura S1.

Le caratteristiche della sezione di valle (S2) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 540 cm;
- numero di conci: 8;
- larghezza concio: 60 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 20 cm, 50 cm, 80 cm.

Il profilo dell'alveo è rappresentato in Figura III.27.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 1,80 \text{ m}^3/\text{s}$.

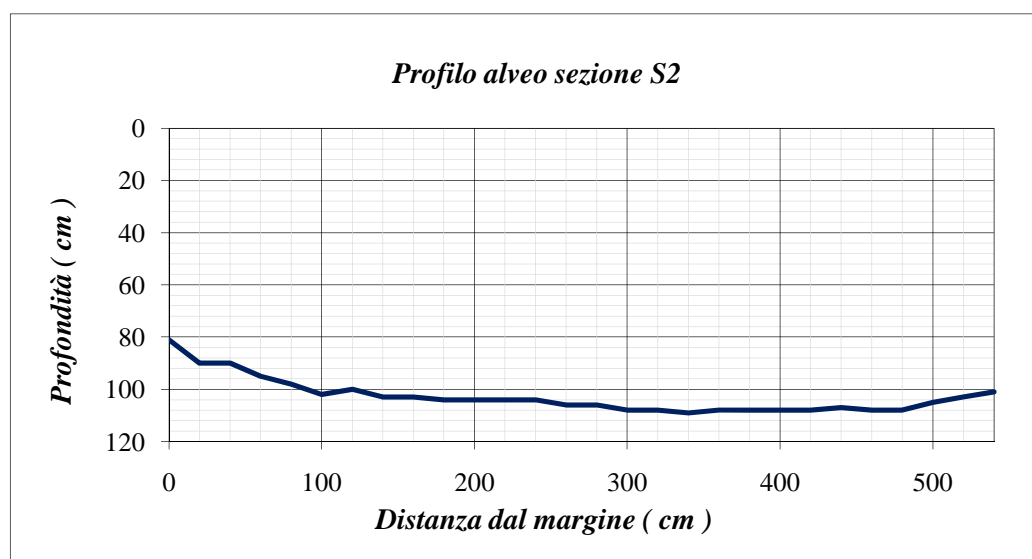


Figura III.27. Profilo dell'alveo della sezione di misura S2.

PROVA 3 (giugno 2011)

Il giorno 27/06/2011 è stata effettuata una campagna di misurazioni sul tratto cementato del Canale di Caluso. A tal proposito sono state realizzate misure di portata differenziale con mulinello idrometrico nei punti A e B (Fig. III.28).

Al fine di validare le analisi effettuate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

Dall'idrogramma in figura 8.5, relativo al monitoraggio dei livelli idrici in data 27/06/2011, si evince una sostanziale costanza nell'altezza del pelo libero dell'acqua durante la realizzazione delle prove. Le uniche oscillazioni di rilievo sono state registrate dopo le 14:40; queste però sono successive alla fine delle indagini.

La prova è avvenuta contemporaneamente nelle sezioni A e B indicate in figura 8.4.

In tale campagna la sezione A era contraddistinta da una larghezza di 400 cm e profondità media di 18 cm, la velocità media dell'acqua invece era pari a 1.31 m/s.

La sezione B era contraddistinta da una larghezza di 500 cm e profondità media di 21 cm, la velocità media dell'acqua invece era pari a 0.89 m/s.

I valori di portata ottenuti sono $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione A e $0.94 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione B.

La prova è durata dalle h 10:45 alle 11:05, intervallo temporale in cui l'idrogramma non evidenzia variazioni di rilievo del livello tali da influenzare il risultato ottenuto (Fig. III.29).

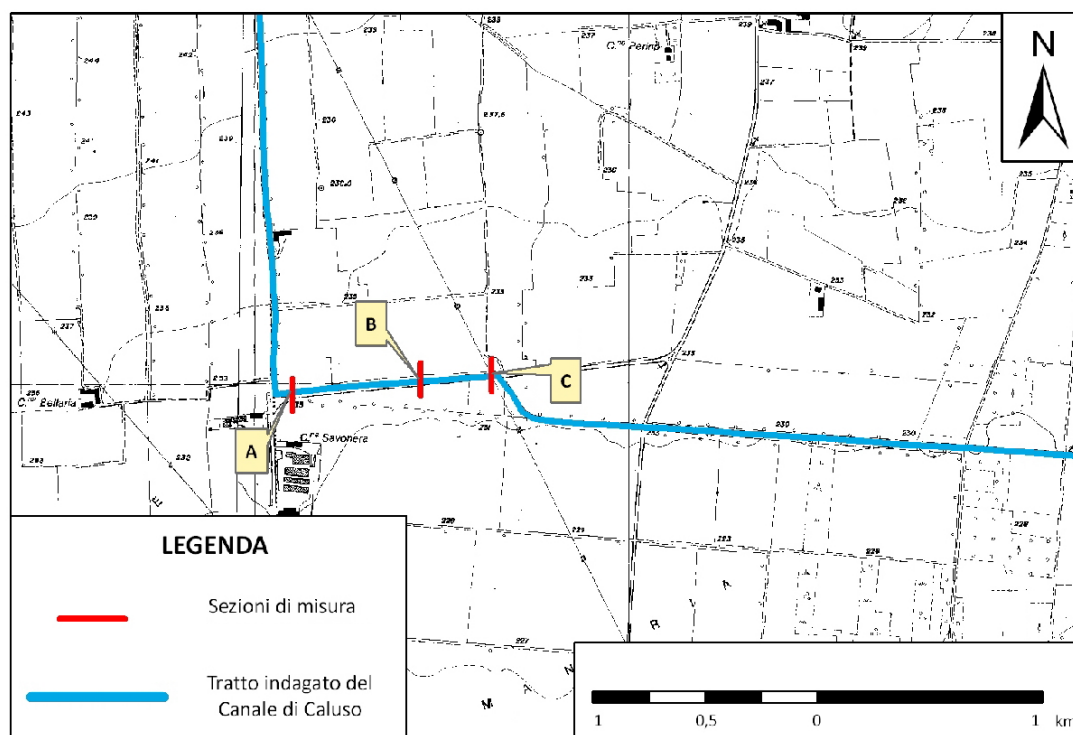


Figura III.28. Tratto indagato di Caluso con evidenziate le sezioni di misura.

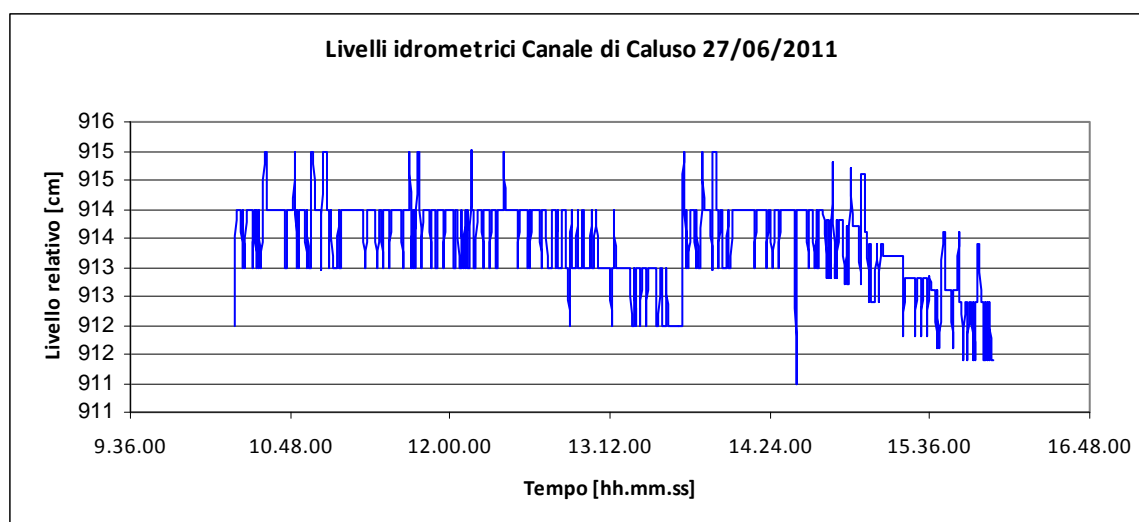


Figura III.29. Grafico delle oscillazioni dei livelli idrometrici del Canale di Caluso (Loc. Tonengo di Mazzè, TO).

III.1.5.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

Per l'indagine è stato scelto un tratto di canale di lunghezza pari a 10 m e di larghezza pari a 5,10 m (Fig. III.30). In totale sono state effettuate 10 misure nell'ottobre 2010.



Figura III.30. Tratto del canale in cui è stato utilizzato il metodo dei galleggianti.

Per ogni misurazione è stata calcolata la velocità media superficiale e si è determinato il valore della portata (Tab. III.5) tramite la relazione

$$Q = A * V_M * (V/V_S)$$

Il valore del rapporto V/V_S è stato valutato utilizzando i dati di velocità ottenuti con la prova del mulinello; il valore del rapporto è 0,83.

Mediando i valori di portata è stato ottenuto un valore di portata totale pari a 1,99 m³/s.

<i>Tappi</i>	<i>Tempo (I)</i> [s]	<i>Tempo (II)</i> [s]	<i>Distanza dal bordo</i> [m]	<i>Arrivo (I)</i> [m]	<i>Arrivo (II)</i> [m]	<i>Larghezza canale</i> [m]	<i>Sezione (media)</i> [m ²]	<i>Velocità (I)</i> [m/s]	<i>Velocità (II)</i> [m/s]	<i>Velocità media</i> [m/s]	<i>V/V_S (da mulinello)</i>	<i>Portata</i> [m ³ /s]
1	4,15	7,50	2,82	5,53	10,00	5,10	1,99	1,33	1,33	1,33	0,83	2,20
2	3,40	8,00	2,17	4,25	10,00	5,10	1,99	1,25	1,25	1,25	0,83	2,06
3	3,35	7,70	2,22	4,35	10,00	5,10	1,99	1,30	1,30	1,30	0,83	2,15
4	1,84	9,40	1,00	1,96	10,00	5,10	1,99	1,06	1,06	1,06	0,83	1,76
5	7,28	10,00	3,71	7,28	10,00	5,10	1,99	1,00	1,00	1,00	0,83	1,65
6	1,00	9,10	0,56	1,10	10,00	5,10	1,99	1,10	1,10	1,10	0,83	1,82
7	2,00	7,90	1,29	2,53	10,00	5,10	1,99	1,27	1,27	1,27	0,83	2,09
8	6,00	7,80	3,92	7,69	10,00	5,10	1,99	1,28	1,28	1,28	0,83	2,12
9	6,60	8,60	3,91	7,67	10,00	5,10	1,99	1,16	1,16	1,16	0,83	1,92
10	3,15	7,70	2,09	4,09	10,00	5,10	1,99	1,30	1,30	1,30	0,83	2,15

Tabella III.5. Elaborazione dati relativi alla prova effettuata con il metodo del galleggiante.

III.1.5.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Prova 1: tracciamento salino e misura con conducimetro in alveo

È stata realizzata una prova di tracciamento salino (13/07/2010), con immissione rapida del sale in acqua e misura della conducibilità a valle del punto di immissione con il conducimetro (Fig. III.31).



Figura III.31. Misura di conducibilità con conducimetro.

Sono stati immessi 30 kg di NaCl miscelati in 60 l di acqua nella sezione S1. La misura della C.E. è stata eseguita a 338 m di distanza dal punto di immissione (Fig. III.21).

I dati misurati sono stati inseriti nel grafico di Figura III.32.

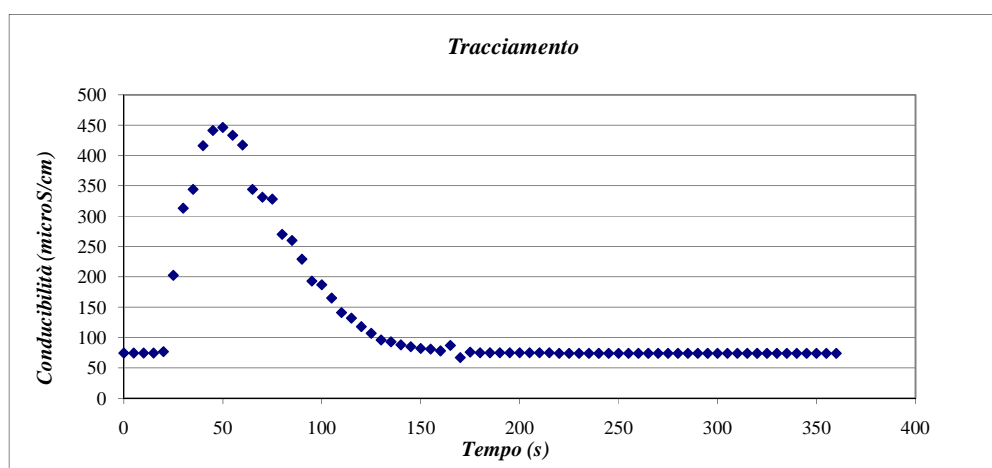


Figura III.32. Curva ottenuta con i dati misurati con il conducimetro.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i seguenti dati (Tab. III.6), ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale:

Conc. (g/l)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)
0	74,7
0,5	1011
1	1885
1,5	2740

Tabella III.6. Dati necessari all'elaborazione della retta di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.33.

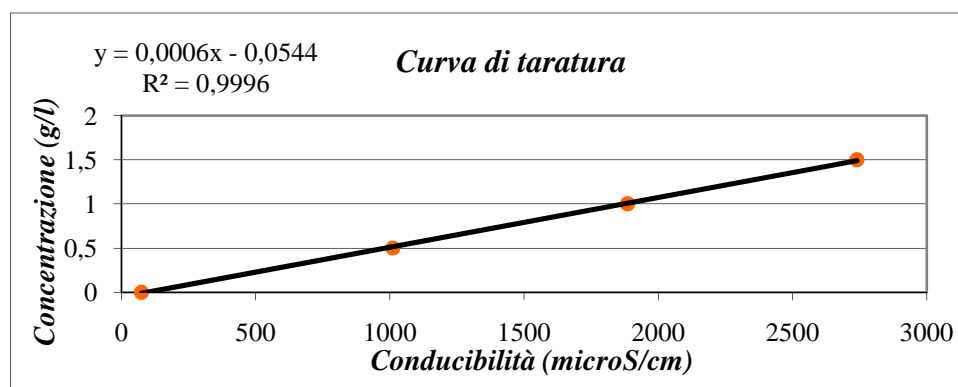


Figura III.33. Retta di taratura.

Il valore di portata del canale è, quindi, risultato pari a $2,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 2: tracciamento con multicampionamento

Nel tratto indagato del canale di Caluso è stata misurata la portata del canale stesso, oltre che con misure con conducimetro in alveo, anche mediante il sistema di multicampionamento (Fig. III.34) (luglio 2010).



Figura III.34. Misura della conducibilità con il metodo del multicampionamento.

Il punto di osservazione della conducibilità è stato posto in corrispondenza della sezione S1 (Fig. III.21). I dati misurati sono stati inseriti nel grafico di Figura III.35.

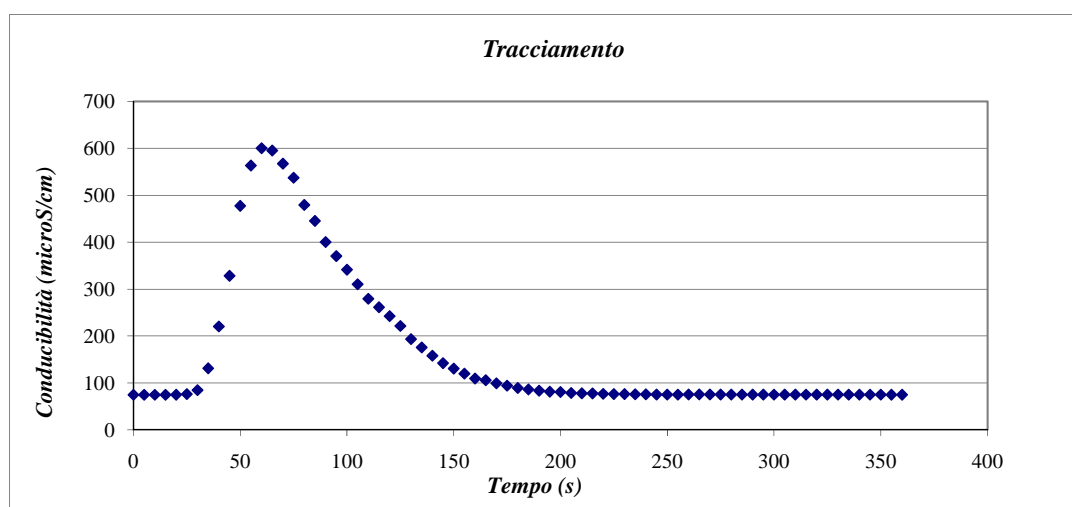


Figura III.35. Curva ottenuta con i dati del multicampionamento.

La conversione conducibilità – concentrazione è stata eseguita utilizzando la curva di taratura di Fig. III.31. Il valore di portata calcolato è pari a $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 3: tracciamento salino e prelievo delle acque

Nel medesimo tratto di canale è eseguita successivamente (ottobre 2010) una nuova prova di tracciamento con multicampionamento, in corrispondenza della sezione S3. In tale sperimentazione l'acqua è stata campionata mediante il prelievo in bottiglie da 500 cc tramite l'utilizzo di una pompa. Si è, quindi, misurato il valore di conducibilità dell'acqua in ciascuna bottiglia.

Per tale prova sono stati immessi 29 kg di NaCl miscelati in 60 l di acqua. La misura della C.E. è stata eseguita a 393 m di distanza dal punto di immissione. Il campionamento è stato effettuato ogni 9 s per quanto riguarda i primi 19 campioni di acqua, mentre per i rimanenti 12, l'intervallo di tempo di campionamento è stato di 14 s. I dati misurati sono stati inseriti nel grafico di Figura III.36.

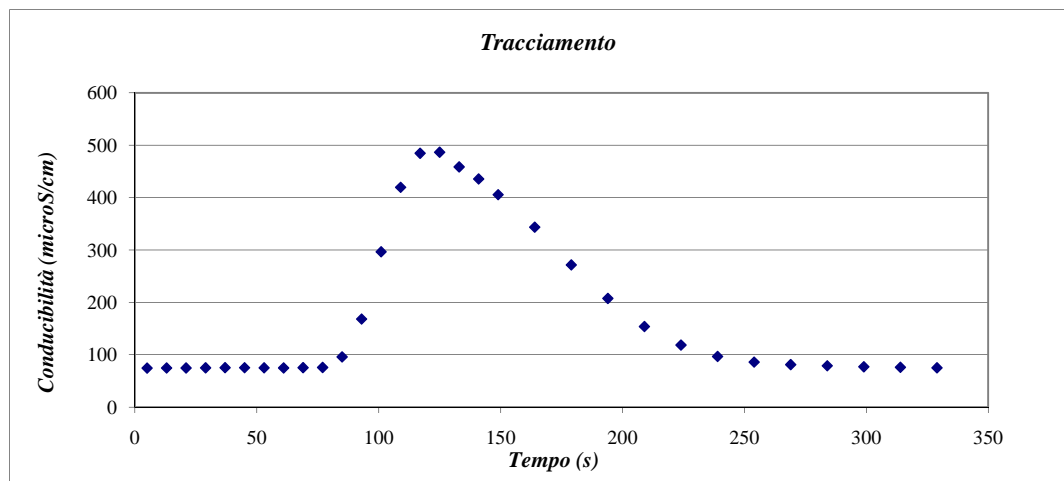


Figura III.36. Curva ottenuta con i dati del multicampionamento in bottiglie.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i seguenti dati (Tab. III.7), ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale:

Conc. (g/l)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)
0	74,7
0,5	1011
1	1885
1,5	2740

Tabella III.7. Dati necessari all'elaborazione della retta di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.37. Si è calcolato un valore di portata del canale pari a $1,69 \text{ m}^3/\text{s}$.

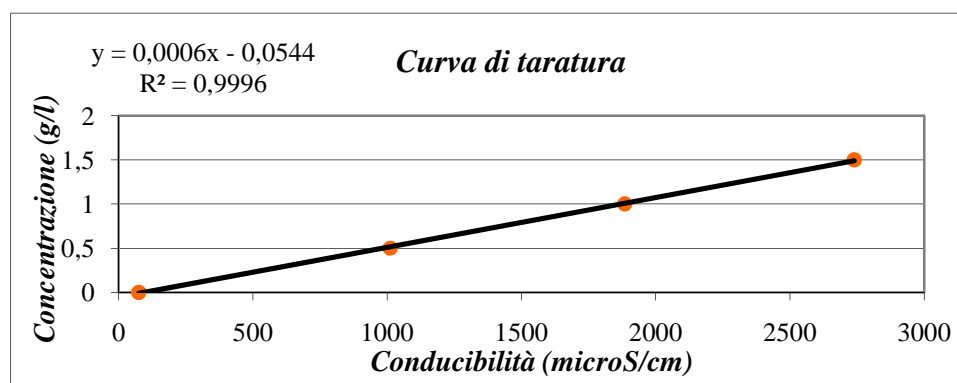


Figura III.37. Retta di taratura.

III.1.5.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Sul tratto di canale indagato sono state applicate le diverse formulazioni empiriche descritte nel capitolo II (Davis & Wilson, 1967; Doorenbos, 1963; Lotti, 1974 e U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando un alveo naturale in terreno limoso-sabbioso ($K=15$), lungo 730 metri, un perimetro bagnato di 6.10 metri, una velocità media dell'acqua pari a 0,64 m/s, un livello dell'acqua di 0,80 m, una portata di 1.99 m³/s, una k pari a 30 (per la formulazione di Davis e Wilson), una C pari 0,002 (per la formulazione di Doorenbos) ed una C di 0,80 (per la Formulazione della U.S. Bureau of Reclamation) è stato possibile valutare i valori di perdita descritti nella Tabella III.8.

U.D.M.	Davis & Wilson	Doorenbos	Lotti	U.S. Bureau of Reclamation
m^3/s	0,01395	0,00796	0,01572	0,00056
$m^3/giorno * m^2$	0,271	0,154	0,305	0,011
$l/giorno$	1205280	687744	1358208	48692

Tabella III.8. Riassunto dei risultati ottenuti con i vari metodi empirici di calcolo delle perdite.

III.1.5.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Nel seguito vengono riportati i risultati dell'applicazione di alcune metodiche volte a definire le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati e di valutare alcuni parametri degli stessi. Tali dati sono a supporto delle metodiche empiriche utilizzate per la valutazione delle perdite.

III.1.5.2.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

La prova è stata effettuata nel luglio 2010 in corrispondenza del punto in cui è stata realizzata la prova penetrometrica (Fig. III.38). Elaborando i dati misurati in loco con permeametro Guelph si è ottenuto un valore di conducibilità idraulica satura (Kfs) pari a $6,19 \cdot 10^{-5}$ cm/s (0.223 cm/ora). Questo valore indica una classe di conducibilità idraulica satura bassa, equiparabile a una argilla poco strutturata.

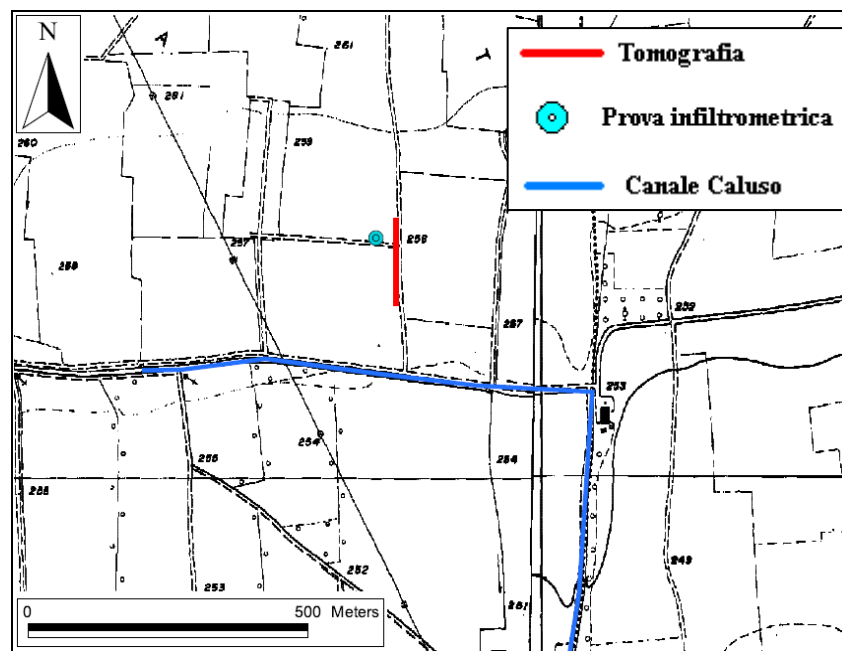


Figura III.38. Localizzazione della prova infiltrometrica.

III.1.5.2.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE

La prova penetrometrica dinamica è stata realizzata nel luglio 2010 per rilevare lo spessore degli strati e avere informazioni indicative sulla loro granulometria (Figg. III.39 e III.40).

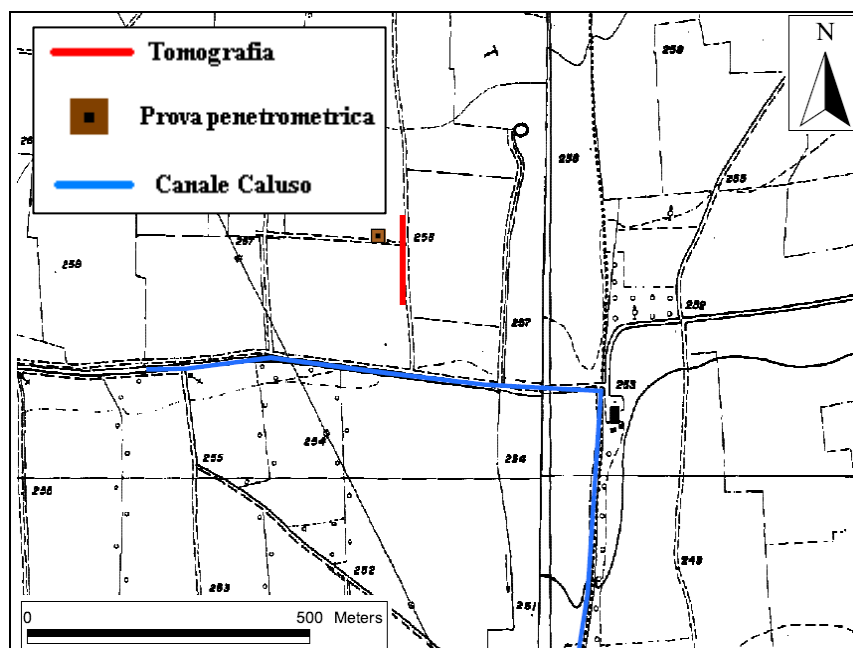


Figura III.39. Localizzazione della prova penetrometrica.



Figura III.40. Esecuzione della prova penetrometrica dinamica.

I dati ottenuti dalla prova sono i seguenti (Tab. III.9):

Profondità m da p.c.	numero colpi NSCPT
0,10	8
0,20	13
0,30	21
0,40	11
0,50	6
0,60	32
0,70	71 (R)

Tabella III.9. Riassunto dei dati ottenuti dalla prova penetrometrica.

I dati sono inoltre stati riportati su un diagramma numero colpi NSCPT vs profondità (m) (Fig. III.41).

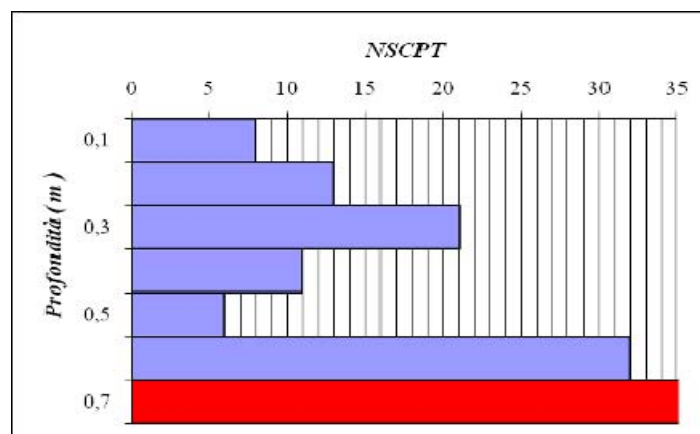


Figura III.41. Rappresentazione grafica della prova penetrometrica.

La prova è stata fermata alla profondità di 70 cm da p.c. poiché è stato superato il limite di colpi valido per penetrare nel terreno di 10 cm, ovvero 50 colpi.

Dalla prova penetrometrica dinamica si può rilevare la presenza di uno strato molto compatto situato a partire da 60 cm di profondità da p.c..

III.1.5.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

III.1.5.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO

Prova 1 taratura del metodo (luglio 2010)

Confrontando le due prove condotte nel luglio 2010 nelle sezioni di monte e di valle di Canale Caluso (cfr. Par. II.2.1.1), è possibile notare un aumento di portata di 0,04 m³/s (differenza del 5,7%). Tale variazione di portata è di poco superiore all'errore intrinseco di questa prova (pari al 5% su ogni singola misura).

Prova 2 (luglio 2010)

Confrontando le due prove eseguite nella stessa data (cfr. Par. II.2.1.1), è stata valutata una perdita di portata tra le sezioni S1 e S2 pari a 0,37 m³/s (differenza del 17%). Nel tratto di canale in alveo naturale, dunque, sono presenti perdite di acqua rilevanti, di valore superiore all'errore del metodo (5% corrispondenti a 0,0915 m³/s).

Prova 3 taratura del metodo (giugno 2011)

Confrontando le due prove condotte nel giugno 2011 nelle sezioni cementate di monte e di valle del Canale Caluso (cfr. Par. II.2.1.1), è possibile notare come la perdita di portata sia di 0,02 m³/s (differenza del 2,1%). Tale variazione di portata è inferiore all'errore intrinseco di questa prova (pari al 5% su ogni singola misura).

III.1.5.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE

Il Metodo del doppio tracciante è stato realizzato mediante l'uso della Fluoresceina e del NaCl nel giugno 2011.

Nel canale di Caluso è stato utilizzato come tracciante indicatore nel tratto AB la Fluoresceina (Fig. III.42). Per l'indagine sono stati immessi a slug 5 grammi di polvere, rilevati a valle mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi (Tab. III.10).

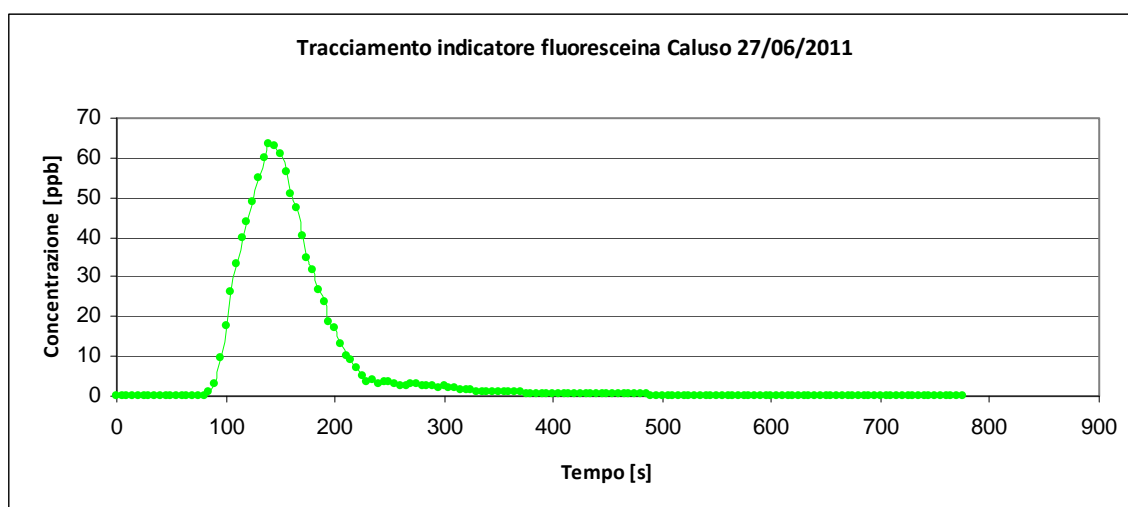


Figura III.42. Curva rappresentativa del plume di fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:12
Ora fine picco	12:20
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	5 g
Portata	1.02 m³/s

Tabella III.10. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

La portata ottenuta con la Fluoresceina è pari a 1.02 m³/s.

Il Cloruro di Sodio (Fig. III.43), invece, è stato impiegato come tracciante di riferimento nel tratto BC.

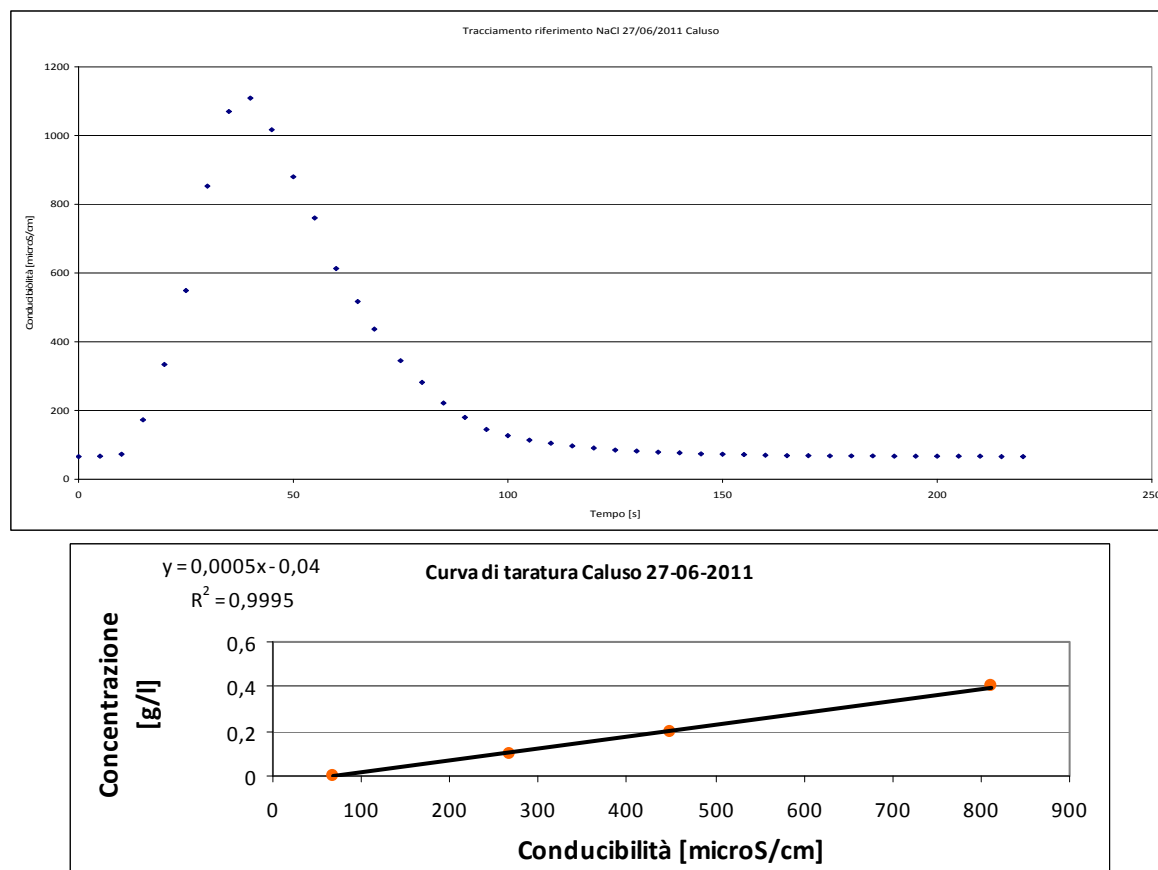


Figura III.43. Curva rappresentativa del plume della soluzione salina per il calcolo della portata nel tratto BC e relativa retta di taratura

Per l'indagine sono stati immessi a slug 20 chilogrammi Cloruro di Sodio, rilevati mediante multicampionamento a 5 secondi (Tab. III.11). La portata ottenuta con l'NaCl è pari a $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:03
Ora fine picco	12:06
Tempo di campionamento	5 s
Massa tracciante	20 kg
Portata	$0.97 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabella III.11. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con l'NaCl per il calcolo della portata nel tratto BC.

In base al metodo del doppio tracciante il tratto AB risulta avere una perdita idrica del 4.9 %, pari a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.1.5.2.3.3 - MONITORAGGIO DELLE VARIAZIONI DEI LIVELLI IDRICI

Al fine di validare le analisi effettuate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

Le condizioni di stabilità hanno permesso di ottenere una discreta congruenza tra i differenti metodi.

III.1.5.2.3.4 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

E' stato inoltre applicato il Metodo del tracciante e del mulinello sulla base delle indagini effettuate nel giugno 2011; per tale metodo sono state utilizzate le prova con la Fluoresceina, svolta nel tratto AB (Fig. III.28) e la misura di portata con mulinello idrometrico nel punto B (Fig. III.28).

Secondo tale valutazione nel tratto AB si riscontra un guadagno idrico del 7.8 %, pari a 0.08 m³/s.

III.2 - BEALERA DI OSASCO

Il “beale di Osasco” è un canale irriguo che capta le acque del Torrente Chisone in corrispondenza del Castello di Miradolo, nel Comune di San Secondo di Pinerolo, e termina il suo percorso nel Rio Chisonetto a nord-est dell'abitato di Osasco; la sua gestione è affidata al Consorzio della Bealera di Osasco. La lunghezza complessiva dell'opera è di circa 7 chilometri e la direzione media è circa NW-SE.

III.2.1 - CENNI STORICI

I primi cenni dell'esistenza di un canale nell'area risalgono al 1300, anche se l'acqua era captata dal canale di San Secondo e non dal Torrente Chisone. Nei secoli successivi e fino ai primi del Novecento esso fu oggetto di continue contese territoriali da parte dei proprietari dei terreni circostanti e dei comuni vicini. La presa del canale doveva però essere ricostruita molto spesso perché asportata dalle piene del Torrente Chisone; l'ultima volta che ciò avvenne, nel 1909, essa non venne più ricostruita.

Seguirono diverse contese fino all'istituzione, nel 1934, il Consorzio Irriguo di Osasco.

III.2.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

III.2.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'area oggetto di studio è situata nel settore sud-occidentale della Provincia di Torino. I comuni interessati sono Osasco e San Secondo di Pinerolo, entrambi in sinistra orografica del Torrente Chisone, e Pinerolo, situato sulla sponda destra del torrente. Fatta eccezione per Osasco, il territorio risulta di pertinenza della Comunità Montana Pinerolese Pedemontano (Fig. III.44).

I rilievi alpini sono prossimi all'area di studio: tra le valli incise dai torrenti Chisone e Lemina, a nord dell'area, svetta il Monte Rocciacoltello (1035 m s.l.m.), mentre a sud, in destra orografica del Torrente Chisone, la cima più alta è il Bric Pui (973 m s.l.m.), in comune di Prarostino. La fascia altimetrica è ristretta, trattandosi di un territorio essenzialmente pianeggiante prossimo allo sbocco della Val Chisone, ed è compresa tra circa 400 m s.l.m., presso l'abitato di San Secondo di Pinerolo, e poco più di 300 m s.l.m., verso Garzigliana.

Il territorio è fortemente antropizzato, con la presenza di vari centri abitati, mentre buona parte del paesaggio extraurbano è dominato da cascate o case per lo più raggruppate in piccoli agglomerati. Le attività umane che condizionano l'ambiente sono essenzialmente di tipo agricolo e zootecnico.

L'area oggetto di studio presenta le caratteristiche di un ambiente soggetto essenzialmente a dinamiche fluviali ed antropiche, con una componente morfologica per lo più pianeggiante (Fig. III.45).

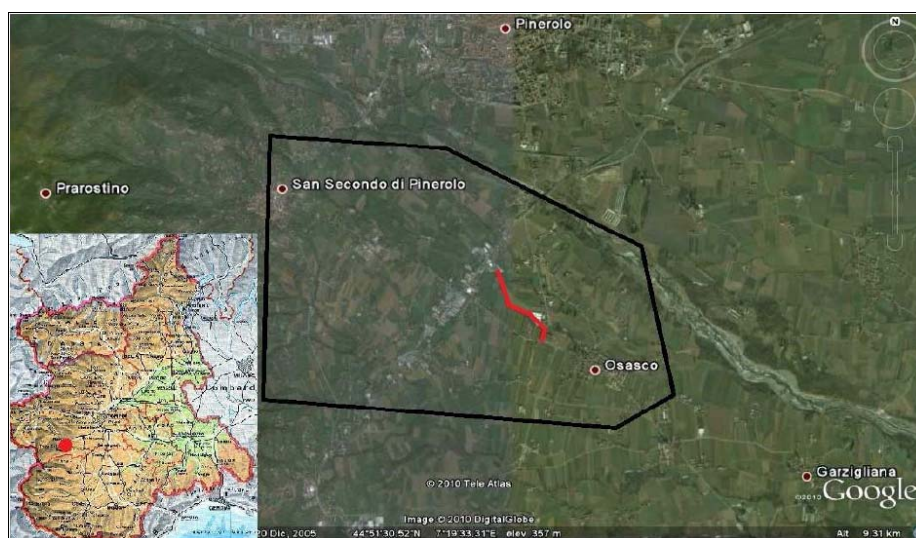


Figura III.44. Ubicazione dell'area di studio e tratto di studio del canale di Osasco.

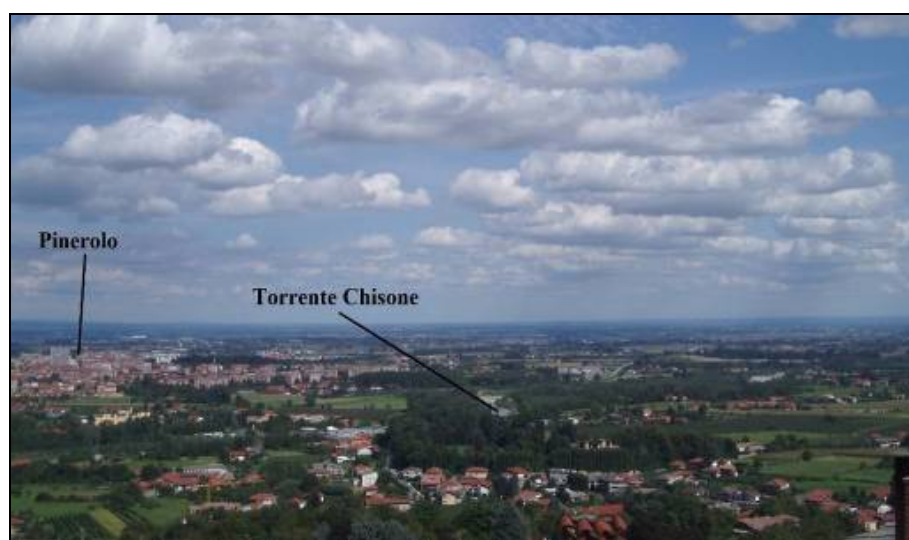


Figura III.45. Vista panoramica dell'area di pianura circostante l'area di studio.

È comune in aree a ridosso dei rilievi e nelle aree interposte tra gli sbocchi vallivi, la presenza di *glacis*, ovvero forme legate al ruscellamento superficiale. I depositi fluviali recenti ed attuali formano dei conoidi alluvionali spesso coalescenti, visibili dalla cartografia come delle fasce parallele agli alvei, il cui areale di affioramento parte dallo sbocco vallivo e che si allarga verso valle.

Per quanto riguarda l'idrografia, l'area del Pinerolese presenta tre bacini idrografici principali (Chisola, Chisone e Pellice) di cui il più importante, ai fini dello studio, è il Torrente Chisone. Il bacino del torrente, in buona parte compreso nell'area montana, misura 585 km²; esso nasce dalle Alpi Cozie, precisamente dal Monte Barifreddo (3.028 m s.l.m.) e confluisce nel Torrente Pellice a circa 15 km ad est dell'abitato di Pinerolo. Complessivamente il corso d'acqua ha una lunghezza di 70 km. Il Torrente Chisone

passa nella zona di pianura ad un alveo ampio e meno inciso, interessato da scarpate di terrazzo, sia naturali sia rimodellate dall'uomo, barre ghiaiose e canali di deflusso abbandonati (Fig. III.46).



Figura III.46. Alveo attuale del Torrente Chisone.

III.2.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Si riportano nel seguito le principali unità geologiche presenti nell'area di studio.

III.2.2.2.1 - BASAMENTO CRISTALLINO

Dal punto di vista geologico l'area è prossima ad un settore delle Alpi occidentali compreso nel Dominio Pennidico, uno dei quattro principali complessi strutturali in cui viene suddivisa la catena montuosa. In particolare, il basamento cristallino compreso nel settore di interesse fa parte del Dora Maira, uno dei "massicci cristallini interni" del Sistema Pennidico superiore; quest'ultimo si trova in posizione strutturalmente inferiore alla Zona Piemontese a Calcescisti con pietre verdi (la falda più elevata del Pennidico).

L'unità tettonometamorfica del Dora-Maira, nel suo settore settentrionale, è costituita da un basamento pre-mesozoico, suddiviso da tre complessi strutturalmente ordinati, di cui il primo è di interesse per l'area di studio. In particolare, i volumi rocciosi più profondi sono rappresentati da gneiss occhiadini del tipo "Freidou", intrusi in un complesso monometamorfico di origine sedimentaria denominato Complesso Grafítico del Pinerolese (Fig. III.47). Il complesso intermedio disposto superiormente a livello strutturale è costituito dal termine dei micascisti polimetamorfici a granato e cloritoide, in cui sono incassati dei metagraniti porfirici affioranti nella Val Sangone (Fig. III.48).

Il complesso superiore è costituito da gneiss fengitici e leucogneiss a tormalina denominati "Pietra di Luserna", con intercalazioni metriche di micascisti argentei.



Figura III.47. Micascisti grafíticos in affioramento a sud di Bric Pui.



Figura III.48. Metadioriti di Malanaggio a sud di Bric di Castello.

III.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE

I depositi quaternari interessano l'intera estensione dell'area di studio (Fig. III.49); nella prima cartografia esistente, il Foglio 67 "Pinerolo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000, si fa riferimento come termine più antico ad un *diluvium* antico, ricco in ossidi di ferro e fortemente terrazzato, talvolta in facies glaciale, interpretato successivamente da CARRARO & PETRUCCI (1969) come depositi risalenti al "Villafranchiano" (Pliocene medio-Pleistocene inf.). Essi si ritrovano in maniera abbastanza continua lungo la fascia di raccordo tra i rilievi e la pianura e sono costituiti da due facies: una inferiore, fluvio-deltizia (sabbie grossolane con stratificazione incrociata) e una superiore fluviale o fluvio-glaciale terrazzata (ghiaie più o meno grossolane con intercalazioni sabbiose). Di seguito è riportato uno stralcio della carta geologica dell'area di studio, riguardante i sedimenti quaternari (Fig. III.49).

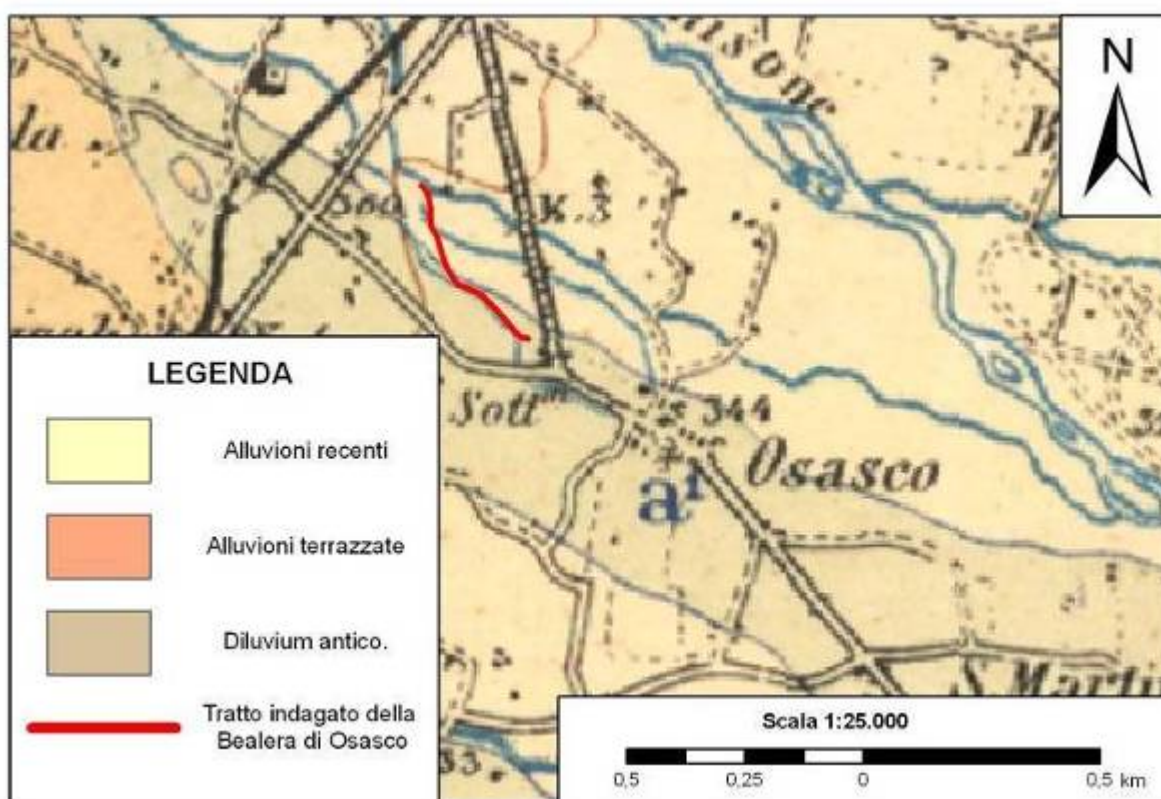


Figura III.49. Stralcio del Foglio Geologico a scala 1:100.000 "Pinerolo".

I depositi villafranchiani sono coperti in modo discontinuo da sedimenti che costituiscono i settori della pianura compresi tra i primi rilievi ad ovest e tra i sedimenti fluviali olocenici a nord, sud ed est. Tale termine coincide con il fluviale e fluvio-glaciale "Riss" (Pleistocene sup.), costituito da depositi terrazzati ghiaioso-sabbioso-argillosi con paleosuolo giallo-rossiccio (BORTOLAMI *et al.*, 1969).

I depositi alluvionali olocenici costituiscono fasce sempre più ampie da monte verso valle che seguono l'idrografia principale, in quanto costituiscono il riempimento delle incisioni operate dai corsi

d'acqua nei sedimenti deposti in precedenza. Si possono distinguere due termini: alluvioni medio-recenti sabbioso-argillose, leggermente sospese sugli alvei attuali, e alluvioni attuali (BORTOLAMI *et al.*, 1969). Queste ultime affiorano presso l'alveo attuale del Chisone e sono costituite da ghiaie grossolane, con blocchi anche metrici, che spesso assumono una struttura embriata.

III.2.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'inquadramento sia litostratigrafico che idrogeologico individua una successione potente 40-50 m di sedimenti fluviali e fluvioglaciali del Pleistocene medio-Olocene poggianti sul cosiddetto "Complesso Villafranchiano superiore" del Pleistocene inferiore (IRACE *et al.*, 2009).

Il "Complesso Villafranchiano superiore" è costituito da sedimenti da grossolani (ghiaie e sabbie) a fini (silt e argille) molto alterati.

I depositi fluviali e fluvioglaciali sovrastanti, depositi dal Pleistocene medio in avanti, vengono suddivisi in complessi distinti, sebbene si differenziano solo in base al grado di alterazione (Fig. III.50).

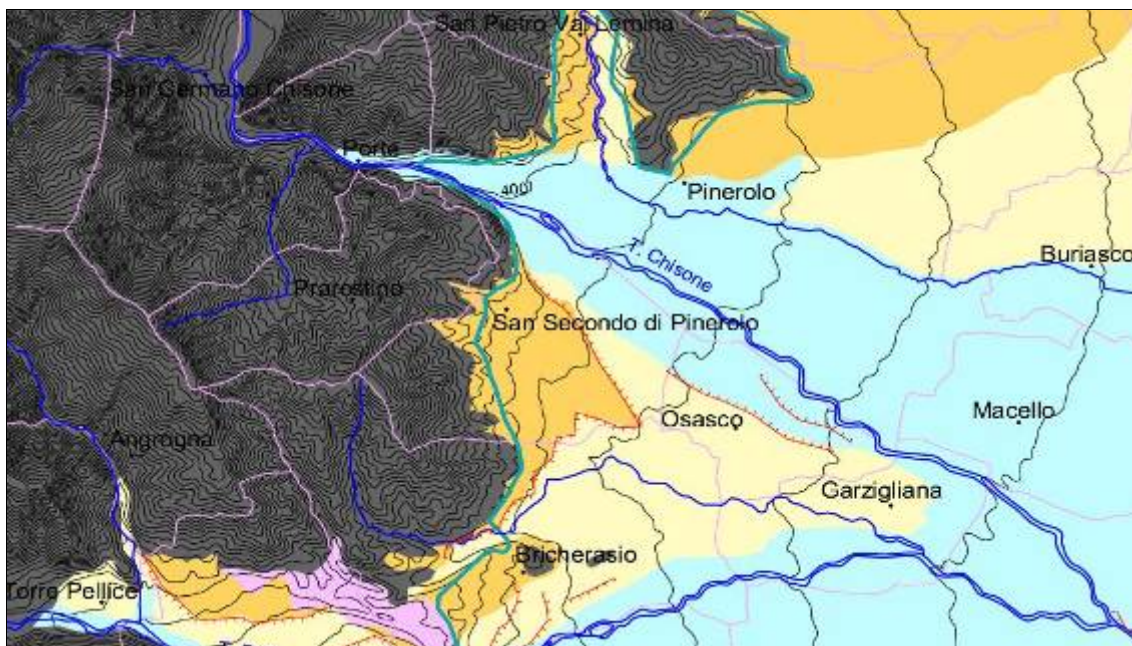


Figura III.50. Stralcio (non in scala) della Carta dei Complessi Idrogeologici della provincia di Torino, scala 1.100000 (AA.VV., 2005).

Il Complesso dei Depositi Alluvionali Olocenici (azzurro in Fig. III.50) è costituito da sedimenti ghiaioso-sabbiosi con lenti sabbioso-argillose affioranti lungo le principali aste fluviali e torrentizie. I sedimenti sono molto permeabili e di solito ospitano una falda idrica a superficie libera

Il Complesso dei Depositi Fluviali-Fluvioglaciali del Riss (Pleistocene medio) (giallo chiaro in Fig. III.50) è rappresentato da depositi del tutto simili ai precedenti, ma che presentano paleosuoli di vari colori, spessi non più di tre metri. Entrambi questi complessi sono atti ad ospitare falde idriche a superficie libera localmente protette.

Il Complesso dei Depositi Fluviali-Fluvioglaciali del Mindel (Pleistocene inf.) (giallo scuro in Fig. III.50) è composto da sedimenti ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-limosi con livelli ghiaiosi, terrazzati e rilevati di parecchi metri sui sedimenti del complesso precedente e caratterizzati da un paleosuolo bruno-rossastro spesso fino a 15 metri; la falda che si imposta in questi sedimenti è confinata e protetta.

III.2.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico nell'area studiata è stata effettuata tramite l'utilizzo di 62 stratigrafie di sondaggi o pozzi, provenienti quasi tutte dall'archivio cartaceo del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e in minima parte dal servizio telematico “Catasto derivazioni, pozzi, sorgenti e scarichi di acque reflue” della Provincia di Torino. In funzione della loro vicinanza al canale di Osasco e alla loro profondità sono stati realizzati due profili geologici, uno all'incirca parallelo e l'altro trasversale rispetto al canale (Figura III.51), le cui tracce sono presentate nelle Figure III.52 e III.53.

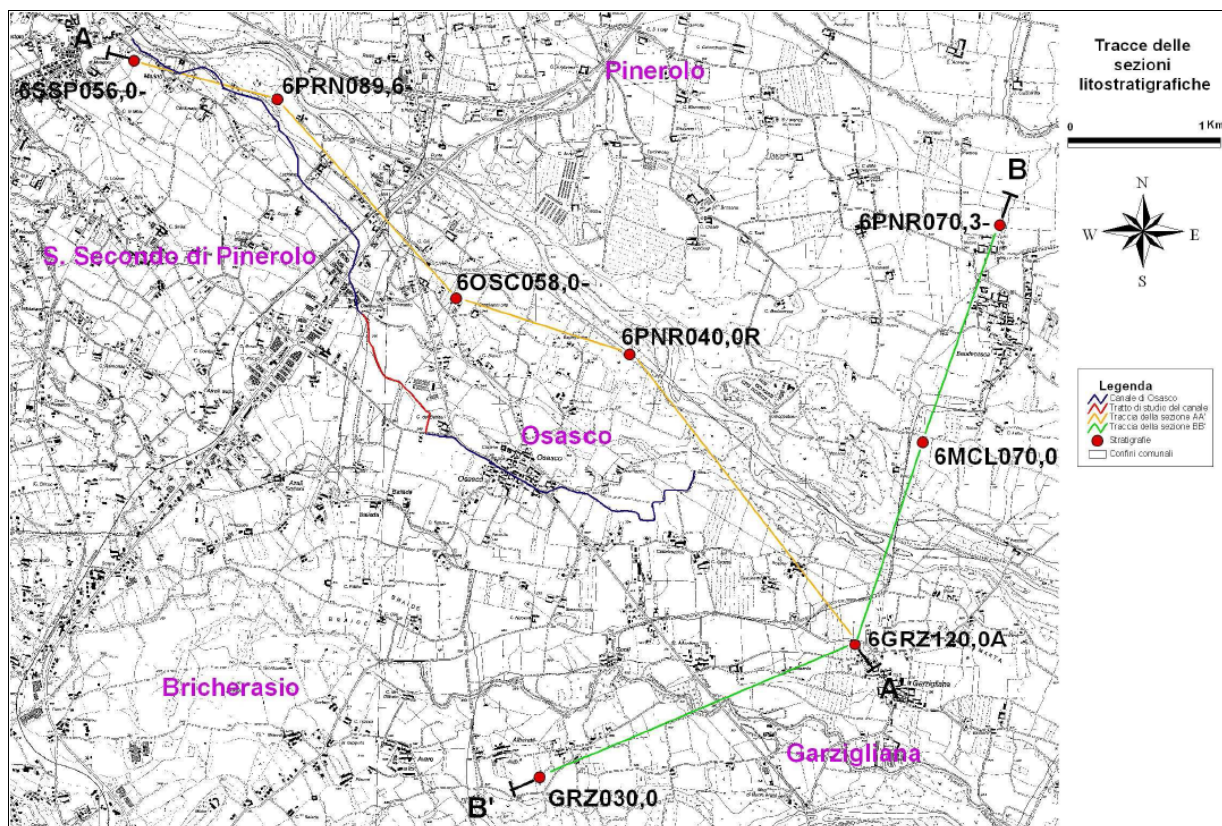


Figura III.51. Ubicazione delle tracce delle sezioni litostratigrafiche.

III.2.3.1 - PROFILO A - A'

La sezione, riportata in Figura III.52, si estende, con direzione circa NW-SE, a nord del canale di Osasco partendo da località Miradolo per arrivare nei pressi del comune di Garzigliana; ha andamento circa parallelo al Torrente Chisone.

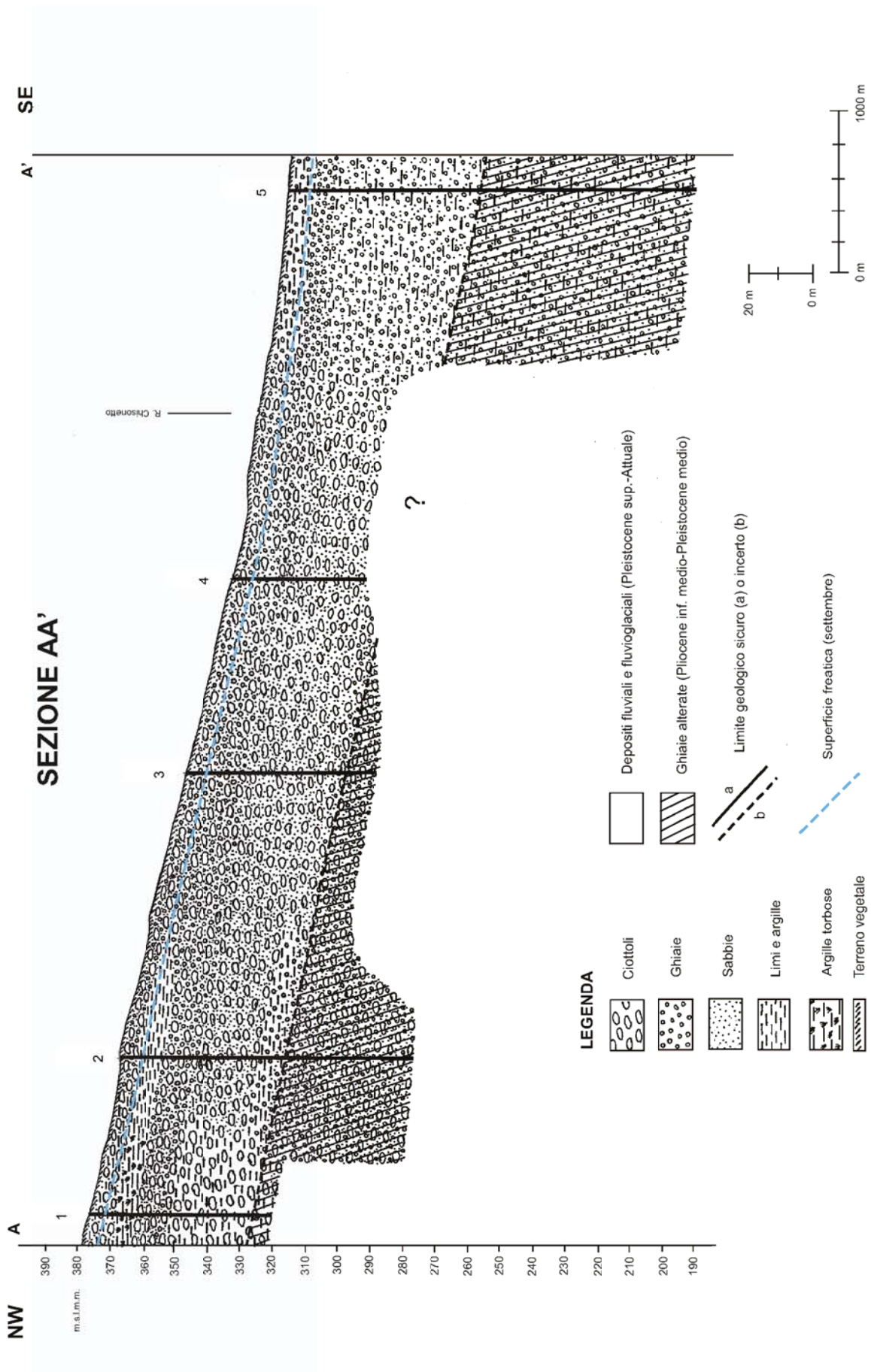


Figura III.52. Ricostruzione litostratigrafica sul profilo A-A'

Si può constatare come prevalga una granulometria grossolana (ghiaie, sabbie).

Nella stratigrafia del pozzo 1 compaiono nei primi 14 metri di profondità diversi livelli a prevalente matrice fine, tra cui un orizzonte con argilla torbosa che può testimoniare un episodio di sedimentazione fluvio-lacustre. Al di sotto degli strati a prevalente componente fine risulta esserci una falda localmente confinata per la presenza anche a tetto di un livello scarsamente permeabile costituito da ciottoli ed argilla. Questa situazione si ripete pochi metri più in basso, dove però la formazione acquifera ha uno spessore molto ridotto e lo strato poco permeabile al letto, di nuovo costituito da limi o argille con ciottoli, si estende in profondità per più di 20 metri.

Si può ritrovare un altro livello di materiale fine, forse correlabile con quello torboso visto in precedenza, nella stratigrafia del pozzo 2, mentre a tetto sono presenti orizzonti con blocchi, ciottoli e ghiaie. Nei circa sedimenti sottostanti, potenti almeno 65 metri, prevalgono depositi grossolani ospitanti una falda localmente confinata: compare infatti un'intercalazione decametrica a matrice limoso-argillosa, non proseguibile verso valle, che rappresenta un livello scarsamente permeabile. Questa complessa situazione viene meno nelle due stratigrafie successive, in cui i depositi (essenzialmente ghiaie) ospitano la falda idrica superficiale non protetta.

Nel pozzo 5, compare nei primi 7 metri un livello poco permeabile (ghiaia con argilla), non continuo verso monte, che funge da protezione per le sottostanti formazioni acquifere rappresentate da sedimenti prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie con argilla).

III.2.3.2 - PROFILO B - B'

La sezione, riportata in Figura III.53, ha andamento invece circa trasversale rispetto al canale e al Torrente Chisone; da località Baudenasca ha direzione NNE-SSW e in corrispondenza del comune di Garzigliana cambia e assume andamento NE-SW arrivando a circa 500 metri a nord del Torrente Pellice.

Anche in questa sezione prevalgono le granulometrie grossolane. Nella stratigrafia del pozzo 6 si riscontra la presenza, nei primi metri di profondità, di una formazione costituita da sabbie e ghiaie; dopo un sottile livello poco permeabile a matrice argillosa, si riscontrano sedimenti grossolani a matrice sabbioso-argillosa: dove prevale la prima, la permeabilità è maggiore (presenza di filtri), mentre tra i 40 e i 60 metri di profondità dal piano campagna prevale la componente fine. Gli ultimi 5 metri della stratigrafia sono caratterizzati da ghiaie con matrice limoso-argillosa, presenti già nel profilo AA'.

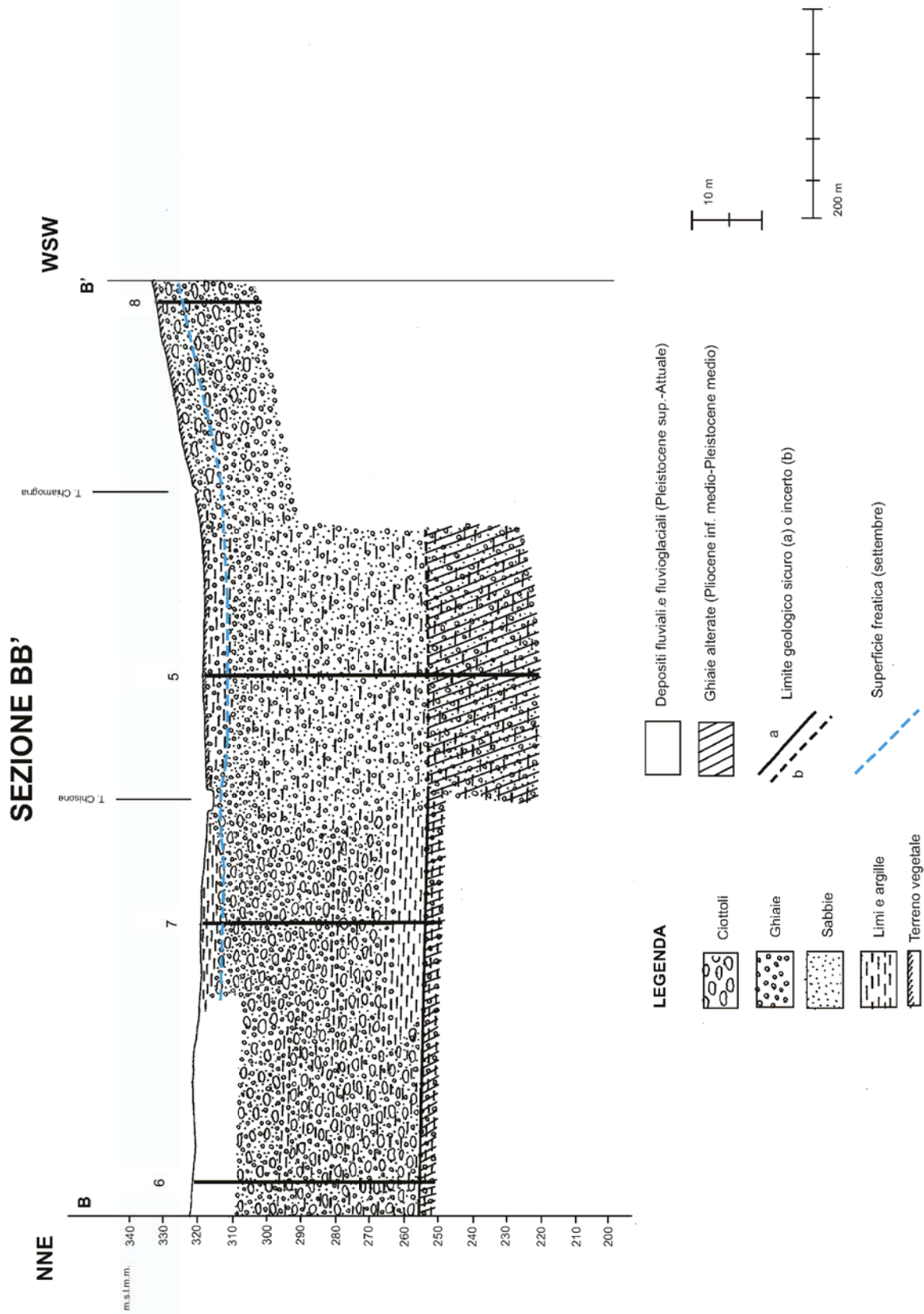


Figura III.53. Ricostruzione litostratigrafica sul profilo B-B'.

La stratigrafia successiva, riferita al pozzo 7, mostra alcuni caratteri di continuità con la precedente: a parte i primi 4 metri di argille (che fungono da protezione per la falda e che potrebbero rappresentare dei limi di esondazione del Torrente Chisone), ricompaiono ghiaie a matrice sabbiosa, con un sottile livello poco permeabile di argille con ghiaie. Successivamente compaiono dei sedimenti ghiaiosi a matrice sabbioso-limoso-argillosa che possono ospitare una falda localmente confinata con al letto un orizzonte limoso-argilloso non continuo lateralmente; infine ricompaiono delle ghiaie con argilla, associate a quelle della stratigrafia precedente (fig.3.3).

La stratigrafia del pozzo 5, in comune con la sezione AA', non mostra intercalazioni limoso-argillose, ma una prevalente sedimentazione ghiaioso-sabbiosa con componente fine subordinata.

L'ultima stratigrafia, GRZ030,0, mostra per i primi 8 metri sedimenti indicati come alluvionali, presumibilmente ghiaioso-sabbiosi trattandosi di sedimenti attuali, che passano a ghiaie e ciottoli. La presenza di un'intercalazione argillosa, poco potente, fa sì che la falda ospitata dai sedimenti sottostanti ghiaioso-sabbiosi sia, almeno localmente, protetta.

III.2.3.3 - INTERPRETAZIONE DEI PROFILI

In questo tratto di raccordo tra la pianura e i rilievi, occupato dalle conoidi alpine, i torrenti depositano prevalentemente materiale grossolano, trasportato come carico di fondo. Raramente, invece, a causa di esondazioni o episodi di sedimentazione fluvio-lacustre, si depositano sedimenti fini di tipo limoso-argilloso. Questo è confermato dalla natura dei depositi riscontrati nei primi 60 metri circa delle stratigrafie, che hanno una prevalente componente ghiaioso-sabbiosa, con subordinata componente fine, la quale forma livelli poco potenti non continui lateralmente. Dal punto di vista idrogeologico, tali sedimenti sono atti ad ospitare falde idriche a superficie libera, localmente protette, come si è visto in entrambi i profili.

Questi sedimenti sono di origine fluviale e fluvioglaciale depositi dal Pleistocene superiore fino ad oggi, aventi spessori solitamente inferiori ai 50 metri. Non si sono operate distinzioni tra i vari termini per mancanza di sufficienti informazioni sul grado di alterazione dei sedimenti riscontrati nelle stratigrafie a disposizione.

In alcune stratigrafie si riconosce un termine più profondo rappresentato da sedimenti grossolani (ghiaie o ciottoli) con una matrice fine limoso-sabbiosa o limoso-argillosa presumibilmente di età villafranchiana. Tale Unità è un insieme di associazioni di *facies* di ambiente continentale o marino-marginale, in rapporto di interdigitazione tra di loro, deposte tra il Pliocene medio-inferiore e il Pleistocene medio. Tra di esse, una prima associazione è costituita da ghiaie grossolane a matrice prevalente sabbioso-limoso, con ciottoli molto alterati. Dal punto di vista idrogeologico viene denominato Complesso delle

Ghiaie alterate (CIVITA *et al.*, 2000) ed ha una scarsa produttività, dovuta alla presenza di una notevole componente fine nella matrice. Esso è stato considerato per via delle caratteristiche idrogeologiche differenti come un'unità distinta dai sedimenti fluviali e fluvioglaciali pleistocenico-olocenici a tetto. In alcune stratigrafie il passaggio tra le due Unità è segnalato dalla presenza di lenti di depositi fini, limoso-argillosi.

III.2.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CANALE

Il tratto investigato è lungo poco meno di un chilometro ed è compreso tra la presa del canale Chisonetto e Cascina dei Battitori. L'alveo è reso poco accessibile dalla fitta vegetazione (per lo più alberi di piccolo fusto) che cresce sulle sponde, tuttavia è stato possibile osservare che per quasi l'intera lunghezza del tratto oggetto di studio sia costituito da sedimenti fini cui sono stati aggiunti grossi ciottoli per limitare l'azione erosiva della corrente. Un unico breve tratto, prossimo a Cascina dei Battitori, presenta un rivestimento in calcestruzzo in tutta la sezione (Fig. III.55). A questo proposito è stata eseguita una mappatura del canale, visibile in figura III.54: i pochi tratti cementati sono in corrispondenza di cambi di direzione o prese di canaletti secondari, ad esempio a NW di C. dei Battitori, dove il rivestimento interessa alveo e sponde.

La platea del canale ha una larghezza abbastanza variabile: presso l'attraversamento a monte di C.ascina dei Battitori è circa 3 metri, mentre si restringe a 2 metri più a valle, presso la Strada provinciale.

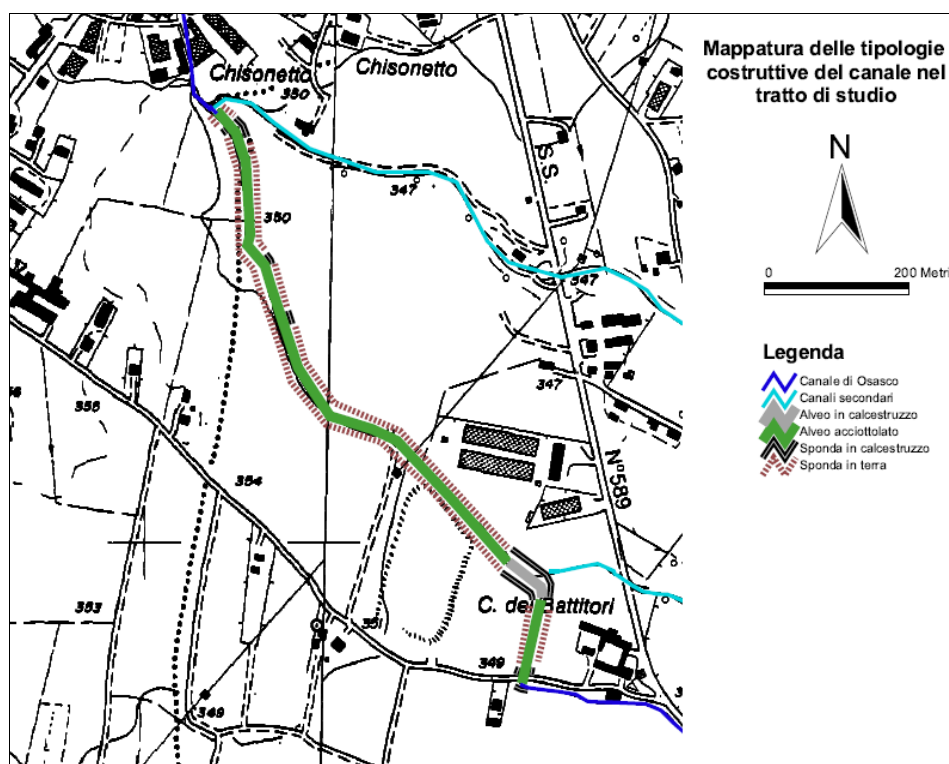


Figura III.54. Mappatura dei materiali costituenti sponde e platea della Bealera di Osasco nel tratto studiato.



Figura III.55. Tratto di canale rivestito in calcestruzzo a nord-ovest di Cascina dei Battitori.

III.2.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI

Si riportano nel seguito i metodi adottati per la bealera di Osasco per la valutazione delle possibili perdite dallo stesso.

III.2.5.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per la bealera di Osasco è stato possibile applicare alcune metodologie per la valutazione delle perdite dai canali da un punto di vista qualitativo, ed in particolare il metodo idrochimico, il metodo piezometrico e la tomografia elettrica. Tali metodiche, tuttavia, non danno indicazioni numeriche sui flussi idrici.

III.2.5.1.1 - METODO IDROCHIMICO

Nel luglio 2010 sono stati prelevati campioni di acqua da pozzi privati e dal canale di Osasco in prossimità del tratto indagato (Fig. III.56), al fine di verificare il chimismo delle acque del canale, della falda superficiale e la relazione che intercorre tra di loro.

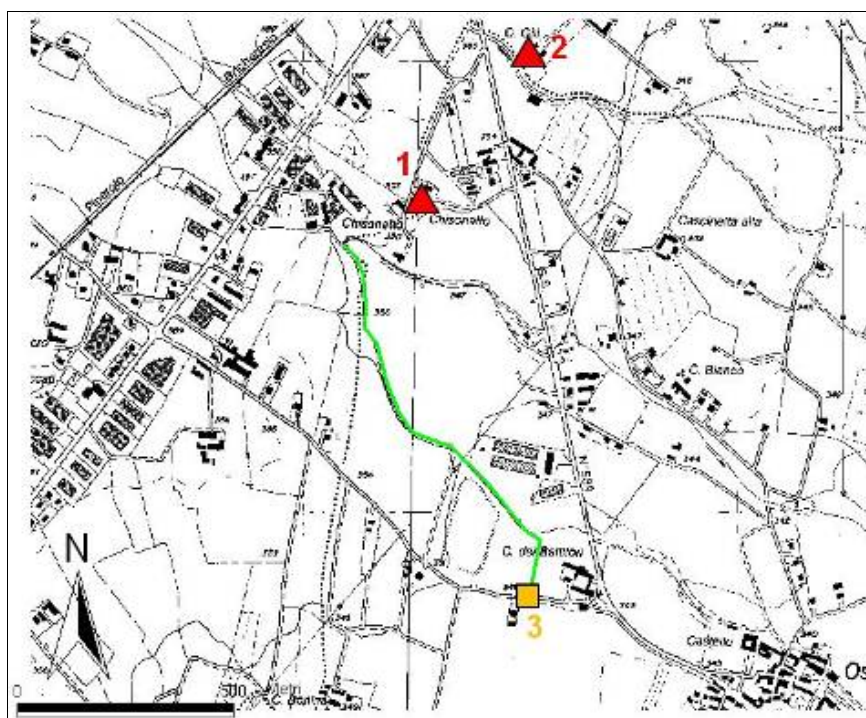


Figura III.56. Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni d'acqua (1,2: pozzi per acqua privati; 3: canale).

Si è potuto procedere così con l'esecuzione dell'analisi idrochimica dell'acqua presso il Laboratorio di Idrochimica del Dipartimento Scienze della Terra.

I parametri valutati per ogni campione sono stati il pH, la conducibilità elettrolitica, l'alcalinità, espressa dalla quantità di HCO_3^- in soluzione, il contenuto di Calcio e Magnesio, il contenuto di Sodio e Potassio, il contenuto di Cloruri, Nitrati e Solfati. Nella Tabella III.12 si riportano i risultati ottenuti dall'analisi.

La temperatura e la conducibilità elettrolitica sono stati misurati *in situ* nel corso del campionamento.

Campione	pH	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^- mg/l	NO_3^- mg/l
<u>1</u> (Pozzo CHS)	6,9	546	71,00	5,10	45,90	2,20	82,00	17,30	208,70	17,50
<u>2</u> (Pozzo CGL)	6,9	414	73,70	7,30	4,60	1,90	9,00	17,70	208,70	19,60
<u>3</u> Canale	7,1	210	38,50	3,70	1,80	1,20	2,00	14,10	112,90	4,70

Tabella III.12. Dati delle specie ioniche disciolte.

I risultati delle analisi, riportati nella tabella 6.1, sono stati elaborati graficamente con i diagrammi di Schoeller (Figura III.57) e Piper (Figura III.58).

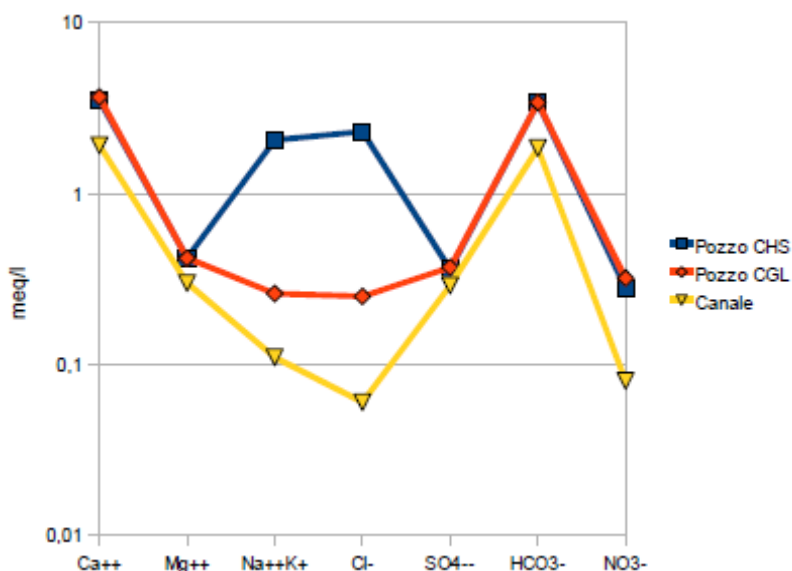


Figura III.57. Diagramma di Schoeller relativo ai campioni d'acqua analizzati.

Nel diagramma di Schoeller risulta evidente come i valori delle specie ioniche analizzate siano inferiori nelle acque del canale rispetto a quelle di falda. È altresì osservabile che i due campioni prelevati

dall'acquifero, congruenti per cinque specie ioniche, presentino differenze nelle concentrazioni $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ e Cl^- ; tale marcata differenziazione potrebbe trovare giustificazione in una contaminazione antropica.

Il diagramma di Piper (Figura III.58) mostra come il campione CGL e quello prelevato dal canale abbiano un chimismo rientrante nella facies idrochimica bicarbonato-calcica/magnesiaca, caratterizzata dalla prevalenza di ioni calcio/magnesio e bicarbonato e tipica di acque fredde, superficiali e relativamente recenti. Il campione del pozzo CHS, invece, rientra nella facies solfato e cloruro-calcica/magnesiaca.

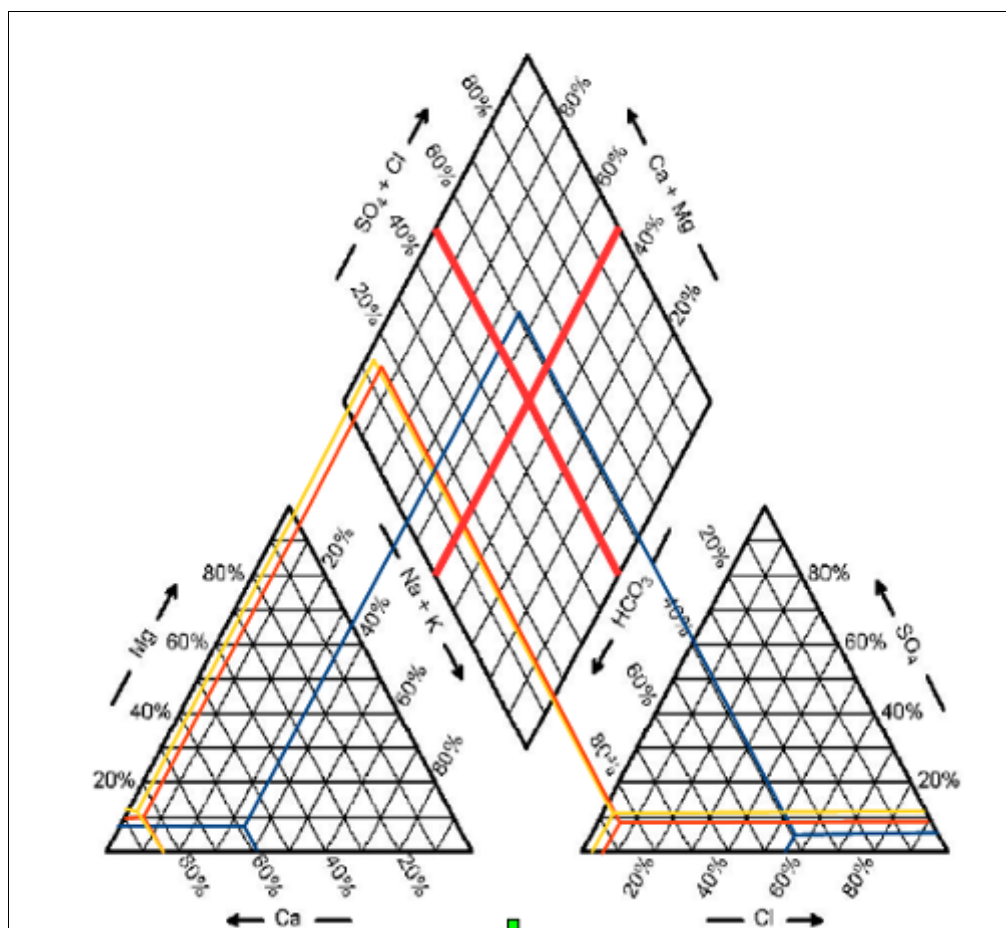


Figura III.58. Rappresentazione delle caratteristiche idrochimiche dei campioni mediante il diagramma di Piper.

I dati di conducibilità elettrolitica e temperatura, misurati *in situ* in numerosi pozzi nell'ambito di una ulteriore campagna nel settembre 2010, sono poi stati elaborati come carte della distribuzione degli stessi nella falda idrica superficiale.

La carta della conducibilità elettrolitica (fig. 6.3) mostra un range di variazione compreso tra 330 e 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'aumento del parametro verso valle, abbastanza congruo all'andamento del flusso sotterraneo, è legato all'arricchimento di sali disciolti nell'acqua di falda lungo il suo percorso.

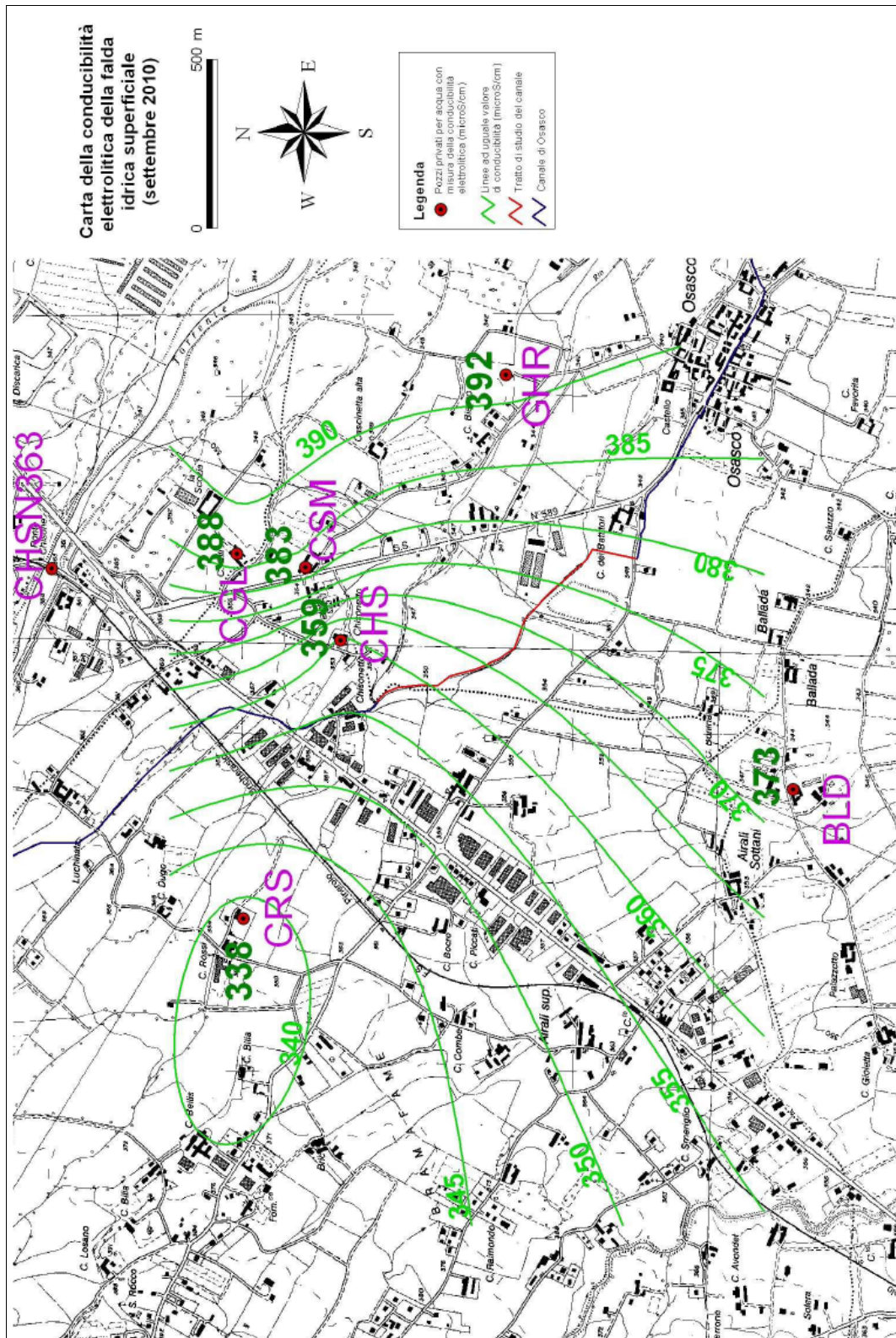


Figura III.59. Carta della conducibilità della falda superficiale relativa al mese di settembre 2010.

La carta delle temperature (Fig. III.60) mostra valori inferiori ai 20 °C, facendo rientrare l'acqua di tale falda nella categoria delle "acque fredde" secondo la classificazione di Mouren del 1910.

La distribuzione dei valori di temperatura mostra un andamento differente dalla conducibilità elettrolitica, nonostante i due parametri siano collegati dal punto di vista teorico.

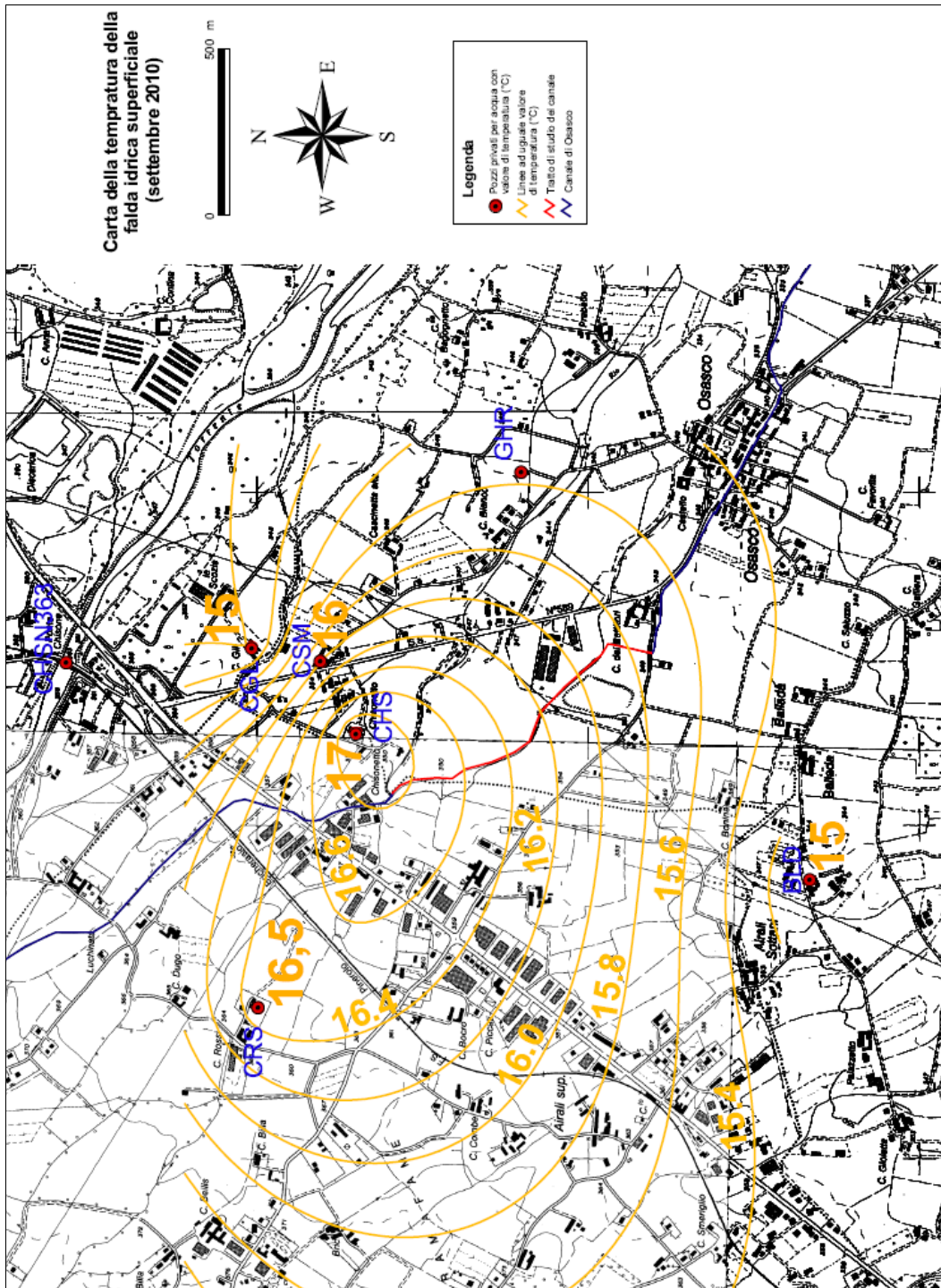


Figura III.60. Carta della temperatura della falda superficiale relativa al mese di settembre 2010.

III.2.5.1.2 - METODO PIEZOMETRICO

Per avere informazioni circa l'andamento del livello piezometrico della falda freatica ed individuarne i rapporti con la circolazione idrica superficiale, è stata condotta nel settembre 2010 una campagna piezometrica, che ha interessato il territorio circostante l'opera irrigua.

Nel raggio di pochi chilometri sono stati individuati sette pozzi privati nei quali è stata misurata la soggiacenza mediante un sondino piezometrico (Fig. III.61). Sono stati misurati anche i livelli idrici del Torrente Chisone.



Figura III.61. Misurazione della soggiacenza presso il pozzo CHS.

A compimento di questa campagna di misure è stata elaborata una carta piezometrica relativa alla falda superficiale (Fig. III.62). Tale carta evidenzia un flusso sotterraneo diretto all'incirca da NO verso SE, mentre la superficie freatica segue in maniera abbastanza fedele la topografia. Il rapporto con il corso d'acqua principale, il Torrente Chisone, è di alimentazione: si noti infatti come il punto quotato a 355,70 presso il Ponte Chisone si trovi in posizione più elevata rispetto alla superficie freatica.

Dalla carta piezometrica non è possibile evincere rapporti di alimentazione o drenaggio fra la falda superficiale e il canale in esame.

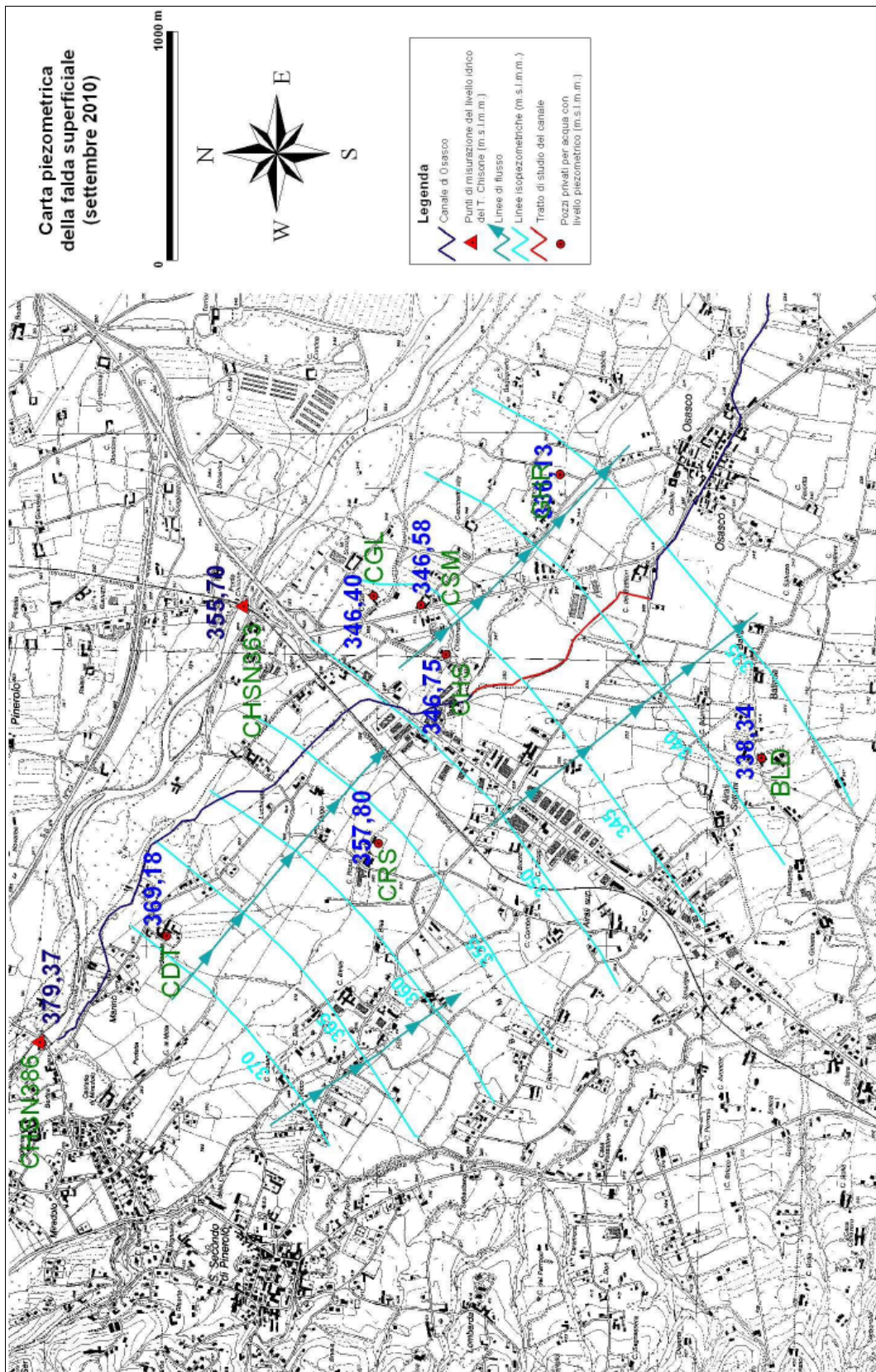


Figura III.62. Carta piezometrica della falda superficiale relativa al mese di settembre 2010.

III.2.5.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Per ottenere informazioni sulla composizione del sottosuolo nei pressi del canale, sono state eseguite nel giugno 2010 due tomografie elettriche. La prima tomografia è stata realizzata con un tracciato parallelo all'alveo del canale ed un lunghezza totale di 48 metri (distribuzione di elettrodi ogni 1,5 metri). Nella seconda indagine, invece, lo stendimento è stato disposto trasversalmente all'alveo per una lunghezza di 70 metri (distribuzione di elettrodi ogni 5 metri) (Fig. III.63). Per entrambi gli stendimenti è stata effettuata una configurazione elettrodica Wenner-Schlumberger.

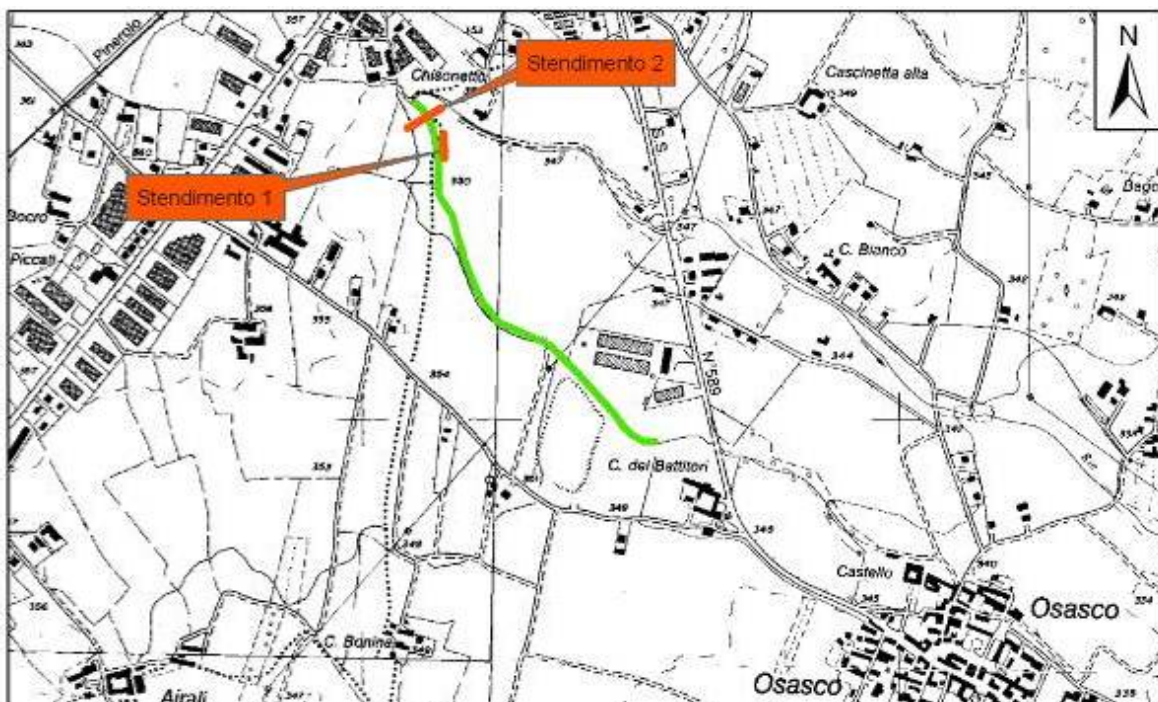


Figura III.63. Ubicazione degli stendimenti rispetto alla bealera di Osasco.

Nella prima tomografia (Fig. III.64) si possono riscontrare, fino a una profondità di 1,5 metri dal piano campagna, valori di resistività inferiori ai $100 \Omega \cdot m$, trattandosi di un suolo di copertura. Al di sotto, invece, si sviluppa una fascia circa orizzontale potente 5-6 metri in cui i valori di resistività superano i $500 \Omega \cdot m$, interpretabili come uno strato di materiale grossolano ghiaioso-sabbioso, già riscontrato nella sezione litostratigrafica AA' in Fig. III.52. Scendendo fino alla profondità massima di investigazione, invece, si riscontra una nuova diminuzione di ρ (circa $200 \Omega \cdot m$), attribuibile alla presenza di acque di falda nei livelli ghiaioso-sabbiosi.

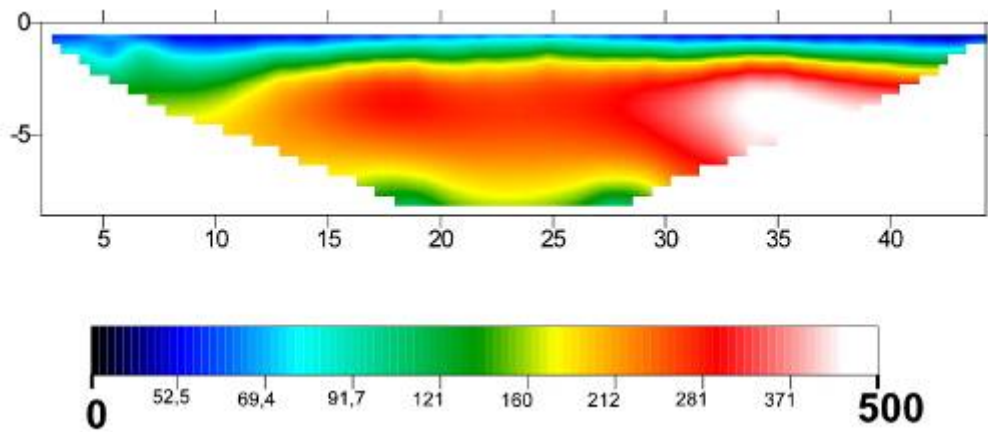


Figura III.64. Tomografia elettrica parallela al canale (Stendimento 1).

In Figura III.65 si riporta il risultato della seconda tomografia elettrica. Si evidenzia nuovamente la presenza di un livello molto resistivo sotto il primo metro di profondità (più disomogeneo rispetto alla precedente sezione). È evidente nella zona centrale della sezione una diminuzione di resistività imputabile all'infiltrazione verticale di acqua dal canale verso la sottostante falda idrica, presente da 8 metri di profondità.

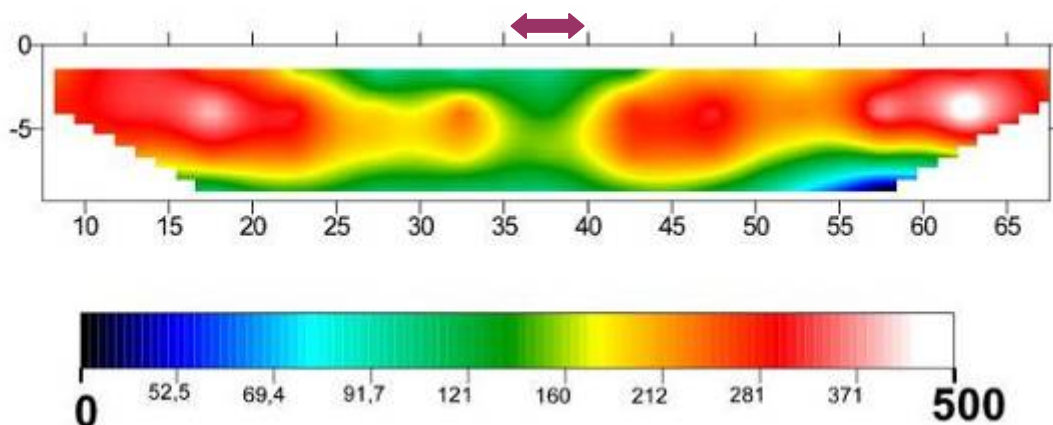


Figura III.65. Tomografia elettrica trasversale al canale (in viola è evidenziato il canale irriguo) (Stendimento 2).

III.2.5.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per la bealera di Osasco è stato possibile valutare le perdite, da un punto di vista quantitativo, sia mediante l'applicazione di formule empiriche, sia attraverso la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico, il metodo con doppio tracciante e il metodo con tracciante e mulinello.

III.2.5.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le indagini di terreno svolte durante diverse campagne di misura per la misura della portata dei canali. Tali indagini sono essenziali e propedeutiche per la successiva valutazione delle perdite.

III.2.5.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

Prova 1 (giugno 2010)

Nel giugno 2010 è stata effettuata la prima campagna di misura delle portate con il mulinello idrometrico (Figg. III.67/67). In Figura III.68 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le sezioni utilizzate.



Figure III.66/67 Suddivisione in conci per la misura della sezione del canale e misura della velocità della corrente mediante mulinello idrometrico.

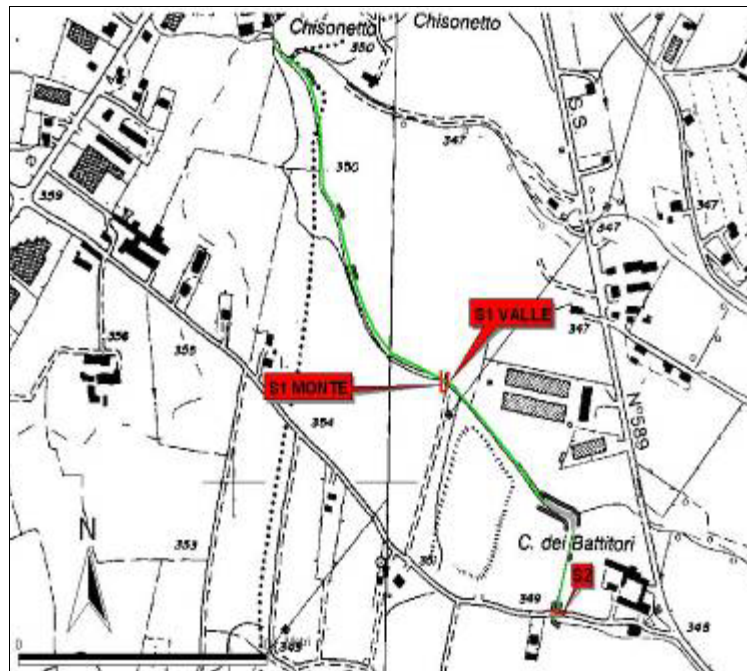


Figura III.68. Ubicazione delle sezioni del canale utilizzate per la prova con il correntometro (giugno, settembre 2010).

Le caratteristiche della sezione di monte (S1) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 300 cm;
- numero di conci: 5;
- larghezza concio: 60 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 8 cm e 32 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.73 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di monte (S2) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 200 cm;
- numero di conci: 5;
- larghezza concio: 40 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 cm e 50 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 2 (settembre 2010)

Nel settembre 2010 è stata effettuata la seconda campagna di misura delle portate con il mulinello idrometrico. In Fig. III.68 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le sezioni utilizzate.

Le caratteristiche della sezione di monte (S1) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 310 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 30 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 cm e 40 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.78 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di monte (S2) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 100 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 12 cm e 45 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 3 (giugno 2011)

Nel giugno 2011 è stata effettuata una terza campagna di misure sulla Bealera di Osasco. Sono state realizzate, in particolar modo, nel tratto di canale compreso tra i punti A e C (Fig. III.69), due misure di portata con mulinello idrometrico nei punti A e B.

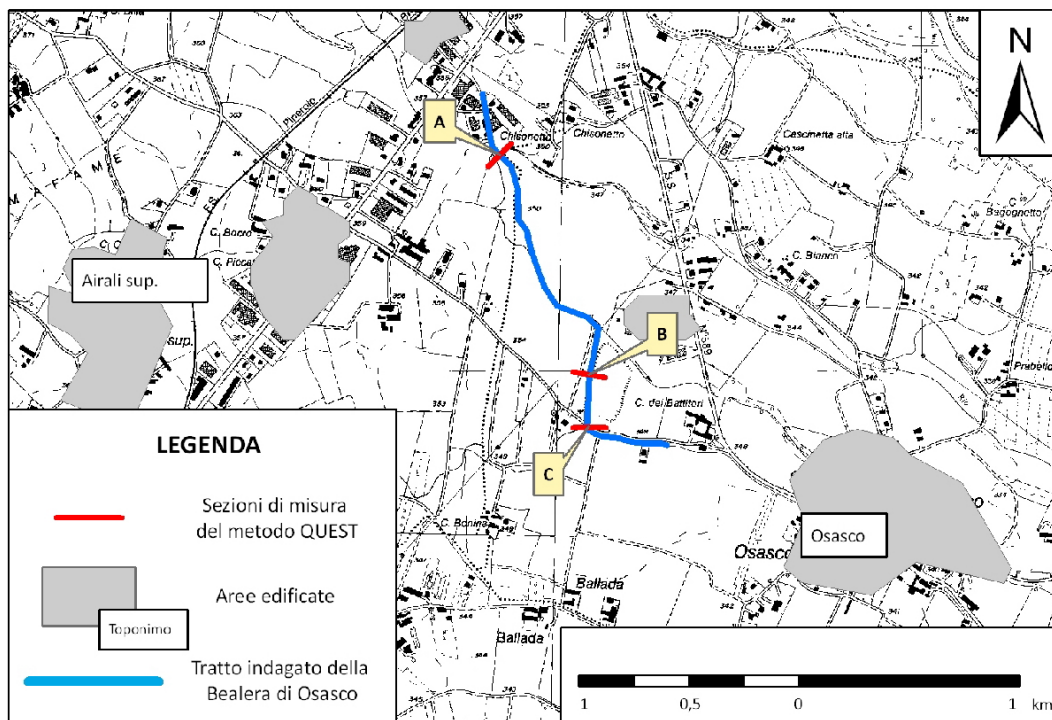


Figura III.69. Tratto indagato con evidenziate le sezioni di misura (giugno 2011).

Al fine di validare le analisi effettuate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

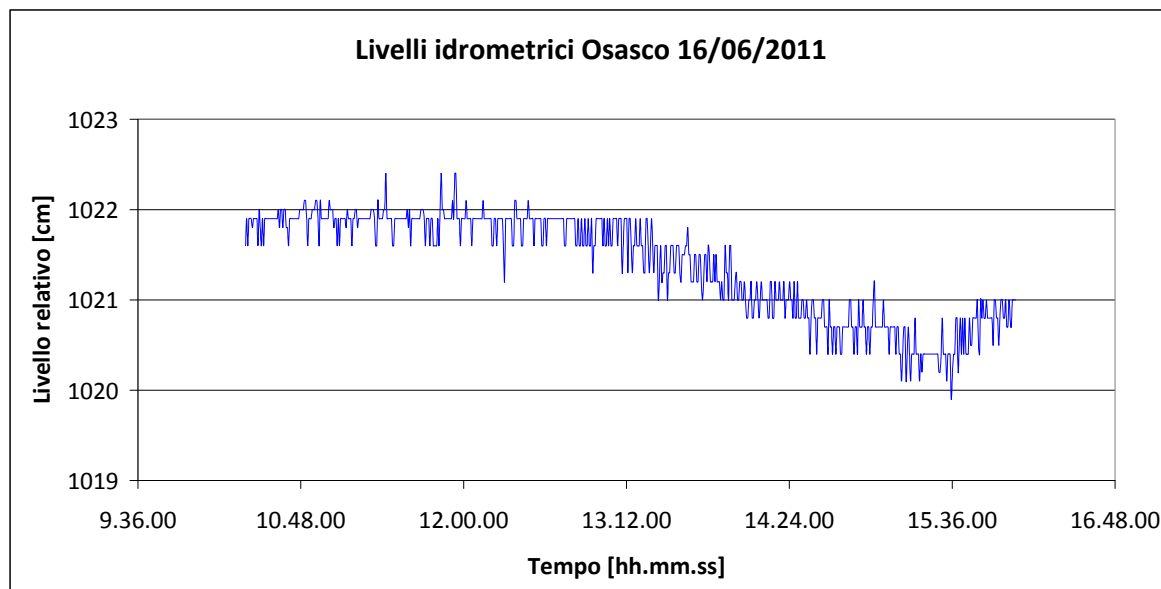


Figura III.68. Grafico delle oscillazioni dei livelli idrometrici della Bealera di Osasco.

Dall'idrogramma in Fig. III.68, relativo al monitoraggio dei livelli idrici in data 16/06/2011, si evince una sostanziale costanza nell'altezza del pelo libero dell'acqua durante la realizzazione delle prove. Infatti la

prova è durata dalle h 10:05 alle 10:20, intervallo temporale in cui l'idrogramma non evidenzia variazioni di rilievo del livello tali da influenzare il risultato ottenuto.

Le caratteristiche della sezione di monte (S1) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 240 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 24 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 15 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di monte (S2) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 180 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 18 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 8 cm e 30 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.37 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.2.5.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

Nel mese di giugno 2010 è stata effettuata una prova di portata con galleggianti su un tratto di canale posto nelle porzioni di valle del settore indagato; la sezione indagata per la misura di portata ha lunghezza pari a 20 metri.

Mediante opportuna correzione delle velocità (Tab. III.13) la portata ottenuta con questo metodo è risultata essere di $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$. In tale campagna è stata effettuata una misura su di una singola sezione e per tale motivo non è stato possibile individuare nel tratto di canale variazioni di portata.

METODO DEI GALLEGGIANTI (9/06/2010)

Galleggiante	Tempo di arrivo (s)	Lunghezza (m)	Velocità (m/s)	Coefficiente di correzione (V/V_0)	Velocità corretta (m/s)	Sezione (m ²)	Portata (m ³ /s)
1	20	20	1,00	0,80	0,80	0,96	0,78
2	18	20	1,08	0,80	0,87	0,96	0,85
3	21	20	0,96	0,80	0,77	0,96	0,75
4	22	20	0,92	0,80	0,74	0,96	0,72
5	19	20	1,07	0,80	0,86	0,96	0,84
6	20	20	0,98	0,80	0,78	0,96	0,77
7	18	20	1,13	0,80	0,90	0,96	0,89
8	20	20	1,01	0,80	0,81	0,96	0,79
9	20	20	0,99	0,80	0,79	0,96	0,78
10	23	20	0,87	0,80	0,70	0,96	0,88

Tabella III.13. Dati della prova con i galleggianti (9/06/2010).

III.2.5.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Nel giugno e settembre 2010 sono state effettuate misure di portata del canale con il metodo del tracciamento salino.

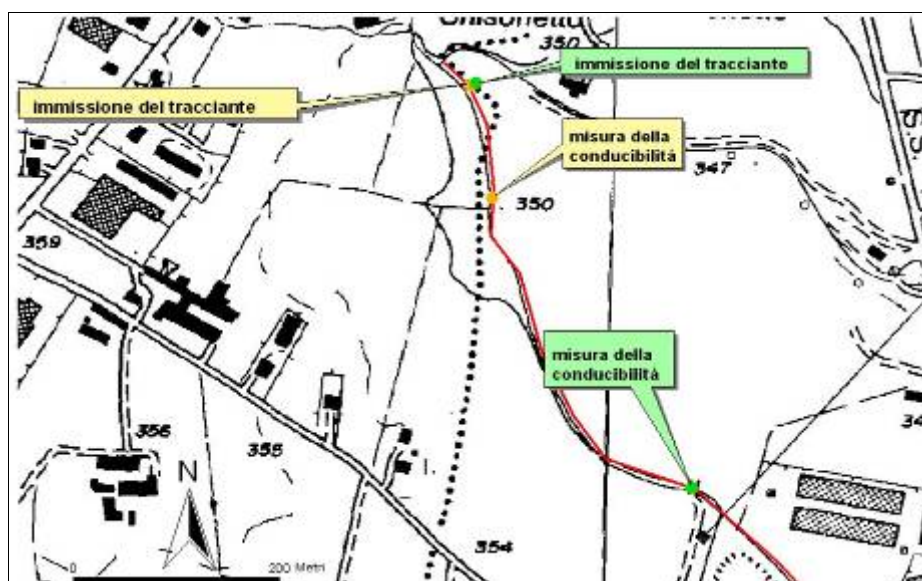


Figura III.69. Configurazione delle prove col tracciamento salino (Verde: 9/06/2010. Giallo: 28/09/2010).

Prova 1: tracciamento salino e misura con conducimetro in alveo

È stata realizzata una prova di tracciamento salino nel giugno 2010, con immissione rapida del sale in acqua e misura della conducibilità a valle del punto di immissione con il conducimetro (Fig. III.69).

Sono stati immessi 15 kg di NaCl miscelati in 30 l di acqua. La misura della C.E. è stata eseguita a 390 m di distanza dal punto di immissione.

I dati misurati sono stati inseriti nel grafico di Figura III.70.

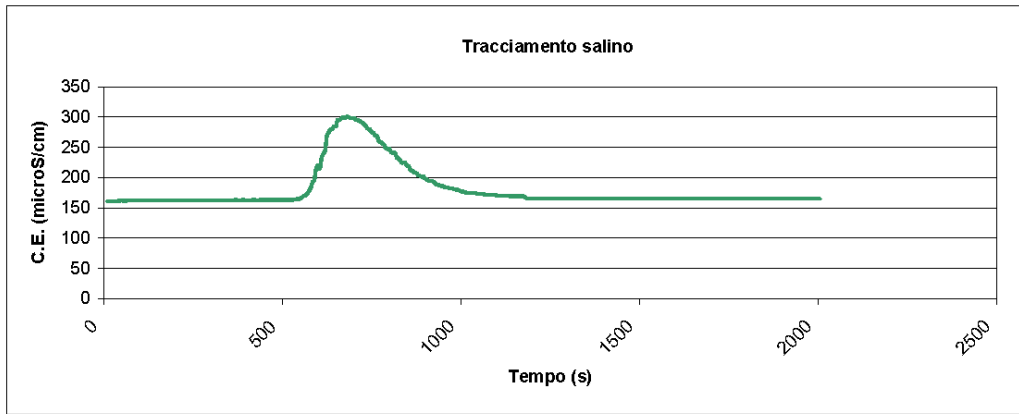


Figura III.70. Curva ottenuta con i dati misurati con il conducimetro.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i seguenti dati (Tab. III.14), ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale:

Conc. (g/l)	Cond (μS/cm)
0	161
1.6	3008

Tabella III.14. Dati necessari all'elaborazione della retta di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.71.

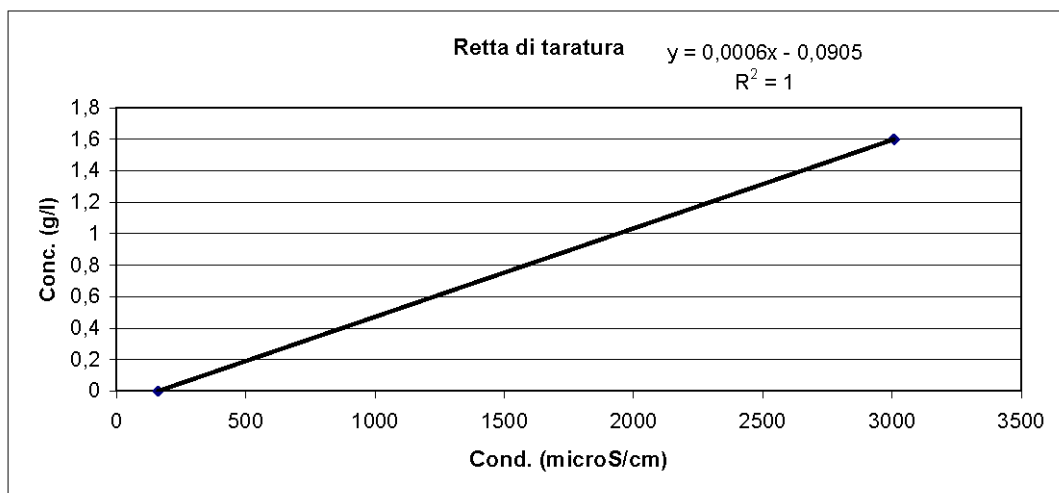


Figura III.71. Retta di taratura.

Il valore di portata del canale è, quindi, risultato pari a 0,61 m³/s.

Prova 2: tracciamento salino e misura mediante il sistema di campionamento in più punti della sezione del canale

È stata realizzata una prova di tracciamento salino nel settembre 2010, con immissione rapida del sale in acqua e misura della conducibilità a valle del punto di immissione con il conducimetro (Fig. III.69).

Sono stati immessi 20 kg di NaCl miscelati in 60 l di acqua. La misura della C.E. è stata eseguita a 162 m di distanza dal punto di immissione mediante il sistema di campionamento in più punti della sezione del canale (Fig. III.73). I dati misurati sono stati inseriti nel grafico di Figura III.72.

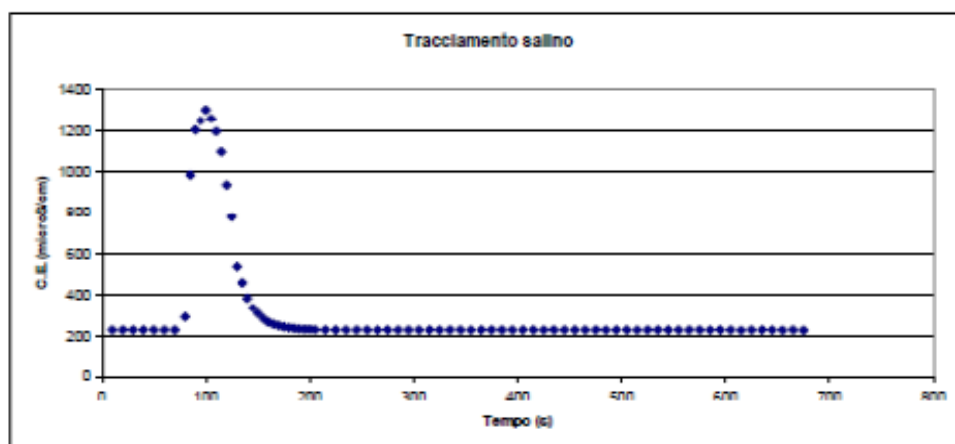


Figura III.72. Curva ottenuta con i dati misurati con il conducimetro.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione è stata utilizzata la retta di taratura in Figura III.71. Il valore di portata del canale è, quindi, risultato pari a $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura III.73. Esecuzione della prova col tracciamento salino (a sinistra: monitoraggio del valore di conducibilità elettrolitica; a destra: sistemazione del sistema di campionamento multiplo dentro l'alveo del canale).

III.2.5.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Sul tratto di canale indagato sono state applicate le diverse formulazioni empiriche descritte nel capitolo II (Davis & Wilson, 1967; Doorenbos, 1963; Lotti, 1974 e U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando un alveo naturale in terreno limoso-sabbioso ($K=15$), lungo 421 metri, un perimetro bagnato di 3.74 metri, una velocità media dell'acqua pari a 0,63 m/s, un livello dell'acqua di 0,41 m, una portata di 0.74 m³/s, una k pari a 15 (per la formulazione di Davis e Wilson), una C pari 0,002 (per la formulazione di Doorenbos) ed una C di 0,80 (per la Formulazione della U.S. Bureau of Reclamation) è stato possibile valutare i valori di perdita descritti nella Tabella III.15.

U.D.M.	Davis & Wilson	Doorenbos	Lotti	U.S. Bureau of Reclamation
m ³ /s	0,00182	0,00199	0,00382	0,00036
m ³ /giorno	0.100	0.096	0.210	0.019
l/giorno	156853	157353	330199	31413

Tabella III.15. Riassunto dei risultati ottenuti con i vari metodi empirici di calcolo delle perdite.

Si può notare come i risultati previsti dai vari metodi di calcolo per le perdite siano numericamente variabili, tranne per i primi due che non si discostano di molto. Si tratta, in ogni caso, di portate con ordini di grandezza inferiori alla precisione dei risultati ottenuti con le metodologie utilizzate per le indagini dirette.

III.2.5.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Nel seguito vengono riportati i risultati dell'applicazione di alcune metodiche volte a definire le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati e di valutare alcuni parametri degli stessi. Tali dati sono a supporto delle metodiche empiriche utilizzate per la valutazione delle perdite.

III.2.5.2.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

La prova infiltrometrica con permeametro Guelph è stata nel giugno 2010 per verificare la conducibilità idraulica del suolo nelle immediate vicinanze del canale; l'indagine è stata impostata a pochi metri dall'alveo, in sinistra orografica (Fig. III.74).

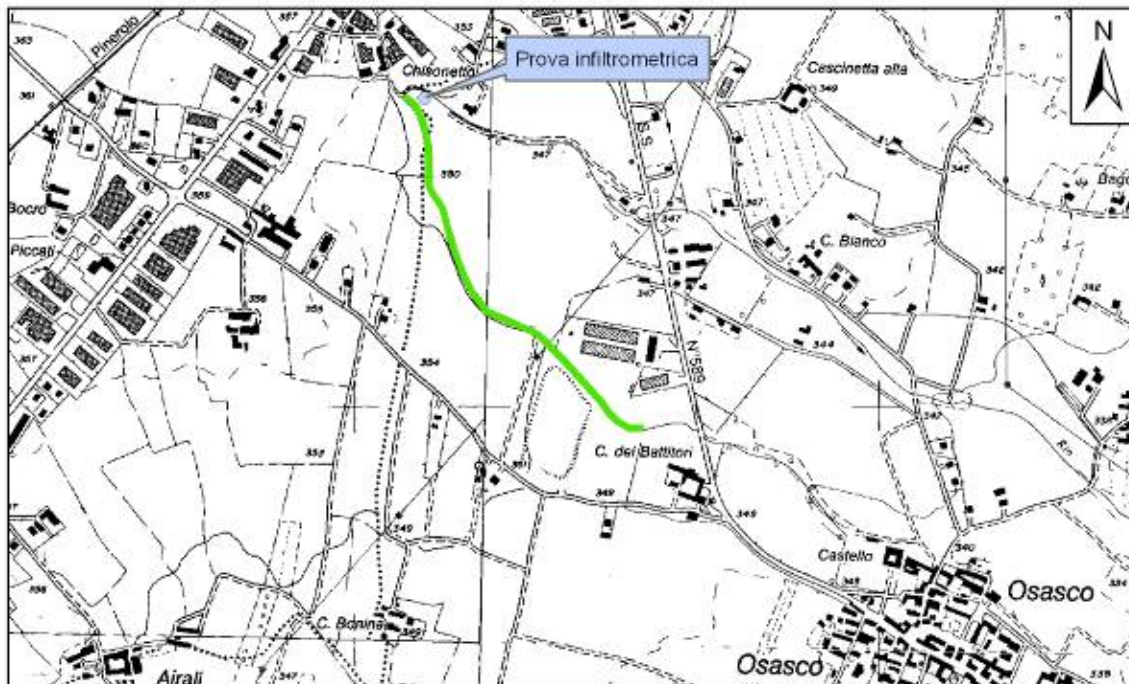


Figura III.74. Ubicazione prova infiltro metrica.

La conducibilità idraulica calcolata è $1,70 \cdot 10^{-7}$ m/s (valore di permeabilità bassa corrispondente a dei sedimenti fini).

III.2.5.2.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE

Sono state realizzate due prove penetrometriche dinamiche (Fig. III.75) a pochi metri dall'alveo del canale, in sinistra orografica, per valutare più dettagliatamente le caratteristiche del sottosuolo.

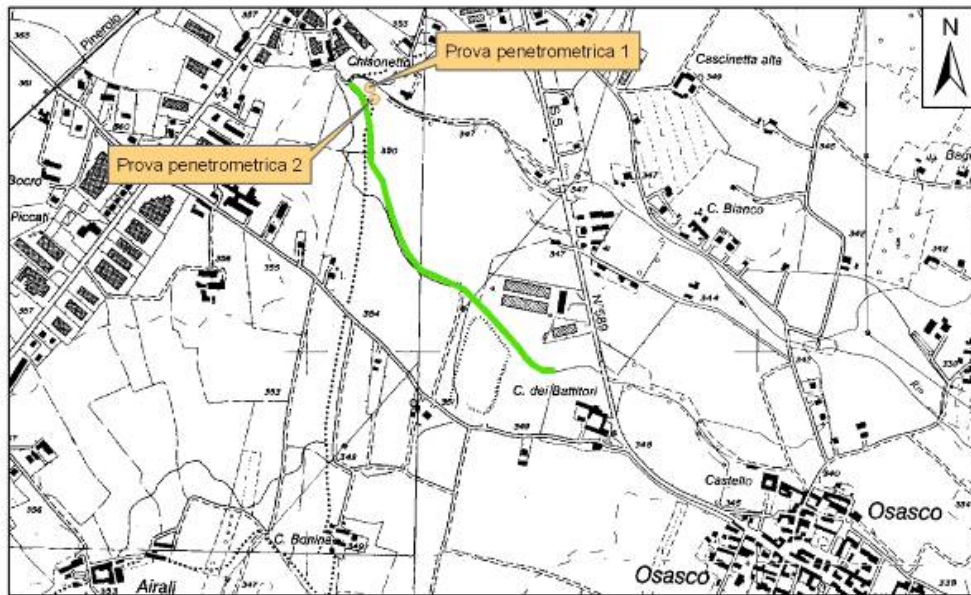


Figura III.75. Ubicazione prove penetrometriche.

I risultati sono riportati nei grafici in Figura III.76 (a) e (b).

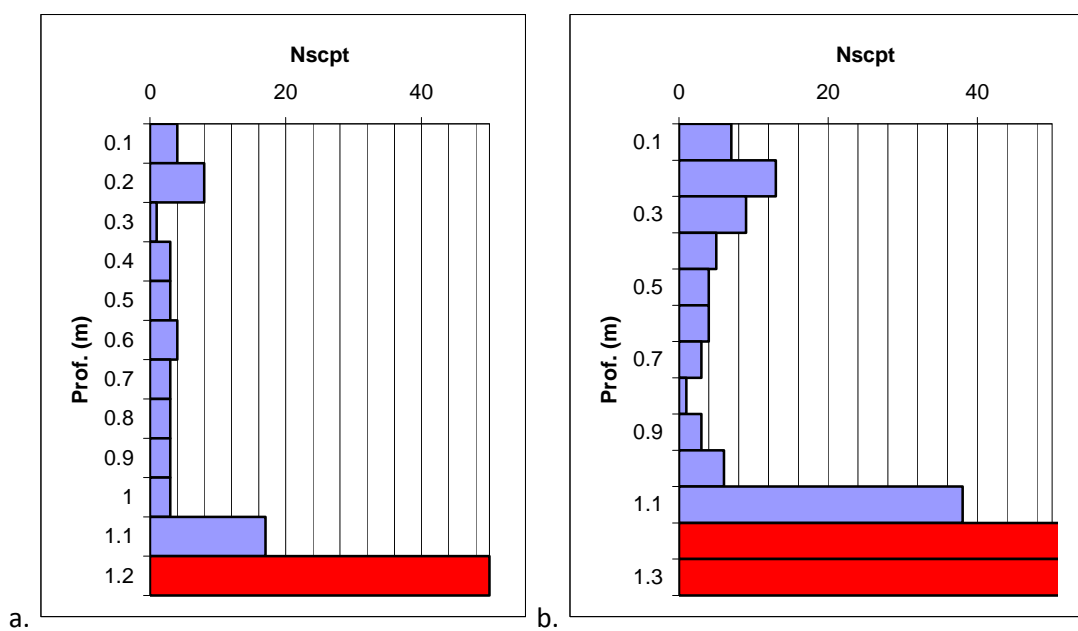


Figura III.76. Esito delle prove penetrometriche: (a) prova 1, (b) prova 2.

Per entrambe le prove è da notare come, fino al primo metro di profondità, il suolo abbia offerto poca resistenza alla penetrazione, mentre al di sotto di tale profondità, in entrambi i casi, si sia verificato un brusco aumento del numero di colpi, corrispondente alla presenza di ghiaie anche molto grossolane, come testimoniato dalle sezioni litostratigrafiche presentate nel precedente capitolo.

III.2.5.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

III.2.5.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO

Nel giugno 2010, settembre 2010 e giugno 2011 sono state effettuate tre campagne di misure differenziali di portata mediante mulinello idrometrico al fine di quantificare eventuali perdite o guadagni del canale.

Nel giugno 2010 i valori di portata delle sezioni di monte e valle presentano valori simili (rispettivamente $0,73 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$), testimoniando un leggero aumento di portata di entità ampiamente inferiore alla precisione dello strumento.

Nella prova di settembre 2010, invece, i valori misurati sono stati rispettivamente $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$; è quindi possibile individuare una perdita di portata pari a $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ (40%).

Nel giugno 2011 è stata effettuata una terza campagna di misure sulla Bealera di Osasco. I valori di portata ottenuti sono $0.41 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione di monte e $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione di valle, corrispondenti a un guadagno pari a $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ (9.8 %).

III.2.5.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE

Nel giugno 2011 è stato applicato il Metodo del doppio tracciante nel tratto di indagine AC della Bealera di Osasco (Fig.III.77) mediante l'uso della Fluoresceina e l'NaCl.

La Fluoresceina è stata utilizzata come tracciante indicatore nel tratto AB (Fig. III.69). Per questa indagine sono stati immessi a *slug* 5 grammi di polvere, rilevati mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi (Fig. III.78).

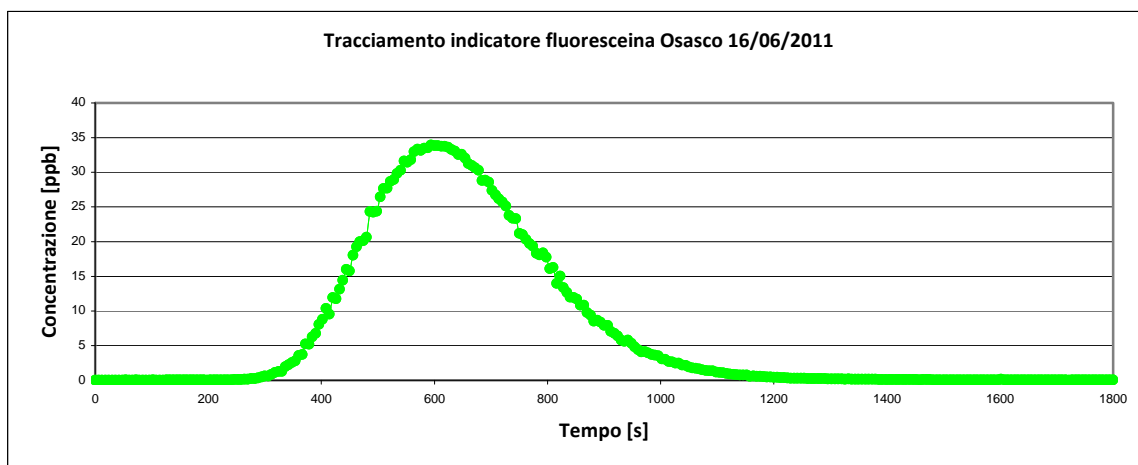


Figura III.77. Curva rappresentativa del plume di fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	11:30
Ora fine picco	11:48
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	5g
Portata	0.40 m³/s

Tabella 7.3 – Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

La portata ottenuta con la Fluoresceina è pari a 0.40 m³/s

Il Cloruro di Sodio (Fig III.78 e 79), invece, è stato impiegato come tracciante di riferimento nel tratto BC.

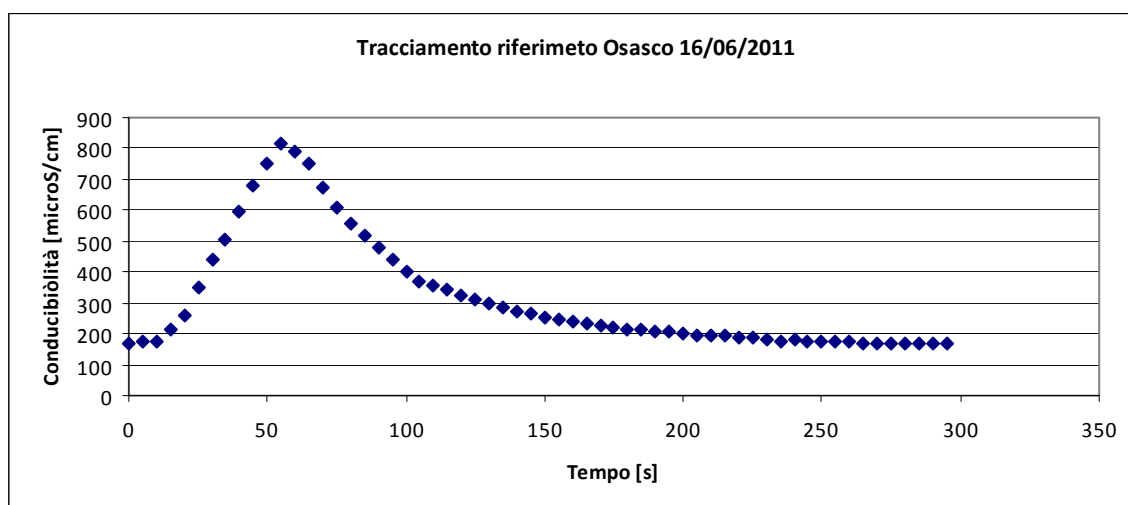


Figura III.78. Curva rappresentativa del plume della soluzione salina per il calcolo della portata nel tratto BC.

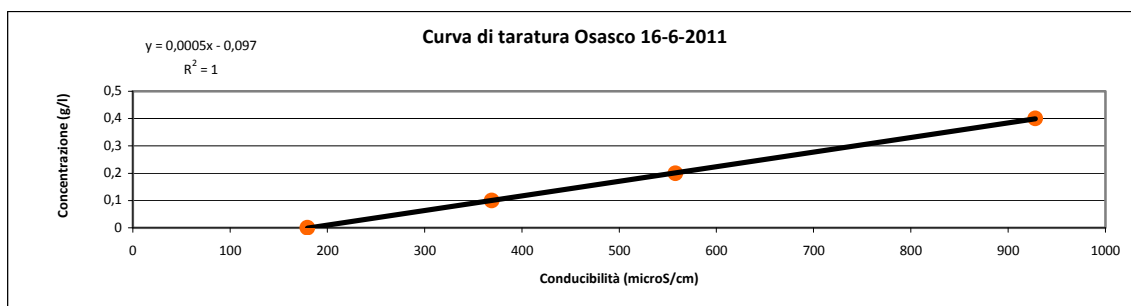


Figura III.79. Curva di taratura dell'acqua della Bealera di Osasco.

Per l'indagine sono stati immessi a *slug* 9 kg di Cloruro di Sodio, rilevati mediante multicampionamento a 5 secondi (Tab. III.16). La portata ottenuta con NaCl è pari a 0.45 m³/s.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:03
Ora fine picco	12:07
Tempo di campionamento	5 s
Massa tracciante	9 kg
Portata	0.45 m³/s

Tabella III.16. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con l'NaCl per il calcolo della portata nel tratto BC.

In base al metodo del doppio tracciante il tratto AB risulta avere un guadagno idrico del 12.5 %, pari a 0.05 m³/s.

III.2.5.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

E' stato inoltre applicato il Metodo del tracciante e del mulinello sulla base delle indagini effettuate nel giugno 2011; per tale metodo sono state utilizzate le prova con la Fluoresceina, svolta nel tratto AB (Fig. III.28) e la misura di portata con mulinello idrometrico nel punto B (Fig. III.69).

Secondo tale valutazione nel tratto AB si riscontra un guadagno idrico del 7.5 %, pari a 0.03 m³/s.

III.3 - NAVIGLIO DI BOVES

Il Canale Naviglio di Boves è situato nel settore meridionale della Provincia di Cuneo, all'imbocco della Val Vermenagna. Si tratta di un canale irriguo attivo tutto l'anno, che si diparte del Torrente Gesso (in destra orografica), al confine tra i Comuni di Borgo San Dalmazzo e Boves, presso l'opera di presa del Consorzio Irriguo Naviglio-Vermenagna per poi dirigersi verso il Comune di Boves, dove avviene la partizione delle acque tra la prosecuzione del Canale Naviglio e il Canale Vermenagna.

Dalla fine del 2008 il canale è stato interessato da una serie di lavori, gestiti dal Consorzio di Il grado Valle Gesso, finalizzati a rendere disponibile l'acqua nei bacini d'invaso Enel anche all'uso irriguo, mediante la ristrutturazione di canali esistenti (tra cui il Naviglio) e la costruzione di una nuova condotta. Il progetto è quello di derivare l'acqua resa disponibile alla centrale ENEL di Andonno e di convogliarla fino al confine tra i Comuni di Borgo S. Dalmazzo attraverso impianti idroelettrici esistenti della società ITALGEN S.p.A., fino all'opera di presa del consorzio irriguo Naviglio - Vermenagna.

Dal 2006 il canale è oggetto di studi, realizzati per la Regione Piemonte, sui circuiti carsici che mettono in collegamento l'area del Canale Naviglio con la sorgente di Beinette; tali studi sono iniziati a seguito dell'apertura di una grande cavità a monte del canale. Una serie di analisi con traccianti hanno evidenziato un collegamento con la sorgente di Beinette tramite circuiti carsici all'interno del basamento calcareo; circuiti per altro già evidenziati da Vigna (2009).

III.3.1 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

III.3.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il Naviglio di Boves – Vermenagna si colloca (Fig. III.80) nella parte più meridionale della Provincia di Cuneo, tra i Comuni di Borgo San Dalmazzo e Boves. A livello idrologico il Naviglio è inserito all'interno del Bacino del Tanaro e scorre all'imbocco della Val Vermenagna, in destra orografica del Torrente Gesso.



Figura III.80. Fotografia aerea modificata dell'area della frazione di Fontanelle, con la traccia in rosso del tratto di canale oggetto di studio (www.earth.google.com), nel riquadro in basso a sinistra collocazione del comune Boves (in rosso) nella Regione Piemonte.

Le misurazioni sul canale Naviglio di Boves sono state effettuate nei pressi della frazione di Fontanelle, situata tra i Comuni di Boves e Borgo San Dalmazzo, nel tratto tra l'opera di presa sul Gesso e la località Fornace.

La pianura cuneese è delimitata a sud dai rilievi delle Alpi Liguri, a ovest da quelli delle Alpi Occidentali e ad est dalla zona collinare delle Langhe. Morfologicamente quest'area può essere suddivisa in due zone, separate dal corso del Torrente Stura, il cui corso è profondamente inciso sia nei depositi quaternari che in quelli più antichi, costituenti la pianura. La zona in sinistra orografica rispetto allo Stura consiste in una pianura debolmente inclinata verso Nord-Est, in cui, in prossimità della fascia pedemontana, si possono ancora riconoscere i conoidi alluvionali allo sbocco delle principali vallate. I corsi d'acqua di questo settore sono scarsamente incassati, fatta eccezione per il Torrente Maira, che presenta più ordini di terrazzi erosionali.

L'area di interesse si trova invece nel settore in destra di Stura. A differenza del settore in sinistra orografica, in questa zona sono presenti profonde incisioni fluviali, che si raccordano alla pianura principale tramite una serie di terrazzi. La pianura principale si raccorda a sua volta ai rilievi alpini meridionali tramite alcuni terrazzi (tra questi il più vicino al corso del Naviglio di Boves è compreso tra i comuni di Boves e Beinette). I terrazzi sono caratterizzati da superfici blandamente ondulate e presentano suoli molto potenti ed evoluti (CAVALLI & VIGNA., 1995). Il settore nord-occidentale della pianura è invece dominato dagli altopiani isolati di Fossano, Salmour e Magliano Alpi, che si raccordano alla pianura con scarpate

mediamente di 20 - 30 metri di altezza. Gli altopiani presentano caratteristiche geomorfologiche molto simili ai terrazzi pedemontani descritti in precedenza ai quali, molto probabilmente, possono essere correlati per età e pedogenesi (BIANCOTTI, 1979).

Per quanto riguarda la morfologia dell'area di Boves, dunque si possono individuare tre livelli caratteristici:

- i *glacis*: formati in periodi interglaciali poi coperti da paleosuoli. Essi sono stati soggetti a erosione regressiva da parte dei corsi d'acqua, in risposta all'abbassamento del livello di base, a seguito della cattura del Fiume Stura di Demonte da parte del Fiume Tanaro. L'orlo di queste superfici è definito da scarpate di terrazzo (in particolare a est dell'area studiata si trova il *glacis* di Boves-Rivoira);
- il livello fondamentale della pianura (Boves, Beinette);
- le incisioni dei torrenti (Stura di Demonte e Gesso) e dei tributari minori (Vermenagna).

La morfologia dell'area di studio descritta, è strettamente legata all'evoluzione pliocenica, pleistocenica e olocenica dell'area.

III.3.1.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto riguarda il contesto geologico (Fig. III.81), il canale è situato in prossimità dei rilievi delle Alpi Occidentali, all'interno del Dominio Pennidico, nella zona di contatto tra la Falda Brianzonese e la Zona Piemontese.

Il Dominio Pennidico affiora in aree piuttosto estese nelle Alpi Occidentali, dove è ubicata l'area di studio, mentre nelle Alpi Centrali ed Orientali esso non affiora in quanto coperto dal Dominio Austroalpino, se non nelle finestre tettoniche dei Tauri e dell'Engadina.

Il Dominio Pennidico è un dominio composito di unità di derivazione oceanica e continentale. Le Unità continentali sono quelle della Zona Brianzonese (anche detta Sistema Multifalda del Gran San Bernardo) e dei Massicci Cristallini Interni (Monte Rosa, Gran Paradiso, Dora Maira).

La Falda Brianzonese è costituita da un basamento cristallino Varisico, intruso da granitoidi permiani, al di sopra del quale si impostano una sequenza permo-carbonifera e una copertura mesozoico-eocenica. I Massicci Cristallini Interni sono invece individuati da finestre tettoniche all'interno della Zona Piemontese. Si tratta di scisti di origine sedimentaria a metamorfismo varisico e alpino, associati a gneiss occhiadini a metamorfismo esclusivamente alpino. Queste Unità continentali sono sovrastate dalle Unità oceaniche della Zona Piemontese (anche detta Zona dei Calcescisti a Pietre Verdi), formata da frammenti di crosta oceanica e una copertura sedimentaria mesozoica caratterizzata da calcescisti.

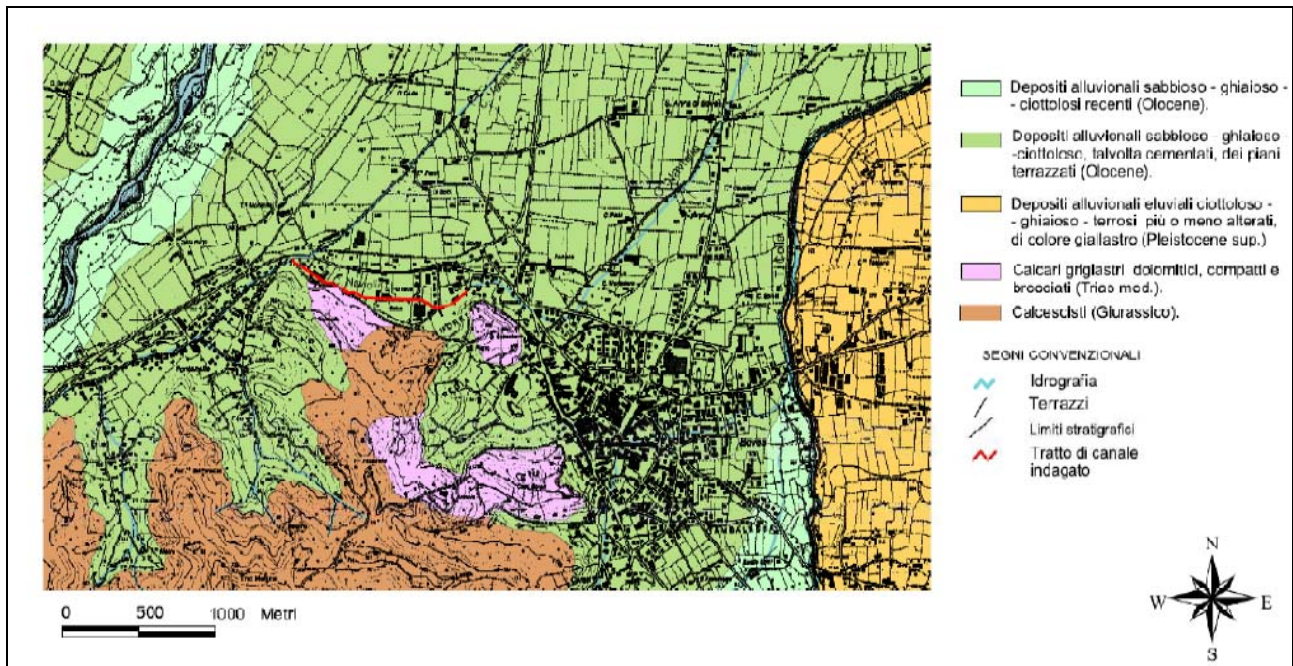


Figura III.81. Carta geologica del Comune di Boves con in evidenza in rosso il tratto di canale oggetto di studio (tratta dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Fogli 80 e 81).

III.3.1.2.1 - BASAMENTO CRISTALLINO

Il basamento affiorante nell'area può essere suddiviso in unità stratigrafico-strutturali, come proposto da Vanossi et alii (1978/1991). Nella sequenza di accavallamento tettonico si possono osservare dal basso verso l'alto:

- Unità carbonatica (Triassico sup. - Liassico) (Tm): affiorante nella zona tra Borgo San Dalmazzo e Roccavione. La parte basale dell'Unità è principalmente a calcari dolomitici o dolomie, mentre la parte superiore presenta dolomie e calcari in bancate con filladi. Sono indicati con questo termine sia i litotipi calcareo dolomitici della serie Retico-Carnica individuata da Malaroda (1970), sia quelli della successione di Rivoira citata nel lavoro di Vanossi e Oxilia (1978) (Vanossi in lavori successivi, 1991) attribuisce l'Unità carbonatica alla sovrastante Unità Piemontese esterna di Montaldo.
- Unità dei Calcescisti (Cs): si suddivide in una *facies* a calcescisti, che affiora principalmente proprio nell'area di studio attraversata dal canale Naviglio, tra la bassa Val Vermenagna e Boves, e una seconda *facies* a scisti filladici con lenti di prasiniti e serpentiniti, affiorante tra i torrenti Colla e Pesio.
- Unità Piemontese esterna suddivisa nelle unità di Villanova e di Montaldo (Vanossi e Dellagiovanna, 1991). L'unità di Villanova è sradicata ed è composta da quarziti permiane,

calcari e dolomie mesozoiche. L'Unità di Montaldo presenta successioni lievemente differenti a seconda della zona di affioramento, si tratta comunque sostanzialmente di litotipi post-Liassici calcarei o calcareo-dolomitici con calcescisti.

- Unità Brianzonese: comprende da letto a tetto porfidi paleozoici e micascisti, filladi e gneiss cloritico-epidotici; al tetto si trovano quarziti feldspatico-conglomeratiche.

III.3.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE

Nell'area nei pressi di Boves si possono osservare diversi complessi di depositi, in particolare (AA.VV., 2005):

- Depositi Alluvionali Olocenici (Olocene): le formazioni più recenti e superficiali, costituite dalle alluvioni deposte durante tutto l'arco dell'Olocene. *"Si tratta di depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, talora debolmente terrazzati, con lenti sabbioso-argillose, fiancheggianti i principali corsi d'acqua. Non presentano alterazione oppure mostrano un debole strato di alterazione grigio-bruno. Risultano in gran parte inondabili nel corso di piene eccezionali. Le alluvioni antiche, in genere di poco sospese sugli alvei attuali, si differenziano invece da quelle più recenti in quanto non sono soggette ad inondazioni. I depositi di questo Complesso possiedono elevata permeabilità e ospitano una ricca falda idrica a superficie libera, in diretto collegamento con la rete idrografica. Possiedono una scarsa protezione naturale nei confronti di apporti inquinanti."*
- Depositi Fluviali e Fluvioglaciali del Würm (Pleistocene sup.): si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi a variabile componente fine argilloso-limosa, che aumenta da monte verso valle e da ovest verso est, con una debole alterazione superficiale caratterizzata da un colore ocraceo-brunastro. I termini di origine fluvioglaciale sono generalmente riconoscibili per via della taglia più grossolana, sono infatti costituiti da ghiaie da sabbiose a ciottolose, con locali intercalazioni di lenti argillose. I depositi würmiani si ritrovano principalmente al livello della pianura, in quanto i terrazzi risultano perlopiù obliterati per sovralluvionamento. In questo complesso è ospitata una falda idrica libera collegata alla rete idrografica; il sottile strato di alterazione superficiale fornisce una locale e limitata protezione da eventuali inquinanti.
- Depositi Fluviali e Fluvioglaciali del Riss (Pleistocene medio): costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni di lenti sabbioso-argillose e paleosuoli, di potenza generalmente non superiore a 3m. Alcuni livelli ghiaioso-sabbiosi sono localmente fortemente cementati, a formare livelli impermeabili, in grado di garantire una buona protezione dagli inquinanti e di pressurizzare localmente le falde. Nel cuneese questi setti impermeabili possono raggiungere uno spessore anche decametrico.

- *"Per quanto riguarda la geomorfologia, i depositi di questo complesso costituiscono un esteso sistema di terrazzi, raccordantisi con le cerchie moreniche rissiane (ove presenti), sospesi talora di alcune decine di metri sui depositi olocenici e würmiani. Questi depositi ospitano solitamente una falda libera, localmente protetta, e drenata dai corsi d'acqua principali. Lo spessore della zona satura nei depositi costituenti il complesso può risultare modesto, soprattutto nella parte alta della pianura, in quanto i terrazzi sono abbondantemente rilevati rispetto alla rete idrografica, che quindi funge da elemento drenante. La permeabilità dei depositi è mediamente elevata, e rende il complesso sede di acquiferi dalla buona potenzialità. La presenza in superficie di un paleo suolo argilloso può ridurre la possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche, diminuendo la ricarica azimutale".*
- Depositi Fluviali e Fluvioglaciali del Mindel (Pleistocene inf.): sono depositi ghiaioso-sabbiosi molto alterati e presentano in superficie un potente paleosuolo argilloso, costituiscono gli "Alti Terrazzi" (terrazzi più elevati posti a ridosso del bordo alpino) e formano, nel complesso, diversi piani rialzati, forse lembi di antiche conoidi. I depositi fluvioglaciali formano terrazzi ondulati, che vanno a raccordarsi con le cerchie moreniche più antiche ed esterne (se presenti) e possono essere elevati, rispetto alla pianura rissiana, anche di alcune decine di metri. In essi è generalmente contenuta una falda di modesto spessore a elevata soggiacenza quasi interamente protetta da paleosuoli superficiali intensamente argillificati e coltri di loess. La permeabilità può variare a seconda dell'abbondanza della matrice fine, dovuta all'alterazione dei depositi ghiaioso-sabbiosi. L'azione drenante su questo acquifero risulta superiore a quella subita dalla falda nei depositi rissiani, per via dei dislivelli più accentuati di questi terrazzi. Nei depositi si possono impostare localmente falde sospese, dove si rinvencono livelli impermeabili più continui e superficiali.

III.3.1.3 - ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Al fine di descrivere l'assetto stratigrafico di dettaglio del settore di studio, si riporta di seguito un'analisi sui depositi quaternari dell'area di studio (Civita et alii, 2000).

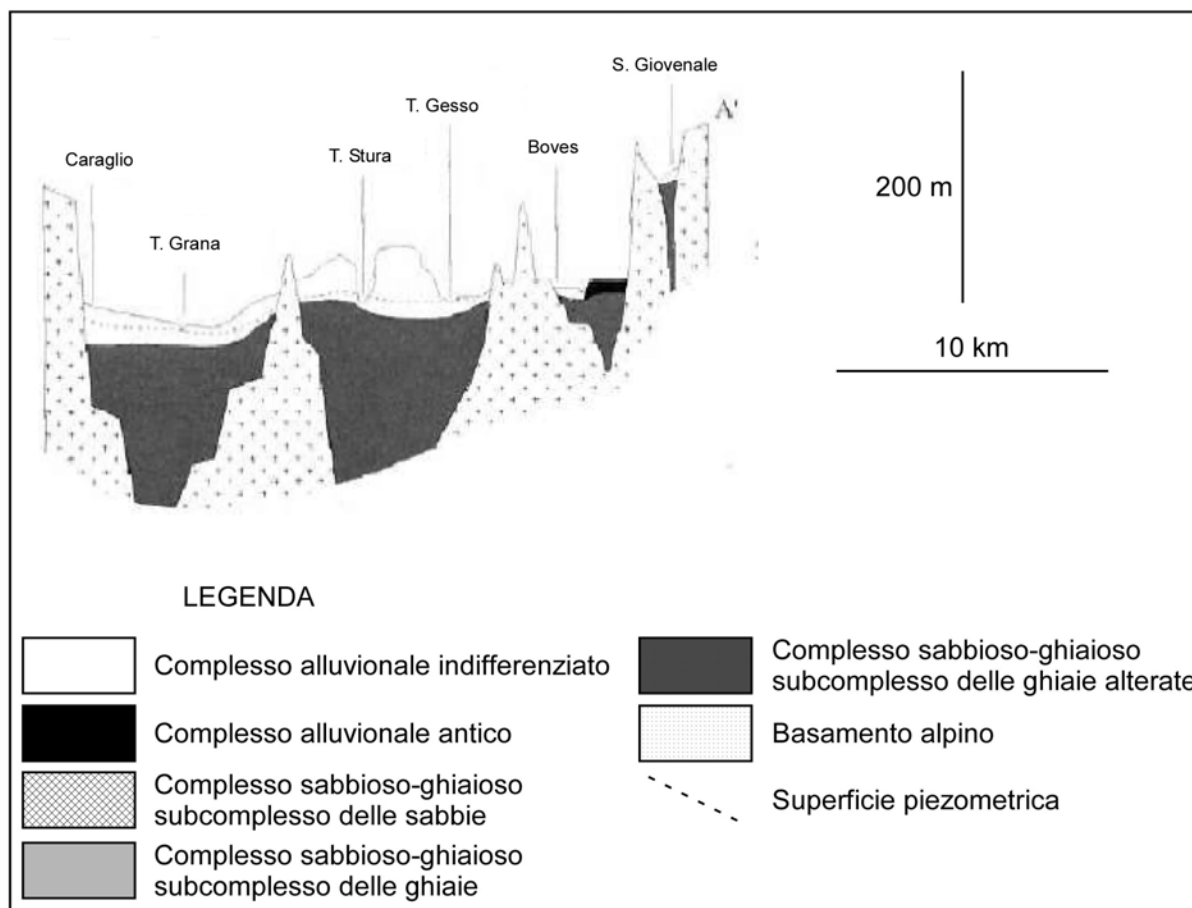


Figura III.82. Stralcio modificato delle sezioni interpretative dei principali complessi idrogeologici riconosciuti nella pianura cuneese (da BALLELIO et al., 1995).

Come si può osservare nel profilo stratigrafico (Fig. III.82), Boves è impostato a cavallo tra depositi alluvionali e basamento carbonatico. In particolare l'area d'interesse presenta depositi alluvionali olocenici: ghiaie anche molto grossolane in abbondante matrice sabbioso - limosa, con frequenti lenti di sabbia (riferibili ai depositi fluviali e fluvio-glaciali rissiani), ricoperti da un suolo argillificato dello spessore medio di un metro. Questi depositi costituiscono l'Acquifero Libero Principale della pianura cuneese e poggiano su un complesso sabbioso - ghiaioso deposto nel Pliocene medio. In particolare i depositi medio - pliocenici, nel settore di studio, prendono il nome di Subcomplesso delle Ghiaie Alterate, e presentano ghiaie grossolane, alterate e argillificate in matrice sabbioso - limosa, e costituiscono un modesto sistema idrogeologico in pressione, confinato alla base dal sottostante basamento cristallino. Più a Est dell'area, al di sopra del complesso delle ghiaie, al posto dei depositi fluviali olocenici, si trova uno dei terrazzi mindelliani, definito Complesso Alluvionale Antico. Si tratta di sedimenti ghiaioso - argillosi del Pliocene

inferiore, di potenza non superiore ai 10 m, ricoperti da un continuo e potente paleosuolo argillificato (fino a 3 m spessore); solitamente tali terrazzi costituiscono degli acquiferi sospesi.

La successione quaternaria e pliocenica descritta poggia direttamente sul basamento alpino triassico di calcari dolomitici, subaffiorante in destra orografica del Naviglio di Boves, il quale costituisce un importante sistema acquifero carbonatico, dotato di grande permeabilità per fratturazione e carsismo. In particolare nel settore di studio, viene individuata una situazione strutturale particolare della fascia di calcari dolomitici subaffioranti, che, probabilmente per la presenza di un sistema di faglie normali, risulta infossata (Carpi, 1988). Questa struttura è sede di un acquifero profondo che sfrutta un circuito carsico e di fratture molto esteso; esso permette alle acque infiltrate in profondità del Torrente Gesso e di altri torrenti minori della zona di alimentare la sorgente e il lago di Beinette, impostato su un alto strutturale (Fig. III.83). E' inoltre da sottolineare il coinvolgimento, nei circuiti alimentanti la sorgente di Beinette, anche del Canale Naviglio di Boves (Vigna, 2009).

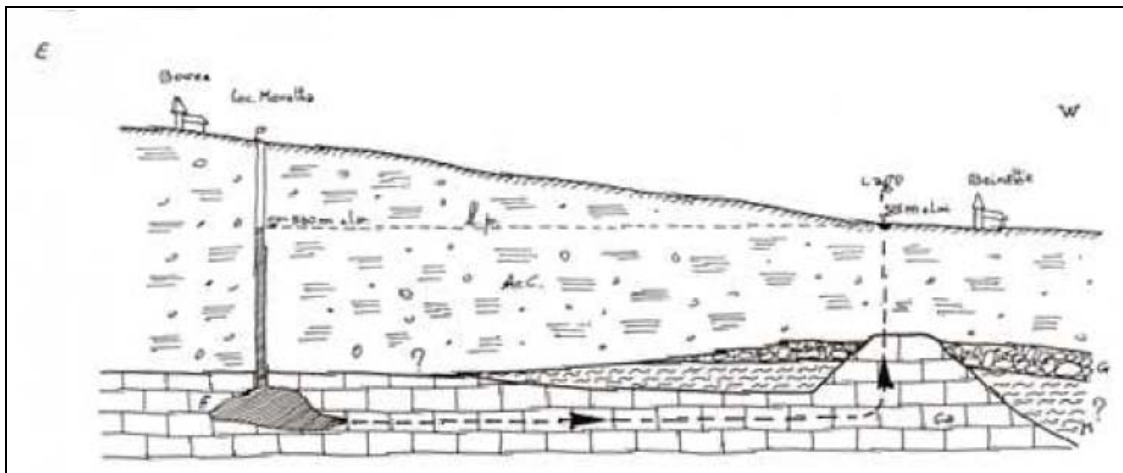


Figura III.83. Schema di correlazione fra Boves e Beinette. Ca: calcari dolomitici; M: Marne Piacenziane; G: ghiaie; Ar. C.: argilla e ciottoli; P: pozzo eseguito nell'ambito dello studio in loc. Moretta; f: cavità carsica intercettata, connessa al sistema di fratture della rete acquifera all'interno dei calcari; l.p.: Livello piezometrico ipotizzato della rete acquifera (CARPI, 1988).

III.3.2 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di indagare l'assetto stratigrafico di dettaglio della zona di studio, interessata principalmente da depositi quaternari, è stata eseguita una ricerca bibliografica volta al reperimento di stratigrafie, eseguite nei pressi del canale nell'ambito di studi precedenti.

Purtroppo l'indagine non ha dato un esito soddisfacente per via dell'eccessiva distanza dal canale delle stratigrafie o per la loro collocazione in settori tra loro non correlabili, oppure ancora perché eseguite pressoché totalmente in roccia.

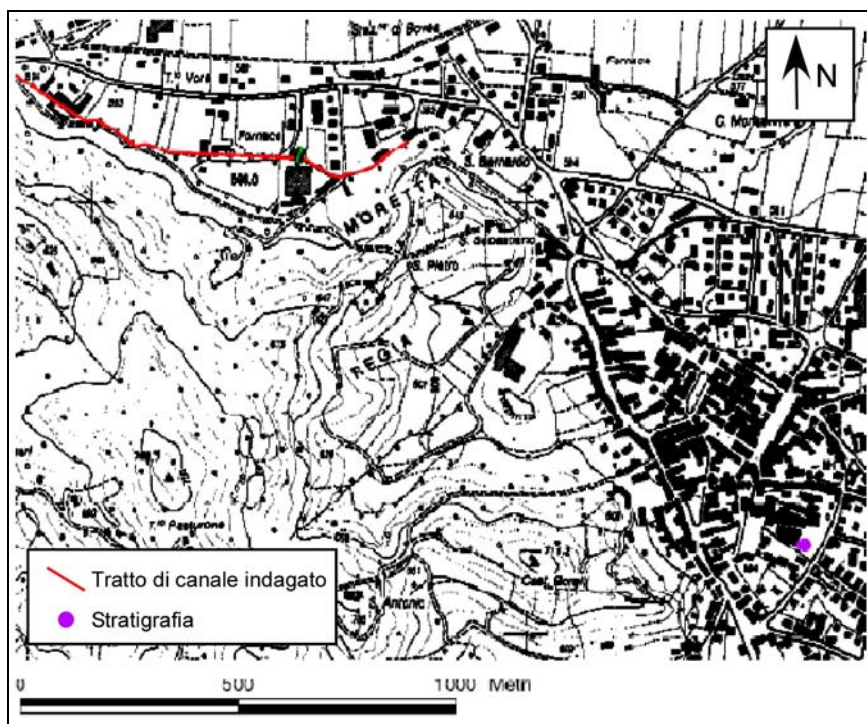


Figura III.84. Ubicazione della stratigrafia rispetto al tratto di canale studiato.

Il sondaggio a disposizione rivela, al di sotto di pochi metri di suolo, la presenza di un materasso alluvionale composto da un livello di ghiaie in matrice sabbiosa, potente una decina di metri, che poggia su di un livello composto da materiale fine, che arriva fino alla profondità massima di 23 metri.

La I depositi alluvionali rilevati dalla stratigrafia e della tomografia elettrica appartengono ai depositi alluvionali olocenici, costituenti l'acquifero libero principale.

III.3.3 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

Il canale oggetto dello studio presenta una serie di immissioni (in destra orografica rispetto al canale stesso) e la derivazione che dà origine al Canale Vermenagna (in sinistra orografica), nel tratto compreso tra il punto di presa e l'inizio del tratto studiato. Esso scorre su un alveo in parte naturale, in parte cementato, e risulta intubato per due brevi tratti (Fig. III.85,86,87 e 88). Le sponde sono principalmente inerbite, esclusi il tratto di partenza, dove il canale scorre lungo la strada, e il tratto in cui, subito prima di entrare nell'abitato di Boves, si allontana dalla strada per scorrere in una zona boschiva.



Figure III.86 e 87. Tratti di canale ad alveo ciottolato con sponde in materiale naturale, legno e blocchi.



Figura III.88. Inizio di uno dei tratti intubati.

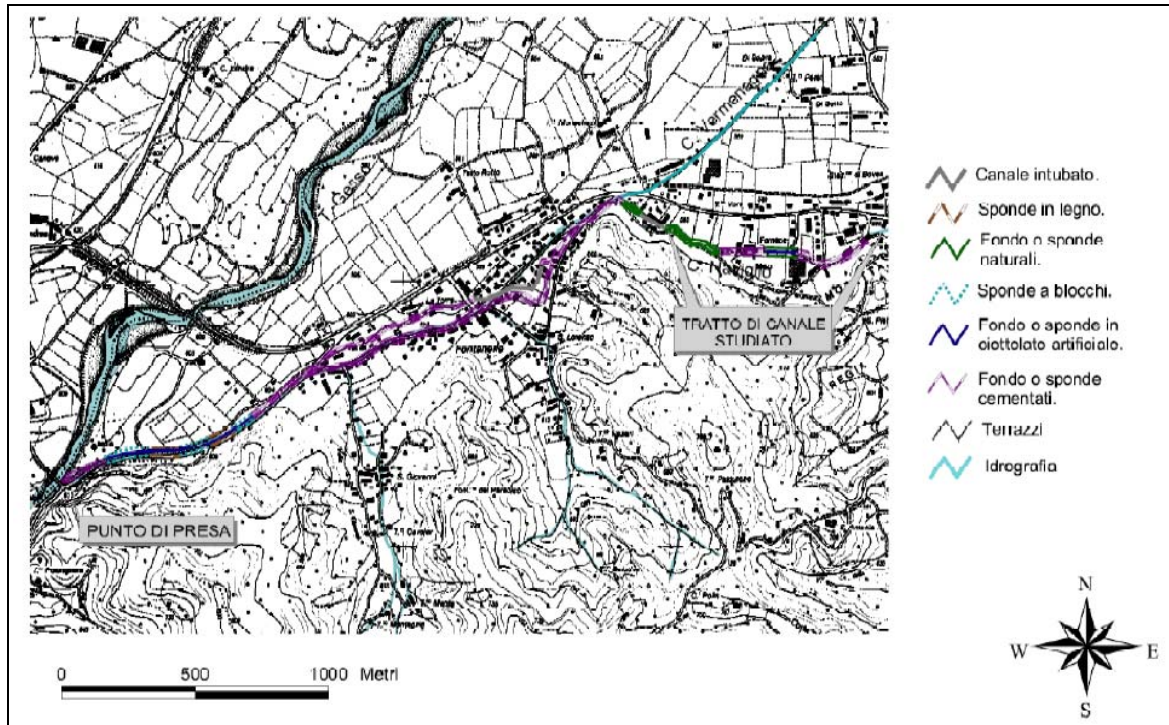


Figura III.85. Rilievo della composizione del tracciato.

III.3.4 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI

Si riportano nel seguito i metodi adottati per il Naviglio di Boves per la valutazione delle possibili perdite dallo stesso.

III.3.4.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per il Naviglio di Boves è stato possibile applicare alcune metodologie per la valutazione delle perdite dai canali da un punto di vista qualitativo, ed in particolare il metodo idrochimico, il metodo piezometrico e la tomografia elettrica. Tali metodiche, tuttavia, non danno indicazioni numeriche sui flussi idrici.

III.3.4.1.1 - METODO IDROCHIMICO

Al fine di indagare le caratteristiche chimiche delle acque superficiali e sotterranee in prossimità dell'area di indagine sono stati prelevati complessivamente cinque campioni d'acqua nel settembre 2010.

In Fig. III.86 sono riportate le ubicazioni dei prelievi dei campioni di cui due da pozzi (1, 2), due dal canale (3, 4) ed uno dal Torrente Gesso (5) all'altezza della presa del canale. Si è potuto procedere così con l'esecuzione dell'analisi idrochimica dell'acqua presso il Laboratorio di Idrochimica del Dipartimento Scienze della Terra. I parametri valutati per ogni campione sono stati il pH, la conducibilità elettrolitica, l'alcalinità, espressa dalla quantità di HCO_3^- in soluzione, il contenuto di Calcio e Magnesio, il contenuto di Sodio e Potassio, il contenuto di Cloruri, Nitrati e Solfati. Nella Tabella III.17 si riportano i risultati ottenuti dall'analisi.

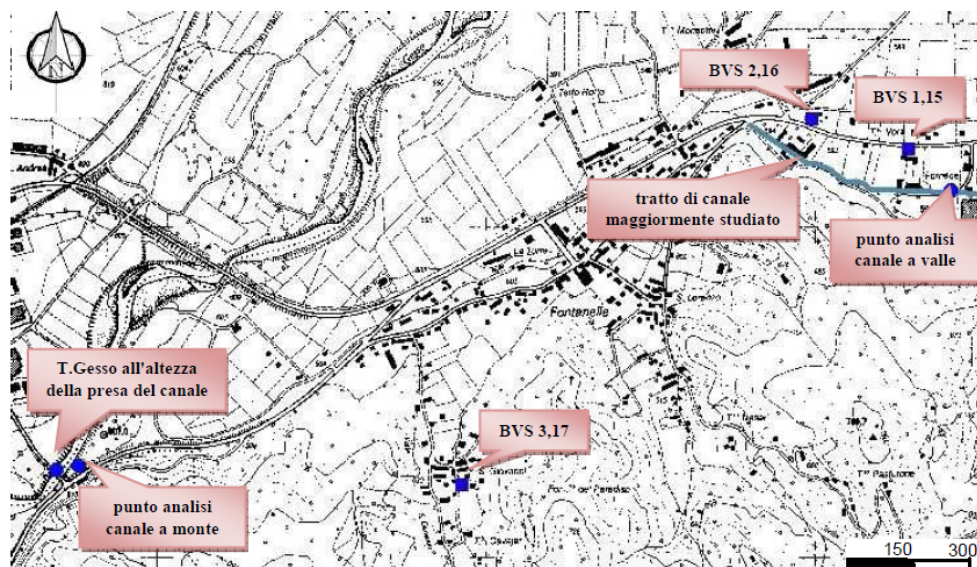


Figura III.86. Stralcio alla scala 1:15,000 della carta CTR con ubicazione di pozzi (quadrati) e punti fiume (pallini).

Dipartimento di Scienze della Terra Laboratorio di Idrochimica Analisi chimica e Bilancio Ionico								
sigla campione	data	località	UTM x	UTM y	pH	cond microSiemens	Na ⁺ mg/l	Na ⁺ meq/l
1	21/9/10	Boves	383592	4910252	7,26	142	1,68	0,07
2	21/9/10	Boves	383338	4910419	7,17	254	1,95	0,08
3	21/9/10	Boves	381977	4909404	6,97	258	3,61	0,16
4	21/9/10	Boves	380778	4909401	7,40	140	1,68	0,07
5	21/9/10	Boves	380762	4909448	7,88	262	3,11	0,14
sigla campione	K ⁺ mg/l	K ⁺ meq/l	Ca ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ meq/l	Li ⁺ mg/l	Li ⁺ meq/l
1	0,73	0,02	23,744	1,18720	13,92	0,23	-	-
2	0,77	0,02	46,112	2,30560	23,328	0,39	-	-
3	2,05	0,05	43,104	2,15520	21,888	0,36	-	-
4	0,68	0,02	22,784	1,13920	13,728	0,23	-	-
5	0,99	0,03	45,312	2,26560	18,912	0,32	-	-
sigla campione	NH ₄ ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ meq/l	Cl ⁻ mg/l	Cl ⁻ meq/l	F ⁻ mg/l	F ⁻ meq/l	Br ⁻ mg/l	Br ⁻ meq/l
1	1,33	0,07	0,7	0,02	0,07	0,0037	-	-
2	-	-	0,15	0,00	0,041	0,0022	-	-
3	0,056	0,00	4,61	0,14	0,03	0,0016	-	-
4	0,03	0,00	0,77	0,02	0,07	0,0037	-	-
5	0,117	0,01	4,403	0,13	0,059	0,0031	0,047	-
sigla campione	HCO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ meq/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ meq/l	% errore	
1	55,51	0,91	20,367	0,42	1,33	0,02	-4,7	
2	130,54	2,14	21,63	0,45	3,04	0,05	-2,8	
3	114,68	1,88	13,68	0,28	12,54	0,20	-4,3	
4	50,386	0,826	22,35	0,47	1,54	0,02	-4,2	
5	87,84	1,44	47,804	1,00	1,305	0,02	-2,9	

Tabella III.17. Risultati delle analisi idrochimiche svolte in laboratorio.

Nel Settembre 2010 è stata eseguita una seconda campagna di misura in situ di pH e Conducibilità elettrolitica in due pozzi in frazione Fontanelle e in uno in frazione San Giovanni (Fig. III.86). Per quanto riguarda le misure di conducibilità elettrolitica realizzate nel canale si è osservata una sostanziale costanza nei valori, con variazioni di pochi $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a monte del tratto $170 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $174 \mu\text{S}/\text{cm}$ a valle). I campioni prelevati dai pozzi presentano, invece, conducibilità più elevate rispetto a quelle del canale (290 e $315 \mu\text{S}/\text{cm}$). Infine, è stata effettuata una valutazione della conducibilità elettrolitica su un campione

proveniente dal Torrente Gesso all'altezza della presa del canale; il valore ottenuto ($320 \mu\text{S}/\text{cm}$), più simile alle acque di falda, mostra una grande variazione rispetto a quella del canale, di cui è la fonte d'acqua, probabilmente per effetto della velocità di flusso della corrente.

Dalla rappresentazione del diagramma di Piper (Fig. III.87) si ricava l'appartenenza di tutti i cinque campioni alla facies idrochimica delle acque bicarbonato calciche-magnesiache, tipica di acque sotterranee superficiali, fredde e relativamente recenti, ricche in ioni calcio e bicarbonato. In particolare, si può apprezzare come l'acqua del campione prelevato dal Torrente Gesso risulti, sul diagramma di Piper, spostato verso il campo della facies solfato e cloruro calcica e magnesiaca, tipica di acque a contatto con rocce gessose. Questa litologia (Complesso Terrigeno - Evaporitico, appartenente alla Formazione Gessoso - Solfifera), infatti, si riscontra all'interno del bacino di alimentazione del corso d'acqua, come si evince dal nome stesso del corso d'acqua (CIVITA *et al.*, 2000). I campioni prelevati dal canale, derivante dal Torrente Gesso, risultano anch'essi dislocati verso la facies solfato e cloruro calcica e magnesiaca.

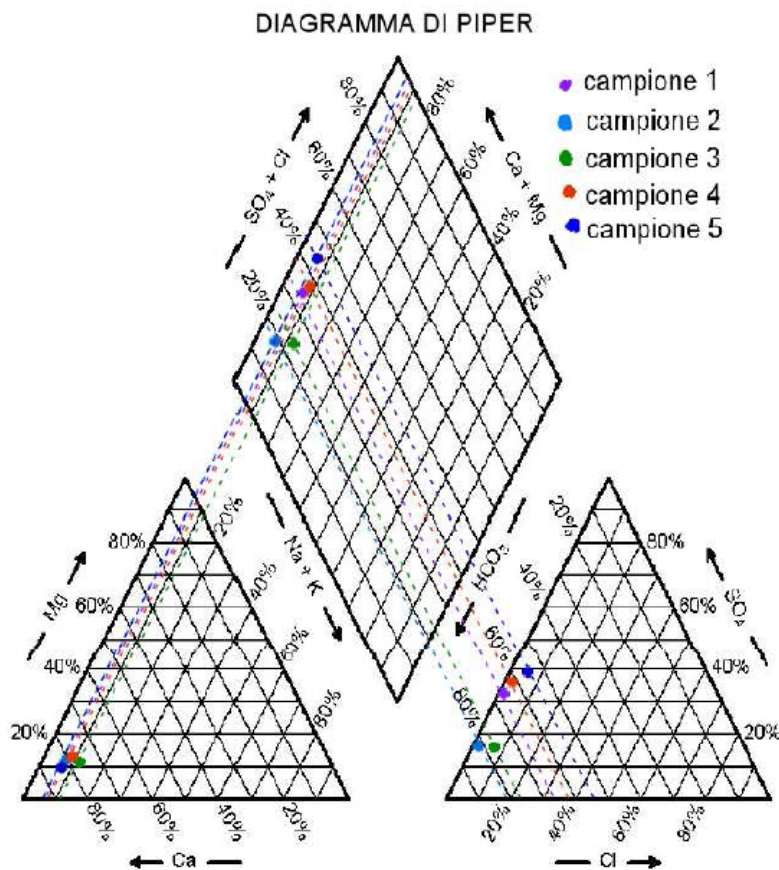


Figura III.87. Rappresentazione delle caratteristiche idrochimiche dei campioni mediante il diagramma di Piper. Campione 1: sezione di canale a valle, presso via S. Martino; campione 2: pozzo BVS1,15; campione 3: pozzo BVS3,17; campione 4: sezione di canale a monte, vicino al punto di presa; campione 5: T. Gesso all'altezza della presa.

Il diagramma di Scholler per i singoli campioni (Fig. III.88), permette invece di osservarne il rapporto caratteristico tra i vari ioni. Dalla forma delle spezzate si può osservare una stretta correlazione tra l'acqua prelevata a monte e a valle del canale, che risulta essere più ricca in solfati nella sezione a monte. Anche le spezzate appartenenti alle acque dei due pozzi analizzati presentano all'incirca la stessa geometria, ma l'acqua del pozzo in Borgata S. Giovanni, risulta avere una concentrazione maggiore per quanto riguarda gli ioni considerati, eccetto gli ioni solfato e bicarbonato.

Infine la curva del campione del Torrente Gesso presenta un andamento leggermente differente rispetto alle altre spezzate, principalmente per via di un picco negativo in corrispondenza del Mg e positivo in corrispondenza dello ione solfato.

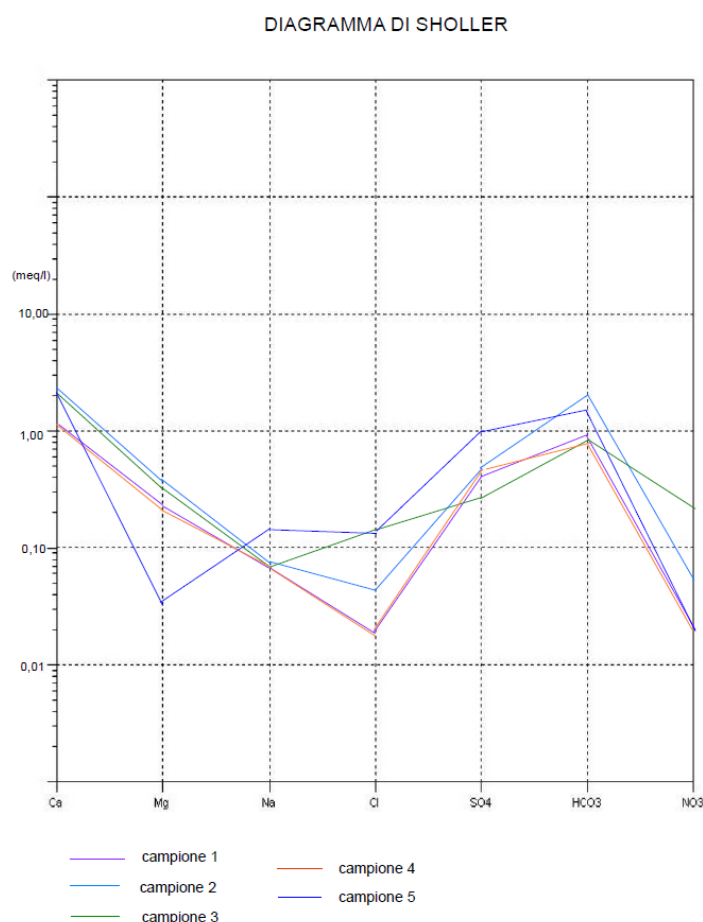


Figura III.88. Rappresentazione grafica delle concentrazioni in meq/l di alcuni ioni, secondo il diagramma di Scholler. C Campione 1: sezione di canale a valle, presso via S. Martino; campione 2: pozzo BVS1,15; campione 3: pozzo BVS3,17; campione 4: sezione di canale a monte, vicino al punto di presa; campione 5: T. Gesso all'altezza della presa.

III.3.4.1.2 - METODO PIEZOMETRICO

Nel Settembre 2010 è stata eseguita una campagna piezometrica in tutta la frazione di Fontanelle, per ottenere i dati necessari alla stesura della carta piezometrica della zona.

Sono stati individuati solamente tre pozzi ancora in uso: due in frazione Fontanelle e uno in frazione San Giovanni (Fig. III.86). In ciascuno di questi pozzi è stata misurata la soggiacenza della falda idrica.

Tali dati sono stati integrati con due livelli di soggiacenza pregressi (Vigna, 2009). L'elaborato ottenuto è riportato nella Figura III.89 ed evidenzia un deflusso della falda idrica a superficie libero verso NE. La carta sembra evidenziare l'assenza di rapporti diretti tra il canale e la falda idrica. Tuttavia la carenza di dati puntuali non consente una valutazione completa del fenomeno.

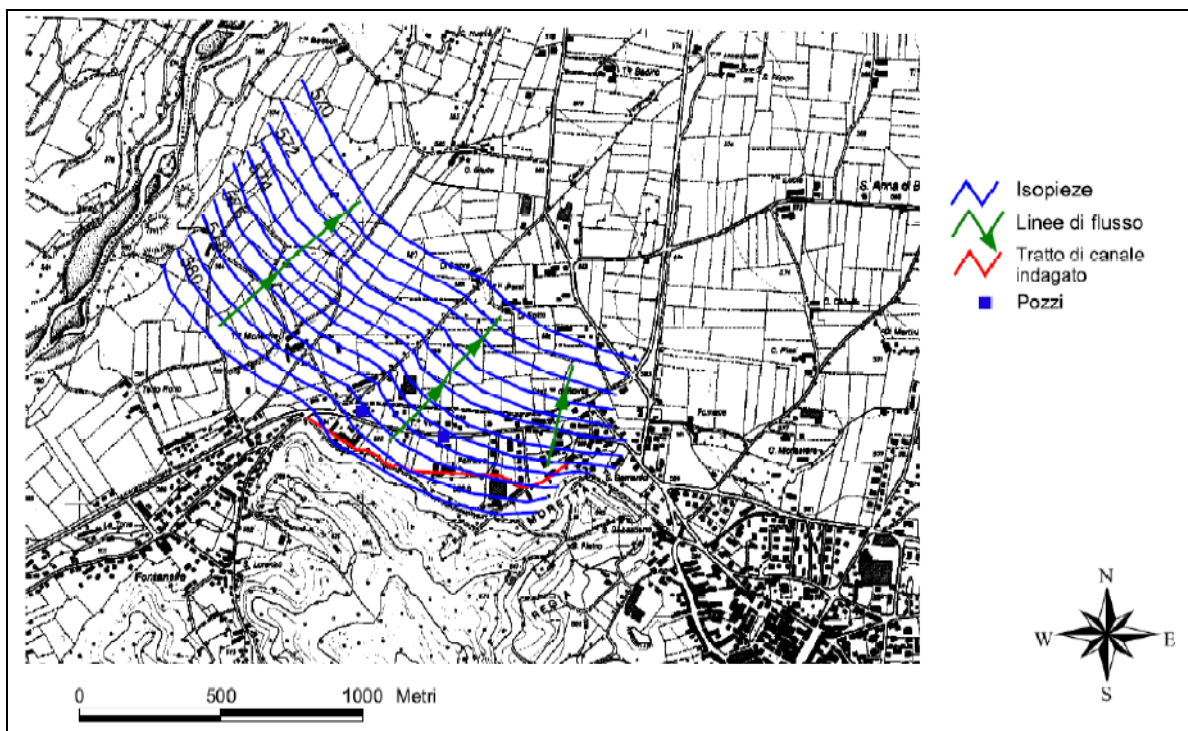


Figura III.89. Carta piezometrica della falda superficiale dell'area di studio (Settembre 2010).

Nel Maggio 2010 sono stati realizzati 6 micropiezometri profondi 2,5 m con disposizione trasversale al canale al fine di individuare con precisione l'andamento a piccola scala del flusso sotterraneo tra acque superficiali e falda in corrispondenza dell'opera idraulica. Dal monitoraggio della soggiacenza della falda all'interno dei micropiezometri è stato possibile evincere un maggior carico idraulico dell'acqua del canale rispetto a quella risalita all'interno dei micropiezometri (Fig. III.90). Si può dunque ipotizzare una condizione di alimentazione locale della falda da parte del canale.

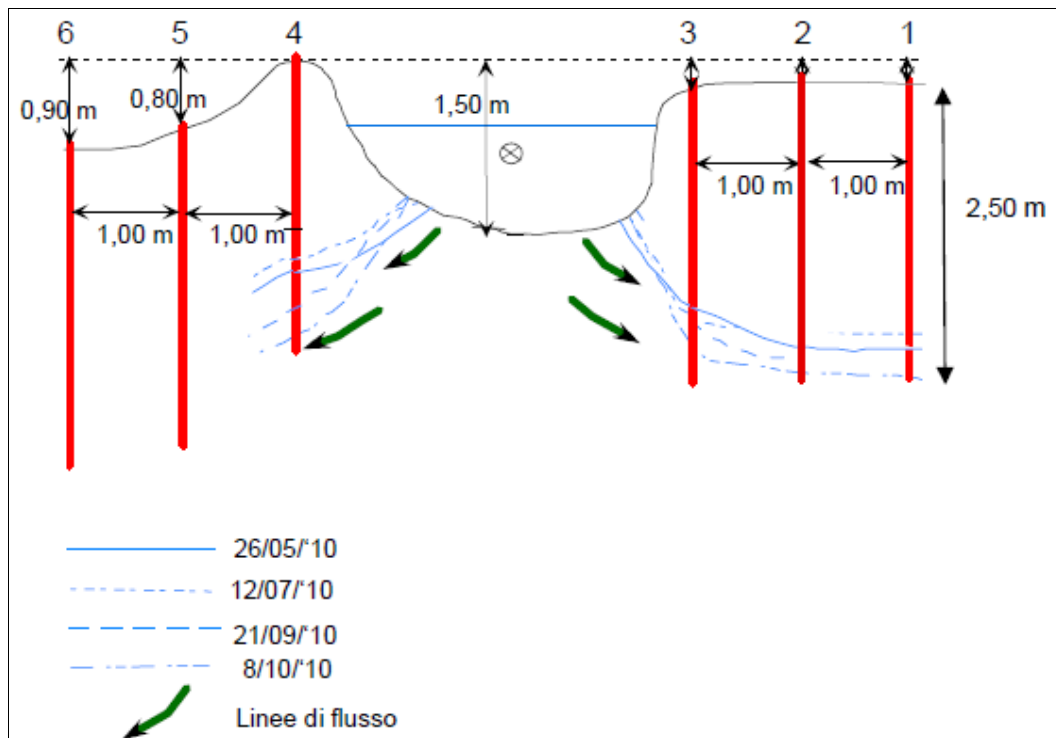


Figura III.90. Ricostruzione grafica dell'ubicazione dei micropiezometri (in rosso) e dell'andamento della soggiacenza.

III.3.4.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nello studio è stata eseguita una tomografia elettrica (Fig. III.91) al fine di indagare la struttura resistiva del terreno e mettere in evidenza i contrasti di resistività elettrica connessi alla natura del terreno e al contenuto in acqua.

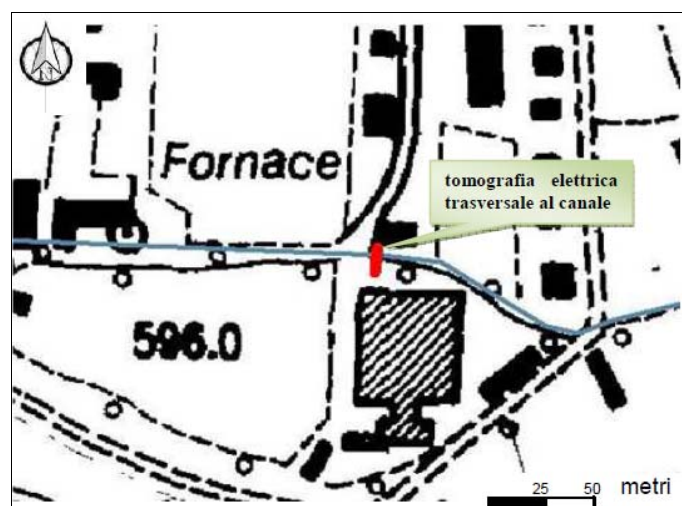


Figura III.91. Ubicazione della tomografia elettrica (traccia rossa) perpendicolare al canale (traccia azzurra).

In particolare, il 12/07/10 la tomografia è stata eseguita tramite uno stendimento di 16 elettrodi (Fig. III.92), a distanza interelettrodica di 5 m (lunghezza totale stendimento: 80 m), disposti in linea retta secondo la disposizione Wenner – Shlumberger. I dati ottenuti sono riferiti a una profondità massima, circa al centro del canale, di 16 m (Fig. III.93)).



Figura III.92. Particolare della tomografia elettrica eseguita perpendicolarmente al corso del canale.

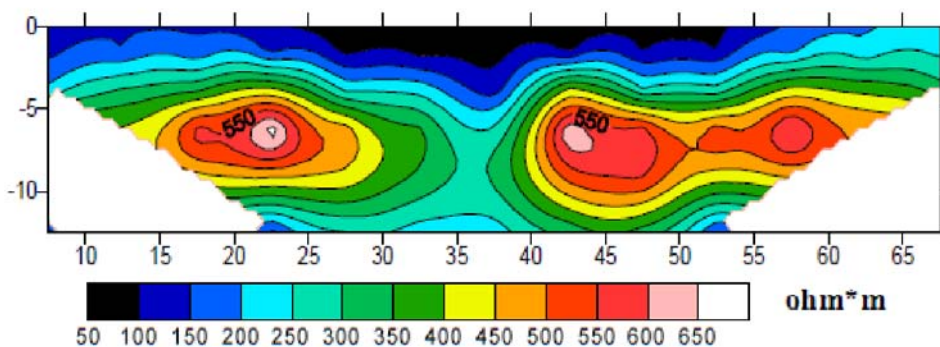


Figura III.93. Tomografia elettrica trasversale al canale.

La tomografia rileva chiaramente la presenza di una massa d'acqua che dal canale diparte per infiltrazione verso la falda (aree a bassa resistività), inoltre è osservabile uno strato a granulometria fine debolmente resistivo potente circa un metro direttamente sotto al piano campagna. Più in profondità la tomografia rivela la presenza di un potente strato ghiaioso - sabbioso. Sono da notare infine i tre picchi di resistività a profondità di circa 6 m. Il tali settori sono stati in passato realizzati degli scavi, successivamente colmati da materiale poco addensato dalla bassissima resistività.

III.3.4.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per il naviglio di Boves è stato possibile valutare le perdite, da un punto di vista quantitativo, sia mediante l'applicazione di formule empiriche, sia attraverso la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico, il metodo con doppio tracciante e il metodo con tracciante e mulinello.

III.3.4.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le indagini di terreno svolte durante diverse campagne di misura per la misura della portata del canale. Tali indagini sono essenziali e propedeutiche per la successiva valutazione delle perdite.

III.3.4.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

Prova 1 (maggio 2010)

Nel maggio 2010 è stata effettuata una campagna di misura delle portate con il correntometro (Fig. III.95) al fine di valutare la validità della strumentazione e quantificare eventuali perdite o guadagni del canale. In Figura III.94 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le sezioni utilizzate (misure effettuate nel tratto di monte e valle).

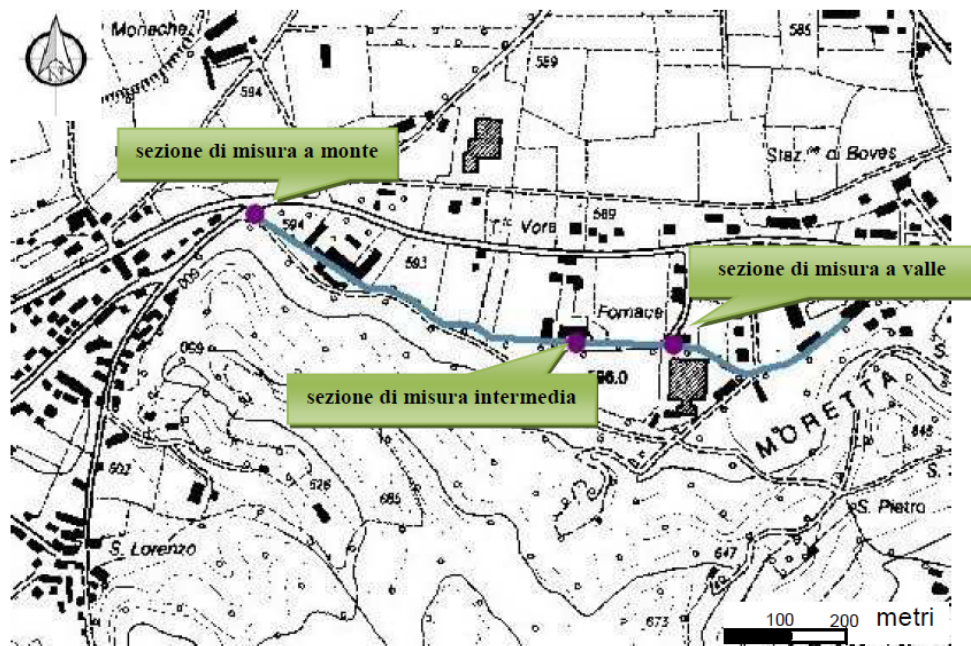


Figura III.94. Tratto indagato di Boves (Loc. Fontanelle, CN) con evidenziate le sezioni di misura per la campagna di maggio 2010.

Le caratteristiche della sezione di monte sono le seguenti:

- larghezza alveo: 280 cm;
- numero di conci: 5;
- larghezza concio: 60 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 30, 75, e 110 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 3.03 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di valle sono le seguenti:

- larghezza alveo: 315 cm;
- numero di conci: 6;
- larghezza concio: 50 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 12 cm e 48 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.98 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura III.95. Fotografia del mulinello in azione lungo la sezione intermedia del tratto di canale indagato.

Prova 2 (luglio 2011)

Il Naviglio di Boves è stato oggetto di un'altra campagna di misurazioni il giorno 07/07/2011; in tale data sono state realizzate, nel tratto di canale compreso tra i punti A e C (Figura III.96), misure di portata con mulinello idrometrico nei punti A e B.

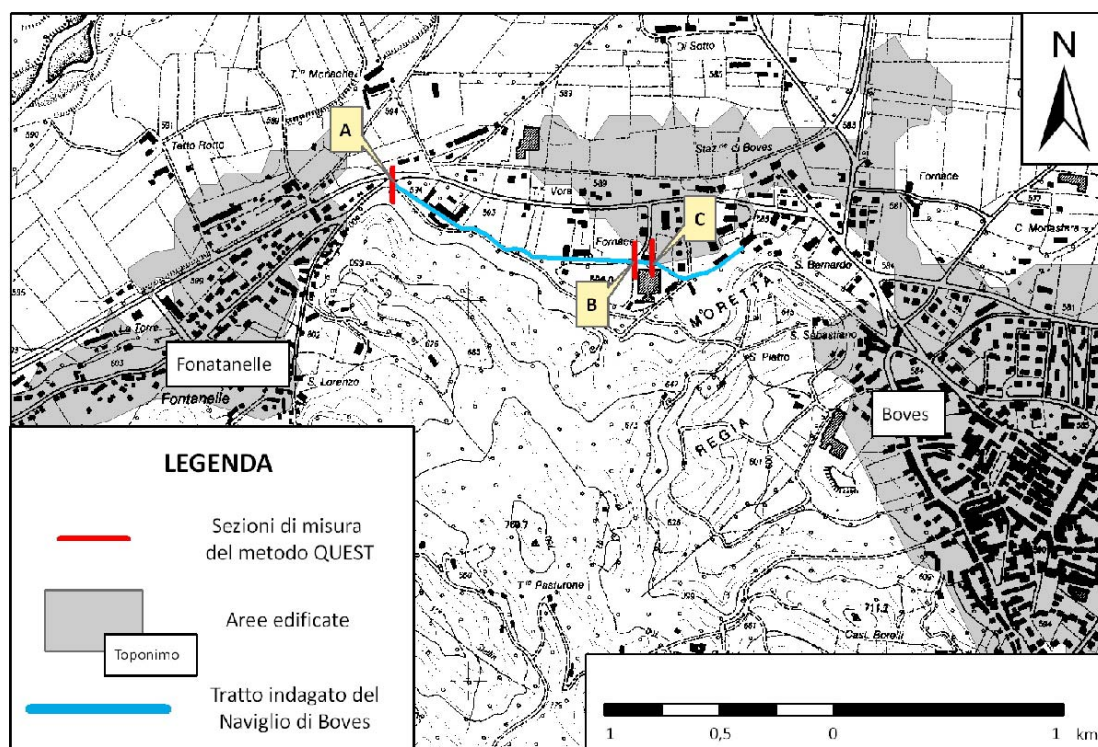


Figura III.96. Tratto indagato di Boves (Loc. Fontanelle, CN) con evidenziate le sezioni di misura per la campagna di luglio 2011.

Al fine di validare le analisi effettuate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

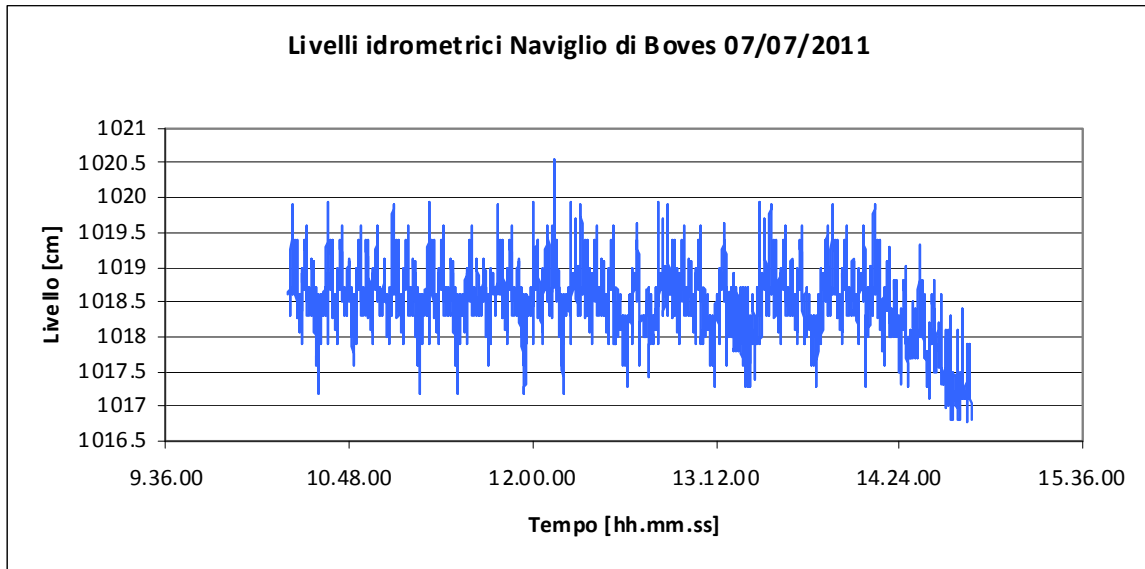


Figura III.97. Grafico delle oscillazioni dei livelli idrometrici del Naviglio di Boves.

Dall'idrogramma in Figura III.97, relativo al monitoraggio dei livelli idrici in data 07/07/2011, si evince una sostanziale costanza nell'altezza del pelo libero dell'acqua durante la realizzazione delle prove. La prova è durata dalle h 10:20 alle 10:45, intervallo temporale in cui l'idrogramma non evidenzia variazioni di rilievo del livello tali da influenzare il risultato ottenuto.

La prova è avvenuta contemporaneamente nelle sezioni A e B indicate in Figura III.97.

Le caratteristiche della sezione A sono le seguenti:

- larghezza alveo: 269 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 269 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 28, 70 e 98 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.39 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione B sono le seguenti:

- larghezza alveo: 320 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 32 cm;

- profondità di misura del livello idrico: 15 cm e 60 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 3.05 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.3.4.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

Il 26 maggio 2010 è stata effettuata una prova di portata con galleggianti su un tratto di canale posto nelle porzioni di valle del settore indagato presso via San Martino (Tab. III.18); la sezione indagata per la misura di portata ha lunghezza pari a 30 metri.

Mediante opportuna correzione delle velocità (valore medio 1,31 m/s) la portata ottenuta con questo metodo è risultata essere di $2,24 \text{ m}^3/\text{s}$.

PROVA	TEMPO (s)	VELOCITÀ MEDIA (M/s)
1	22.1	1.36
2	23.1	1.30
3	21.0	1.43
4	23.0	1.30
5	23.1	1.30
6	29.0	1.03
7	22.8	1.32
8	22.0	1.36
9	21.8	1.38
10	22.2	1.35

Tabella III.18. Tempi di percorrenza dei vari galleggianti.

III.3.4.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Nel luglio 2010 è stata effettuata una misura di portata del canale con il metodo del tracciamento salino nel tratto di canale BC (Fig. III.98).

Per l'indagine sono stati immessi a slug 20 kg di NaCl, rilevati mediante sistema di multicampionamento con intervallo di 3 secondi.

Il valore di portata calcolato è pari a $3.11 \text{ m}^3/\text{s}$.

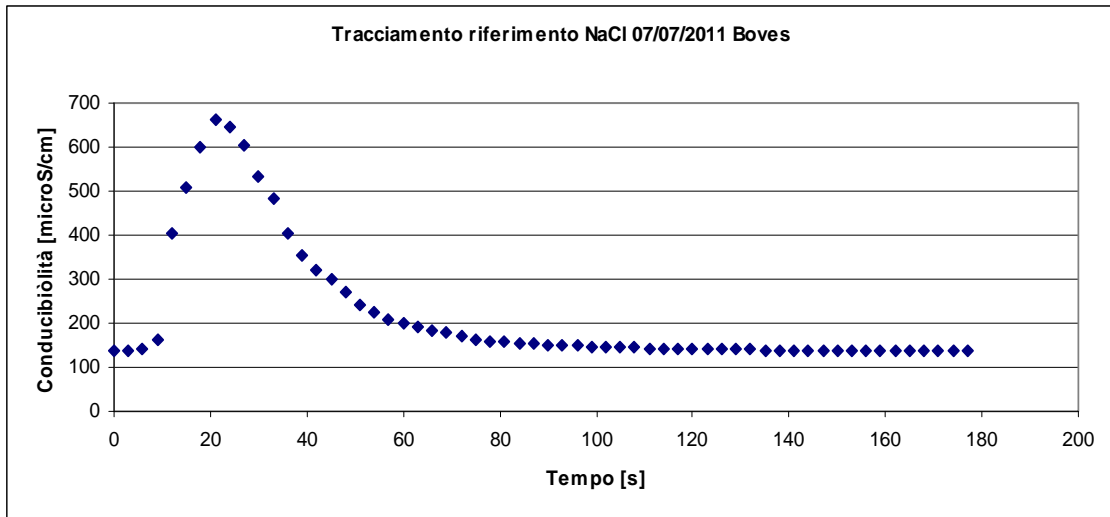


Figura III.98. Curva ottenuta con i dati misurati con il conducimetro.

La retta di taratura utilizzata per l'elaborazione dei dati è riportata in Figura III.99.

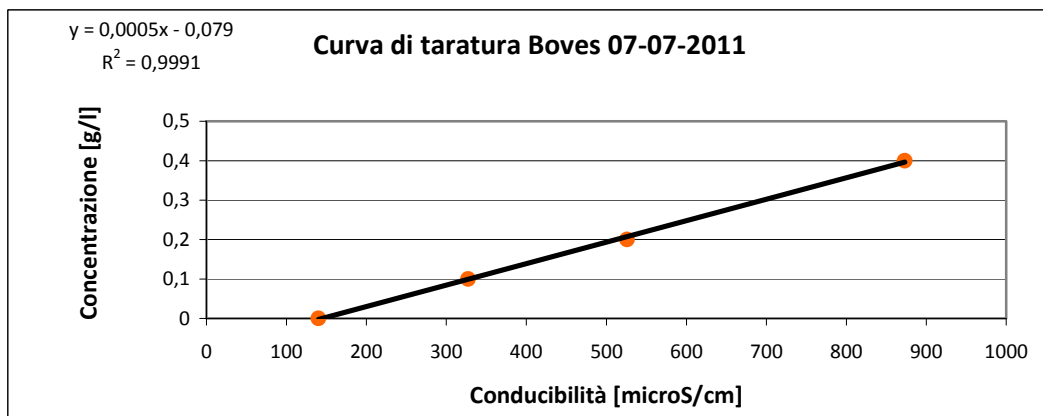


Figura III.99. Retta di taratura.

III.3.4.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Sul tratto di canale indagato sono state applicate le diverse formulazioni empiriche descritte nel capitolo II (Davis & Wilson, 1967; Doorenbos, 1963; Lotti, 1974 e U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando un alveo naturale in terreno limoso-sabbioso ($K=15$), lungo 130 metri, un perimetro bagnato di 4.87 metri, una velocità media dell'acqua pari a 1.16 m/s, un livello dell'acqua di 0,73 m, una portata di 2.67 m³/s, una k pari a 15 (per la formulazione di Davis e Wilson), una C pari 0,002 (per la formulazione di Doorenbos) ed una C di 0,80 (per la Formulazione della U.S. Bureau of Reclamation) è stato possibile valutare i valori di perdita descritti nella Tabella III.19.

U.D.M.	Davis & Wilson	Doorenbos	Lotti	U.S. Bureau of Reclamation
m ³ /s	0.001	0.001	0.002	6,4*10 ⁻⁵
m ³ /giorno * m ²	0.136	0.136	0.273	0.008
l/giorno	86400	86400	172800	5530

Tabella III.19. Riassunto dei risultati ottenuti con i vari metodi empirici di calcolo delle perdite.

Si può notare come i risultati previsti dai vari metodi di calcolo per le perdite siano numericamente variabili, tranne per i primi tre che non si discostano di molto. Si tratta, in ogni caso, di portate con ordini di grandezza inferiori alla precisione dei risultati ottenuti con le metodologie utilizzate per le indagini dirette.

III.3.4.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Nel seguito vengono riportati i risultati dell'applicazione di alcune metodiche volte a definire le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati e di valutare alcuni parametri degli stessi. Tali dati sono a supporto delle metodiche empiriche utilizzate per la valutazione delle perdite.

III.3.4.2.2.1.1 - ANALISI GRANULOMETRICA

In data 8/10/10 è stato campionato il fondo del canale in secca, nel tratto di alveo naturale. I campioni, relativi alla matrice del livello a tessitura grossolana dell'alveo e il sottostante livello più fine, sono stati successivamente sottoposti ad un'analisi granulometrica, volta a fornire una stima quantitativa delle dimensioni dei granuli.

La matrice del **terreno di fondo del canale**, secondo la classificazione AGI (1977), corrisponde a una ghiaia sabbiosa (Fig. III.100)

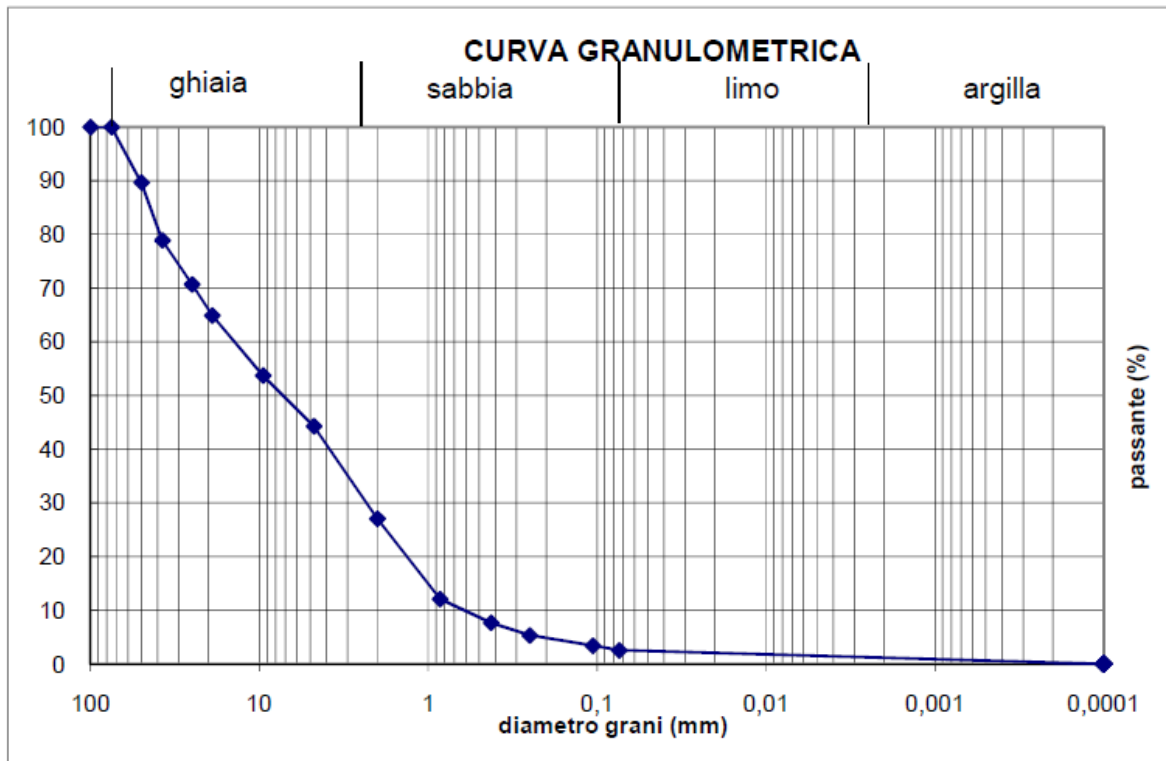


Figura III.100. Granulometria della matrice del terreno di fondo del canale.

Il campione più fine, invece, corrisponde a una sabbia debolmente argillosa con limo (Fig. III.101).

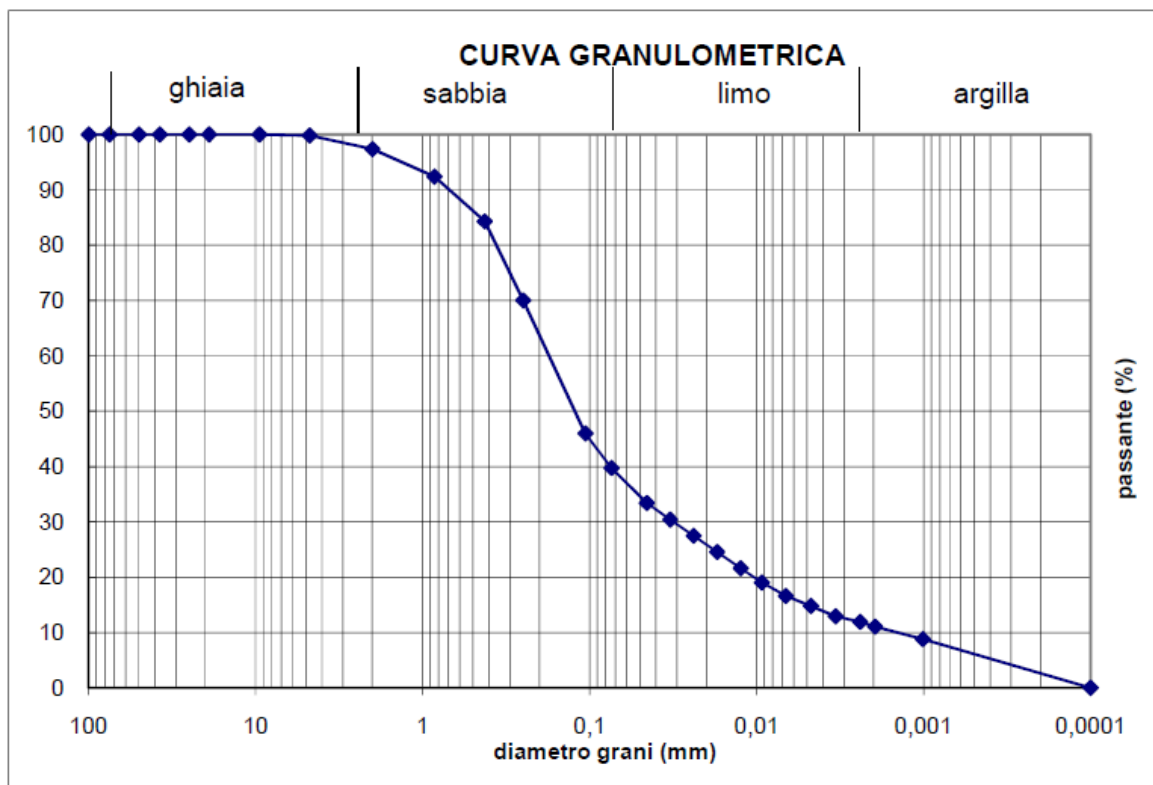


Figura III.101. Granulometria sul campione prelevato dal sottostante livello a tessitura più fine.

III.3.4.2.2.1.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

La prova infiltrometrica con permeametro Guelph è stata nell'ottobre 2010 per verificare la conducibilità idraulica del suolo nelle immediate vicinanze del canale; l'indagine è stata impostata in sinistra idrografica del canale, nel tratto presso via San Martino (Fig. III.102).

Il valore di conducibilità idraulica (K) relativa al suolo indagato è pari a $6,89 \cdot 10^{-6}$ m/s.

In data 08/10/10 sono state, inoltre, eseguite alcune prove all'interno dell'alveo del canale in secca. Per quanto riguarda la prova infiltrometrica, si è ricorso all'utilizzo di un'asta metrata cava, di volume noto, riempita d'acqua ed infissa nel terreno a battitura fino al livello limoso posto al di sotto dei primi 20 cm di alveo caratterizzati da ciottoli.



Figura III.102. Fotografia dell'esecuzione di una prova infiltrometrica sul fondo canale a canale secco.

Dall'osservazione della variazione del livello dell'acqua nel tempo (valutata in 4 mm ogni 90 minuti) si può dedurre la scarsa permeabilità del fondo alveo del canale. Il livello limoso a bassa permeabilità, presente lungo tutto il tratto indagato e anche a lato del canale (da osservazioni delle prove penetrometriche, cfr. paragrafo II.2.2.5.3) presenta una conducibilità idraulica pari a $4,14 \cdot 10^{-6}$ m/s.

III.3.4.2.2.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE

Nel Maggio 2010 Sono state eseguite tre prove sul lato destro e tre sul lato sinistro del canale.



Fig. III.103. Esecuzione di una prova penetrometrica lungo la sponda destra del canale.

Di seguito sono riportate le rappresentazioni grafiche dei risultati di ognuna delle sei prove penetrometriche eseguite lungo le sponde del Naviglio (Fig. III 104, 105 e 106).

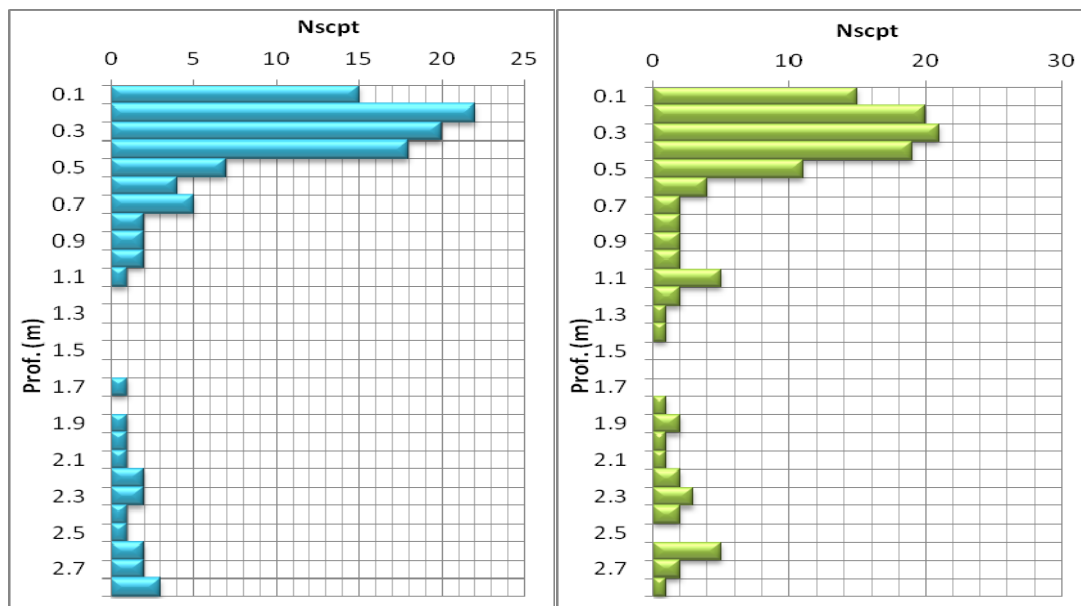


Fig. III.104. Prove penetrometriche 1 e 2.

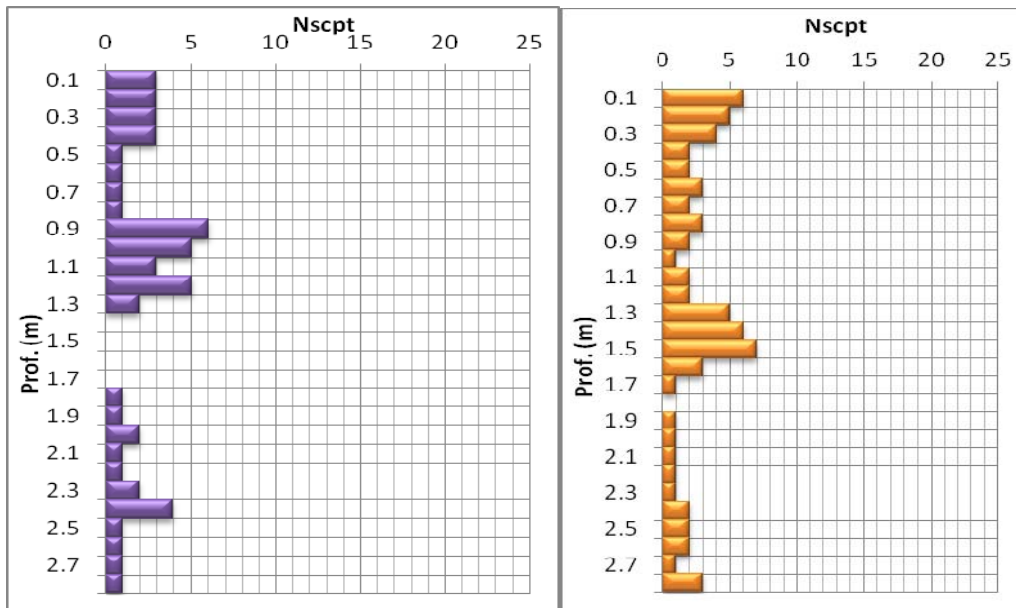


Fig. III.105. Prove penetrometriche 3 e 4.

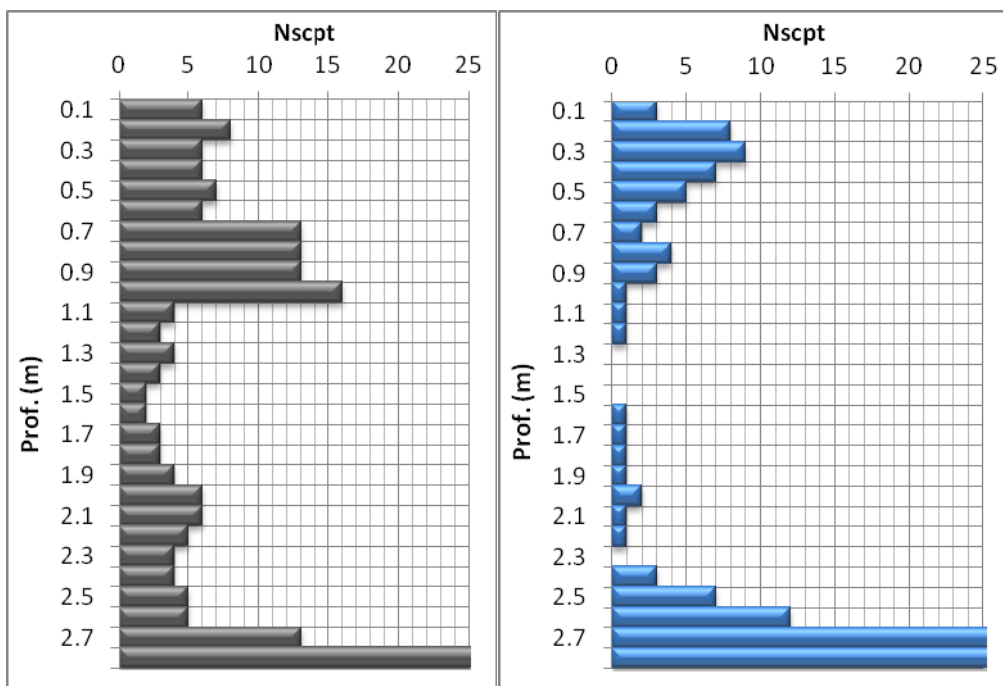


Fig. III.106. Prove penetrometriche 5 e 6.

Dai risultati delle varie prove penetrometriche lungo le sponde si osserva un primo livello con resistenza a penetrazione medio-alto. A profondità tra 1-1,50 m la resistenza a penetrazione scende velocemente, si tratta probabilmente di lenti d'argilla. Infine a profondità tra i 2 e i 4 m la resistenza a penetrazione del terreno aumenta gradualmente, probabilmente per via del passaggio dal materasso alluvionale al substrato roccioso.

E' interessante come anche le prove eseguite all'interno dell'alveo registrino la presenza di un livello argilloso, che risulta correlabile in quanto compare già nei primi centimetri di profondità, essendo il fondo dell'alveo a circa 1,50 m di quota inferiore rispetto alle sponde.

L'argilla così individuata è stata inoltre osservata all'estrazione delle aste e in scavi successivi all'interno dell'alveo.

Nel Dicembre 2010 sono state eseguite due prove penetrometriche nell'alveo del canale in secca (Fig. III.107). La granulometria elevata del fondo dell'alveo ha impedito la realizzazione della prova.



Figura. III.107. Esecuzione della prova penetrometrica all'interno del canale secco.

III.3.4.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

III.3.4.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO

Nel Maggio 2010 e Luglio 2011 sono state effettuate due campagne di misure differenziali di portata mediante mulinello idrometrico al fine di quantificare eventuali perdite o guadagni del canale.

Nel maggio 2011 i valori di portata delle sezioni di monte e valle presentano valori simili (rispettivamente $3,03 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2,98 \text{ m}^3/\text{s}$), testimoniando una debole perdita di portata di entità ampiamente inferiore alla precisione dello strumento ($0,05 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nella prova di Luglio 2011 i valori di portata ottenuti sono rispettivamente $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione di monte e $3,05 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione di valle, corrispondenti a un guadagno pari a $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$ (27,6 %).

III.3.4.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE

Nel luglio 2011 è stato applicato il Metodo del doppio tracciante nel tratto di indagine AC del Naviglio di Boves (Fig. III.108) mediante l'uso della Rhodamina WT, della fluoresceina e del NaCl.

La Fluoresceina e la Rhodamina WT sono state utilizzate come tracciante indicatore nel tratto AB (Fig. III.108). Per l'indagine con la Rhodamina sono stati immessi a slug 25 grammi di soluzione al 20 %, rilevati mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi (Tab. III.20). La portata ottenuta con la Rhodamina è pari a $2,94 \text{ m}^3/\text{s}$

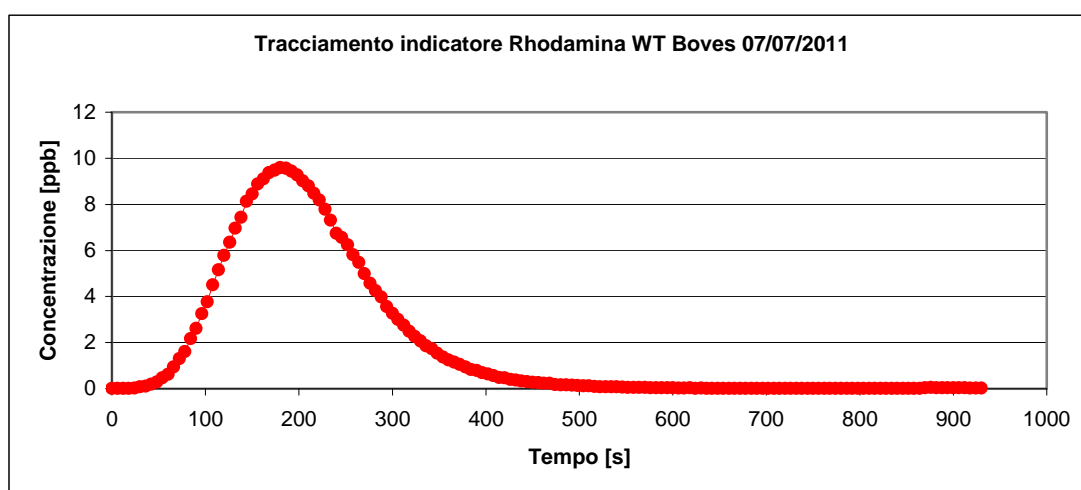


Figura III.108. Curva rappresentativa del plume di rhodamina WT per il calcolo della portata nel tratto AB.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	13:14
Ora fine picco	13:28
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	5g
Portata	2,94 m³/s

Tabella III.20. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Rhodamina WT per il calcolo della portata nel tratto AB.

Per l'indagine con la Fluoresceina sono stati immessi a slug 15 grammi di polvere, rilevati mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi (Tab. III.21). La portata ottenuta con la Fluoresceina è pari a 4.77 m³/s.

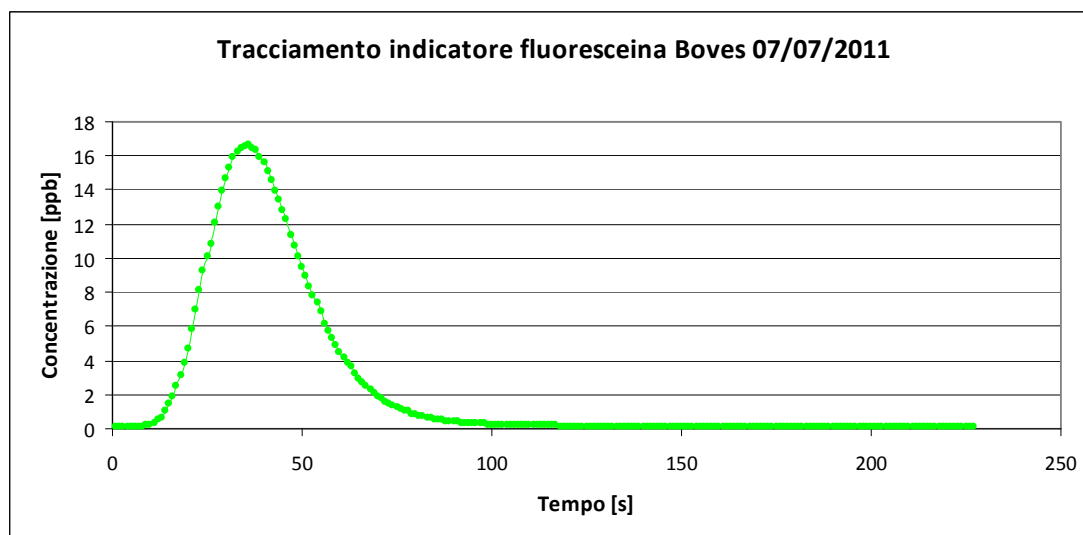


Figura III.109. Curva rappresentativa del plume di Fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	13:49
Ora fine picco	14:04
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	15g
Portata	4.77 m³/s

Tabella III.21. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

L'indagine con la Fluoresceina non è risultata valida. L'errore nella misura può trovare giustificazione nella non completa miscelazione del tracciante nel canale. Questo, infatti, presenta un grande volume d'acqua che nella porzione a monte dal tratto AB è contraddistinta da basse velocità. Queste condizioni risultano sfavorevoli al miscelamento completo di un tracciante in stato di polvere.

Il Cloruro di Sodio, invece, è stato impiegato come tracciante di riferimento nel tratto BC (cfr. paragrafo II.2.1.1.3 portata con sale). La portata ottenuta con l'NaCl è pari a $3.11 \text{ m}^3/\text{s}$.

In base al metodo del doppio tracciante il tratto AB risulta avere un guadagno idrico del 22,1 %, pari a $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore è stato ottenuto utilizzando la Rhodamina WT come tracciante indicatore.

III.3.4.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

E' stata inoltre applicato il Metodo con tracciante e mulinello, utilizzando la misura di portata con Rhodamina WT del luglio 2011 e la misura di portata con mulinello idrometrico della stessa campagna di misura, eseguita nel punto B (Fig. III.96).

Secondo tale metodo, è possibile valutare un guadagno idrico del 23,5 %, pari a $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.4 - NAVIGLIO DI BRA 177

Il Naviglio di Bra ha un bacino di 41.9 km² e scorre in alveo naturale. Tale corso d'acqua, derivante dal Torrente Stura di Demonte, termina al confine nord del comune di Bra, in corrispondenza della confluenza con il Rio Ripoglia. Secondo PEISINO et al. (2005) la portata che giunge in tale sezione risulta quasi dimezzata rispetto a quella di monte, a causa dell'elevato numero di derivazioni distribuite lungo il percorso. Le principali sono quelle alimentanti i rii Colorè, Rittana e Caudano-Prarassi.

III.4.1 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

III.4.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è situata nella zona centro-occidentale del Piemonte, all'interno della Provincia di Cuneo, in un settore di territorio afferente alla pianura alluvionale cuneese. Tale area si estende per una superficie di circa 13 km² nei territori del comune di Fossano: Bastita, Murazzo, San Sebastiano (Fig. III.110).

A livello cartografico il territorio risulta compreso entro le sezioni n° 209080 "Centallo", n° 210050 "S. Albano Stura", n° 209120 "Rua Boerino" e n° 210090 "Ceriolo" della Carta Tecnica della Regione Piemonte in scala 1: 10.000.

La pianura alluvionale cuneese, estesa circa 1000 km², è delimitata a Est dai rilievi collinari delle Langhe e del Roero, a Sud dalle Alpi Liguri, a Ovest dalle Alpi Occidentali e a Nord si raccorda nella piana del Fiume Po. Tale area è divisa morfologicamente in due settori principali dal Torrente Stura di Demonte, che scorre profondamente incassato con andamento all'incirca SO-NE; il torrente incide sia i depositi quaternari che quelli più antichi tra le quote 386 e 250 m s.l.m. circa, con una pendenza media compresa tra 1 ÷ 0,2 %.

Il settore in destra idrografica, debolmente inclinato verso N-E, è caratterizzato da profonde incisioni fluviali (Torrenti Pesio, Gesso, Ellero, Pogliola e Mondalavia) che lo suddividono in ulteriori elementi, alcuni dei quali completamente isolati. La piana in sinistra idrografica del Torrente Stura, blandamente ascendente verso N-E, è costituita da una pianura solcata dai Torrenti Maira, Grana-Mellea e Varaita. Generalmente tali corsi d'acqua sono poco approfonditi, ad eccezione del T. Maira, che nella parte alta della pianura presenta più ordini di terrazzi.

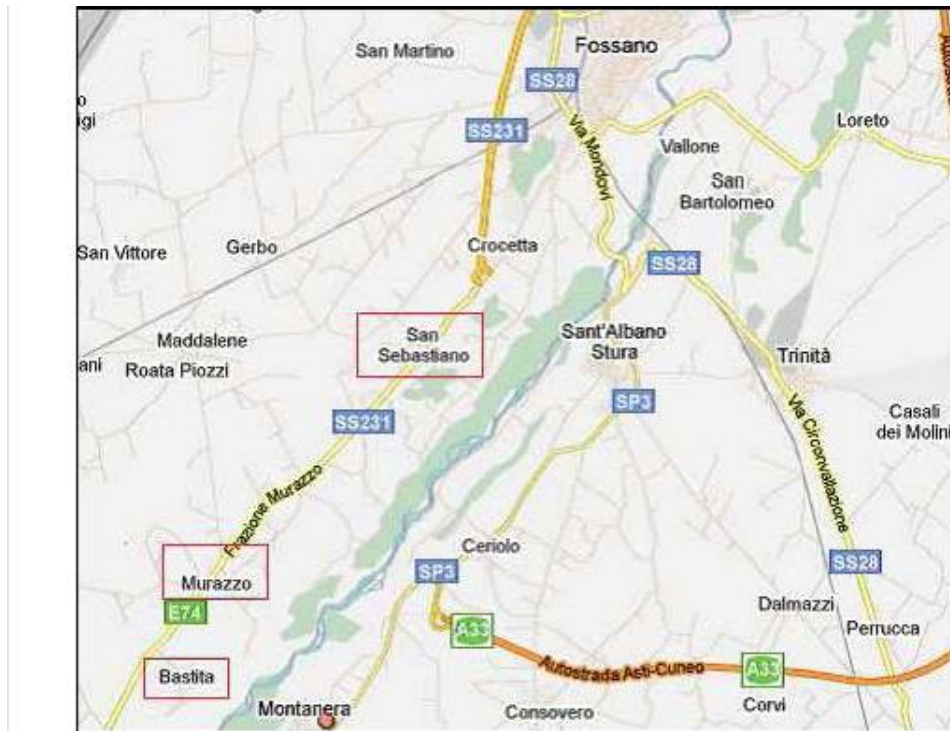


Figura III.110. Ubicazione geografica dell'area studiata (Google Earth (2010) –modif.).

L'idrografia minore incide in modo marcato i terreni quaternari e terziari con *thalweg* incassati di alcuni metri rispetto ai depositi descritti. Associato all'idrografia minore vi è il Naviglio di Bra, presente in tutto il territorio comunale e oggetto di studio (Fig. III.111).

I caratteri morfologici del territorio descritto appaiono controllati in modo sostanziale dai processi geomorfologici che hanno agito nel tempo.

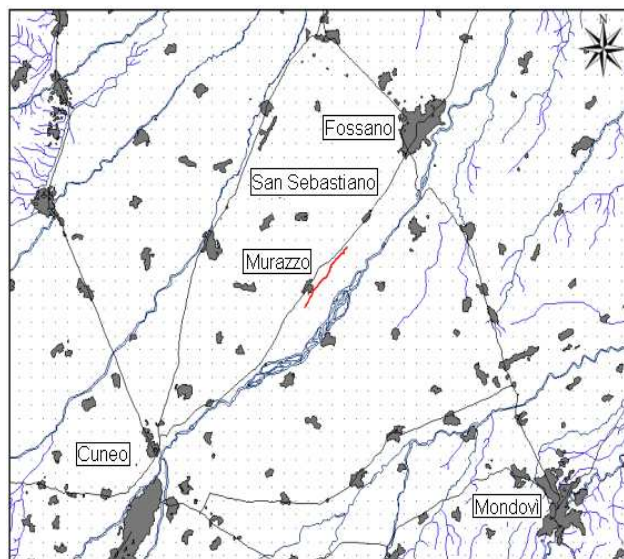


Figura III.111. Inquadramento dell'idrografia principale e secondaria (scala 1:150000): in blu scuro marcato sono rappresentati i corsi d'acqua principali, in blu meno marcato i corsi d'acqua secondari, in rosso la traccia del canale del Naviglio di Bra, in nero le strade statali, in grigio i limiti comunali (da Carta Tecnica Regionale della Regione Piemonte – modif.).

III.4.1.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La conformazione geologica del territorio comunale di Fossano (CN) è stata dedotta procedendo con la consultazione iniziale di alcuni lavori eseguiti nella zona oggetto di studio, tra i quali il Foglio 80 (Cuneo) alla scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia, elaborato sulla base degli studi di SACCO et al. (1931), integrato da notizie derivanti da pubblicazioni inerenti l'area e da informazioni raccolte tramite rilievi diretti di terreno, svolti nell'estate 2010.

L'area risulta collocata, da un punto di vista paleogeografico, all'interno del Bacino Terziario Piemontese (B.T.P.), il cui dominio tettono-stratigrafico, costituito da successioni sedimentarie oligocenico-plioceniche, è il risultato dell'evoluzione tettonica post-eocenica del *thrust* sud-padano, che appartiene alla placca superiore del sistema orogenico alpino (ROURE et al., 1990). Tale dominio maschera, a livello superficiale, le strutture Nord vergenti del *thrust* sudpadano nel quale sono inglobate le unità alpine, liguridi e lo stesso Bacino Terziario Piemontese.

L'evoluzione tettonica è inquadrabile nelle fasi di formazione della catena neo-alpina, la quale ha controllato l'evoluzione sedimentaria del B.T.P., che può essere suddiviso in alcune unità tettono-stratigrafiche principali: Langhe, Collina di Torino, Monferrato, Alto Monferrato, Borbera-Grue, bacini pliocenici di Savigliano e di Alessandria (GELATI & GNACCOLINI, 1988).

A tale dominio paleogeografico (B.T.P.) appartiene un complesso di sedimenti molassici terziari, testimonianza dell'ultima regressione marina del cosiddetto Golfo di Cuneo, che ha originato una caratteristica sequenza deposizionale, costituita da una successione di rocce sedimentarie terrigene, provenienti dallo smantellamento del settore occidentale della Catena Alpina.

La presenza di corsi d'acqua neoformati durante il Pleistocene ha contribuito, in associazione con la regressione marina che ha interessato il Golfo di Cuneo nel Pliocene, all'evoluzione geologica dell'area, dove in prossimità delle coste iniziarono a depositare sabbie grossolane e ghiaie; i successivi cicli erosionali e deposizionali fluvioglaciali durante l'Olocene provocarono, inoltre, la deviazione dei corsi d'acqua principali.

Nel Quaternario, la pianura cuneese fu soggetta alla deposizione di una coltre alluvionale, costituita da elementi differenti a seconda della zona interessata dal fenomeno:

- depositi fluviali sabbioso-limosi nel settore orientale, provenienti dalla Collina di Torino e i rilievi collinari delle Langhe;
- depositi fluviali prevalentemente grossolani del settore occidentale, provenienti dallo smantellamento delle Alpi.

A causa dell'azione erosiva del Torrente Stura di Demonte e dei suoi tributari, anomala rispetto a

quella di altri corsi d'acqua che scorrono nella pianura (Torrenti Maira, Grana-Mellea, Varaita e Fiume Po), si sono sviluppate particolari condizioni morfologiche dell'area (SACCO, 1917). Ciò è da attribuire alla fase di fortissimo ringiovanimento del reticolo idrografico, in seguito al fenomeno di cattura del Fiume Tanaro nei pressi di Bra, avvenuta tra 75.000 e 125.000 anni fa nell'interglaciale Riss-Wurm (Fig. III.112).

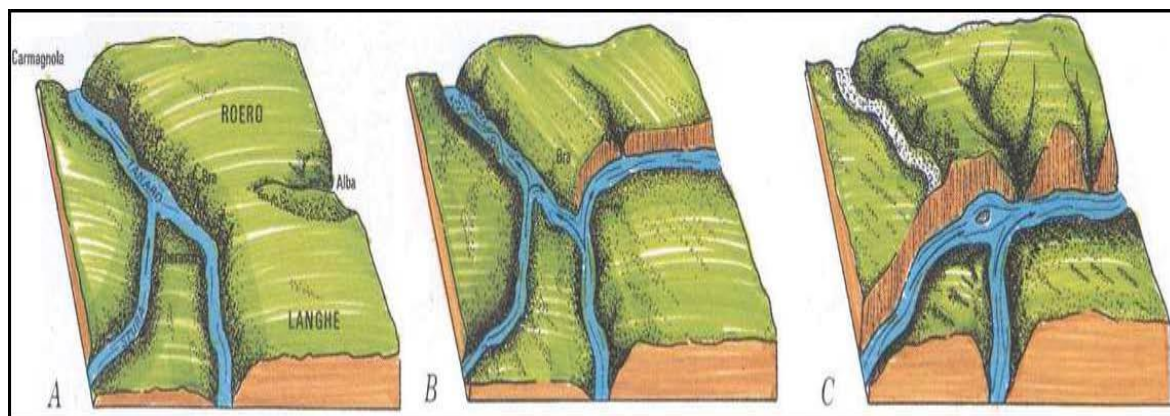


Figura III.112. Evoluzione del Paleotanaro sino all'attuale andamento dopo la cattura fluviale (da sito della rete museale del Roero e Monferrato).

La conseguenza di tale avvenimento fu l'abbassamento del livello di base, dall'antica confluenza nel Fiume Po presso Carmagnola (200 m s.l.m.) all'attuale di Valenza (80 m s.l.m.). I processi che hanno determinato la deviazione del Fiume Tanaro sono molteplici e tra questi sono stati determinanti:

- l'erosione laterale verso est del fiume stesso, incrementata dallo Stura di Demonte, all'altezza di Cherasco;
- la cattura effettuata da un corso d'acqua che drenava i rilievi dell'astigiano;
- i fattori tettonici, come conseguenza dell'anticlinale di Fossano.

Il Torrente Stura di Demonte è, quindi, l'artefice della profonda incisione e dell'intenso terrazzamento della valle principale, mentre ai tributari laterali si deve l'isolamento dei successivi piani terrazzati in promontori per lo più allungati perpendicolarmente all'asse della valle stessa.

Infine, il sistema di terrazzi di origine erosivo-alluvionale è da ricondurre, oltre al processo di ringiovanimento iniziato in seguito alla cattura del Fiume Tanaro, ai probabili sollevamenti sequenziali che avrebbero interessato la zona di raccordo tra la Pianura Cuneese e le colline delle Langhe (CARRARO et al., 1978).

Riguardo la sequenza deposizionale affiorante nell'area di studio, essa risulta costituita dalle seguenti formazioni (riportate dalla più recente alla più antica):

- **ALLUVIONI RECENTI:** Alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose recenti o costituenti le aree tuttora inondabili (Olocene superiore-recente). In carta tali depositi alluvionali sono stati

riportati con la sigla A2 e si rinvencono esclusivamente all'interno dell'alveo attuale del Torrente Stura di Demonte (Fig. III.113).

- **ALLUVIONI ANTICHE:** Alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose debolmente alterate, costituenti più livelli terrazzati, attualmente non più inondabili (Olocene medio). Tali depositi sono il risultato di una serie di intensi fenomeni di approfondimento del Torrente Stura e successiva sedimentazione di un'esigua coltre di materiali alluvionali. Sulla carta sono stati identificati con la sigla A1 ed affiorano all'interno dell'incisione fluviale prodotta del Torrente Stura, in posizione altimetricamente più elevata rispetto agli attuali depositi alluvionali recenti (Fig. III.113).
- **COMPLESSO DEI SEDIMENTI IN FACIES VILAFRANCHIANA:** Ghiaie e sabbie a stratificazione lenticolare con alternanze argillose, con locali intercalazioni di ghiaie cementate e sabbie ghiaiose debolmente cementate presenti in lenti (Pliocene superiore). Si tratta di depositi fluvio-lacustri, ricchi in fossili. In carta tali sedimenti vengono identificati con la sigla PI4, secondo SACCO (1931), ma non sono stati riconosciuti segni evidenti della loro presenza (Fig. III.113).

CARTA GEOLOGICA

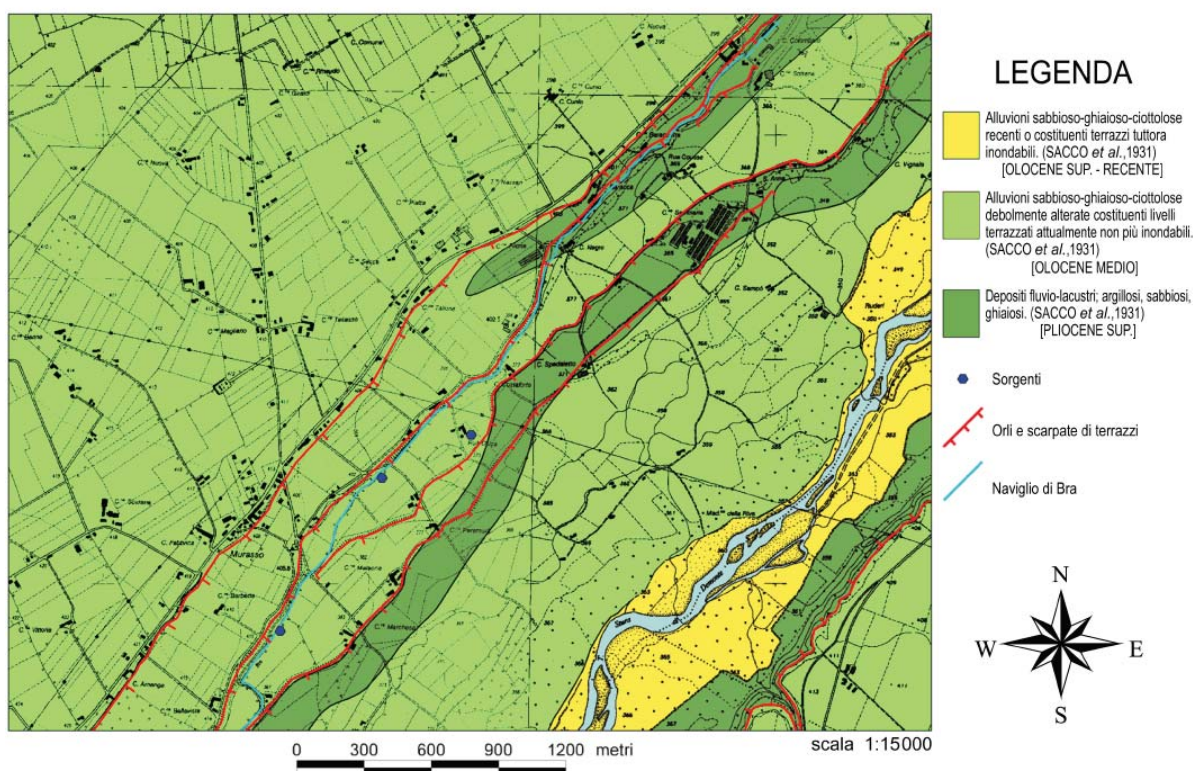


Figura III.113. Carta geologica a scala 1:15.000 rielaborata dell'area (da Sacco et al., 1931)

III.4.1.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

Secondo AA.VV. (2005) l'assetto idrogeologico regionale è individuato da sei Serie Idrogeologiche, differenziate per ambiente deposizionale e per età (Fig. III.114):

- Serie dei Depositi Continentali (Olocene – Pleistocene inf.);
- Serie dei Depositi di Transizione (Pleistocene inf. - Pliocene medio);
- Serie dei Depositi Marini Pliocenici (Pliocene);
- Serie dei Depositi Prepliocenici del Bacino Terziario Piemontese (Pliocene inf.- Oligocene);
- Serie dei Complessi Sedimentari dei Rilievi Alpino e Appenninico (pre - Miocene);
- Serie dei Complessi Cristallini del Rilievo Alpino.

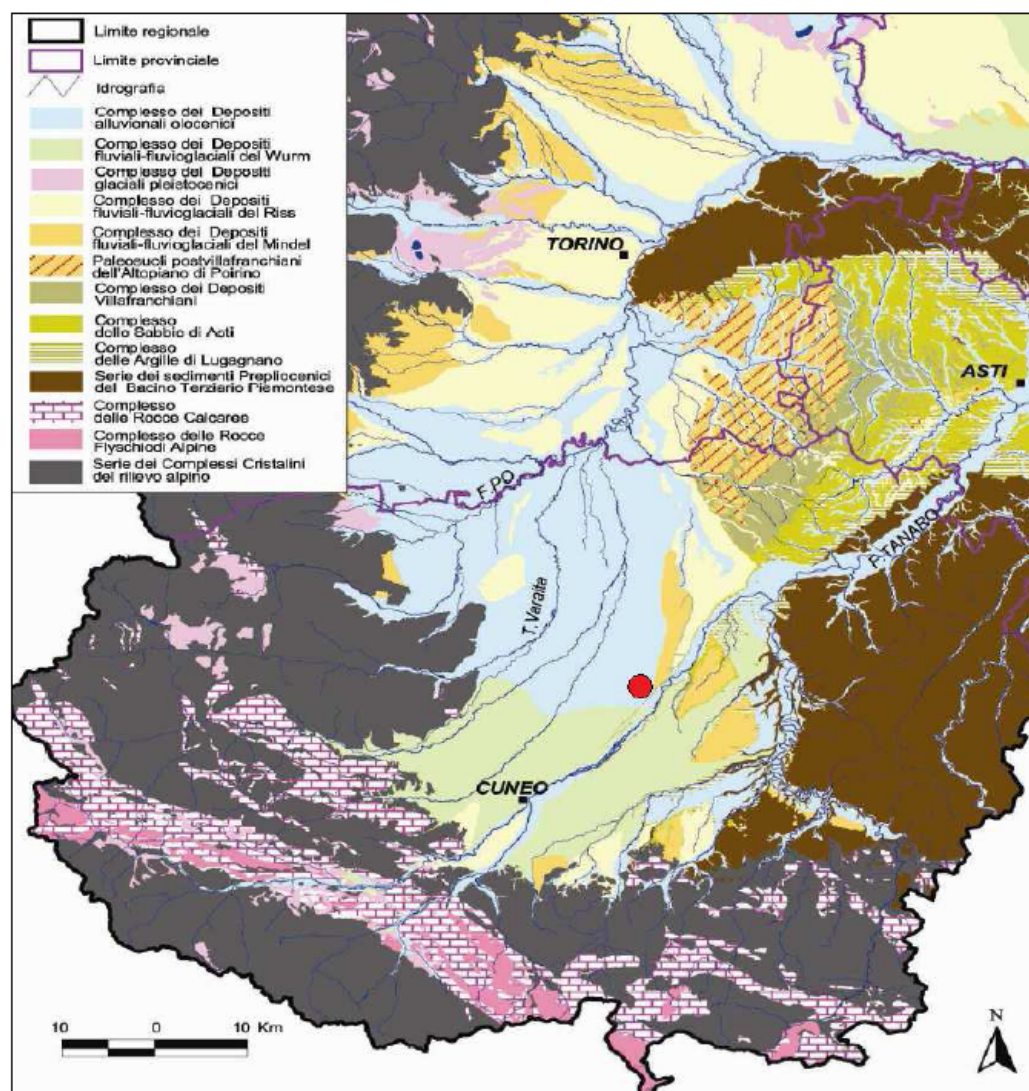


Figura III.114. Stralcio della Carta dei Complessi Idrogeologici del Piemonte con ubicazione dell'area di studio (da DE LUCA et al., 2004 – modif.).

Dall'analisi dei lavori pregressi effettuati nell'area oggetto di studio, si riconoscono, per il settore esaminato, i seguenti complessi alluvionali ospitanti diverse tipologie di acquifero:

- **Complesso dei Depositi Alluvionali Olocenici (Serie dei depositi continentali):** ospita i cosiddetti sistemi acquiferi di fondovalle, originati dalle ultime fasi di sedimentazione lungo il corso meandriforme del Torrente Stura di Demonte. Tali sistemi sono costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi potenti qualche metro, localmente privi di suolo. Gli acquiferi sono caratterizzati da elevata permeabilità, e sono in diretta comunicazione con il corso d'acqua principale.
- **Complesso dei Depositi Fluviali e fluvioglaciali del Riss (Serie dei depositi continentali):** ospita un acquifero definito libero principale (ALP) esteso a tutto il settore di Pianura Principale; tale acquifero è impostato entro sequenze di depositi alluvionali appartenenti all'ambiente deposizionale relativo alla piana alluvionale. Gli spessori dei depositi del complesso Alluvionale Principale variano da 40 a 80 m nella zona apice (zone di Saluzzo, Busca, Caraglio, Borgo S. Dalmazzo), sino a ridursi gradualmente a 4-5 m nella zona più distale di pianura (Marene, Cherasco, Fossano, Magliano Alpi). La litologia del complesso è costituita da ghiaie grossolane con clasti poco alterati ed abbondante matrice sabbioso-limosa (fluvioglaciale e fluviale Riss), coperte da un suolo parzialmente argillificato con spessore medio di 1 metro. L'alimentazione dell'acquifero dipende dal regime delle precipitazioni atmosferiche e dalle perdite dei principali canali irrigui con fondo non impermeabilizzato. Allontanandosi, invece, dalla zona apicale verso le zone più distali, si nota che l'acquifero tende ad alimentare progressivamente i diversi corsi d'acqua attraverso sorgenti e risorgive (CIVITA *et al.*, 2000).
- **Complessi sabbioso-ghiaioso e marnoso-sabbioso (Serie dei depositi di transizione):** ospitano un sistema di acquiferi profondi, talora in pressione; il sistema interessa formazioni di età e caratteristiche diverse, che costituiscono il substrato della pianura, originando altrettanti livelli permeabili sottili e discontinui (anche lentiformi, con spessore fino a 15-20 m), di diversa natura e geometria, ubicati al loro interno. Secondo AA.VV. (2005), *"Questi complessi sono formati da una alternanza di depositi grossolani permeabili e di depositi fini impermeabili, sviluppata su spessori notevoli, anche centinaia di metri"*. Si tratta di sedimenti in facies eteropiche che passano da ambienti continentali a marino-marginali. Il limite superiore del complesso è costituito da evidenti superfici di erosione e da una blanda discordanza angolare, che mettono in contatto il complesso con la serie idrogeologica alluvionale (CIVITA *et al.*, 2000).

L'alimentazione di questi acquiferi è ancora oggi problematica, poiché in parte è legata alle infiltrazioni dell'acquifero libero sovrastante, ma è anche soggetta a notevoli perdite dei corsi d'acqua che attraversano il complesso. Secondo MAFFEO & ANSALDI (1979), gli acquiferi, limitati al tetto ed alla base da livelli argillosi pressoché impermeabili, vengono alimentati da acque sotterranee aventi un percorso lungo e/o lento con portate molto variabili, anche in località assai prossime, con una circolazione idrica avente una direzione di deflusso grossolanamente coincidente con quella della falda più superficiale.

Secondo AA.VV. (2005), l'area in esame, su scala regionale, risulta essere caratterizzata da uno spartiacque con andamento SW-NE determinante nello studio del flusso. Tale situazione è stata riscontrata, inoltre, esaminando altri lavori svolti nell'area oggetto di studio. Confrontando, così, i dati acquisiti durante le indagini con lo schema idrogeologico a scala regionale di CIVITA et al. (2000) si è potuto delineare l'andamento della piezometria a scala locale (Fig. III.115).

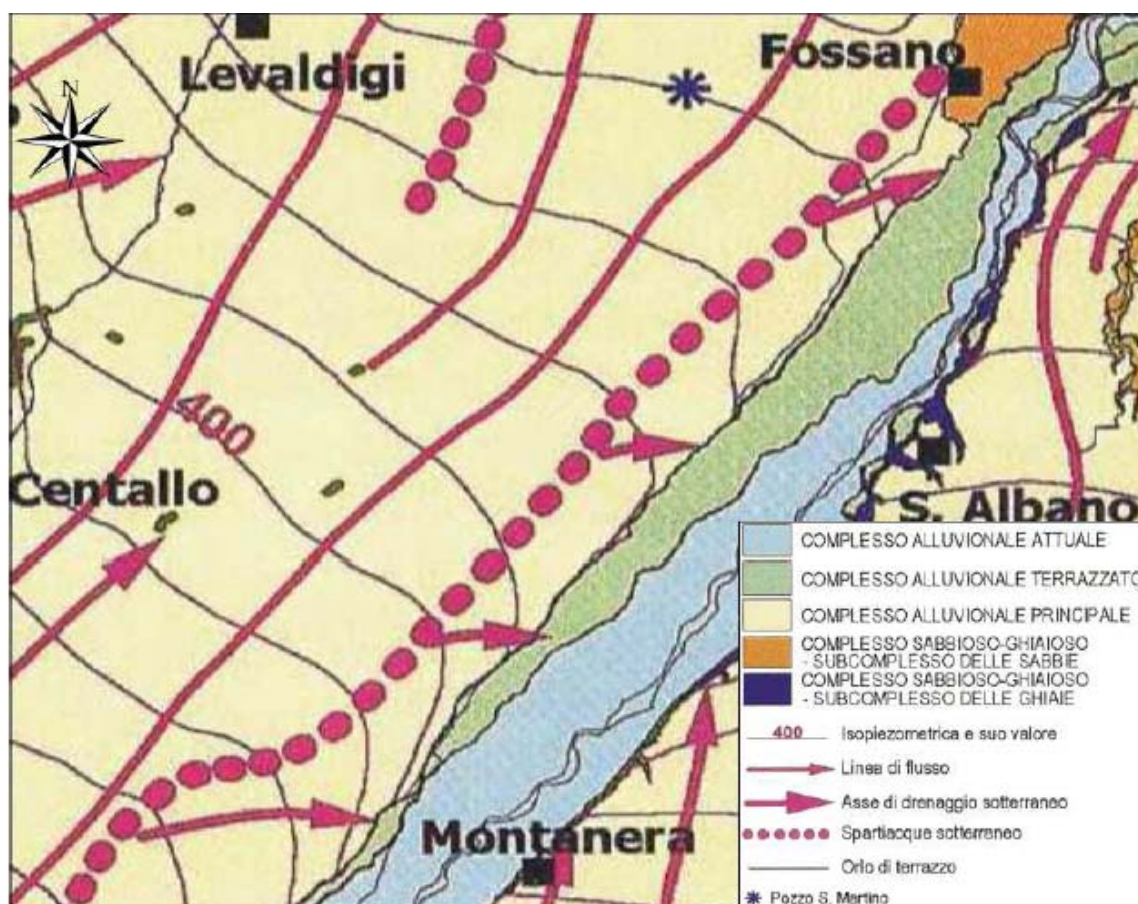


Figura III.115. Stralcio di carta idrogeologica indicante l'andamento del flusso idrico sotterraneo e lo spartiacque alla scala 1:200000 (da CIVITA et al., 2000 – modif).

III.4. 2 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico nell'area studiata è stata effettuata tramite l'utilizzo di stratigrafie di sondaggi o pozzi, provenienti dall'archivio cartaceo del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino. Tale ricostruzione ha portato all'elaborazione di due sezioni geologiche (1-3 e 2-3) (Fig. III.116, 117 e 118).

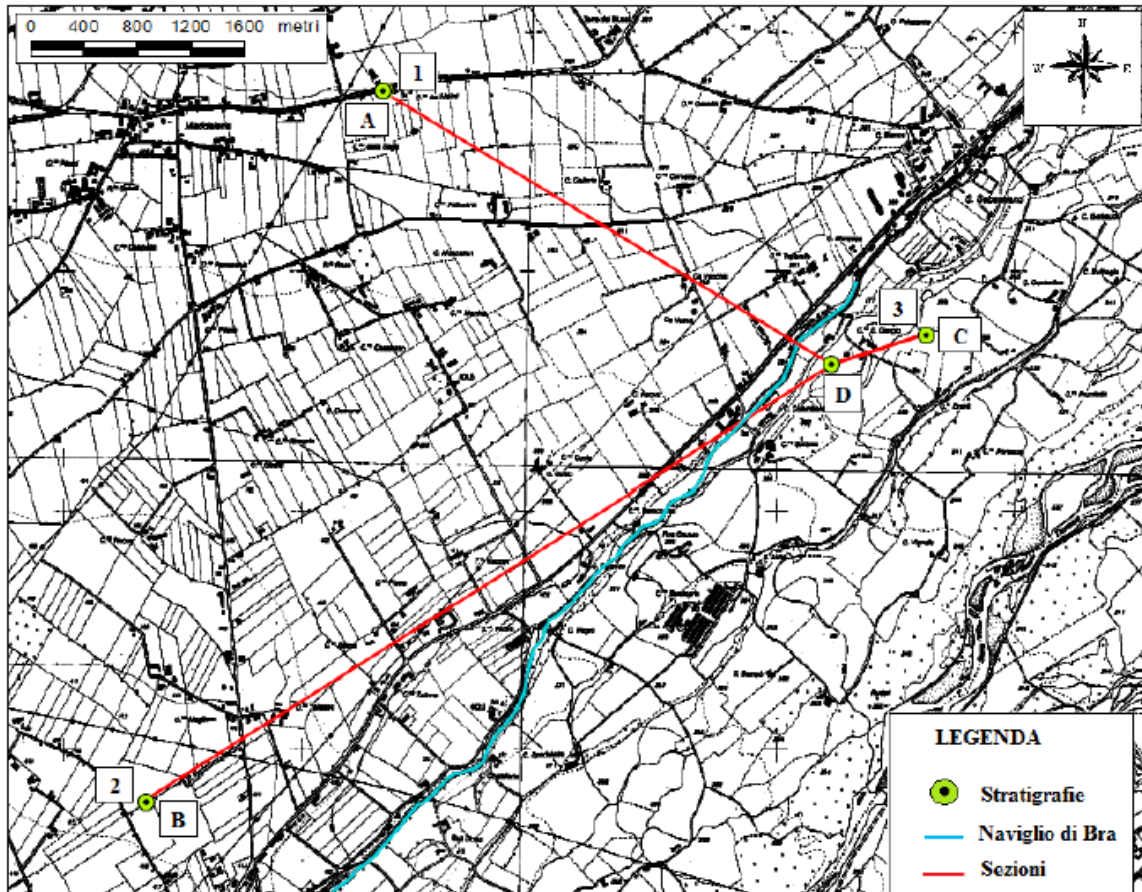
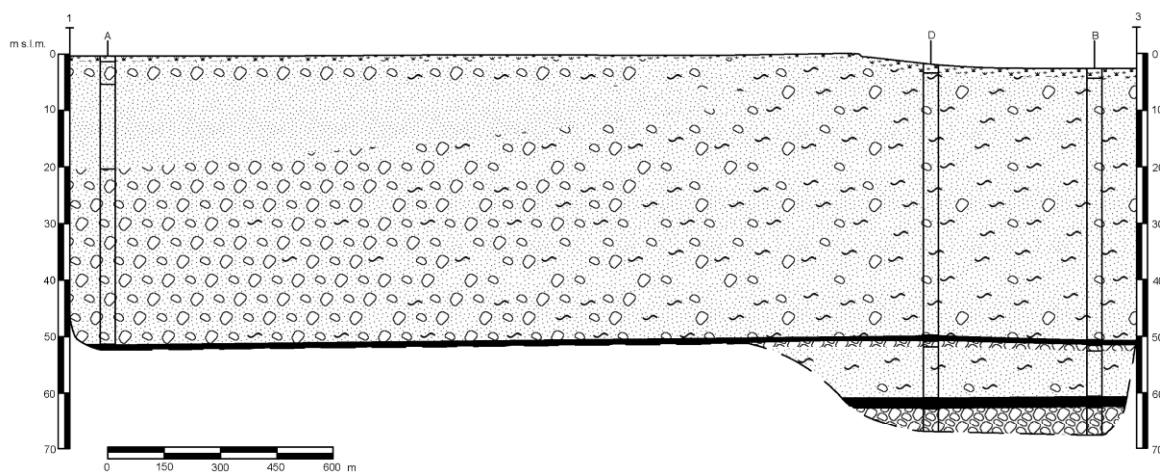


Figura III.116. Tracce dei profili geologici 1-3 e 2-3: in verde sono rappresentate le ubicazioni dei sondaggi di cui si conoscono le stratigrafie, in rosso le tracce dei profili, in azzurro la traccia del Naviglio di Bra.

Nella sezione trasversale al Naviglio di Bra (1-3) si può osservare uno spessore di suolo di circa 1-2 m; scendendo in profondità si riscontra un livello ghiaioso-sabbioso con una potenza circa di 50 m, contenente una lente sabbiosa compatta di circa 15 m, la quale però tende a ridursi drasticamente di granulometria scendendo sui terrazzi alluvionali altimetricamente meno elevati. Ciò è stato interpretato come una possibile alterazione delle ghiaie-sabbiose in sabbie-limose con ghiaie, oppure con la deposizione di un livello più fine da parte del Torrente Stura. Le evidenze di questo fenomeno sono state riscontrate anche nell'elaborazione della tomografia elettrica, svolta all'interno del canale del Naviglio di Bra (vedi pag. 195). Oltre i 50 m di profondità si susseguono alternanze di livelli argillosi e ghiaioso-sabbiosi di spessore variabile dai 3 ai 10 metri.

La sezione longitudinale al canale (2-3) presenta uno spessore di suolo di circa 1,5-2 m uniforme su tutto il tratto; inferiormente vi è un livello ghiaioso-sabbioso di circa 13,5 m che tende a ridursi di potenza, fino a 3-4 m, proseguendo verso l'ubicazione del pozzo "C". Oltre i 15 m di profondità si estende un livello sabbioso-ghiaioso di circa 36 m, il quale tende, come nel caso del profilo trasversale, a ridursi di granulometria scendendo altimetricamente sul terrazzo adiacente. Livelli argillosi e ghiaioso-sabbiosi, infine, si alternano con uno spessore di 3 m e 10 m. Da notare, inoltre, il livello statico della falda nel pozzo "A" ad una profondità di 14 m dal piano campagna.

SEZIONE 1-3



LEGENDA



Figura III.117. Ricostruzione litostratigrafica sul profilo 1-3.

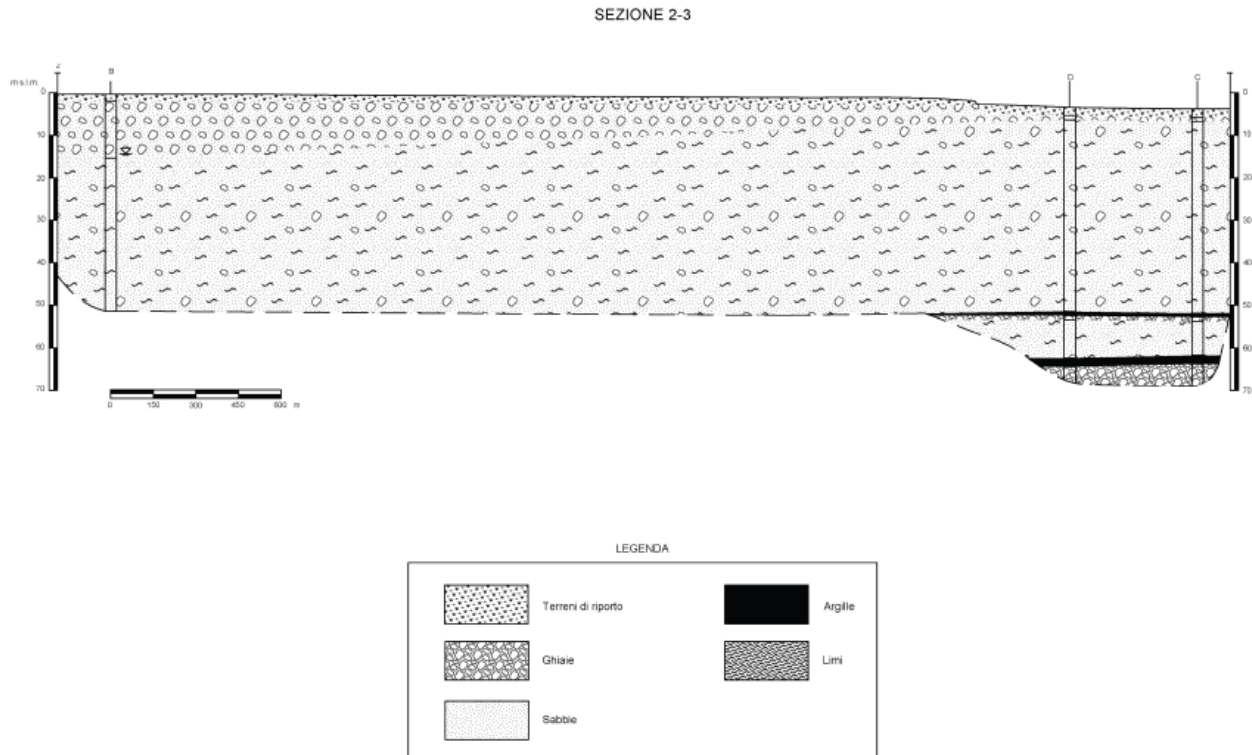


Figura III.118. Ricostruzione litostratigrafica sul profilo 2-3.

III.4.3 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

Le sponde del canale, nel tratto esaminato, sono cementate alternate a tratti naturali (Fig. 3.2). L'indagine di terreno svolta per caratterizzare il Naviglio di Bra, ha permesso la realizzazione di una carta tematica, nella quale sono stati evidenziati i differenti tipi di sponde presenti lungo l'alveo naturale del canale oggetto di studio (Fig. III.119).



Figura III.119. Sponde del canale: alla destra è visibile la parte cementata, alla sinistra la parte naturale.

Rilevante è la presenza di numerose sorgenti ubicate in prossimità del canale ed in diverse aree limitrofe ad esso. La vegetazione lungo le sponde risulta essere di tipo arbustiva con predominanza di rovi a basso fusto ed alternanze di alberi ad alto fusto (Fig. III.120).

COMPOSIZIONE DEL TRACCIATO DEL CANALE E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

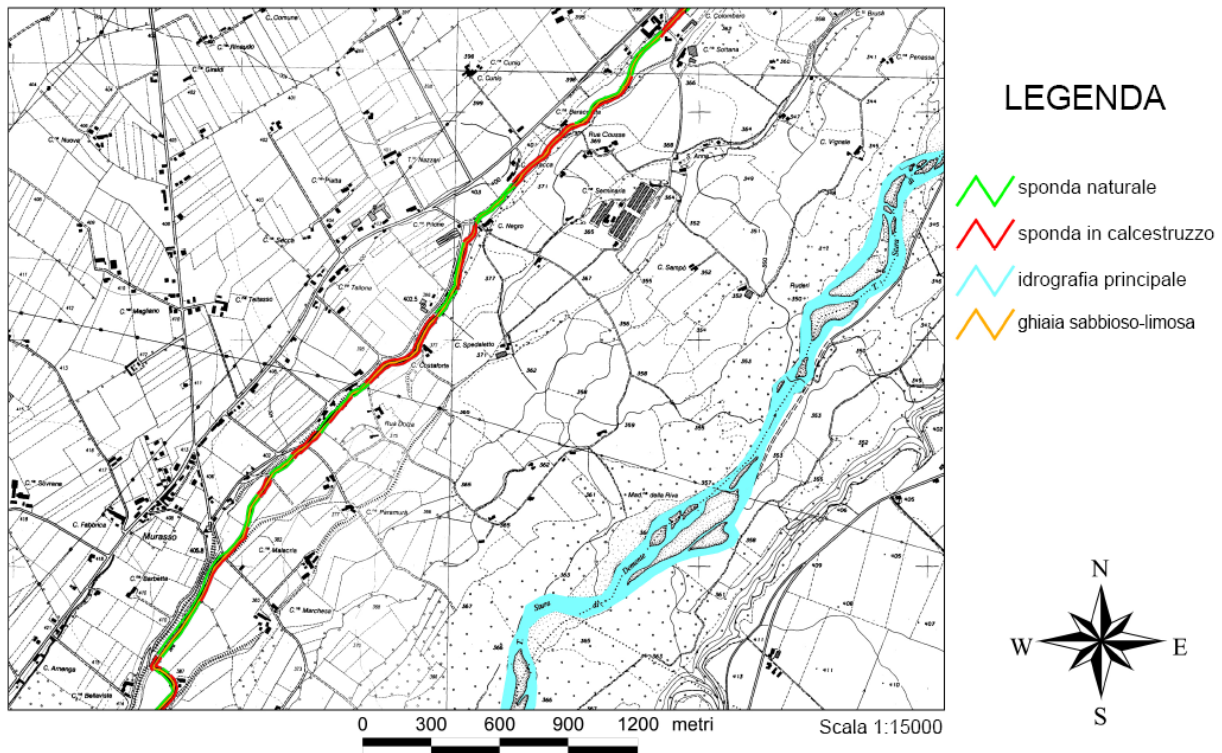


Figura III.120. Carta della composizione del tracciato del tratto del Naviglio di Bra oggetto di studio.

III.4.4 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI

Si riportano nel seguito i metodi adottati per il Naviglio di Bra per la valutazione delle possibili perdite dallo stesso.

III.4.4.1 - VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per il Naviglio di Bra è stato possibile applicare alcune metodologie per la valutazione delle perdite dai canali da un punto di vista qualitativo, ed in particolare il metodo idrochimico, il metodo piezometrico e la tomografia elettrica. Tali metodiche, tuttavia, non danno indicazioni numeriche sui flussi idrici.

III.4.4.1.1 - METODO IDROCHIMICO

Nel settembre 2010 sono stati prelevati campioni di acqua da pozzi privati e dal Naviglio di Bra in prossimità del tratto indagato (Fig. III.121), al fine di verificare il chimismo delle acque del canale, della falda superficiale e la relazione che intercorre tra di loro.

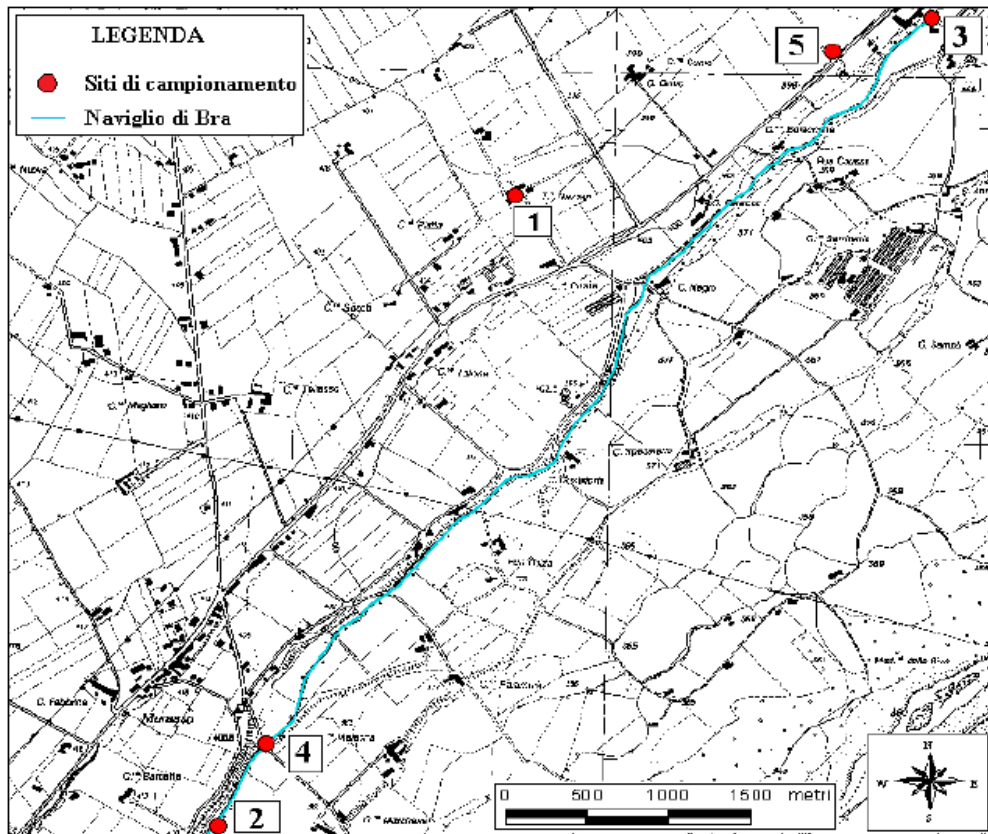


Figura III.121. Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni d'acqua: 1. pozzo presso T.to Nazzari, 2. canale presso Murazzo (monte), 3. canale presso San Sebastiano, 4. sorgente presso Murazzo, 5. canale parallelo al Naviglio di Bra.

Si è potuto procedere così con l'esecuzione dell'analisi idrochimica dell'acqua presso il Laboratorio di Idrochimica del Dipartimento Scienze della Terra.

I parametri valutati per ogni campione sono stati l'alcalinità, espressa dalla quantità di HCO_3^- in soluzione, il contenuto di Calcio e Magnesio, il contenuto di Sodio e Potassio, il contenuto di Cloruri, Nitrati e Solfati. Nella Tabella III.22 si riportano i risultati ottenuti dall'analisi.

n°	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	K^+ (meq/l)	Na^+ (meq/l)	NO_3^- (meq/l)	Cl^- (meq/l)	HCO_3^- (meq/l)	SO_4^{2-} (meq/l)
1	5,49	0,80	0,14	0,25	0,65	0,37	4,43	1,83
2	3,91	0,58	0,04	0,19	0,30	0,22	2,99	1,20
3	3,78	0,63	0,04	0,20	0,34	0,25	3,07	1,29
4	3,73	0,68	0,04	0,29	0,58	0,36	2,80	1,36
5	3,98	0,52	0,03	0,22	0,21	0,26	2,98	1,55

Tabella III.22. Dati delle specie ioniche disciolte, espressi in meq/l.

I dati di conducibilità elettrolitica e temperatura, misurati *in situ*, sono poi stati elaborati come carte della distribuzione degli stessi nella falda idrica superficiale.

Per quanto riguarda la conducibilità elettrolitica, si noti in figura III.122 come i valori tendano a diminuire dal terrazzo principale verso il bacino dello Torrente Stura di Demonte; l'acqua del Naviglio di Bra, con valori di $386 \mu\text{S}/\text{cm}$, potrebbe influenzare questo calo interagendo con la falda.

La carta delle temperature (Fig. III.123) evidenzia un aumento dei valori nella falda idrica, muovendosi progressivamente verso valle. Anche per le temperature, la distribuzione delle stesse fa supporre un'alimentazione delle acque di falda in destra idrografica da parte del canale. Inoltre, la misura della temperatura delle sorgenti ubicate in prossimità del canale ($14,5^\circ\text{C}$) fa supporre una stretta relazione delle stesse con l'acqua di falda ($T = 14^\circ\text{C}$), mentre sembrano meno influenzate dall'acqua del canale ($T = 18^\circ\text{C}$).

CARTA DELLA CONDUCIBILITÀ ELETTROLITICA DELLA FALDA SUPERFICIALE (Ottobre 2010)

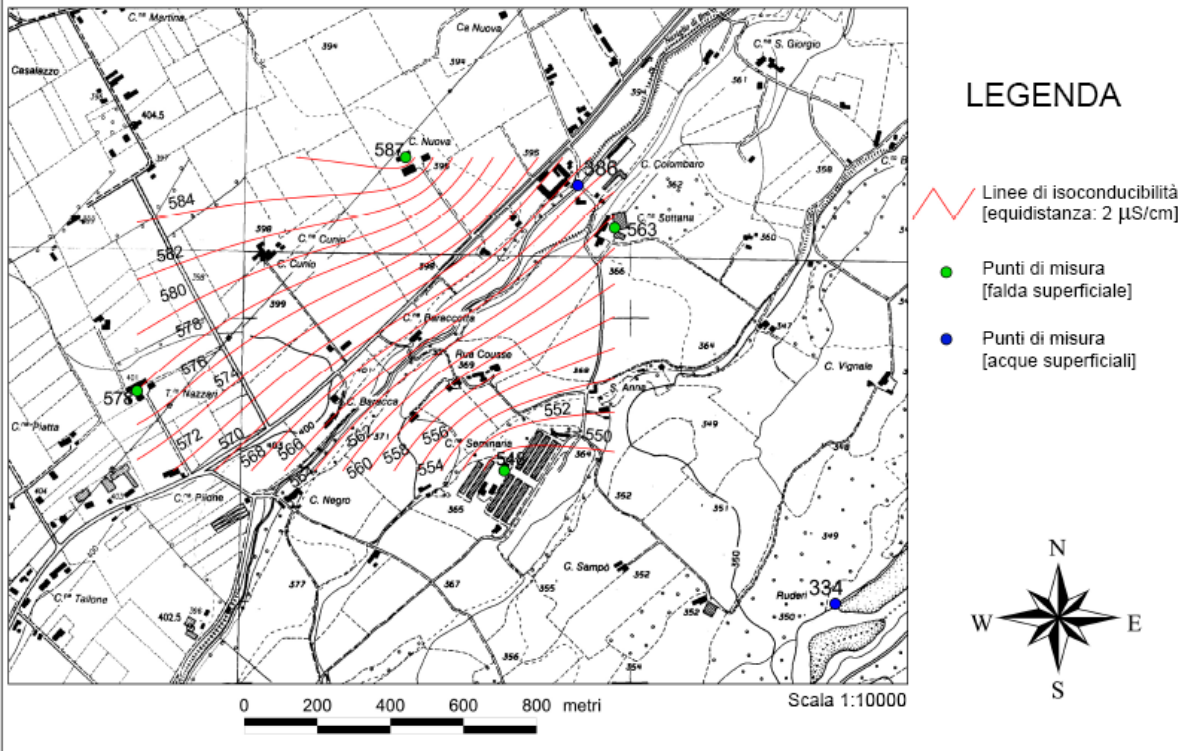


Figura III.122. Carta della conducibilità della falda superficiale relativa al mese di ottobre 2010.

CARTA DELLE TEMPERATURE DELLA FALDA SUPERFICIALE (Settembre 2010)

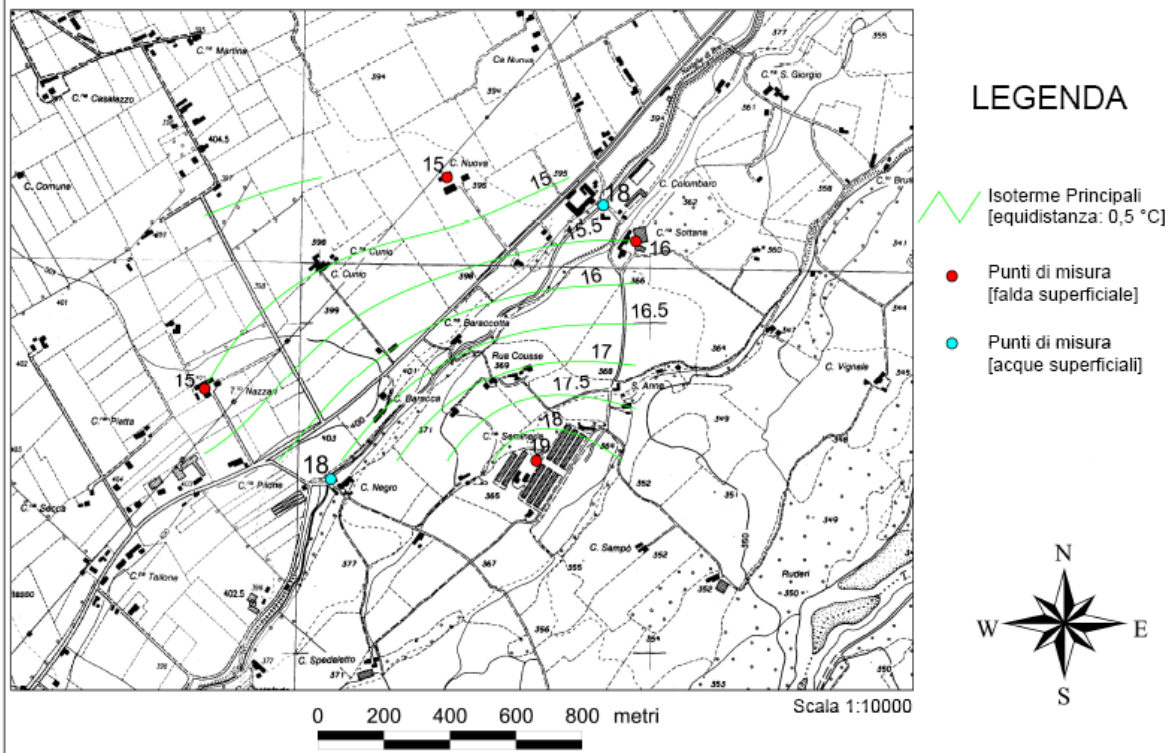


Figura III.123. Carta della temperatura della falda superficiale relativa al mese di settembre 2010.

I risultati delle analisi chimiche, riportati nella tabella III.22, sono stati elaborati graficamente con i diagrammi di Schoeller (Fig. III.124) e Piper (Fig. III.125).

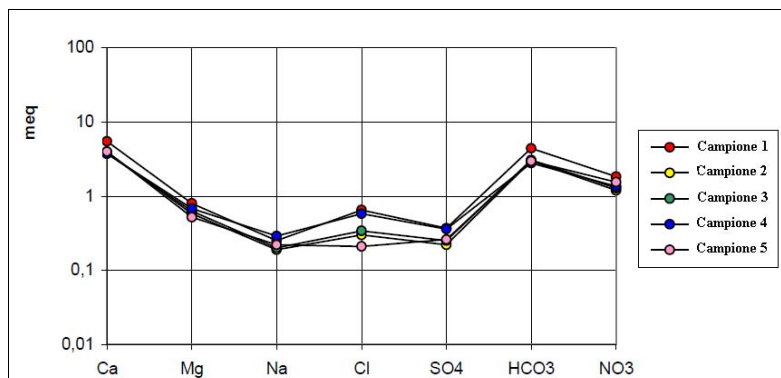


Figura III.124. Diagramma di Schoeller relativo ai campioni d'acqua analizzati.

Il diagramma di Schoeller (Fig. III.124) mostra chiaramente come i campioni di acqua analizzata abbiano caratteristiche idrochimiche simili, poiché il rapporto caratteristico tra gli ioni rimane pressoché costante. L'unica eccezione è raffigurata dalle variazioni nel contenuto in ione Cl⁻.

Le acque analizzate appartengono prevalentemente alla facies bicarbonato calcico/magnesiaca, tipica di acque fredde, sotterranee superficiali e relativamente recenti, come evidenziato dal Diagramma di Piper (Fig. III.125).

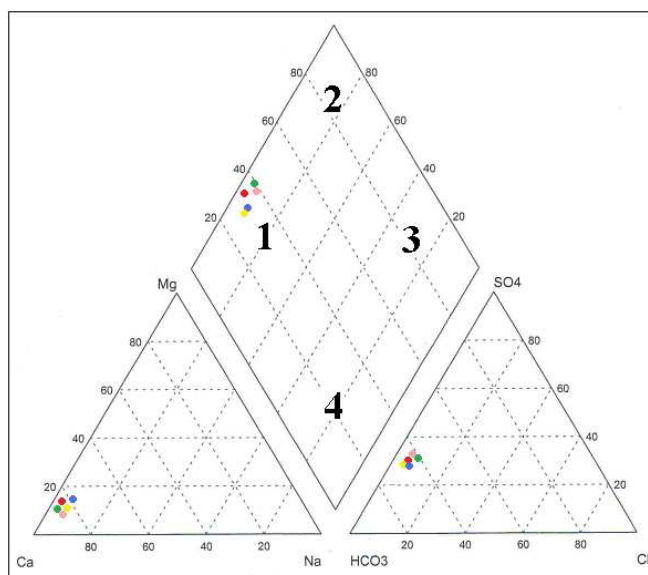


Figura III.125. Rappresentazione delle caratteristiche idrochimiche dei campioni mediante il diagramma di Piper.

III.4.4.1.2 - METODO PIEZOMETRICO

Per avere informazioni circa l'andamento del livello piezometrico della falda freatica ed individuarne i rapporti con la circolazione idrica superficiale, è stata condotta nel settembre 2010 una campagna piezometrica, che ha interessato il territorio circostante l'opera irrigua.

Nel raggio di pochi chilometri sono stati individuati quattro pozzi. Inoltre sono stati campionati tre punti del Naviglio di Bra, una sorgente nelle sue vicinanze e un canale posizionato più a monte, parallelamente alla strada statale SS231 (Fig. III.126).

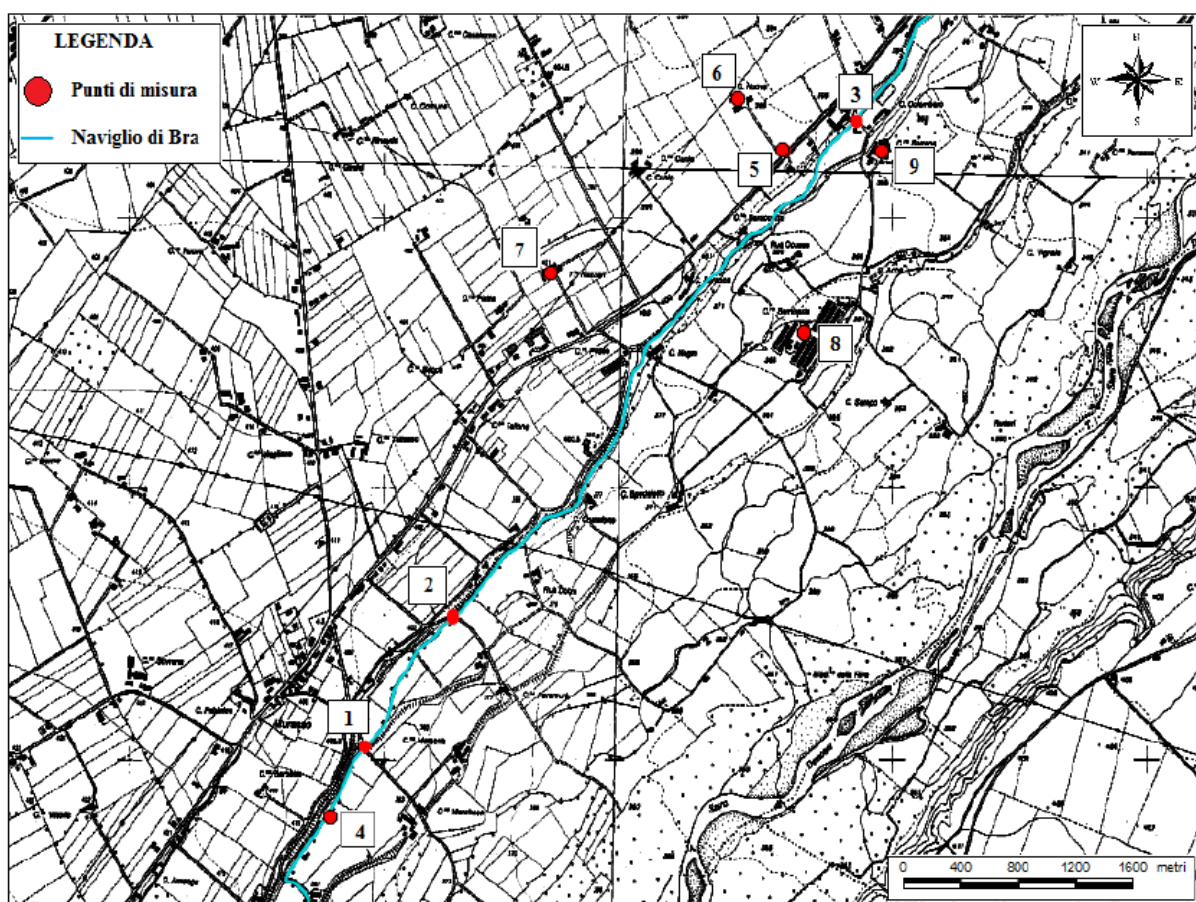


Figura III.126. Ubicazione dei punti in cui è stata misurata la temperatura idrica: 1. Murazzo monte, 2. Murazzo centro, 3. Murazzo valle, 4. sorgente, 5. canale parallelo al Naviglio di Bra, 6. pozzo1, 7. pozzo2, 8. pozzo3, 9. pozzo4.

Dai dati di soggiacenza è stata ricavata la piezometria dell'area rappresentata nella carta in figura III.127. Dalla carta piezometrica è possibile osservare un accentuato spartiacque sotterraneo appena a monte del canale. Il canale è, verosimilmente, alimentato dalla falda superficiale.

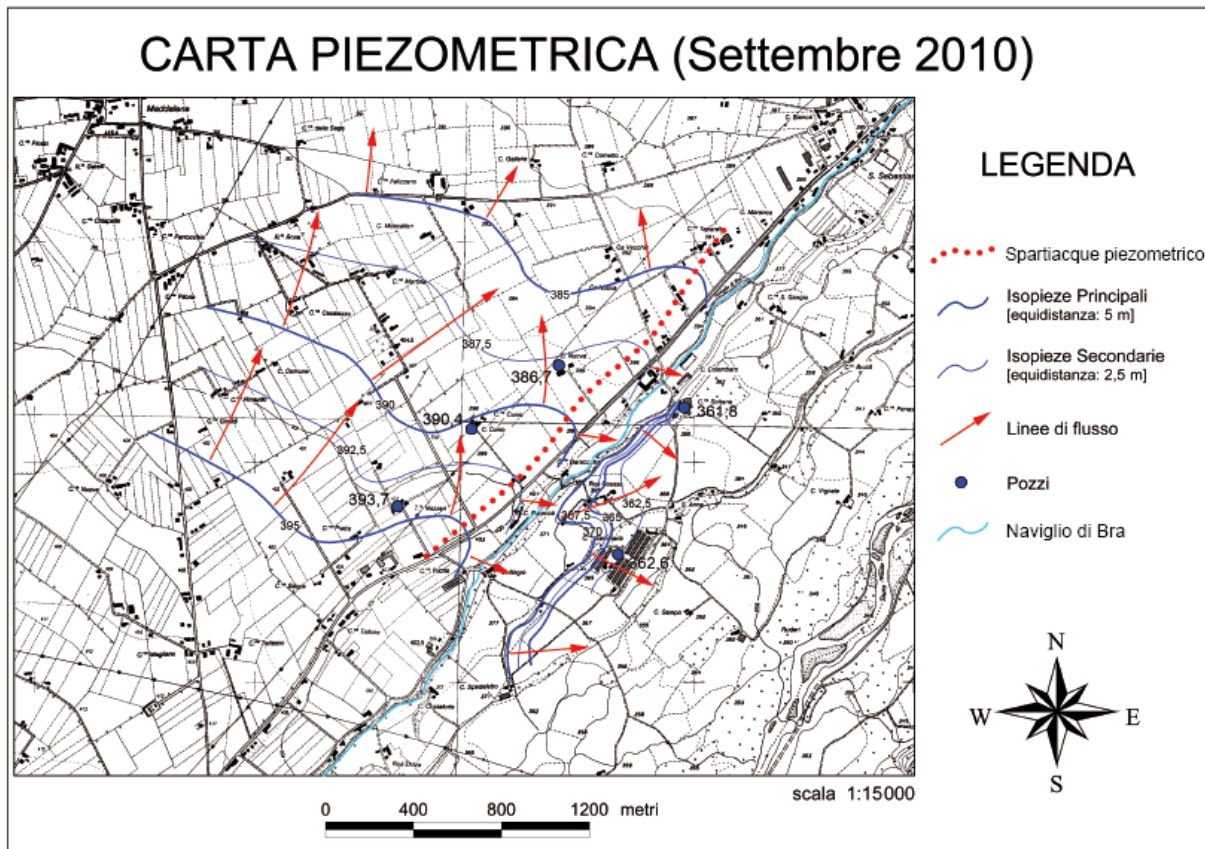


Figura III.127. Carta piezometrica della falda superficiale relativa al mese di settembre 2010.

III.4.4.1.3 - TOMOGRAFIA ELETTRICA

Per ottenere informazioni sulla composizione del sottosuolo nei pressi del canale, sono state eseguite due tomografie in due tratti differenti del canale, entrambe parallele alle sponde del canale stesso (Fig. III.128). L'ubicazione delle due indagini è mostrato nella figura III.129.



Figura III.128. Prima tomografia elettrica parallela al canale (Stendimento 1).

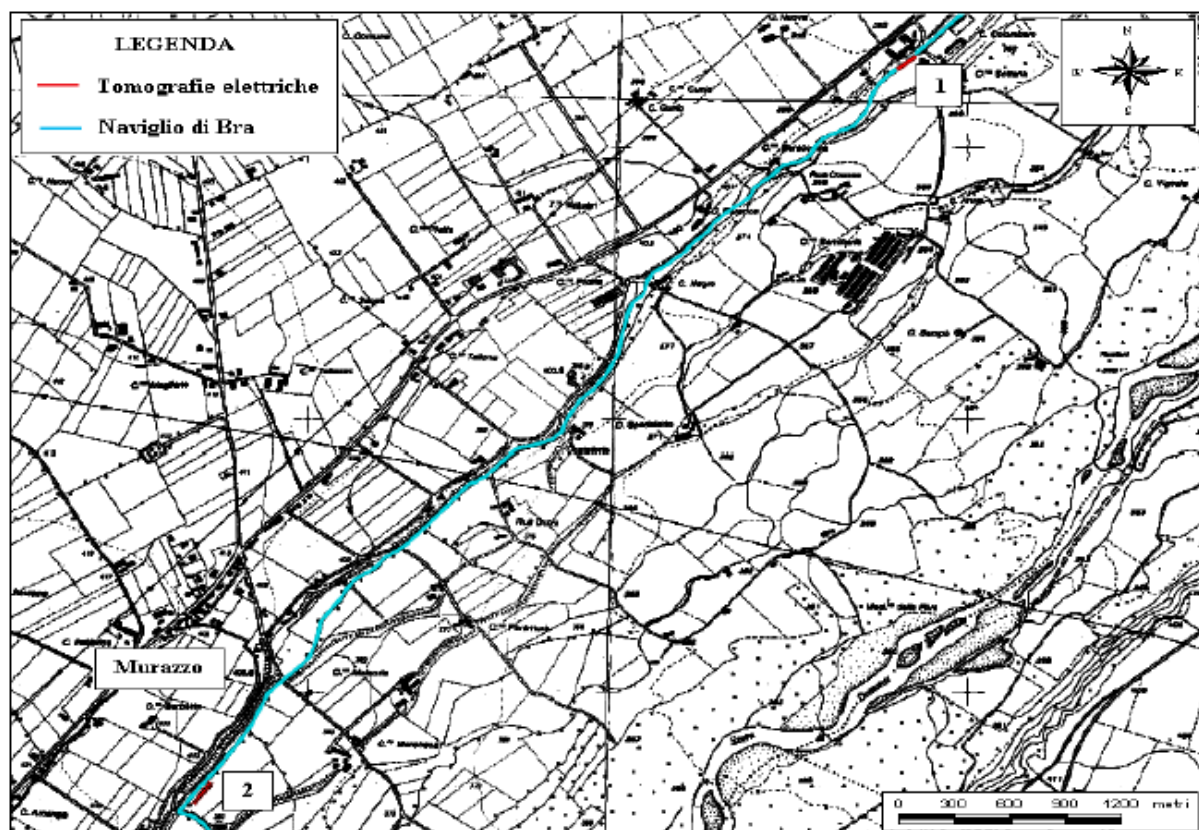


Figura III.129. Ubicazione degli stendimenti rispetto al canale.

La prima tomografia è stata realizzata con un tracciato parallelo all'alveo del canale e all'interno dell'alveo stesso, in seguito alla chiusura dell'acqua dal Consorzio locale (Fig. III.128). Lo stendimento si sviluppando per una lunghezza totale di 160 m e con un passo interelettrodo di 5 m, secondo una configurazione elettrodoica Wenner-Schlumberger.

Il profilo di resistività ha evidenziato basse resistività per oltre 30 m sotto al piana campagna, mediamente di 100-150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. III.131).



Figura III.130. Seconda tomografia elettrica parallela al canale (Stendimento 2).

La seconda prova si è svolta longitudinalmente al Naviglio, nei pressi dell'abitato di Murazzo, sviluppandosi per una lunghezza totale di 80 m e con un passo interelettrodico di 5 m (Fig. III.130).

Il profilo di resistività ha evidenziato una resistività bassa, mediamente di circa 90- 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, che indica la presenza di materiale ad alto contenuto in matrice fine (Fig. III.132).

. Tale situazione è nel seguito supportata dalle analisi granulometriche e dalla prova infiltrometrica.

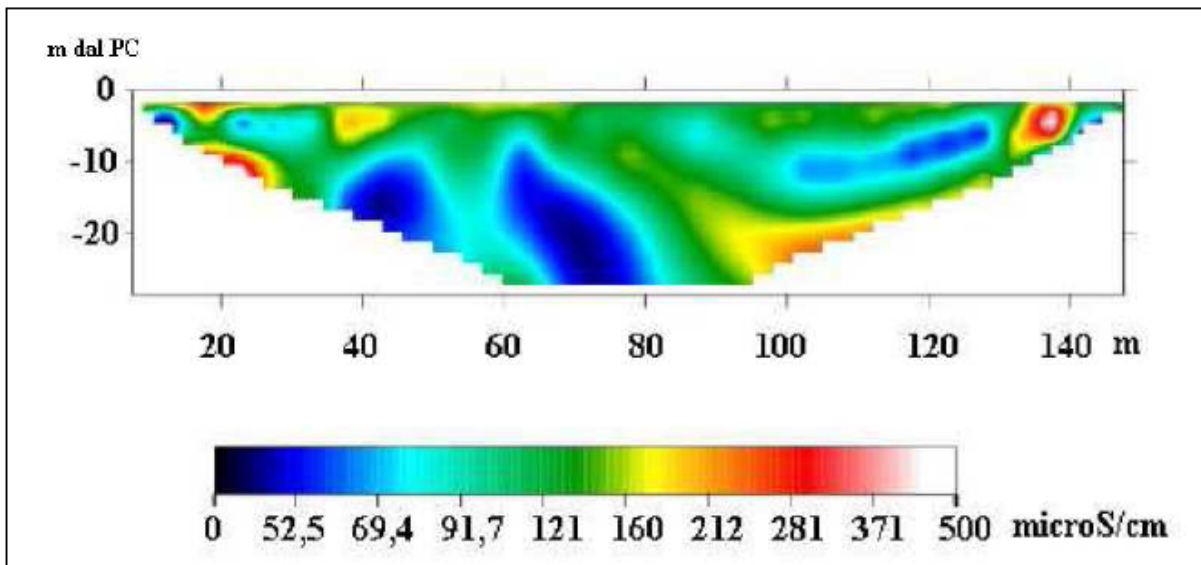


Figura III.131. Profilo delle resistività elaborato dalla tomografia effettuata all'interno dell'alveo del canale.

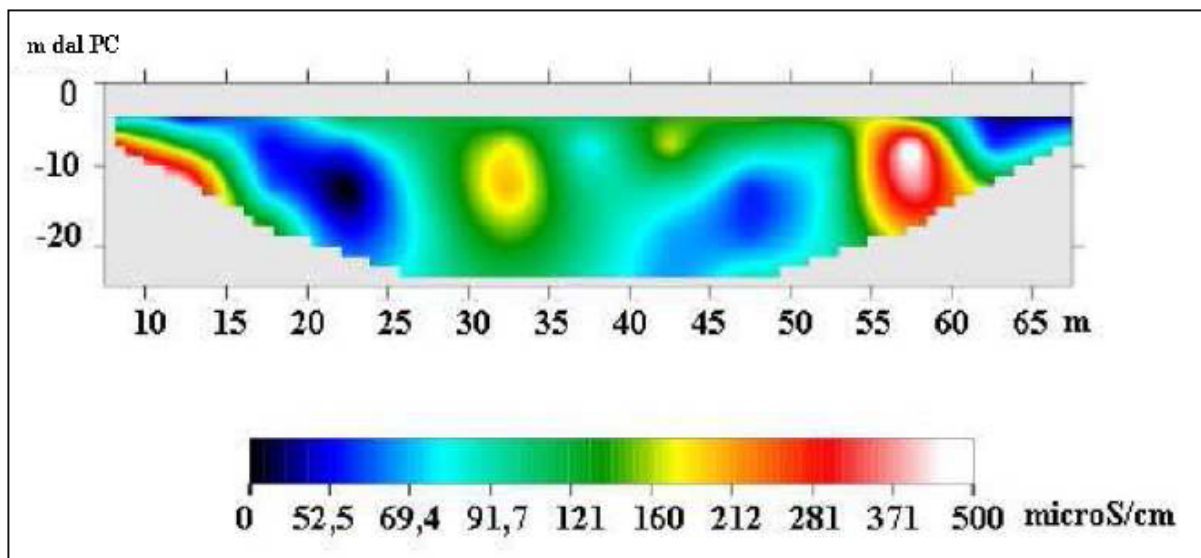


Figura III.132. Profilo delle resistività elaborato dalla tomografia effettuata nei pressi della sponda del canale in località Murazzo.

III.4.4.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per Il Naviglio di Bra è stato possibile valutare le perdite, da un punto di vista quantitativo, sia mediante l'applicazione di formule empiriche, sia attraverso la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico, il metodo con doppio tracciante e il metodo con tracciante e mulinello.

III.4.4.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le indagini di terreno svolte durante diverse campagne di misura per la valutazione della portata dei canali. Tali indagini sono essenziali e propedeutiche per la successiva valutazione delle perdite.

III.4.4.2.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

Prova 1 (luglio 2010)

Nel luglio 2010 è stata effettuata la prima campagna di misura delle portate con il mulinello idrometrico. In Figura III.133 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le 4 sezioni utilizzate.

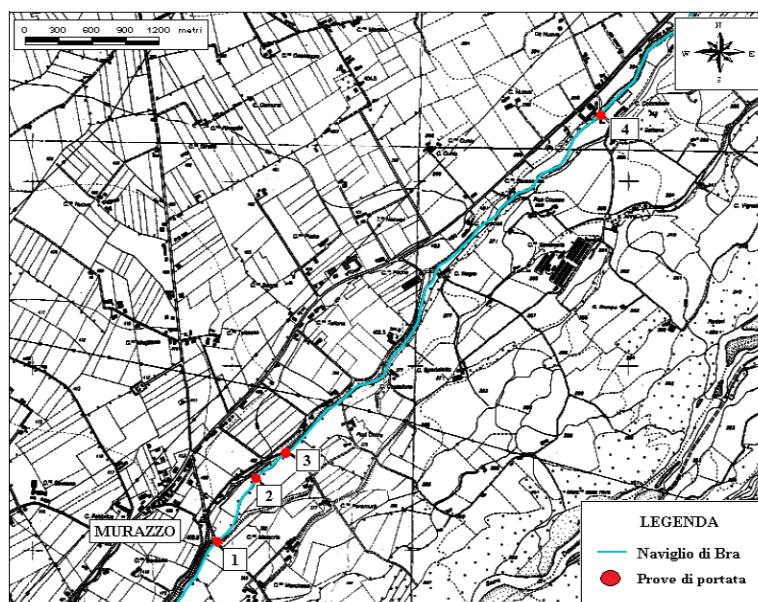


Figura III.133. Traccia del canale con indicati i punti di misura: 1. Murazzo monte, 2. Murazzo centro, 3. Murazzo valle, 4. San Sebastiano.

Le caratteristiche della sezione di Murazzo (monte) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 400 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 40 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 12 e 50 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.61 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di Murazzo (centro) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 510 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 50 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 cm e 40 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.57 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di Murazzo (valle) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 530 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 53 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 10 e 40 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.51 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di San Sebastiano sono le seguenti:

- larghezza alveo: 550 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 55 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 9 cm e 40 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Da una prima analisi dei dati ottenuti si può notare che le portate non variano notevolmente, assumendo valori medi di $2,55 \text{ m}^3/\text{s}$ su tutto il tratto del canale studiato.

Prova 2 (ottobre 2010)

Nell'ottobre 2010 è stata effettuata una seconda campagna di misura delle portate con il mulinello idrometrico presso la sezione di Murazzo-monte (Fig. III.133).

Le caratteristiche della sezione sono le seguenti:

- larghezza alveo: 4400 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 44 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 15 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 3 (luglio 2011)

Il Naviglio di Bra è stato oggetto di una terza campagna di misurazioni il giorno 08/07/2011; in tale data sono state realizzate, nel tratto di canale compreso tra i punti A e C (Fig. III.134), misure di portata con mulinello idrometrico nei punti A e B. La misura di portata è avvenuta contemporaneamente nelle sezioni A e B.

Al fine di validare le analisi realizzate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

Dall'idrogramma in Fig. III.135, relativo al monitoraggio dei livelli idrici in data 08/07/2011, si evince una forte instabilità del livello legata a continue oscillazioni durante tutto l'arco della giornata. Queste oscillazioni raggiungono anche i 10 cm e costituiscono una variabile in grado di alterare, anche in maniera significativa, i risultati. Tuttavia, essendo la prova col mulinello idrometrico durata dalle h 10:15 alle 10:35, in tale intervallo temporale non si evidenziano variazioni di rilievo del livello tali da influenzare il risultato ottenuto.

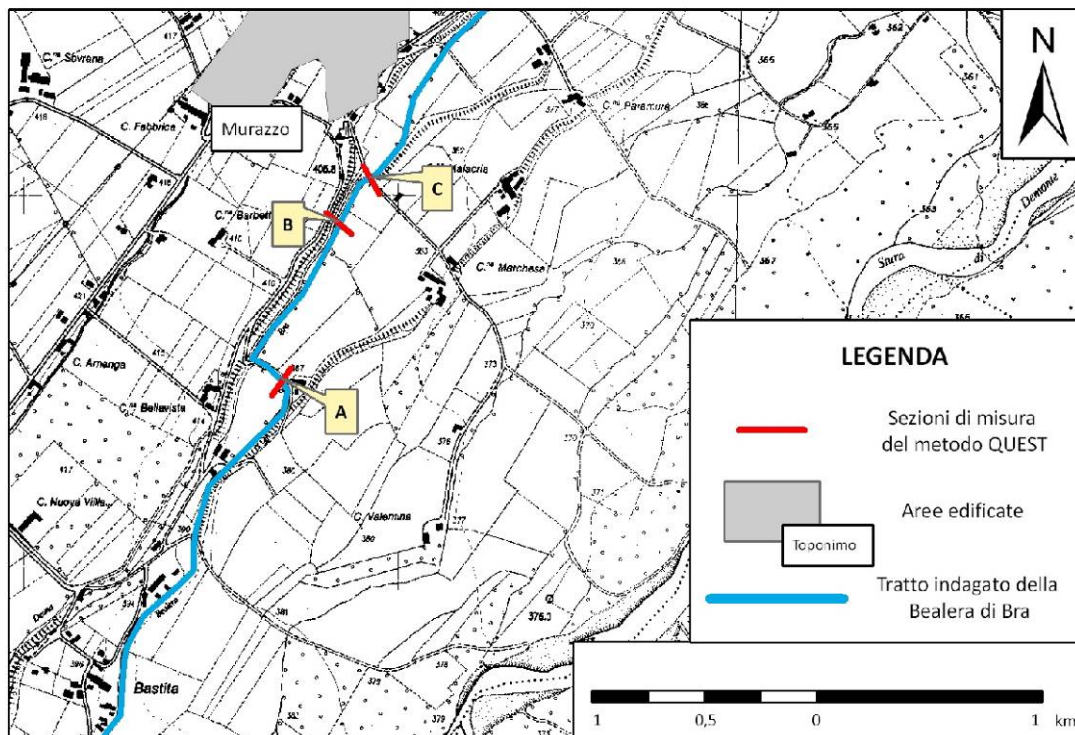


Figura III.134. Tratto indagato con evidenziate le sezioni di misura.

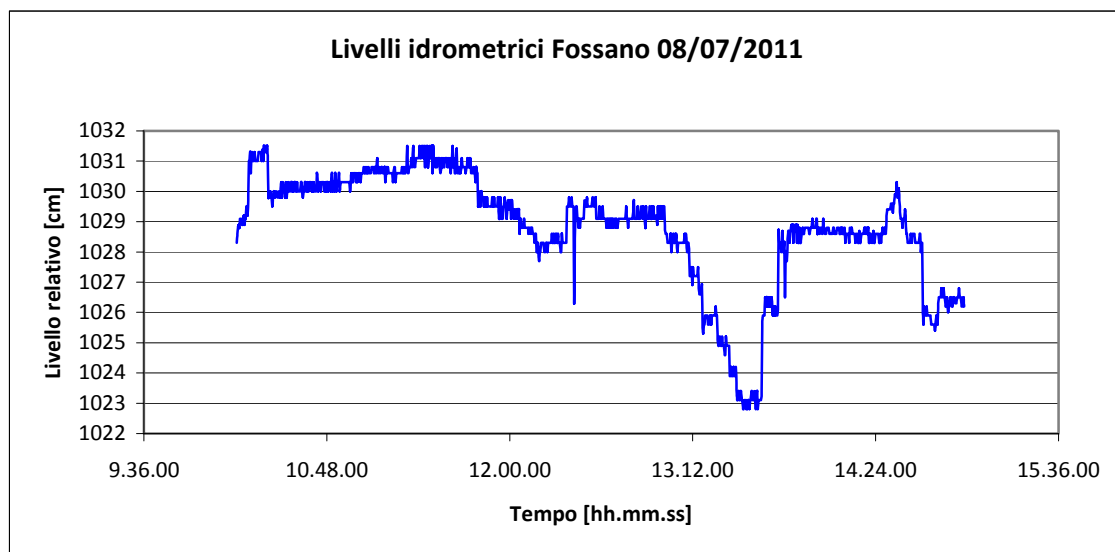


Figura III.135. Grafico delle oscillazioni dei livelli idrometrici del Naviglio di Bra (Loc. Murazzo, CN).

Le caratteristiche della sezione A (Fig. III.134) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 460 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 46 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 16 e 60 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione B (Fig. III.134) sono le seguenti:

- larghezza alveo: 400 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 40 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 12 cm e 50 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 2.67 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.4.4.2.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

Nel mese di ottobre 2010 è stata effettuata una prova di portata con galleggianti su un tratto di canale posto nelle porzioni di monte del settore indagato (loc. Murazzo) (Figg. III.136 e 137); la sezione indagata per la misura di portata ha lunghezza pari a 15 metri.

Mediante opportuna correzione delle velocità la portata ottenuta con questo metodo è risultata essere di $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$.

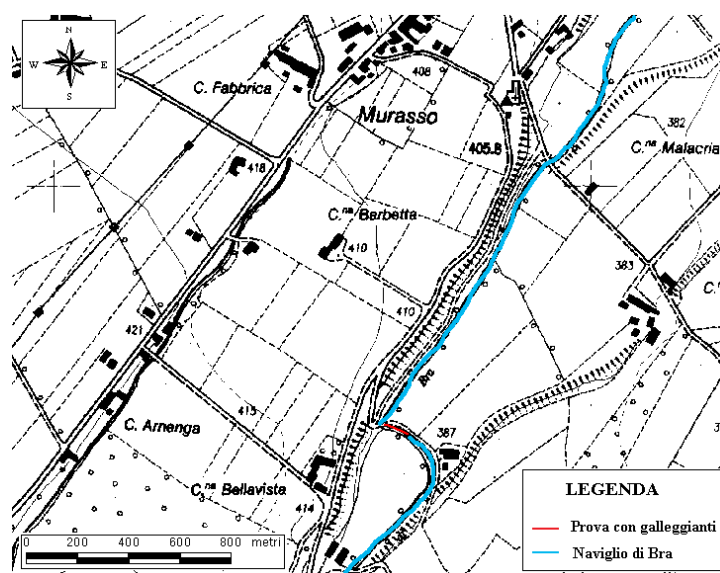


Figura III.136. Ubicazione del punto di indagine con relativa traccia del canale.



Figura III.137. Tratto del canale in cui è stata svolta l'indagine.

III.4.4.2.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Prova 1 (luglio 2010)

Nel luglio 2010 è stata effettuata una misura di portata del canale con il metodo del tracciamento salino.

Nel punto più a monte (Murazzo monte) è stata immessa a *slug* una soluzione costituita da 15 kg di NaCl disciolti in 60 l di acqua, mentre nel punto a valle (Murazzo centro) è stata misurata la conducibilità elettrolitica ogni 5 s (Fig. III.138).

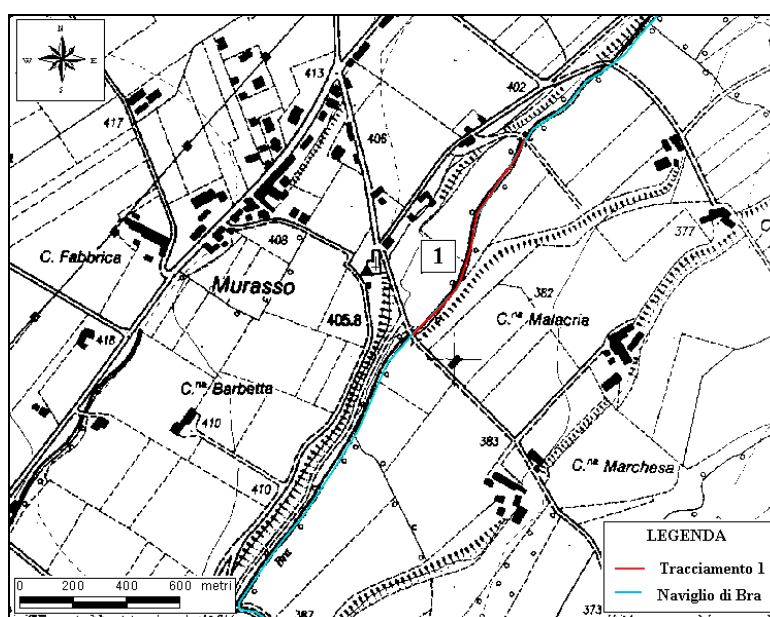


Figura III.138. Ubicazione dei siti in cui è stata effettuata la prima prova.

L'indagine ha avuto un esito negativo, poiché in seguito all'elaborazione dei dati si è riscontrato un andamento anomalo della curva delle concentrazioni. In particolare si è riscontrato un aumento improvviso della conducibilità tra i 70 e 400 secondi, seguiti da una riduzione (Fig. III.139). Ciò è stato attribuito ad una possibile immissione di qualche sostanza nel canale prima dell'arrivo del tracciante al punto di misura.

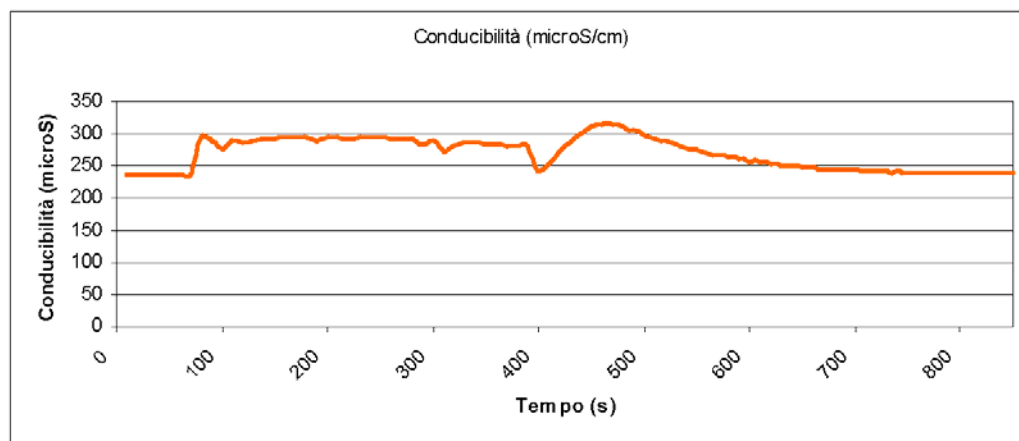


Figura III.139. Conducibilità riscontrata durante la prova di tracciamento nel quale si nota l'andamento anomalo della curva tra i secondi 70 e 400.

Prova 2 (ottobre 2010)

Nel mese di ottobre 2010 è stata svolta una seconda indagine. L'immissione della soluzione, costituita da 30 kg di NaCl disciolti in 120 l di acqua, è avvenuta nei pressi di Murazzo (monte) e la relativa misura della conducibilità elettrolitica tramite multicampionamento dell'acqua del canale, si è svolta a 66 m dal punto iniziale (Fig. III.140).

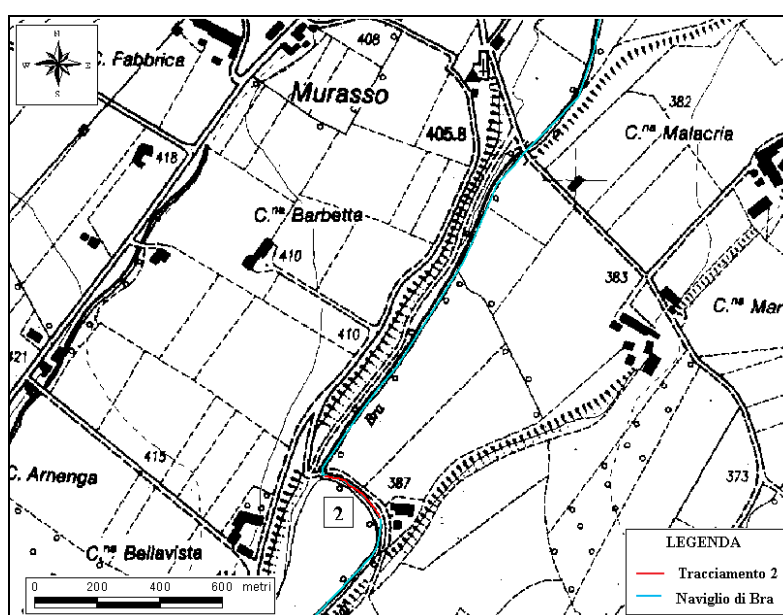


Figura III.140. Ubicazione dei siti in cui è stata effettuata la seconda prova.

L'indagine si è svolta con esito positivo, ottenendo il grafico riportato in Fig. III.141.

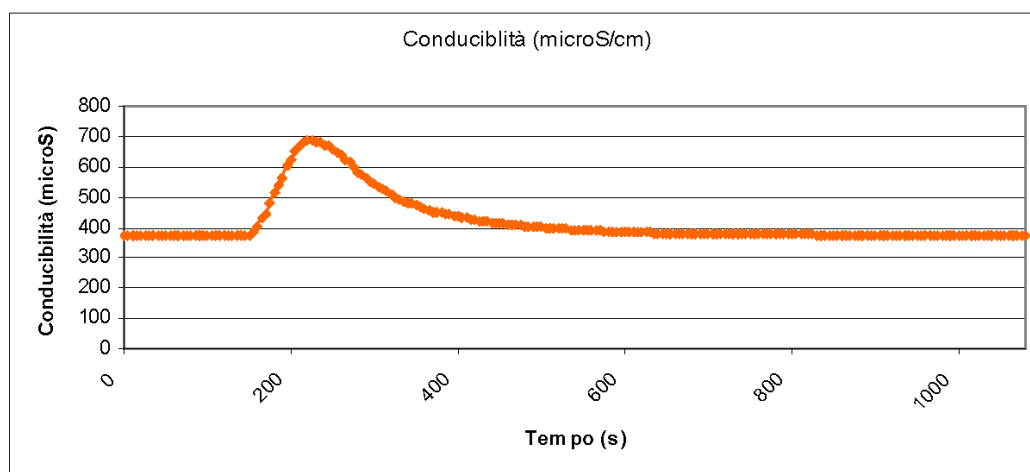


Figura III.141. Curva ottenuta con i dati del multicampionamento.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i dati in Tab. III.23, ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale.

Conc. (g/l)	Cond (μS/cm)
0	242
0.5	1882
1.5	5210

Tabella III.23. Dati utilizzati per la realizzazione della curva di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.142.

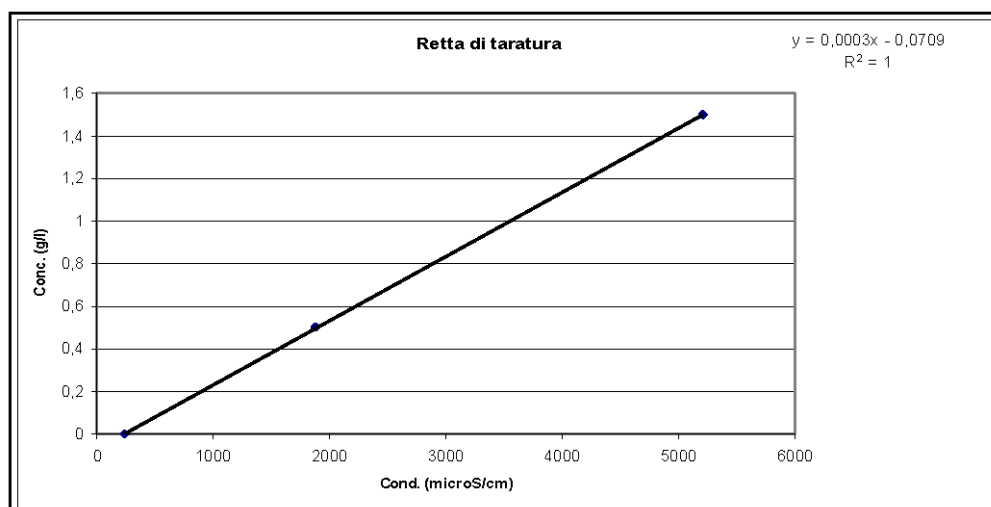


Figura III.142. Curva di taratura.

La portata ottenuta dall'elaborazione dei dati è risultata essere di 0,88 m³/s.

Prova 3 (luglio 2011)

Nel mese di luglio 2011 è stata condotta una terza prova nel tratto BC di Fig. III.143.

Per l'indagine sono stati immessi a slug 20 kg di NaCl, rilevati mediante multicampionamento a 3 secondi (Tab. III.24).

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:03
Ora fine picco	12:06
Tempo di campionamento	3 s
Massa tracciante	20 kg
Portata	2.03 m³/s

Tabella III.24. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con l'NaCl per il calcolo della portata nel tratto BC.

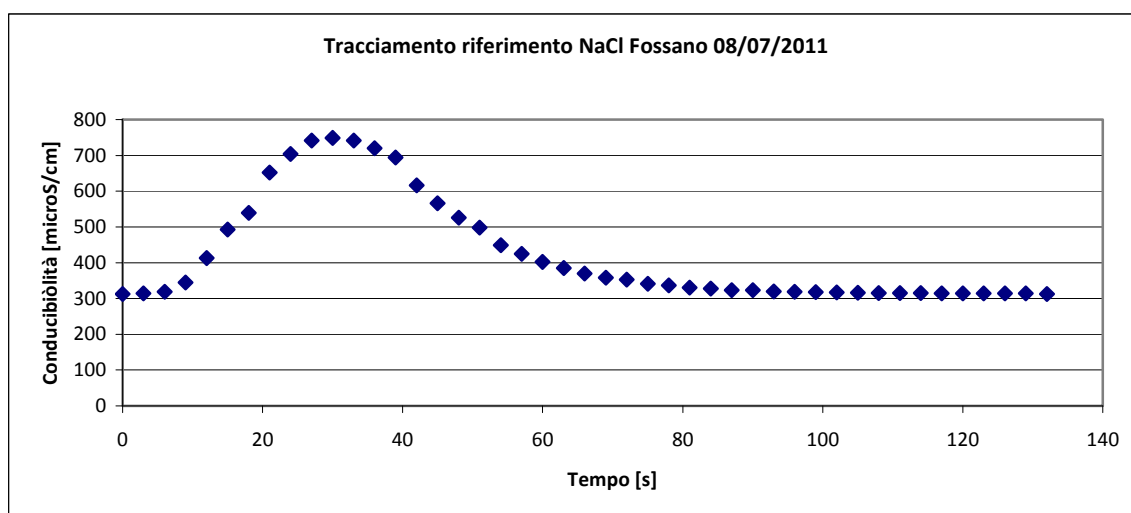


Figura III.143. Curva ottenuta con i dati del multicampionamento.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i dati in Tab. III.25, ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale.

Conc. (g/l)	Cond (μS/cm)
0	321
0.1	502
0.2	679
0.4	1034

Tabella III.25. Dati utilizzati per la realizzazione della curva di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.144. La portata ottenuta con l'NaCl è pari a 2.03 m³/s.

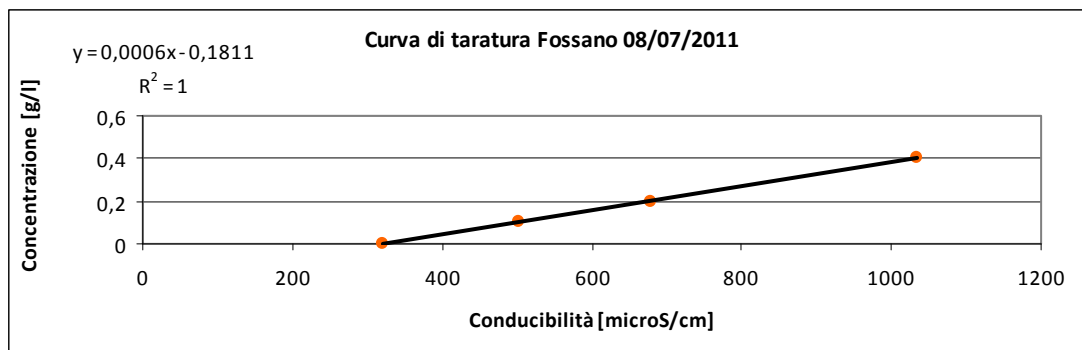


Figura III.144. Curva rappresentativa del plume della soluzione salina per il calcolo della portata nel tratto BC e relativa curva di taratura rispetto all'acqua del Naviglio di Bra.

III.4.4.2.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Sul tratto di canale indagato sono state applicate le diverse formulazioni empiriche descritte nel capitolo II (Davis & Wilson, 1967; Doorenbos, 1963; Lotti, 1974 e U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando un alveo naturale in terreno limoso-sabbioso ($K=15$), lungo 421 metri, un perimetro bagnato di 3.74 metri, una velocità media dell'acqua pari a 0.63 m/s, un livello dell'acqua di 0,41 m, una portata di 0.95 m³/s, una k pari a 15 (per la formulazione di Davis e Wilson), una C pari 0,002 (per la formulazione di Doorenbos) ed una C di 0,80 (per la Formulazione della U.S. Bureau of Reclamation) è stato possibile valutare i valori di perdita descritti nella Tabella III.26.

U.D.M.	Davis & Wilson	Doorenbos	Lotti	U.S. Bureau of Reclamation
m ³ /s	0.00200	0.00200	0.00400	0.00100
m ³ /giorno * m ²	0.110	0.110	0.220	0.055
l/giorno	172800	172800	345600	86400

Tabella III.26. Riassunto dei risultati ottenuti con i vari metodi empirici di calcolo delle perdite.

Si può notare come i risultati previsti dai vari metodi di calcolo per le perdite siano numericamente variabili, tranne per i primi due che non si discostano di molto. Si tratta, in ogni caso, di portate con ordini di grandezza inferiori alla precisione dei risultati ottenuti con le metodologie utilizzate per le indagini dirette.

III.4.4.2.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Nel seguito vengono riportati i risultati dell'applicazione di alcune metodiche volte a definire le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati e di valutare alcuni parametri degli stessi. Tali dati sono a supporto delle metodiche empiriche utilizzate per la valutazione delle perdite.

III.4.4.2.2.1.1 - ANALISI GRANULOMETRICA

Sono state svolte analisi granulometriche su due campioni di terreno ("1" e "2") prelevati dal fondo del canale durante una fase di asciutta nel luglio del 2010 (Fig. III.145).

Nello specifico le indagini svolte sono state eseguite sia sull'intero campione prelevato sia sulla matrice, in quanto responsabile del tipo di permeabilità del fondale.

Nel materiale del fondo si è potuta osservare la presenza di ciottoli con dimensioni superiori al decimetro; tali ciottoli vengono antropicamente disposti nel canale per evitare l'erosione del fondale da parte della corrente (Fig. III.146 e 147).

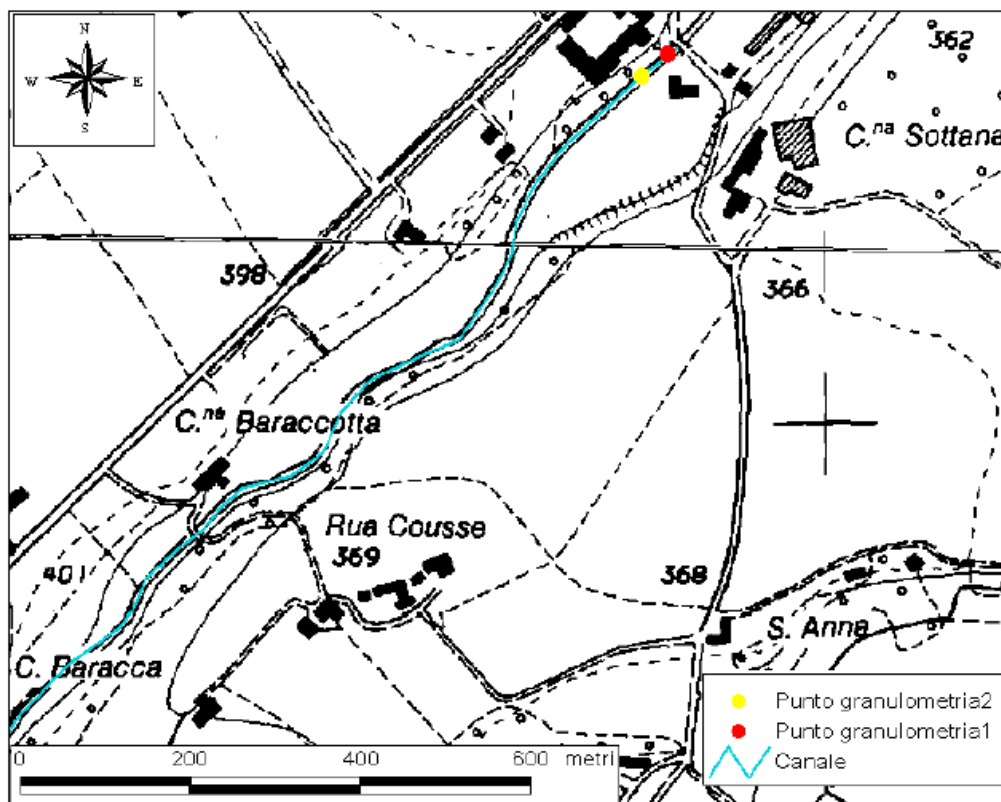


Figura III.145. Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni analizzati.



Figura III. 146. Scavo nel fondale del Naviglio di Bra per il campionamento del materiale.



Figura III.147. Panoramica dell'alveo in un momento di asciutta (luglio 2010).

Si riportano le curve granulometriche dei due campioni (Fig. III.148, 149, 150 e 151).

Dalla curva granulometrica del campione 1 si desume che la ghiaia prevale sulle altre classi granulometriche; la percentuale di sabbia e ciottoli è modesta e la frazione limoso-argillosa non è rilevante in quanto inferiore al 5%. Secondo la classificazione dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1990) il campione risulta essere una ghiaia debolmente ciottoloso-sabbiosa.

Dalla curva granulometrica della matrice del campione 1, si osserva come la matrice sabbiosa prevalga sulle altre classi granulometriche; la percentuale di limo è notevole e la frazione argillosa non è rilevante in quanto inferiore al 5%. Secondo la classificazione dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1990) la matrice risulta essere una sabbia limosa.

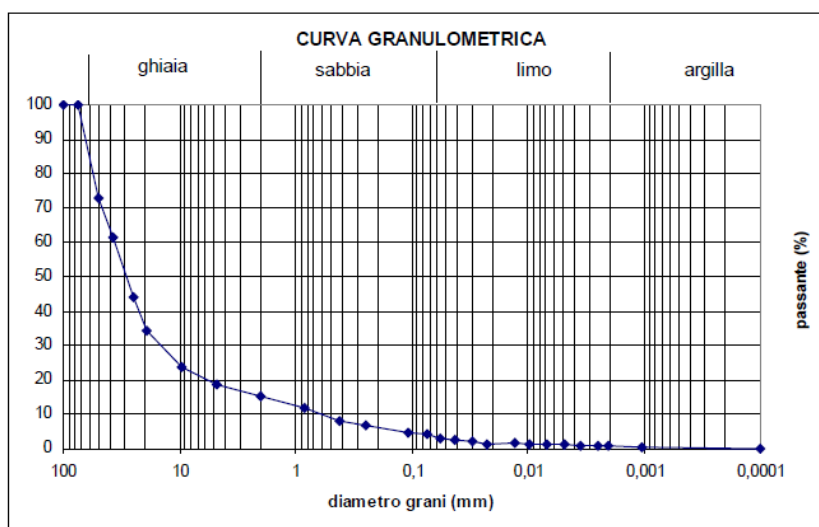


Figura III.148. Curva granulometrica del campione "1".

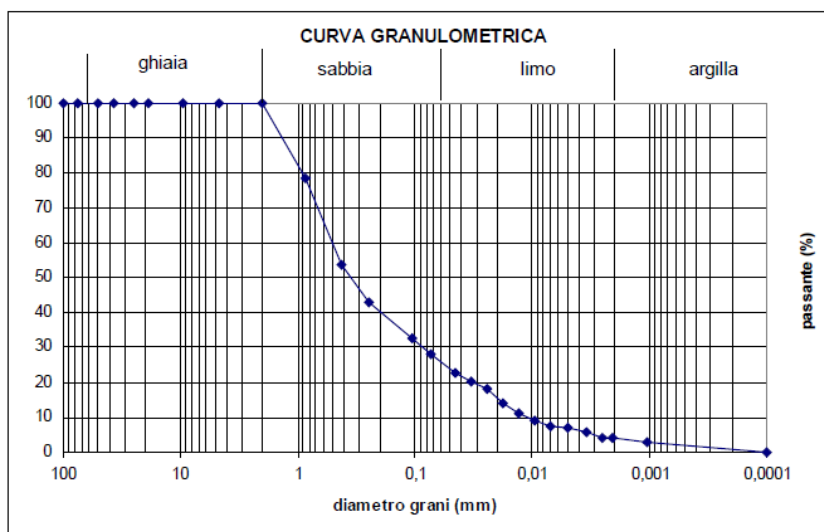


Figura III.149. Curva granulometrica della matrice nel campione "1".

Dalla curva granulometrica del campione 2, si osserva come la frazione ghiaiosa prevalga sulle altre classi granulometriche; la percentuale di sabbia è modesta e la frazione limoso-argillosa non è rilevante in quanto inferiore al 5%. Il campione è una ghiaia sabbiosa.

Dalla curva granulometrica della matrice del campione 2 si osserva come la matrice limosa prevalga sulle altre classi granulometriche; la percentuale di sabbia è notevole e la frazione argillosa è rilevante. La matrice risulta essere un limo sabbioso debolmente argilloso.

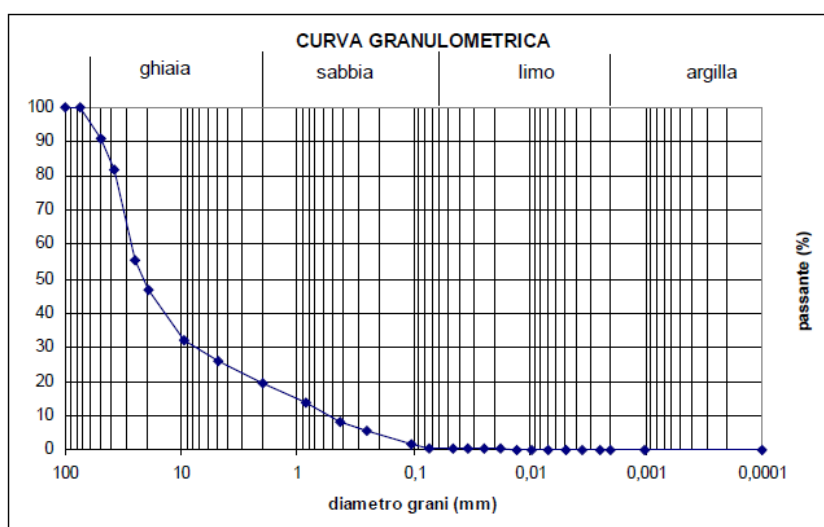


Figura III.150. Curva granulometrica del campione "2".

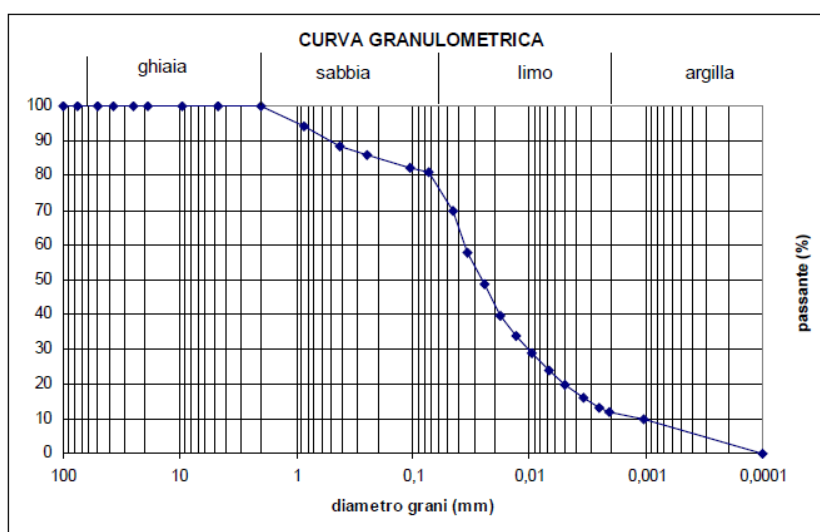


Figura III.151. Curva granulometrica della matrice nel campione "2".

Le prove granulometriche effettuate sui due campioni di terreno hanno evidenziato un fondo costituito da materiale grossolano (ghiaie e sabbie) con una matrice fine (limi sabbiosi e sabbie limose).

Tali valori sono confrontabili con i dati dell'indagine infiltrometrica, riportata nel seguito.

III.4.4.2.1.2 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

Le prove infiltrometriche con permeametro Guelph sono state realizzate mese di Luglio 2010 per verificare la conducibilità idraulica del suolo nelle immediate vicinanze del canale; le indagini sono state impostate a pochi metri dall'alveo e all'interno dell'alveo in asciutta del Naviglio di Bra (Fig. III.152).



Figura III.152. Ubicazione prova infiltrometrica.

In prossimità del canale la permeabilità del suolo è risultata pari a 10^{-7} m/s. La prova in alveo ha evidenziato una conducibilità idraulica della matrice fine prossima ai 10^{-7} m/s.

III.4.4.2.1.3 - PROVE PENETROMETRICHE

Nel giugno del 2010 è stata svolta una prova penetrometrica direttamente nell'alveo in asciutta; tuttavia la litologia grossolana del fondale non ha consentito la penetrazione della punta dello strumento in profondità, evidenziando l'immediato raggiungimento del "rifiuto" (numero di colpi superiore a 50) nei primi 10 cm di materiale indagato.

III.4.4.2.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

III.4.4.2.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO

Nel luglio 2010 e nel luglio 2011 sono state effettuate due campagne di misure differenziali di portata mediante mulinello idrometrico al fine di quantificare eventuali perdite o guadagni del canale.

Nel luglio 2010 i valori di portata delle sezioni di Murazzo monte, Murazzo centro, Murazzo valle e San Sebastiano, rispettivamente da monte a valle, presentano valori simili decrescenti da $2.61 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2.49 \text{ m}^3/\text{s}$. In base a tali valori di portata, è stata effettuata una stima delle possibili perdite del Naviglio di Bra, che è risultata di $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel luglio 2011 è stata condotta una seconda prova, con misura di portata contemporanee nelle sezioni indagate. I valori di portata ottenuti sono $2.27 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione di monte e $2.67 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione B, corrispondenti a un guadagno pari a $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ (17,6 %).

Le portate misurate, tuttavia, potrebbero rappresentare il risultato tra le diffuse sorgenti alimentanti il Naviglio di Bra sulla sponda sinistra e le possibili perdite del canale stesso sulla sponda destra a quote meno elevate. Inoltre va considerato l'errore intrinseco dello strumento, pari al 5 %, che potrebbe aver contribuito al risultato ottenuto.

III.4.4.2.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE

Nel luglio 2011 è stato applicato il Metodo del doppio tracciante nel tratto di indagine del Naviglio di Bra mediante l'uso della Fluoresceina e del NaCl.

La Fluoresceina è stata utilizzata come tracciante indicatore nel tratto AB (Fig. III.153). Per questa indagine sono stati immessi a *slug* 15 grammi di polvere, rilevati mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi (Tab. III.27).

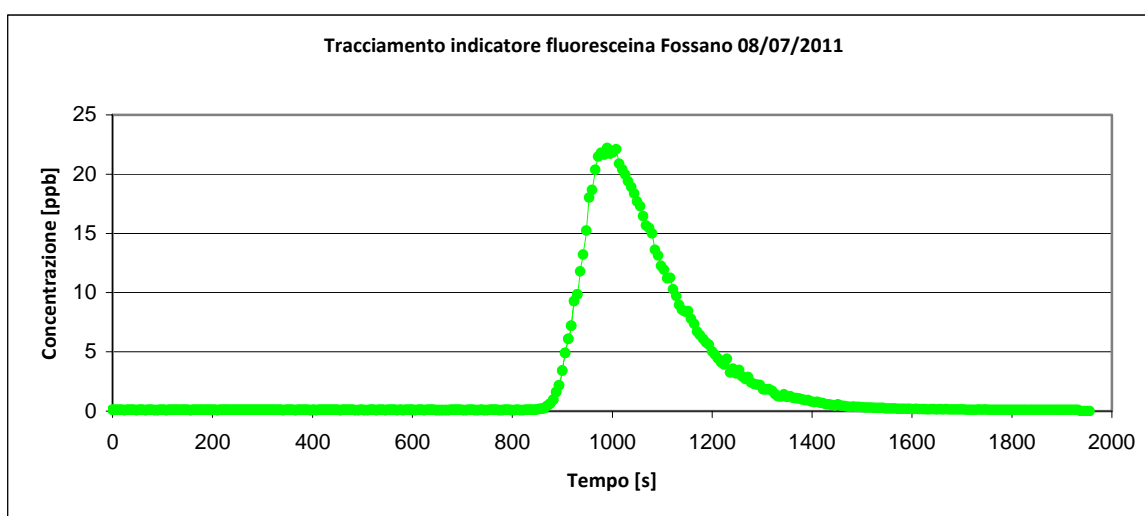


Figura III.153. Curva rappresentativa del plume di fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB del Naviglio di Bra.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:24
Ora fine picco	12:38
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	15g
Portata	2.43 m³/s

Tabella III.27 Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB.

La portata ottenuta con la Fluoresceina è pari a 2.43 m³/s. Durante la realizzazione della prova sono state osservate oscillazioni di pochi cm del livello idrico del canale.

Il Cloruro di Sodio, invece, è stato impiegato come tracciante di riferimento nel tratto BC (Tab. III.28). La portata ottenuta con l'NaCl è pari a 2.03 m³/s (cfr. paragrafo II.2.1.3.3).

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:03
Ora fine picco	12:06
Tempo di campionamento	3 s
Massa tracciante	20 kg
Portata	2.03 m³/s

Tabella III.28. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con l'NaCl per il calcolo della portata nel tratto BC.

In base al metodo del doppio tracciante il tratto AB risulta avere una perdita idrica del 16.5 %, pari a 0.40 m³/s.

III.4.4.2.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

E' stato inoltre applicato il Metodo del tracciante e del mulinello, utilizzando la misura di portata con fluoresceina del luglio 2011 e la misura di portata con mulinello idrometrico della stessa campagna di misura, eseguita nel punto B (Fig. III.134).

Secondo tale metodo, è possibile valutare un guadagno idrico del del 9.9 %, pari a 0.24 m³/s.

III.5 - ROGGIA FRASCHETTA

La Roggia Fraschetta è un canale a scopo irriguo che scorre nella pianura alessandrina. Il suo tracciato è posto in sponda sinistra dello Scrivia, corso d'acqua principale della zona, da cui si dipartono anche gli altri canali facenti parte del Consorzio Rogge Tortonesi.

Il Consorzio "Rogge Tortonesi" si estende sia in destra sia in sinistra idrografica Scrivia, sviluppandosi, lungo le rogge irrigue principali, nei territori comunali di Tortona, Pozzolo Formigaro, Alessandria e Sale.

La gestione del Consorzio in termini amministrativi viene svolta dal Comune di Tortona e del Consiglio del Consorzio. I canali presenti costituiscono 3 sistemi irrigui indipendenti, ognuno caratterizzato da un'opera di presa e una rete irrigua, contraddistinta a sua volta da un reticolo principale ed uno secondario, i quali prendono il nome dalla roggia principale di incanalamento dell'acqua; essi sono: Roggia Fraschetta e sue diramazioni (Roggia Marencano, Roggia Cerca, Roggia Vero e Roggia Terzo); Roggia Laciazzolo e sue diramazioni (Scaricatore Roggia Laciazzolo); Roggia Maghisello e sue diramazioni (Roggia Ronco, Roggia Cadè, Roggia San Sisto). La portata di concessione complessiva è di circa 2.600 l/s, erogata durante la Stagione irrigua.

III.5.1 - CENNI STORICI

La rete di canali di cui fa parte, oltre a essere importante per l'agricoltura della zona, possiede un grande valore storico essendo una delle più antiche presenti in Piemonte. Essa infatti è stata edificata, a partire dal 1233, in seguito a un accordo sull'uso delle acque dello Scrivia tra i monaci Cistercensi dell'Abbazia di Rivalta ed il Comune di Tortona, il quale deteneva, per decreto imperiale, la proprietà e il privilegio dello sfruttamento delle acque dello Scrivia. Nel Palazzo Comunale venne ratificato l'accordo tra il Podestà Opizzone de Canevanuova e l'Abate Bartolomeo di Rivalta che consentiva al monastero di trattenere per sé un terzo delle acque derivate dalla Roggia Fraschetta. Questo trattato diede un notevole impulso all'agricoltura locale, gettando le basi per una riorganizzazione territoriale che favorisse il più possibile il riordino fondiario e la ramificazione dei canali. Tra il 1550 ed il 1850 si diffuse una fitta rete di canali lunga circa 120 km di cui 64 in Comune di Tortona. Le rogge e i canali, sottolineati spesso da filari di alberi, erano utilizzati per usi domestici, per l'azionamento dei molini, per l'esercizio di fornaci ed altre industrie.

III.5.2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

III.5.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Il territorio (Fig. III.144) è fortemente antropizzato, con la presenza di vari centri abitati, mentre buona parte del paesaggio extraurbano è dominato da cascine o case per lo più raggruppate in piccoli agglomerati. Le attività antropiche che condizionano l'ambiente sono essenzialmente di tipo agricolo e zootecnico.

L'area oggetto di studio presenta le caratteristiche di un ambiente soggetto essenzialmente a dinamiche fluviali ed antropiche, con una componente morfologica per lo più pianeggiante.

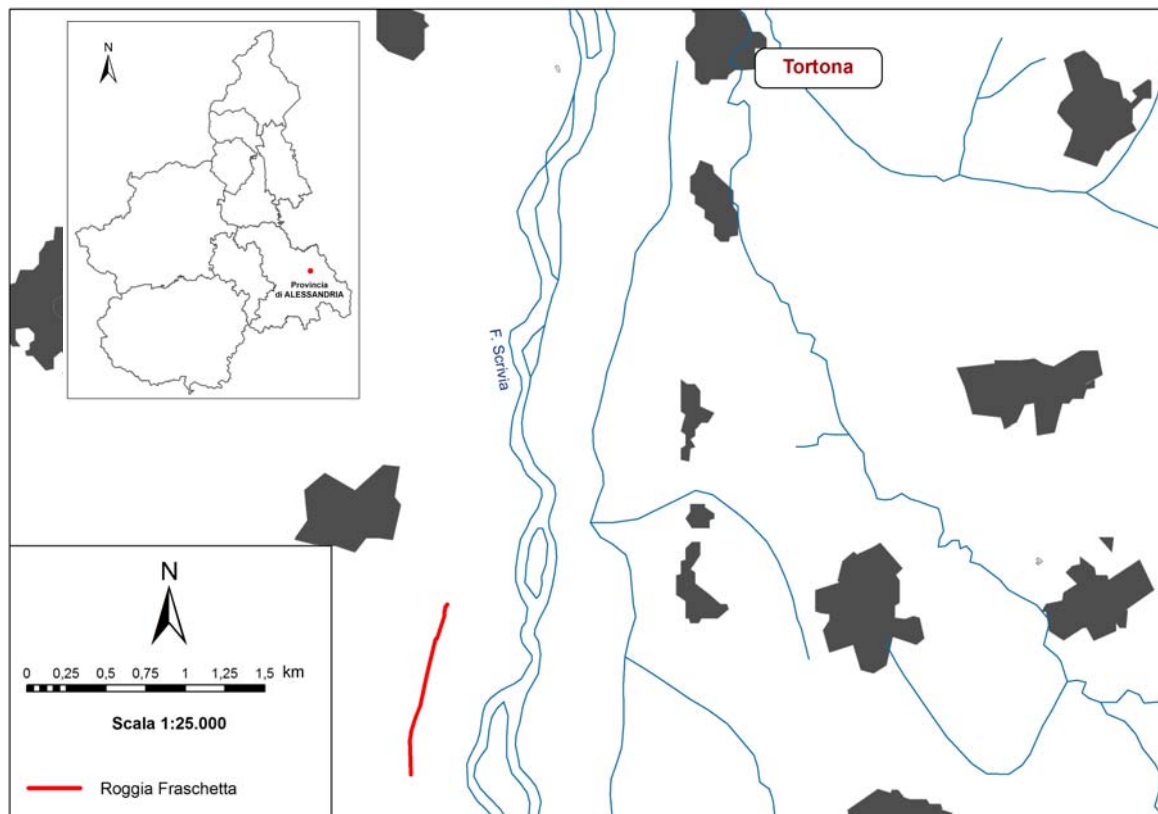


Figura III.144. Ubicazione dell'area e tratto di studio della Roggia Fraschetta.

III.5.2.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I primi studi geologici sulla Pianura Alessandrina, avvenuti alla fine del XIX secolo e nei primi decenni del 1900, si devono ad Alessandro Roccati e, in particolare, a Federico Sacco. Quest'ultimo individua, sin dal 1884, una sequenza di depositi continentali di età pre-Quaternaria: *“Sul termine dell'età Terziaria, possiamo ancora osservare formazioni fluvio-lacustri costituite da marne, sabbie e conglomerati disposti in lenti irregolari alternate, talora estesissime e di varia potenza, ricoprenti il Pliocene marino e che contengono una fauna ricca di mastodonti, elefanti, rinoceronti, ippopotami, ecc. e talora anche conchiglie fluvio-lacustri, tale complesso di strati ricevette dal marchese L.Pareto l'appellativo di Villafranchiano, dal nome della località tipo e dal prof. B.Gastaldi quello di Alluvioni Plioceniche, essendo alluvioni che ricoprono il Pliocene marino”*.

Sacco è anche l'autore della prima Carta geologica del Foglio Asti (1922) e Alessandria (1923); egli chiarì come la Conca alessandrina rappresentasse il prodotto del riempimento fluviale della parte orientale di una grande depressione marina dell'era Terziaria esistente tra le Alpi Liguri e l'estremità occidentale dell'Appennino, separata dalla Pianura Tortonese da un'anticlinale. L'impostazione geologica proposta da Sacco non fu più smentita per quanto riguarda le sue linee principali.

Il Foglio geologico 70 (Alessandria) è stato poi revisionato e ripubblicato nel 1970 a cura di Boni e Casnedi.

Per quanto riguarda l'assetto geologico-strutturale, la porzione pianeggiante della Provincia di Alessandria si trova in un particolare contesto geologico, in quanto si sviluppa a cavallo di unità paleogeografiche e tettoniche diverse. In corrispondenza ad essa si realizza, infatti, il collegamento fra il Bacino Ligure-Piemontese Terziario ed il più ampio Bacino Padano. Tale collegamento avviene tramite la “stretta morfologica Tortona-S.Giuliano-Montecastello”, che individua una dorsale sepolta.

Il tratto essenziale della Pianura alessandrina s.s. è costituito dal fatto che i depositi quaternari poggiano su un substrato di età Terziaria conformato a bacino, che formano ripetute alternanze di depositi marnoso-argilloso-arenaceo-conglomeratici terminanti con una sequenza di argille e sabbie Plioceniche e con depositi sabbioso-argillosi del Villafranchiano in *facies* fluvio-palustre (Fig. III.145).

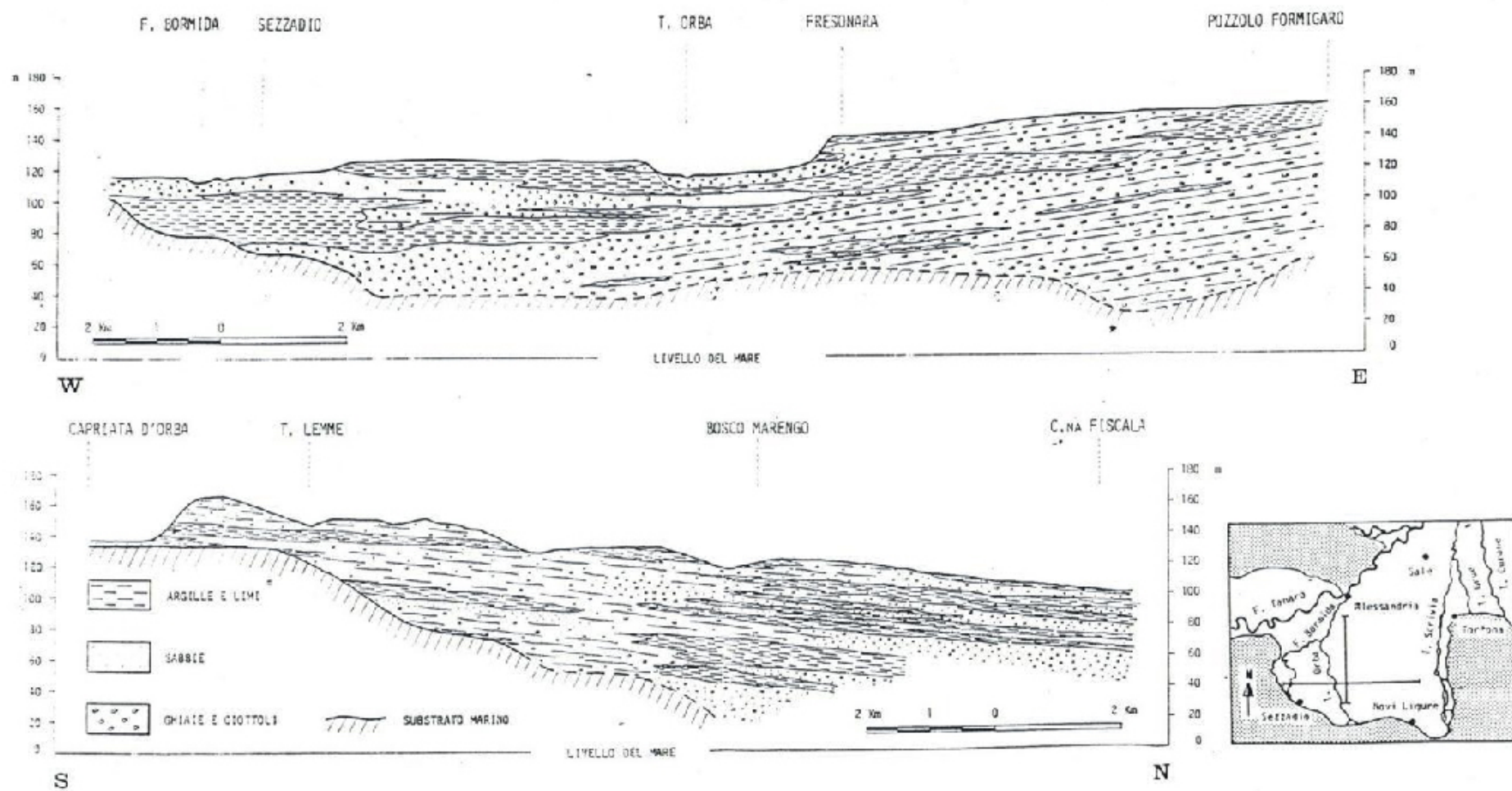


Figura III.145. Profili litostratigrafici schematici (Cotta Ramusino S. & Peloso G.F., 1987).

Le più recenti interpretazioni dei bacini sedimentari del Piemonte meridionale (Dela Pierre et Alii, 1985) portano a concludere che la pianura alessandrina sia un profondo bacino di piggy-back Plio-Quaternario, impostato sul dorso della catena Appenninica, i cui depositi raggiungono una potenza di 3500 metri ad Alessandria. La carta delle isobate della base del Pliocene mostra come questa depressione abbia direzione NW-SE con asse vergente da Serravalle Scrivia ad Alessandria e raggiunga il massimo approfondimento a SW di Alessandria, per poi riaffiorare nelle colline limitrofe all'area. Sempre nella zona a SW di Alessandria la base del Pliocene mostra alcuni ripiegamenti secondari di modesta entità.

Il forte ispessimento di sedimenti pliocenici al centro della Pianura alessandrina è causato da una forte subsidenza che è proseguita fino al Pleistocene Inferiore. La subsidenza sembra, comunque, essere stata interrotta da un brusco sollevamento, specie nella zona periferica, poiché la superficie di appoggio delle alluvioni sembra essere discordante e contraddistinta da solchi di erosione, in corrispondenza dei quali i sedimenti fluviali riposano su terrazzi terziari (Braga et Alii, 1976).

L'area appartenente al Bacino Padano (Pianura Tortonese), di poco esterna all'area presa in esame nel presente studio, è caratterizzata da una superficie d'appoggio dei depositi quaternari che presenta una costante immersione verso N con blande inclinazioni.

In base ai dati AGIP la dorsale Tortona-Montecastello rappresenterebbe il margine Appenninico sepolto, che mette in connessione lo Sperone di Tortona e la collina di Alessandria-Valenza. Essa corrisponde ad una serie di sovrascorrimenti attivi fino al Pliocene Medio-Superiore, orientati NW-SE. Lungo l'asse della succitata dorsale lo spessore delle alluvioni si riduce a circa una ventina di metri. (Fig. III.146).

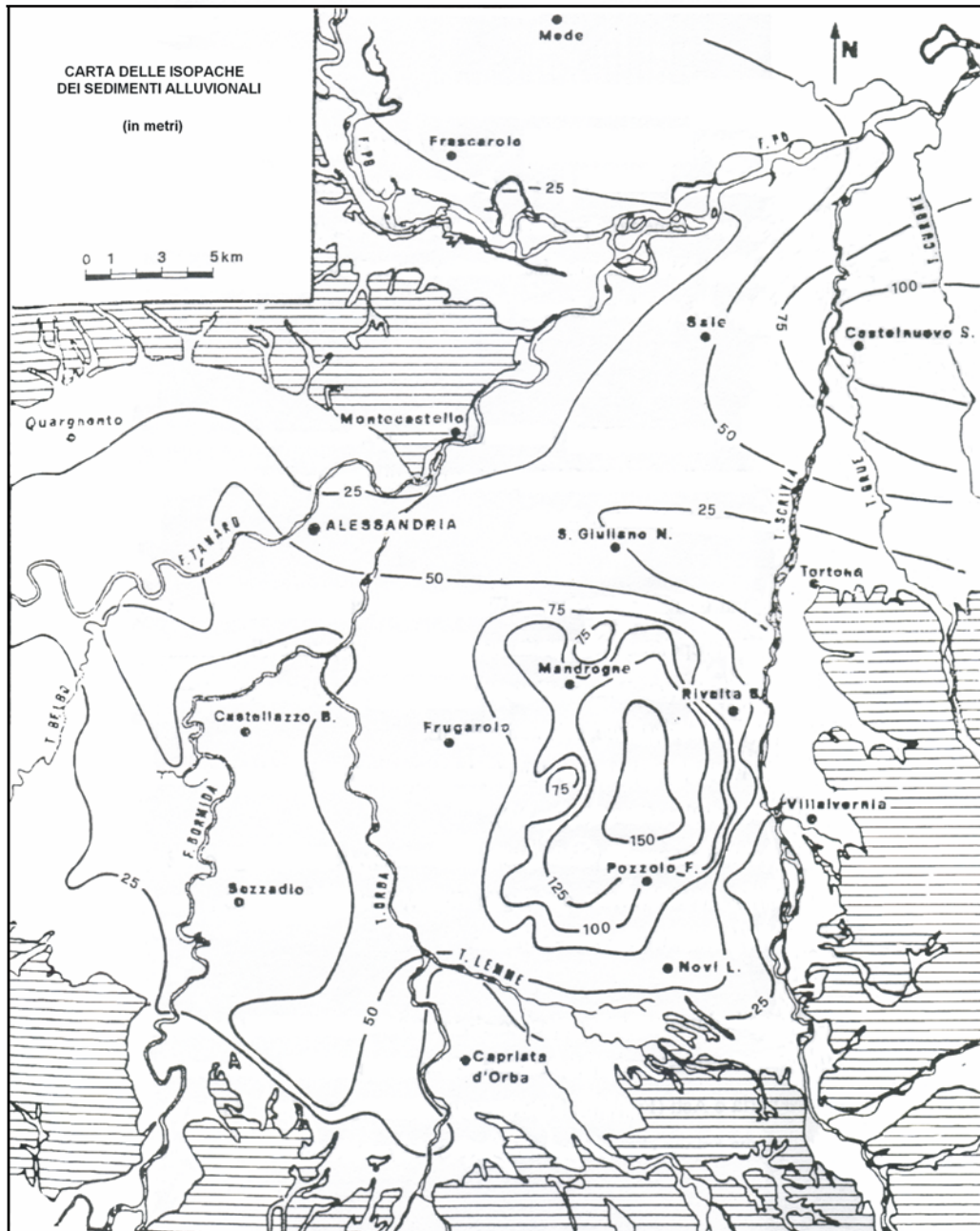


Figura III.146. Isopache dei sedimenti alluvionali (De Luca et al., 1987).

Altro elemento sepolto interessante è la struttura posta all'angolo NE del Foglio 70, dove la geofisica ha individuato due faglie dirette, immergenti a NE e con abbassamento della zolla NE, in corrispondenza di Sale.

Un altro elemento tettonico rilevante è la linea Villarvernia-Varzi; secondo vari studi proseguirebbe sotto la Pianura alessandrina in direzione Alessandria e Asti e segnerebbe il limite tra Alpi e Appennini e la sua azione si sarebbe protratta fino al Quaternario (Boni et al., 1980).

La suddetta linea tettonica rappresenta dunque il principale elemento disgiuntivo affiorante in zone prossime all'area di indagine ed è un elemento fondamentale per lo studio dei rapporti tra Alpi e Appennino. Questo lineamento segnala il limite tra il Bacino Terziario Ligure-Piemontese e lo Sperone di

Tortona, con direzione WNW-ESE, separando i terreni sollevati e curvati del bacino dalla struttura anticlinale di Spineto Scivia, rappresentata dalle Arenarie di Serravalle, dalle Argille di Lugagnano, dai Calcari di Zebedassi e dalle Marne di Antognola.

Lo Sperone di Tortona è costituito da due strutture anticlinali: una passante per Berzano di Tortona e l'altra passante per Cerreto Grue, con al nucleo i Calcari di Zebedassi. Le due anticlinali sono separate da una sinclinale, costituita essenzialmente da Marne di Monte Piano, Arenarie di Ranzano e, localmente, dalle Marne di Antognola.

Nella collina a nord di Alessandria è evidente l'anticlinale di Bric dell'Oglio, orientata NS, al nucleo della quale affiorano il Complesso indifferenziato di probabile origine tettonica, le Marne di Monte Piano e le Arenarie di Ranzano.

III.5.2.2.2 - COPERTURE QUATERNARIE

Nella pianura Alessandrina e Tortonese si riscontrano depositi marini facenti parte di una sequenza molassica di età Cretaceo-Pliocenica medio-superiore (appartenenti al Bacino Terziario Ligure-Piemontese) ed i depositi fluvio-lacustri-palustri del Villafranchiano (Pliocene sup. - Pleistocene inf.).

La pianura in esame (Fig. III.147) rappresenta il colmamento dei bacini Tortonese ed Alessandrino ad opera dei corsi d'acqua provenienti dai rilievi alpini e appenninici. Essa è infatti costituita da una serie di ampi conoidi alluvionali che, dallo sbocco delle rispettive valli, si aprono a ventaglio verso nord, saldandosi lateralmente tra di loro. I loro depositi, prevalentemente grossolani, si interdigitano lungo il bordo del Monferrato con i materiali più fini del Tanaro.

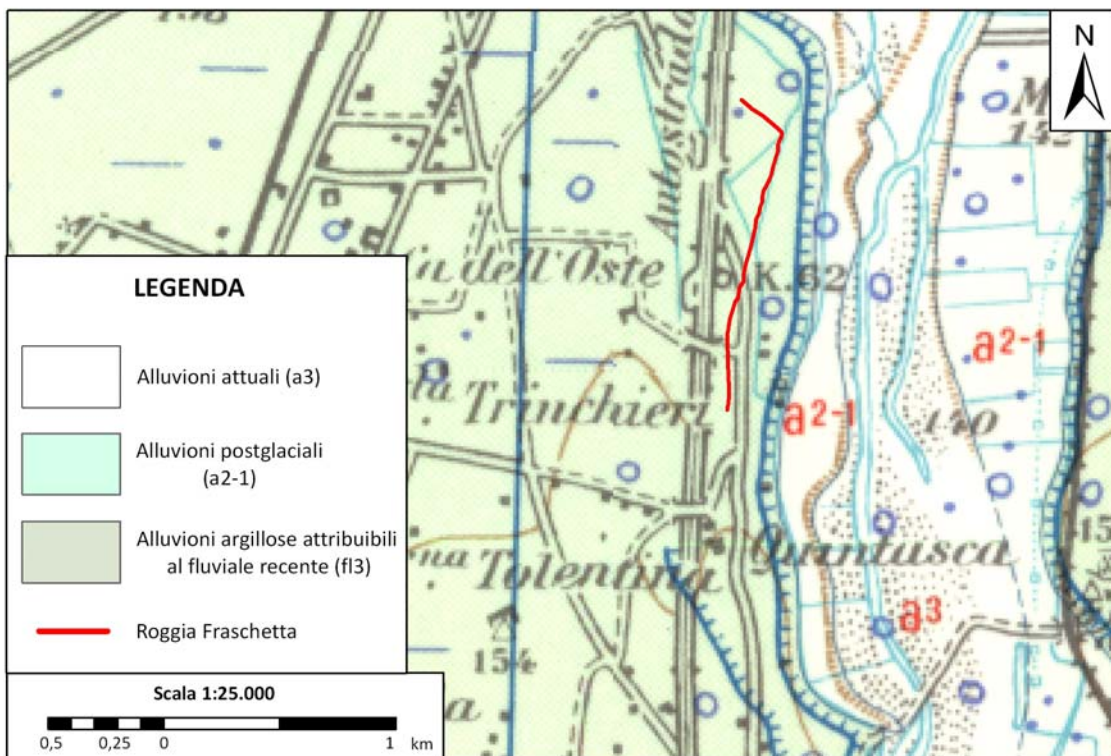


Figura III.147. Stralcio del Foglio Geologico a scala 1:100.000 "Alessandria".

In corrispondenza della dorsale sepolta i depositi alluvionali presentano un esiguo spessore; nella zona tra Castelceriolo e Montecastello e nei pressi di S.Giuliano Nuovo, infatti, a 20 m dal p.c. sono state trovate marne gessifere riferibili alla formazione Marnoso Gessifera del Messiniano.

La grande potenza dei depositi alluvionali trova spiegazione nel fatto che nella zona vennero a confluire grosse correnti fluviali (Bormida e Scrivia) e che, a cominciare dall'interglaciale Riss-Wurm, vi giunse anche il Tanaro raccogliendo le acque di gran parte delle Alpi Marittime.

La parte occidentale del bacino fu, ed è tuttora, alluvionata dal Bormida e dall'Orba con materiale ghiaioso e ciottoloso, mentre il Tanaro, dato il suo lungo percorso, ha un apporto prevalentemente

sabbioso. La parte orientale del bacino, comprendente l'area tra Novi-Alessandria-Sale, invece, è essenzialmente il prodotto dell'alluvionamento dell'antica grande fiumana dello Scrivia, come testimoniato dalla presenza di ciottoli calcarei provenienti dal suo bacino imbrifero. Solo ad W di Spinetta Marengo e di Castelceriolo si vedono affiorare, oltre ai ciottoli calcarei, anche ciottoli di serpentiniti e di gneiss provenienti dall'erosione del Gruppi di Voltri da parte di Bormida e Orba (Braga et Alii, 1976).

III.5.2.3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

In base alle caratteristiche geoidrologiche, le varie litologie affioranti nella Provincia di Alessandria sono state raggruppate in unità idrogeologiche (AA.VV., 2005), differenziate per genesi e per età, in:

- Serie dei Depositi Continentali (Olocene - Pleistocene inf.);
- Serie dei Depositi di Transizione (Pleistocene inf. - Pliocene medio);
- Serie dei Depositi Marini Pliocenici (Pliocene);
- Serie dei Depositi Prepliocenici del Bacino Terziario Piemontese (Pliocene inf.- Oligocene);
- Serie dei Complessi Sedimentari dei Rilievi Alpino e Appenninico (preMiocene);
- Serie dei Complessi Cristallini del Rilievo Alpino.

Nell'area di studio si riscontra l'affioramento di due di queste serie (Fig. III.148):

Serie dei Depositi Continentali

I Complessi Idrogeologici appartenenti a questa Serie ospitano falde idriche superficiali, generalmente a superficie libera.

Il Complesso dei Depositi Alluvionali olocenici affiora nelle fasce alluvionali del Fiume Tanaro, del Fiume Bormida, del Torrente Orba e del Torrente Scrivia; il settore alluvionale si allarga in particolare nella zona di Alessandria (dove si ha la confluenza del Torrente Belbo e del Fiume Bormida nel Fiume Tanaro), e nell'area compresa tra il Fiume Tanaro e il Torrente Scrivia verso la confluenza nel Fiume Po. Anche in gran parte del settore di pianura del Casalese sono presenti i depositi alluvionali di questo complesso, in una fascia di ampiezza superiore ai 10 Km.

Il Complesso dei Depositi Fluviali del Würm costituisce bassi terrazzi che delimitano lateralmente o, più spesso, frontalmente i terrazzi di ordine superiore. Esso affiora fra Tortona e Pontecurone e costituisce l'elemento di raccordo tra gli Alti Terrazzi (o i rilievi del Bacino Terziario Piemontese) e l'area di pianura.

Il Complesso dei Depositi Fluviali del Riss affiora nel settore più occidentale della Provincia.

Il Complesso dei Depositi Fluviali del Mindel costituisce gli ordini di terrazzo minori presenti a nord del Monferrato.

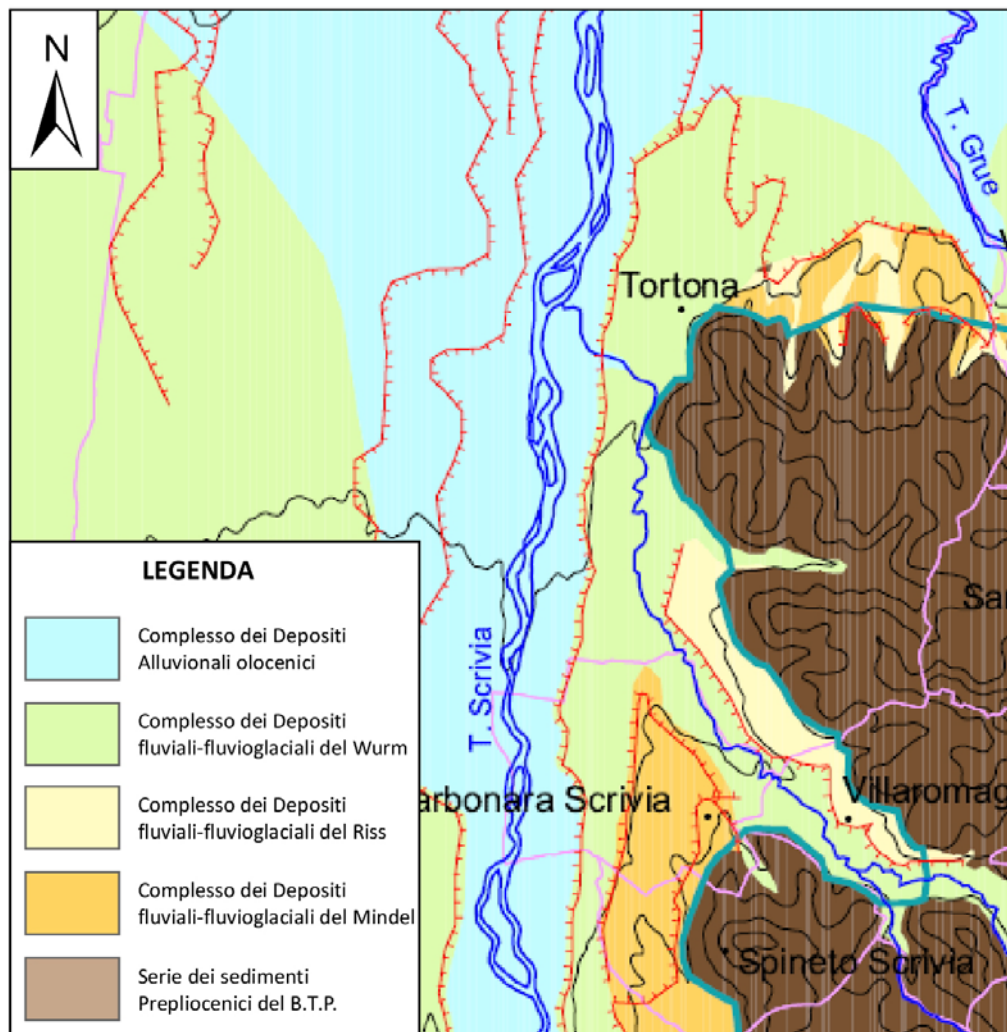


Figura III.148. Estratto della Carta dei Complessi Idrogeologici della Provincia di Alessandria, scala 1:100.000 (Bove et al., 2005).

Serie dei Depositi Preliocenici del Bacino Terziario Piemontese

La Serie è rappresentata dalle rocce sedimentarie del Bacino Terziario Piemontese *auct.* (inclusa la Formazione di Cassano Spinola, Messiniano-Pliocene inferiore).

La Serie dei Depositi Preliocenici del Bacino Terziario Piemontese occupa i rilievi nel settore del Monferrato. A sud, tale Serie costituisce il settore terminale delle Langhe, l'alto Monferrato, compreso all'incirca tra il Fiume Bormida e il Torrente Lemme, e il settore Lemme-Staffora, che si spinge nuovamente verso nord fino ai Comuni di Tortona e Pozzolo Groppo.

III.5.3 - RICOSTRUZIONE DELL'ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico nell'area studiata è stata effettuata tramite l'utilizzo di 6 stratigrafie di sondaggi o pozzi. Queste sono state scelte in base alla vicinanza al canale di Osasco e alla loro profondità. Sono stati creati due profili, uno all'incirca parallelo (A-A') e l'altro trasversale (B-B') rispetto al canale (Fig. III.149).

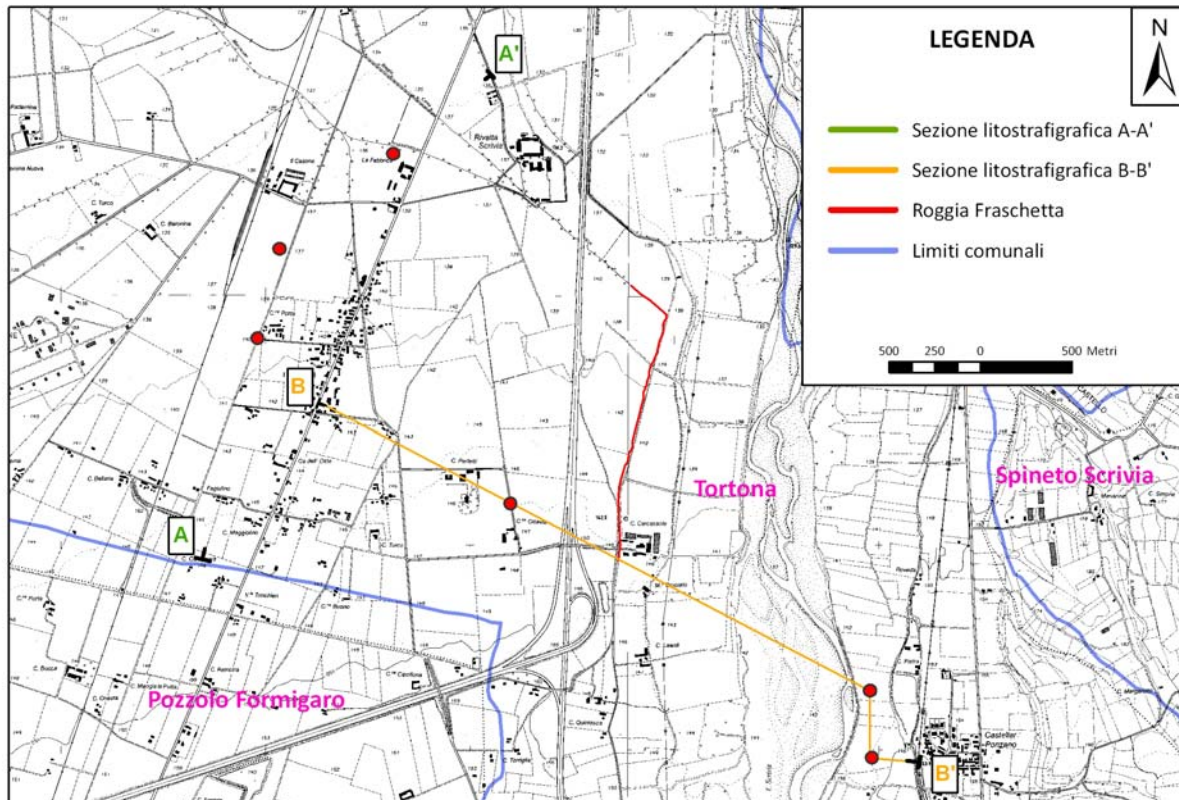


Figura III.149. Ubicazione delle tracce delle sezioni litostratigrafiche.

III.5.3.1 - PROFILO A - A'

La sezione A-A' (Fig. III.150) si estende, con direzione circa N-S, a ovest della Roggia Fraschetta ed ha andamento circa parallelo sia ad esso, sia al fiume Scrivia.

Si può constatare come prevalga una granulometria eterogenea, in prevalenza fine. Considerando le stratigrafie 2 e 3, si notano diversi strati a componente prevalentemente argillosa a profondità comprese tra i 30 e i 70 m di profondità, di spessore anche decametrico. In particolare lo strato di materiale fine a 70 metri trova riscontro anche nella stratigrafia 1, dimostrando una continuità e uno spessore tale da garantire una buona protezione degli acquiferi sottostanti.

Spingendosi a maggiori profondità si può osservare, intorno ai 120 m, un aumento delle granulometrie fini, segnato nelle stratigrafie come "argilla" ma più probabilmente assimilabile a limi e argille. Negli ultimi 5-10 m delle due stratigrafie più profonde (2 e 1) si intercetta un acquifero a matrice prevalentemente sabbiosa, captato dal filtro più profondo del pozzo relativo alla stratigrafia 2.

III.5.3.2 - PROFILO B - B'

La sezione B-B', (Fig. III.131) ha andamento circa trasversale rispetto alla Roggia Fraschetta e al fiume Scrivia; ha direzione NW-SE a partire da località Gerbidi; in corrispondenza alla sponda destra idrografica del fiume Scrivia cambia direzione e assume andamento quasi N-S, terminando poi in località Castellar Ponzano.

Anche in questa sezione si hanno granulometrie molto eterogenee con una prevalenza di frazioni fini, quali limi e argille. Nella stratigrafia del pozzo 4 non si hanno notizie stratigrafiche per i primi 20 metri di profondità. Dopo un livello di potenza di alcune decine di metri con permeabilità medio-bassa a matrice eterogenea e inclinato di pochi gradi verso NW, si ritrovano alcune intercalazioni di sedimenti prevalentemente grossolani a matrice sabbioso-ghiaiosa di spessore decametrico.

Nelle stratigrafie in sponda destra idrografica dello Scrivia è, inoltre, molto evidente la prevalenza di matrice fine, limoso – argillosa, che permette un'ottima protezione degli acquiferi posti al di sotto. Questo è anche testimoniato dal posizionamento dei filtri nei pozzi relativi alle stratigrafie 5 e 6, destinati a scopi acquedottistici. Nello strato a maggior componente grossolana, segnato in queste due stratigrafie a profondità compresa tra i 50 e i 60 m, si nota un aumento della componente fine andando in direzione W.

In 3 stratigrafie utilizzate per il profilo B-B' viene evidenziato, inoltre, un livello di materiale estremamente poco permeabile al di sotto dei 70 - 80 m di profondità.

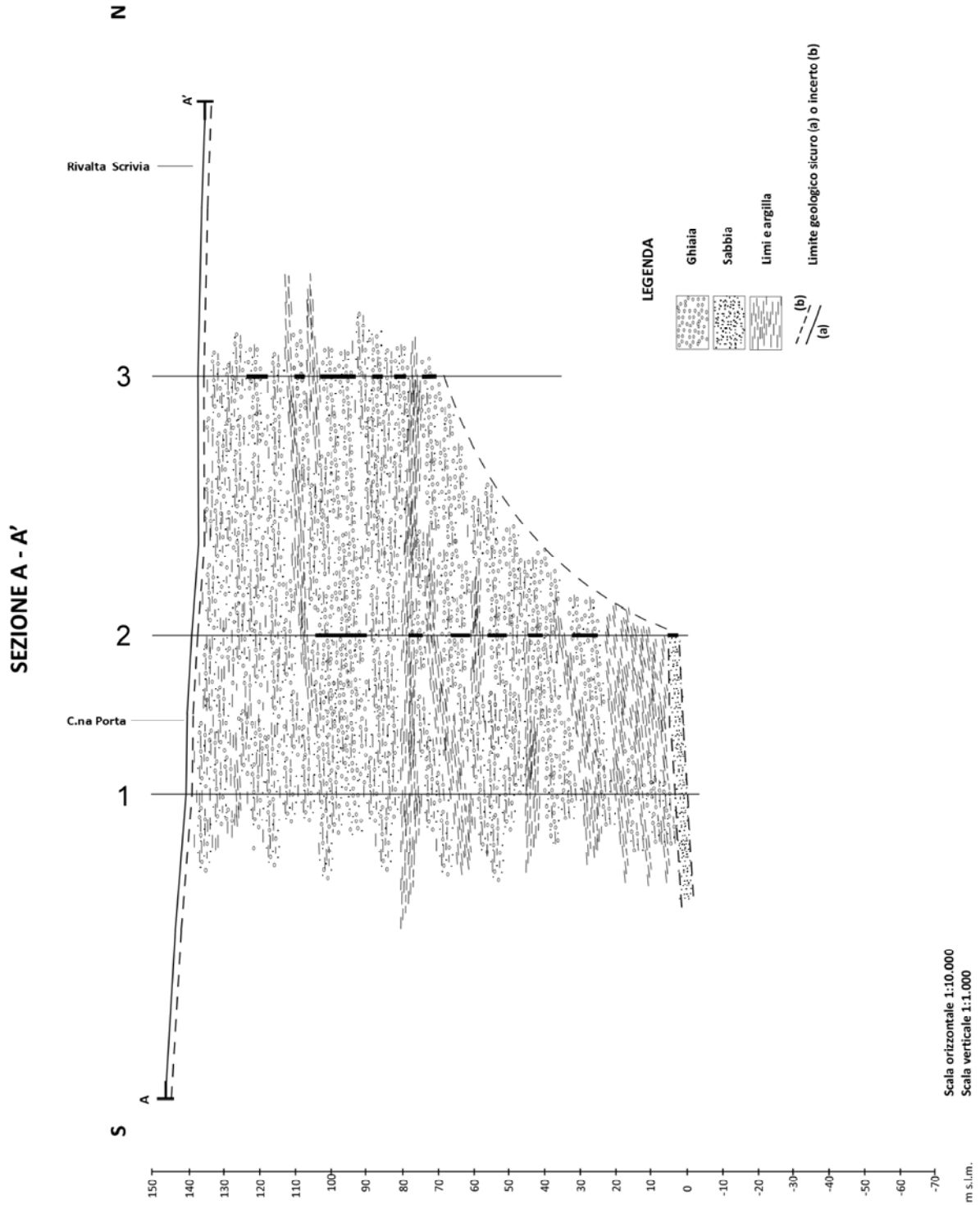


Figura III.150. Ricostruzione litostratigrafica: profilo A-A'.

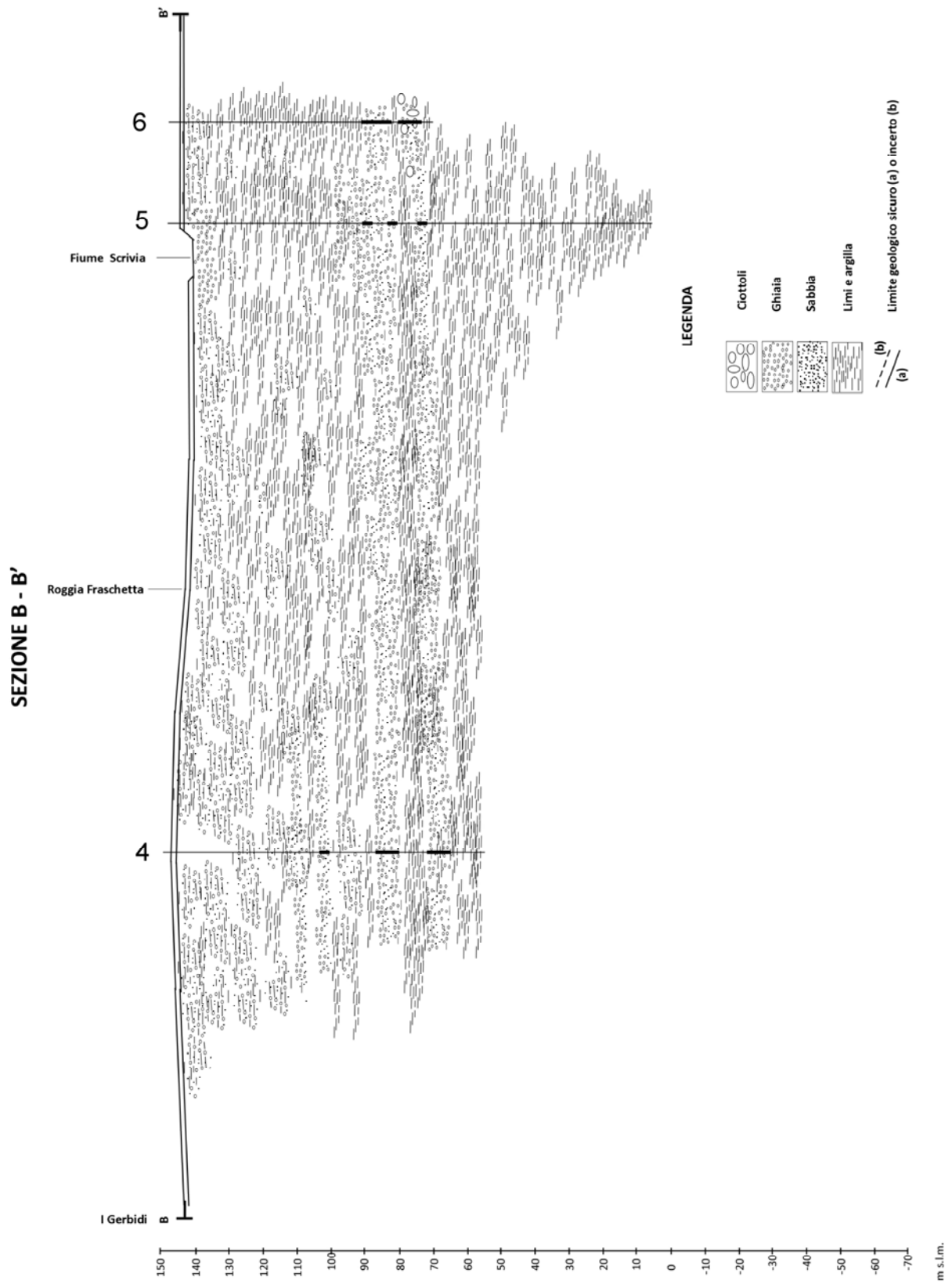


Figura III.151. Ricostruzione litostратigrafica: profilo B-B'.

III.5.4 - RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

Il tratto di canale investigato è lungo poco più di un chilometro e si diparte dalla Cascina Carcassola. Su tutto il percorso l'alveo è reso poco accessibile dalla fitta vegetazione (per lo più alberi a piccolo fusto) che cresce sulle sponde; è stato tuttavia possibile osservare che, per quasi l'intera lunghezza del tratto oggetto di studi, sia la platea che la sponde siano in terra e materiale naturale di riporto. Un unico breve tratto, in prossimità della fine del percorso indagato, presenta un rivestimento in calcestruzzo in tutta la sezione (Fig. III.153). A questo proposito è stata compiuta una mappatura del canale, visibile in Figura III.152: i pochi tratti cementati sono in corrispondenza di cambi di direzione o prese di canaletti secondari, ad esempio a NW di Cascina dei Battitori, dove il rivestimento interessa alveo e sponde.

Si segnalano inoltre dei brevi tratti in cui le sponde sono rivestite in mattoni, tuttavia non è stato possibile cartografarle per la loro modesta dimensione nei confronti dell'intero tratto rilevato.

La platea del canale ha una larghezza variabile da 1 a 2 m e la profondità media si attesta tra i 10 e i 30 cm. Non vi sono bocchette per la presa dell'acqua in questo tratto; nell'area, infatti, l'irrigazione è effettuata con tubazioni che prelevano acqua direttamente dal canale.

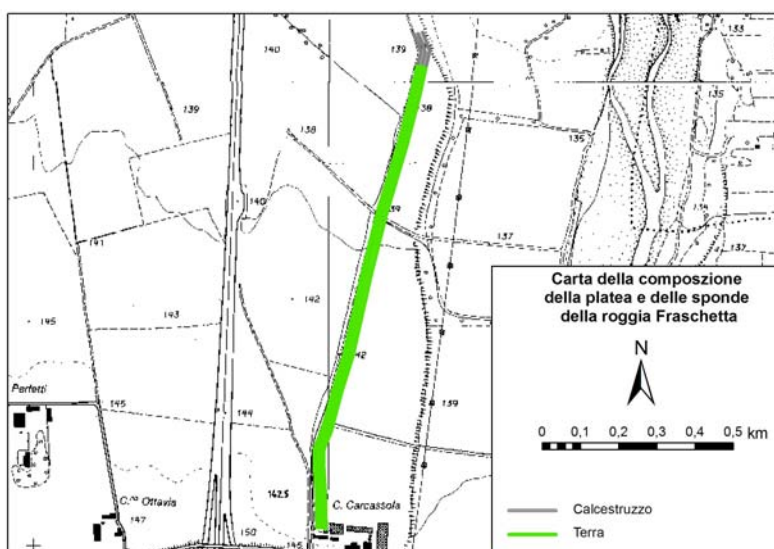


Figura III.152. Mappatura dei materiali costituenti sponde e platea della Bealera di Osasco nel tratto studiato.

Da notizie bibliografiche, circa il 95% dell'intera roggia risulta essere in terra, tranne il tratto ubicato sotto la zona abitata e il tratto nella zona dell'Interporto.



Figura III.153. Tratto di canale rivestito in calcestruzzo della Roggia Fraschetta.

III.5.5 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI ACQUA DAI CANALI IRRIGUI

Si riportano nel seguito i metodi adottati per la Roggia Fraschetta per la valutazione delle possibili perdite dalla stessa.

III.5.5.1 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE DAI CANALE IRRIGUI

Per la Roggia Fraschetta è stato possibile valutare le perdite, da un punto di vista quantitativo, sia mediante l'applicazione di formule empiriche, sia attraverso la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico, il metodo con doppio tracciante e il metodo con tracciante e mulinello.

III.5.5.1.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI UN CANALE IRRIGUO

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le indagini di terreno svolte durante diverse campagne di misura per la valutazione della portata del canale. Tali indagini sono essenziali e propedeutiche per la successiva valutazione delle perdite.

III.5.5.1.1.1 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE CON IL MULINELLO IDROMETRICO

Prova 1 (settembre 2010)

Il 17 settembre 2010 è stata eseguita la prima campagna di misura delle portate con il mulinello idrometrico (Fig. III.145). In Figura III.144 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le ubicazioni delle sezioni di misura. In particolare sono state scelte tre sezioni di misura in corrispondenza di tre attraversamenti del canale: una sezione di monte (S1), una intermedia (S2) e una di valle (S3).

Le caratteristiche della sezione di S1 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 290 cm;
- numero di conci: 16;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 14 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$.

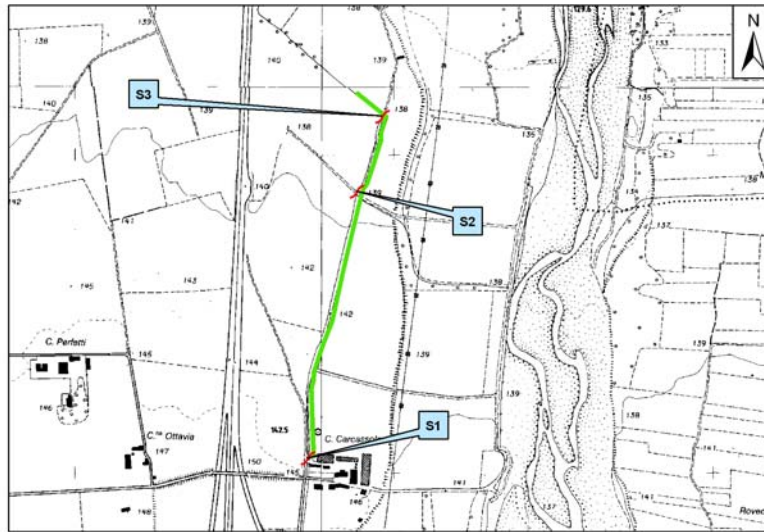


Figura III.144. Ubicazione delle sezioni di misura (settembre 2010).



Figura III.145. Misura della velocità della corrente mediante mulinello idrometrico sulla Roggia Fraschetta.

Le caratteristiche della sezione di S2 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 320 cm;
- numero di conci: 13;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 8 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di S3 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 360 cm;
- numero di conci: 13;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 9 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 2 (settembre 2010)

Il 22 settembre 2010 è stata eseguita una seconda campagna (ad una settimana di distanza dalla prima) di misura delle portate con il mulinello idrometrico. In Figura III.144 è riportato uno stralcio della C.T.R. in cui sono segnate le ubicazioni delle sezioni di misura. In particolare sono state scelte tre sezioni di misura in corrispondenza di tre attraversamenti del canale: una sezione di monte (S1), una intermedia (S2) e una di valle (S3).

Le caratteristiche della sezione di S1 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 290 cm;
- numero di conci: 16;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 12 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di S2 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 320 cm;
- numero di conci: 13;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 8 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione di S3 sono le seguenti:

- larghezza alveo: 360 cm;
- numero di conci: 13;
- larghezza concio: 20 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 9 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prova 3 (giugno 2011)

La Roggia Fraschetta è stata oggetto di una seconda campagna di misurazioni il giorno 28/06/2011; in tale data sono state realizzate due misure di portata del canale con mulinello idrometrico nelle sezioni denominate A (sezione di monte) e B (sezione di valle) (Figura III.146). La misura di portata è avvenuta contemporaneamente nelle sezioni A e B.

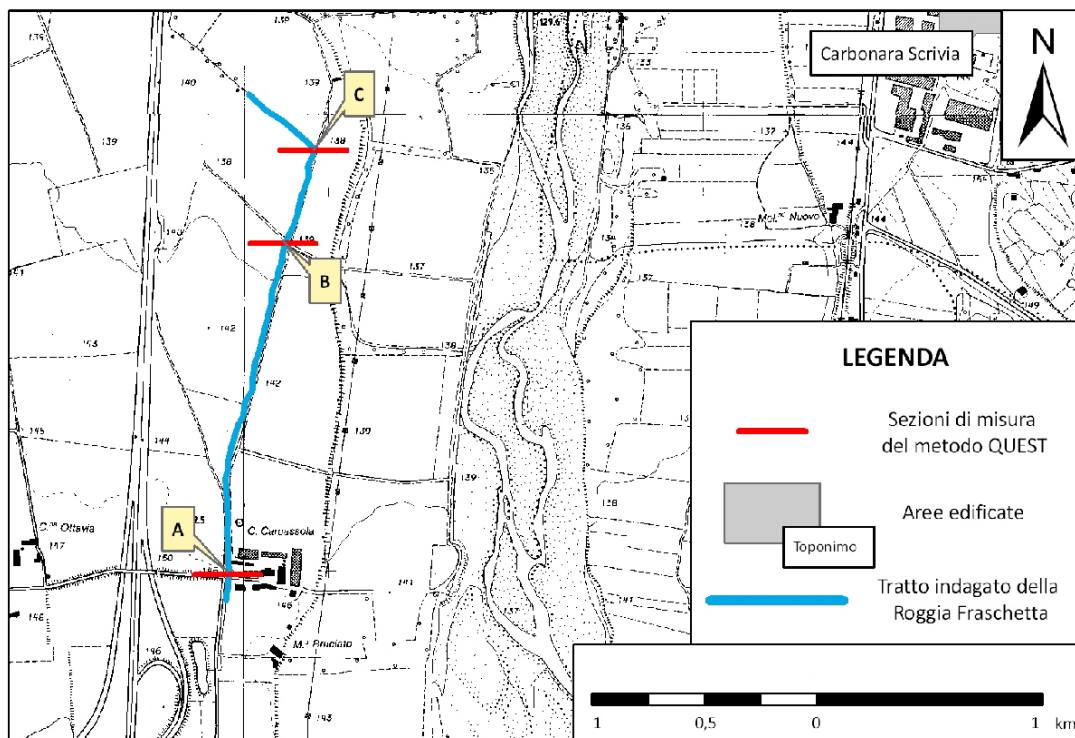


Figura III.146. Tratto indagato con evidenziate le sezioni di misura utilizzate (giugno 2011).

Al fine di validare le analisi realizzate è stato effettuato un monitoraggio delle variazioni dei livelli idrici mediante installazione di trasduttori di pressione nei punti A e B del tratto indagato.

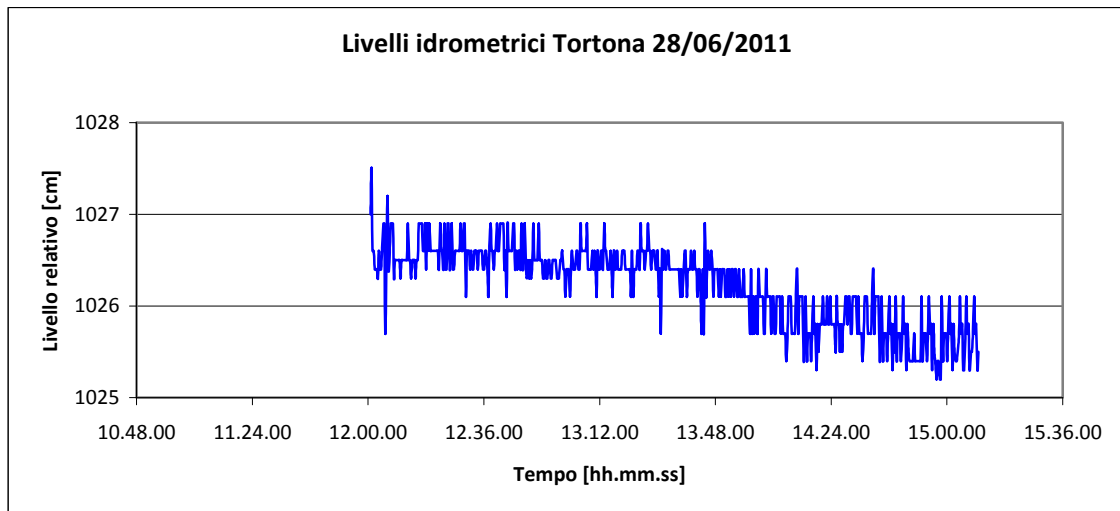


Figura III.147. Grafico delle oscillazioni dei livelli idrometrici della Roggia Frascchetta (Tortona, AL).

Dall'idrogramma in Figura III.147, relativo al monitoraggio dei livelli idrici in data 28/06/2011, si evince una sostanziale costanza nell'altezza del pelo libero dell'acqua durante la realizzazione delle prove. Infatti, la prova è durata dalle h 12:30 alle 12:45, intervallo temporale in cui l'idrogramma non evidenzia variazioni di rilievo del livello tali da influenzare il risultato ottenuto. Le uniche oscillazioni di rilievo sono state registrate dopo le 13:50; queste però sono successive alla fine delle indagini.

Le caratteristiche della sezione A sono le seguenti:

- larghezza alveo: 280 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 28 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 15 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le caratteristiche della sezione B sono le seguenti:

- larghezza alveo: 300 cm;
- numero di conci: 10;
- larghezza concio: 30 cm;
- profondità di misura del livello idrico: 14 cm.

L'elaborazione dei dati ha fornito un valore di portata $Q = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.5.5.1.1.2 - MISURE DI PORTATA CON I GALLEGGIANTI

L'eccessiva vegetazione ha impedito lo svolgimento della prova; i galleggianti, infatti, hanno subito rallentamenti od ostruzioni al deflusso da parte della copertura arbustiva delle sponde, a tal punto da invalidare la prova. 2 prove a giugno.

III.5.5.1.1.3 - MISURE DI PORTATA DI UN CANALE MEDIANTE TRACCIAMENTO SALINO

Prova 1 (settembre 2010)

Nel settembre 2010 è stato effettuato un tracciamento salino con multi campionamento, il quale tuttavia non ha avuto un esito positivo. Nel tratto di valle (distante 400 m dall'immissione), punto predisposto alla rilevazione della conducibilità elettrolitica, non sono state registrate variazioni significative nei suoi valori per i successivi 90 minuti. Presumibilmente la soluzione molto densa, creata diluendo 15 kg di sale in 50 litri d'acqua, si è stratificata e parzialmente depositata nell'alveo del canale; la bassa velocità del deflusso può inoltre aver contribuito all'eccessivo rallentamento nel movimento verso valle. Durante la prova la vegetazione spondale ha impedito il raggiungimento dell'alveo nel tratto intermedio alla prova al fine di verificare l'eventuale ridotta velocità di avanzamento della soluzione.

Prova 2 (giugno 2011)

Nel giugno 2011 è stata eseguita una misure di portata del canale mediante tracciamento salino nel tratto BC (Fig. III.148). L'immissione della soluzione, costituita da 10 kg di NaCl disciolti in acqua, è avvenuta nella sezione di monte B, mentre la misura della conducibilità elettrolitica tramite multicampionamento ogni 5 s si è svolta nel punto C (Fig. III.146).

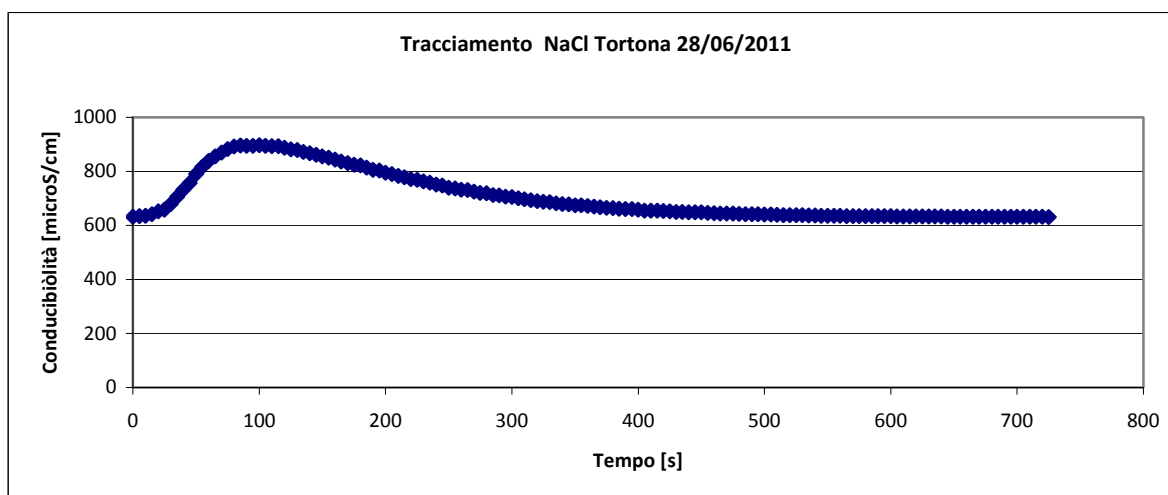


Figura III.148. Curva ottenuta con i dati del multicampionamento.

Per effettuare la conversione conducibilità – concentrazione si sono utilizzati i dati in Tab. III.29, ottenuti in laboratorio partendo da un campione di acqua del canale.

Conc. (g/l)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)
0	634
0.1	1014
0.2	1364
0.4	2096

Tabella III.29. Dati utilizzati per la realizzazione della curva di taratura.

La retta di taratura risultante dall'utilizzo dei dati sopra indicati è rappresentata in Figura III.149.

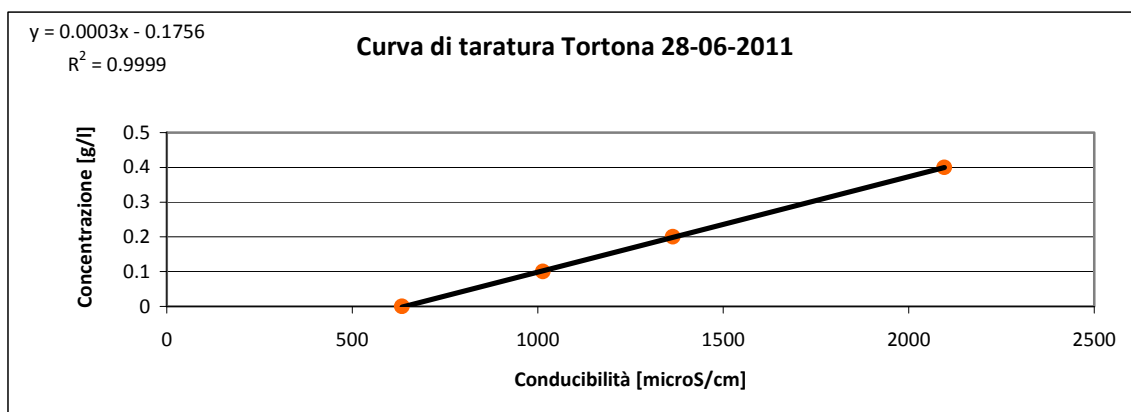


Figura III.149. Curva rappresentativa del plume della soluzione salina per il calcolo della portata nel tratto BC e relativa curva di taratura rispetto all'acqua della Roggia Fraschetta.

La portata ottenuta con l'NaCl è pari a $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tab. III.30).

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	12:55
Ora fine picco	13:05
Tempo di campionamento	5 s
Massa tracciante	10 kg
Portata	$0.29 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabella III.30. Riassunto dei dati relativi alla prova con l'NaCl per il calcolo della portata nel tratto BC.

III.5.5.1.2 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE FORMULE EMPIRICHE

Sul tratto di canale indagato sono state applicate le diverse formulazioni empiriche descritte nel capitolo II (Davis & Wilson, 1967; Doorenbos, 1963; Lotti, 1974 e U.S. Bureau of Reclamation).

Considerando un alveo naturale in terreno limoso-sabbioso ($K=15$), lungo 400 metri, un perimetro bagnato di 3.00 metri, una velocità media dell'acqua pari a 0.15 m/s, un livello dell'acqua di 0,19 m, una portata di 0.74 m³/s, una k pari a 15 (per la formulazione di Davis e Wilson), una C pari 0,002 (per la formulazione di Doorenbos) ed una C di 0,80 (per la Formulazione della U.S. Bureau of Reclamation) è stato possibile valutare i valori di perdita descritti nella Tabella III.31.

U.D.M.	Davis & Wilson	Doorenbos	Lotti	U.S. Bureau of Reclamation
m ³ /s	0.00160	0.0010	0.00300 – 0.00400	0.00018
m ³ /giorno*m ²	0.1152	0.072	0.252	0.0129
l/giorno	138240	86400	302400	15552

Tabella III.31. Riassunto dei risultati ottenuti con i vari metodi empirici di calcolo delle perdite.

III.5.5.1.2.1 - METODI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDO DEL CANALE

Nel seguito vengono riportati i risultati dell'applicazione di alcune metodiche volte a definire le caratteristiche dei terreni di fondo dei canali indagati e di valutare alcuni parametri degli stessi. Tali dati sono a supporto delle metodiche empiriche utilizzate per la valutazione delle perdite.

III.5.5.1.2.1.1 - MISURE INFILTROMETRICHE CON PERMEAMETRO GUELPH

La prova infiltrometrica con permeametro Guelph è stata realizzata nel mese di giugno 2010 per verificare la conducibilità idraulica del sottosuolo nelle immediate vicinanze del canale; questa è stata impostata a pochi metri dall'alveo, in destra idrografica del canale (Fig. III.150).

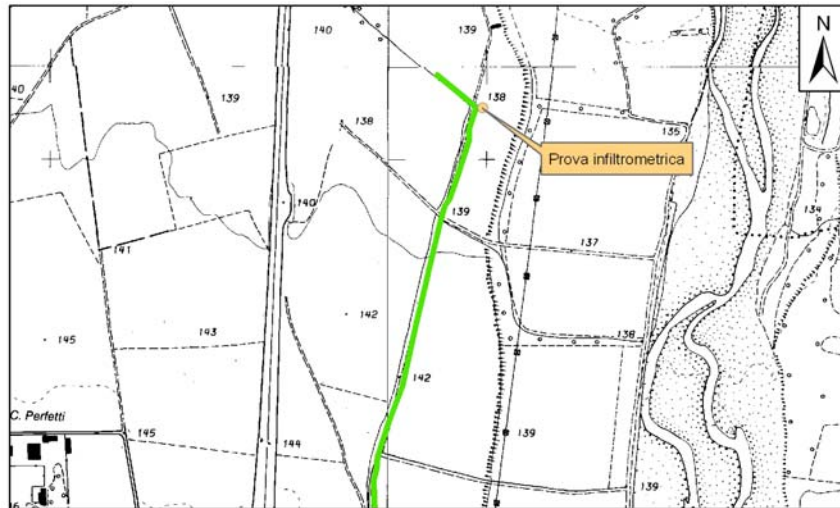


Figura III.150. Ubicazione prova infiltrometrica.

La prova ha evidenziato una conducibilità idraulica del terreno pari a $6,1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

III.5.5.1.2.1.2 - PROVE PENETROMETRICHE

Nel giugno 2010 sono state realizzate tre prove penetrometriche dinamiche a pochi metri dall'alveo del canale (Fig. III.151), in destra idrografica, per cercare di valutare più dettagliatamente le caratteristiche del sottosuolo e confrontarle con i risultati di altre analisi.

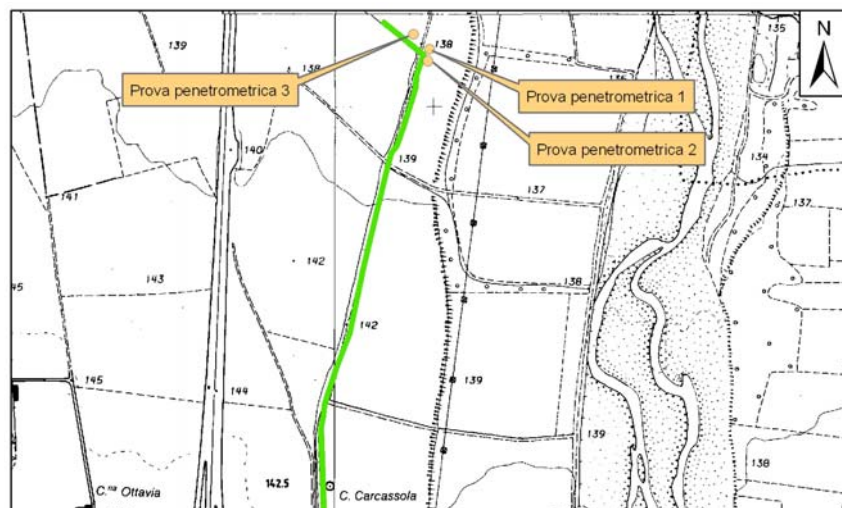


Figura III.151. Ubicazione prove penetrometriche (giugno 2010).

I risultati sono riportati nei grafici in Figura III.152 (a e b).

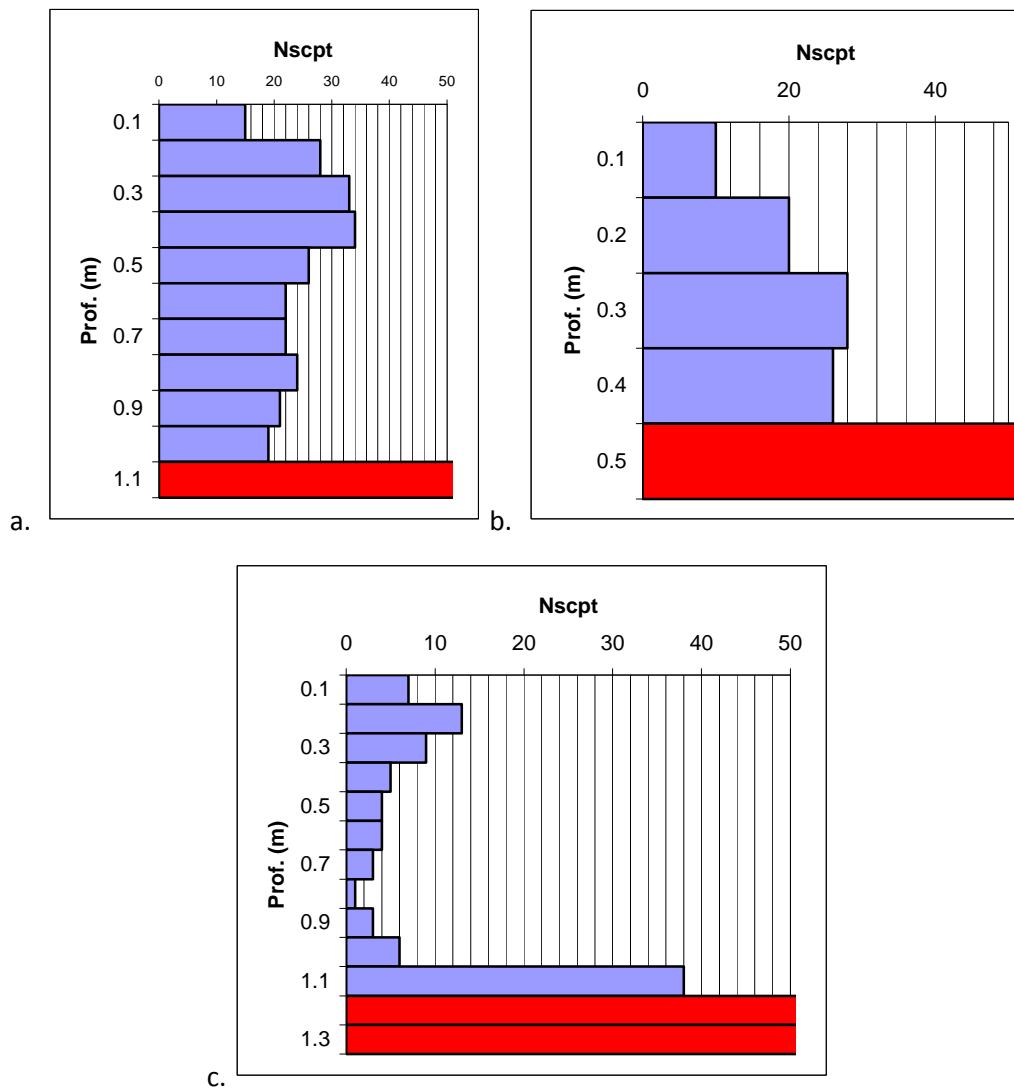


Figura III.152. Esito delle prove penetrometriche: (a) prova 1, (b) prova 2, (c) prova 3.

In tutte le prove è da notare come, fino al primo metro di profondità, il suolo attraversato offra poca resistenza alla penetrazione, mentre al di sotto di tale profondità si verifici un brusco aumento del numero di colpi necessario ad infiggere la punta, presumibilmente per la presenza ghiaie e ciottoli.

III.5.5.1.3 - VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLE PERDITE MEDIANTE MISURE DI TERRENO

III.5.5.1.3.1 - MISURE DIFFERENZIALI DI PORTATA MEDIANTE IL MULINELLO IDROMETRICO

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico sono state condotte nel settembre 2010 e nel giugno 2011. Le due prove di settembre 2010 sembrano mostrare debole perdite o guadagni ($- 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ e $+ 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$) di acqua dal canale. Tuttavia, poiché le misure sono molto vicine e la portata del canale molto bassa, i risultati potrebbero non essere validi ai fini di tale valutazione. La prove del giugno 2011, con misure di portata contemporanee nelle sezioni indagate, evidenziano una perdita di $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ (11,1 %); allo stesso modo della campagna di settembre, tale risultato potrebbe essere invalidato a causa dei bassi valori di portata misurati e dall'errore intrinseco al metodo.

III.5.5.1.3.2 - METODO CON DOPPIO TRACCIANTE

Nel giugno 2011 è stato applicato il metodo del doppio tracciante nel tratto di indagine della Roggia Fraschetta mediante l'uso della fluoresceina, della rodamina WT e del NaCl.

La fluoresceina e la rodamina WT sono state utilizzate come traccianti indicatori nel tratto AB (Fig. III.153 e 154). Per questa indagine sono stati immessi a *slug* 5 grammi di polvere di fluoresceina e 10 grammi diluiti al 20 % di rodamina WT, rilevati mediante fluorometro con campionamento a 6 secondi nella sezione B (Tab. III.32).

Si riportano di seguito i diagrammi concentrazione vs tempo per la fluoresceina e la rodamina WT.

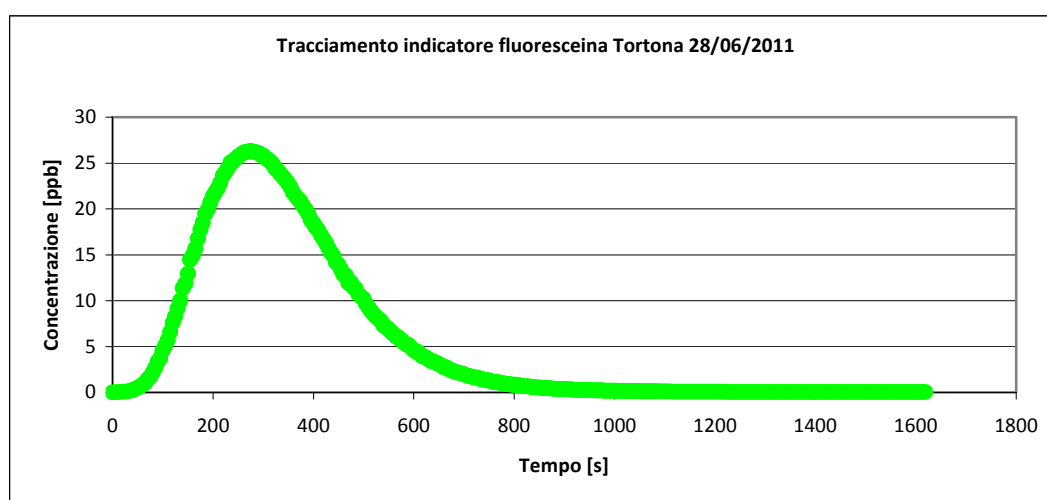


Figura III.153. Curva rappresentativa del plume di fluoresceina per il calcolo della portata nel tratto AB della Roggia Fraschetta.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	13:10
Ora fine picco	13:30
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	5 g
Portata	0.47 m³/s

Tabella III.32. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la Fluoresceina WT per il calcolo della portata nel tratto AB.

La portata ottenuta con la Fluoresceina è pari a 0.47 m³/s. Durante la realizzazione della prova non sono state osservate oscillazioni del livello idrico del canale (Fig. III.147).

Il risultato dell'indagine con la fluoresceina non è risultato valido, essendo molto differente alla misura con mulinello idrometrico. L'errore nella misura può trovare giustificazione nella non completa miscelazione del tracciante nel canale. Questo, infatti, presenta basse velocità, che risultano sfavorevoli al miscelamento completo di un tracciante in stato di polvere.

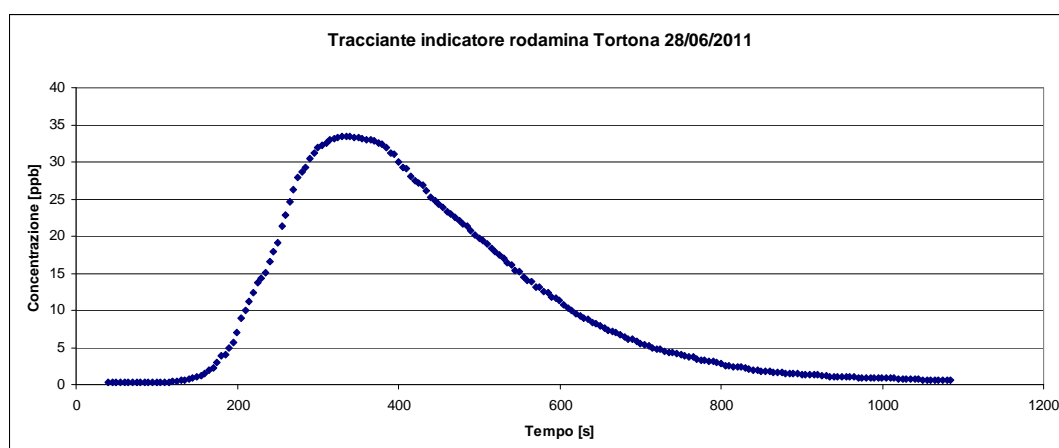


Figura III.154. Curva rappresentativa del plume di rodamina WT per il calcolo della portata nel tratto AB.

DATI DELLA PROVA	
Ora inizio picco	13:49
Ora fine picco	14:04
Tempo di campionamento	6 s
Massa tracciante	10 g
Portata	0.33 m³/s

Tabella III.33. Tabella riassuntiva dei dati relativi alla prova con la rodamina WT per il calcolo della portata nel tratto AB.

La portata ottenuta con la rodamina WT è pari a $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il Cloruro di Sodio, invece, è stato impiegato come tracciante di riferimento nel tratto BC. La portata ottenuta con l'NaCl nella campagna di giugno 2011 è pari a $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$ (cfr. paragrafo II.2.1.3.3).

In base al metodo del doppio tracciante, utilizzando la rodamina WT come tracciante indicatore, il tratto AB risulta avere una perdita del 12,1 %, pari a $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.5.5.1.3.3 - METODO CON TRACCIANTE E MULINELLO

È stato applicato il metodo con tracciante e mulinello, utilizzando la misura di portata con rodamina WT del giugno 2011 e la misura di portata con mulinello idrometrico della stessa campagna di misura, eseguita nel punto B (Fig. III.146).

Secondo tale metodo, è possibile valutare un guadagno idrico del 27,3 %, pari a $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.6 – CONCLUSIONI RIASSUNTIVE

Nei tratti indagati dei canali oggetto di studio (canale di Caluso, bealera di Osasco, naviglio di Boves, naviglio di Bra e roggia Frascchetta) sono state condotte, tra il 2010 e il 2011, numerose indagini di terreno e campagne di misura volte a definire la situazione geologica-idrogeologica locale, le caratteristiche dei canali stessi e la possibile presenza di perdite.

In dettaglio per ciascun canale sono state eseguite differenti campagne di misura, dapprima su tratti ristretti di canale con lo scopo di valutare le portate degli stessi e testare la precisione delle metodologie applicate; successivamente le indagini di terreno hanno consentito, applicando anche le metodiche risultate più efficaci tra quelle precedentemente testate, di valutare la presenza di perdite o guadagni di acqua dai canali.

Per quanto concerne il **canale di Caluso**, questo è stato utilizzato per tarare i metodi di misura, in seguito applicati agli altri canali oggetto di studio.

I metodi per la valutazione qualitativa delle perdite dal canale irriguo (metodo idrochimico, metodo piezometrico e tomografia elettrica) non hanno dato risultati completi e soddisfacenti. Ciò a causa della scarsità di punti di misura (pozzi o piezometri) presenti nelle immediate vicinanze del tratto di canale indagato, che non ha consentito uno studio puntuale della situazione locale.

Il confronto delle misure di portata del canale, ottenute applicando le differenti metodologie proposte (mulinello idrometrico, galleggianti, tracciamento salino) a tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza, presentano valori confrontabili (Tab. III.33).

Le metodologie di indagine della portata utilizzate nel luglio 2010 nel tratto di monte S1 del canale hanno dato risultati analoghi, pari a $2,17 \text{ m}^3/\text{s}$, in particolar modo mediante tracciamento salino e misura con conducimetro in alveo. Il tracciamento con multicampionamento ha, invece, restituito un valore di portata inferiore, pari a $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le misure di portata dell'ottobre 2011, condotte con galleggianti e tracciamento salino su tratto impermeabilizzato, presentano risultati tra loro confrontabili, sebbene non identici a causa dell'errore intrinseco ai metodi; in particolare il metodo dei galleggianti tende a sovrastimare il dato di portata.

Infine le misure di portata del giugno 2011, misurate nella sezione di valle, presentano valori comparabili.

Data	MULINELLO [m ³ /s]	GALLEGGIANTE [m ³ /s]	TRACCIAMENTO SALINO [m ³ /s]
Luglio 2010	2,17	-	2,17 tracciamento salino e misura con conducimetro in alveo 1,80 tracciamento con multicampionamento
Ottobre 2010		1,99	1,69 tracciamento salino e prelievo delle acque
giugno 2011	0.94		0.97

Tabella III.34. Valori di portata calcolati su tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza (canale di Caluso).

Le formule empiriche applicate al tratto di canale in esame (Tab. III.34) individuano entità di perdita di acqua dal canale molto dissimili tra loro, con variazioni anche di ordini di grandezza. Si discosta in modo particolare il valore della quantità di perdite restituito dalla formula dell' U.S. Bureau of Reclamation. Risultano, invece, simili i valori delle perdite ricavati tramite l'applicazione delle formulazioni di Davis e Wilson e di Lotti. Il valore medio di perdita calcolato con i differenti metodi risulta pari a 0.00954839 m³/s.

	<i>Davis e Wilson</i>	<i>Doorenbos</i>	<i>Lotti</i>	<i>U.S. Bureau of Reclamation</i>
m³/s	0,01395 (0.7 %)	0,00796 (0.4 %)	0,01572 (0.8 %)	0,00056 (0.03 %)

Tabella III.34. Valori delle perdite ricavati attraverso l'applicazione delle formulazioni empiriche (canale di Caluso).

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico (Tab. III.35) sono state supportate da due campagne di taratura dello strumento in un tratto impermeabilizzato del canale (luglio 2010 e giugno 2011). Tali prove indicano rispettivamente un aumento di portata pari a 0,04 m³/s (5,7%) e una perdita pari a 0,02 m³/s (2,1%), che risultano congruenti con l'errore intrinseco di questa prova (pari al 5% su ogni singola misura).

La misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico sul tratto con fondo naturale S1-S2 (luglio 2010) evidenzia invece un perdita pari a 0,16 m³/s (7.8%).

Il metodo con doppio tracciante, impiegato su un tratto impermeabilizzato come taratura della metodica, evidenzia perdite idriche dal canale pari a 0.05 m³/s (4.9 %). Tale dato è riferito alla prova eseguita nel giugno 2011.

Infine il metodo con tracciante e mulinello, impiegato sul tratto impermeabilizzato come taratura della metodica, rileva un guadagno idrico pari a 0.08 m³/s (7.8 %). Tale dato, riferito alla prova eseguita nel giugno 2011, presenta una differenza di portata tra sezione di monte e valle maggiore rispetto alla misura

differenziale di portata mediante il mulinello e al metodo con doppio tracciante; ciò è verosimilmente legato agli errori intrinseci nei metodi, che nel caso del metodo con tracciante e mulinello si sommano tra loro.

Il confronto tra il valore medio di perdita, calcolato con formule empiriche e con misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico su tratto con fondo naturale, evidenzia che le formule matematiche sottostimano fortemente il dato.

Data	misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico	metodo con doppio tracciante	metodo con tracciante e mulinello
Luglio 2010	+ 0,04 m ³ /s	-	-
Giugno 2011	- 0,02 m ³ /s	- 0.05 m ³ /s	+ 0.08 m ³ /s

Tabella III.35. confronto delle stime delle perdite (-) e dei guadagni (+) di acqua nel canale di Caluso sul tratto impermeabilizzato (taratura del metodo).

Per quanto concerne la bealera di Osasco, il metodo idrochimico e il metodo piezometrico non hanno dato risultati completi e soddisfacenti, a causa della scarsità di punti di misura (pozzi o piezometri) presenti nelle immediate vicinanze del tratto di canale indagato; ciò non ha consentito uno studio puntuale della situazione locale. Dalla carta piezometrica realizzata, infatti, non è possibile evincere rapporti di alimentazione o drenaggio fra la falda superficiale e il canale in esame.

La tomografia elettrica, in modo particolare la sezione trasversale al canale, evidenzia una zona verosimilmente soggetta a perdite, legate all'infiltrazione verticale di acqua dal canale verso la sottostante falda idrica.

Il confronto delle misure di portata del canale, ottenute applicando le differenti metodologie proposte (mulinello idrometrico, galleggiante, tracciamento salino) a tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza, presentano valori tra loro comparabili, sebbene non identici a causa dell'errore intrinseco ai metodi.

Nella campagna del giugno 2010 (Tab. III.36) i valori di portata risultano simili nel caso dell'uso del mulinello e dei galleggianti.

Le metodologie di indagine della portata utilizzate nel settembre 2010 e giugno 2011 (mulinello idrometrico e tracciamento salino con multicampionamento) hanno restituito risultati comparabili. La discrepanza tra i risultati può rientrare nell'errore di misura delle due metodologie.

Data	MULINELLO [m³/s]	GALLEGGIANTE [m³/s]	TRACCIAMENTO SALINO [m³/s]
Giugno 2010	0.75	0.79	-
Settembre 2010	0.78	-	0.70
Giugno 2011	0.37	-	0.45

Tabella III.36. Valori di portata calcolati su tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza (bealera di Osasco).

Le formule empiriche applicate al tratto di canale in esame (Tab. III.37) indicano un valore medio di perdita pari a $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$. Tuttavia le varie formule empiriche individuano entità di perdita di acqua dal canale molto dissimili tra loro, con variazioni anche di ordini di grandezza. Come nel caso del canale di Caluso, si discosta in modo particolare il valore della quantità di perdite restituito dalla formula dell' U.S. Bureau of Reclamation. Risultano, invece, simili i valori delle perdite ricavati tramite l'applicazione delle formulazioni di Davis e Wilson e di Doorenbos.

	<i>Davis e Wilson</i>	<i>Doorenbos</i>	<i>Lotti</i>	<i>U.S. Bureau of Reclamation</i>
m^3/s	0,00182 (0.2 %)	0,00199 (0.3 %)	0,00382 (0.5 %)	0,00036 (0.05 %)

Tabella III.37. Valori delle perdite ricavati attraverso l'applicazione delle formulazioni empiriche (bealera di Osasco).

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico, eseguite nel giugno 2010, settembre 2010 e giugno 2011, evidenziano situazioni dissimili tra loro nel corso del tempo. In particolare nella campagna di giugno 2010 sono state rilevate variazioni di portata pressoché nulle nel tratto indagato; nella prova di settembre 2010, invece, è possibile individuare una perdita di portata pari a $0.28 m^3/s$ (40%); nel giugno 2011 è, infine, stato rilevato un guadagno pari a $0.04 m^3/s$ (9.8 %), con misure di portata contemporanee nelle sezioni indagate.

Il metodo con doppio tracciante, condotto nel giugno 2011, evidenzia un guadagno idrico pari a $0.05 m^3/s$ (12.5 %), valore comparabile con la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico dello stesso periodo.

Infine il metodo con tracciante e mulinello, applicato con i dati di portata del giugno 2011, evidenzia un guadagno idrico pari a $0.03 m^3/s$ (7.5 %). Anche in questo caso il dato è in linea con i valori ricavati con i precedenti metodi.

Al contrario, i valori di perdite calcolati con le formule matematiche sembrano sottostimare fortemente il dato.

Data	misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico	metodo con doppio tracciante	metodo con tracciante e mulinello
Giugno 2010	+ $0.02 m^3/s$	-	-
Settembre 2010	- $0.28 m^3/s$	-	-
Giugno 2011	+ $0.04 m^3/s$	+ $0.05 m^3/s$	+ $0.03 m^3/s$

Tabella III.38. Confronto delle stime delle perdite (-) e dei guadagni (+) di acqua nella bealera di Osasco.

Per quanto concerne il naviglio di Boves, il metodo idrochimico non ha dato risultati completi e soddisfacenti, a causa della scarsità di punti di prelievo delle acque nelle immediate vicinanze del tratto di canale indagato. Il metodo piezometrico, integrato con misure puntuali in micropiezometri appositamente installati, ha evidenziato una condizione di alimentazione locale della falda da parte del canale nel tratto indagato. Lo stesso risultato è stato evidenziato dalla tomografia elettrica, che rileva la presenza di una massa d'acqua che dal canale diparte per infiltrazione verso la falda

Il confronto delle misure di portata del canale,

Data	MULINELLO [m ³ /s]	GALLEGGIANTE [m ³ /s]	TRACCIAMENTO SALINO [m ³ /s]
Maggio 2010	2,98	2,24	-
Luglio 2011	3.05	-	3.11

Tabella III.39. Valori di portata calcolati su tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza (naviglio di Boves).

Le formule empiriche applicate al tratto di canale in esame (Tab. III.40) indicano un valore medio di perdita pari a 0.001 m³/s. Tuttavia le varie formule empiriche individuano entità di perdita di acqua dal canale molto dissimili tra loro, con variazioni anche di ordini di grandezza. Come nel caso dei canali precedentemente descritti, si discosta in modo particolare il valore della quantità di perdite restituito dalla formula dell' U.S. Bureau of Reclamation. Risultano, invece, simili i valori delle perdite ricavati tramite l'applicazione delle formulazioni di Davis e Wilson, di Doorenbos e di Lotti.

	<i>Davis e Wilson</i>	<i>Doorenbos</i>	<i>Lotti</i>	<i>U.S. Bureau of Reclamation</i>
m³/s	0,0010 (0.04 %)	0,0010 (0.04 %)	0,0020 (0.07 %)	0,00006 (0.002 %)

Tabella III.40. Valori delle perdite ricavati attraverso l'applicazione delle formulazioni empiriche (naviglio di Boves).

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico eseguite nel maggio 2010 e luglio 2011, evidenziano rispettivamente una debole perdita di portata, di entità ampiamente inferiore alla precisione dello strumento, e a un guadagno pari a 0.66 m³/s (27,6 %); quest'ultima campagna è stata eseguita con misure di portata contemporanee nelle sezioni indagate.

Il metodo con doppio tracciante, condotto nel luglio 2011, evidenzia guadagno idrico pari a 0.67 m³/s (22,1 %), valore comparabile con la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico dello stesso periodo.

Infine il metodo con tracciante e mulinello, applicato con i dati di portata del luglio 2011, evidenzia un guadagno idrico pari a $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$ (23,5 %).

Le metodologie applicate hanno permesso, quindi, di ottenere una discreta congruenza tra i valori differenziali di portata misurati, evidenziando un generalizzato guadagno di acqua da parte del canale. Tale fenomeno è verosimilmente connesso alla situazione morfologica locale: infatti il canale si colloca, per la maggior parte del tratto indagato, alla base di un versante; la falda idrica presente nel versante potrebbe alimentare il canale, apportando acqua.

I valori di perdite calcolati con le formule matematiche, infine, non possono restituire la situazione reale, non tenendo in considerazione la complessa situazione idrogeologica e geomorfologica locale.

Data	misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico	metodo con doppio tracciante	metodo con tracciante e mulinello
Maggio 2010	- $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$	-	-
Luglio 2011	+ $0.66 \text{ m}^3/\text{s}$	+ $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$	+ $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabella III.41. Confronto delle stime delle perdite (-) e dei guadagni (+) di acqua nel (naviglio di Boves).

Per quanto concerne il **naviglio di Bra**, i metodi idrochimico e piezometrico, pur avendo pochi dati a disposizione, indicano una possibile alimentazione del canale, ubicato circa alla base di un terrazzo, da parte della falda superficiale. Per quanto concerne le sorgenti ubicate in destra idrografica del canale, dai dati disponibili è possibile supporre una stretta relazione delle stesse con l'acqua di falda, mentre sembrano meno influenzate dall'acqua del canale.

La tomografia elettrica, pur di supporto alle prove per la valutazione delle caratteristiche dei terreni di fondo del canale, non ha dato indicazioni rilevanti inerenti i rapporti tra falda idrica e canale.

Il confronto delle misure di portata del canale, ottenute applicando le differenti metodologie proposte (mulinello idrometrico, galleggianti, tracciamento salino) a tratti di canale tra loro simili come ubicazione e lunghezza, presenta valori tra loro comparabili.

Le metodologie di indagine della portata utilizzate nell'ottobre 2010 nel tratto di monte del canale hanno dato medesimi risultati. Leggermente differente il dato ottenuto mediante tracciamento salino; tale risultato può trovare giustificazione nella difficoltà di miscelamento della soluzione salina in alveo, data la bassa velocità del flusso del canale. La medesima situazione si registra nella campagna di luglio 2011.

Data	MULINELLO [m³/s]	GALLEGGIANTE [m³/s]	TRACCIAMENTO SALINO [m³/s]
Luglio 2010	2.55 (valore medio di 4 sezioni)	-	Prova con esito negativo
Ottobre 2010	0.97	0,97	0,88
Luglio 2011	2.67	-	2.03

Tabella III.42. Valori di portata calcolati su tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza (naviglio di Bra).

Le formule empiriche applicate al tratto di canale in esame (Tab.????) indicano un valore medio di perdita pari a 0.0017 m³/s. Le formule empiriche adottate restituiscono valori di perdita del tutto comparabili tra loro.

	<i>Davis e Wilson</i>	<i>Doorenbos</i>	<i>Lotti</i>	<i>U.S. Bureau of Reclamation</i>
<i>m³/s</i>	0,0020 (0.2 %)	0,0020 (0.2 %)	0,0040 (0.4 %)	0,00100 (0.1 %)

Tabella III.43. Valori delle perdite ricavati attraverso l'applicazione delle formulazioni empiriche (naviglio di Bra).

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico eseguite nel luglio 2010 e nel luglio 2011 evidenziano situazioni dissimili tra loro nel corso del tempo.

In particolare nella campagna di luglio 2010 è stata eseguita una stima delle possibili perdite del Naviglio di Bra, che è risultata di $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Al contrario nel luglio 2011 è stato registrato un guadagno pari a $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ (17,6 %). Le portate misurate, tuttavia, potrebbero rappresentare il risultato tra le diffuse sorgenti alimentanti il Naviglio di Bra sulla sponda sinistra e le possibili perdite del canale stesso sulla sponda destra a quote meno elevate. Inoltre va considerato l'errore intrinseco dello strumento, pari al 5 %, che potrebbe aver contribuito al risultato ottenuto.

Il metodo con doppio tracciante, condotto nel luglio 2011, evidenzia una perdita idrica pari a $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ (16.5 %), valore simile alla misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico dello stesso periodo.

Infine il metodo con tracciante e mulinello, applicato con i dati di portata del luglio 2011, evidenzia un guadagno idrico pari a $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ (9.9 %). Tale dato è differente da quello ottenuto con gli altri metodi: ciò potrebbe trovare giustificazione nei forti variazioni del livello idrico durante tutto l'arco della giornata. Inoltre le basse velocità del flusso potrebbero avere contribuito a una non completa miscelazione dei differenti traccianti.

Le metodologie applicate hanno permesso, tuttavia, di stimare un generalizzato guadagno di acqua da parte del canale. Tale situazione, evidenziata anche dai metodi idrochimico e piezometrico, può essere connessa ad una possibile alimentazione del canale, ubicato circa alla base di un terrazzo, da parte della falda superficiale.

Data	misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico	metodo con doppio tracciante	metodo con tracciante e mulinello
Luglio 2010	- $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$	-	-
Luglio 2011	+ $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$	+ $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$	+ $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabella III.44. Confronto delle stime delle perdite (-) e dei guadagni (+) di acqua nel naviglio di Bra.

I valori di perdite calcolati con le formule matematiche sembrano sottostimare fortemente il dato.

Per quanto concerne la **Roggia Fraschetta**, i metodi per la valutazione qualitativa delle perdite dal canale irriguo (metodo idrochimico, metodo piezometrico) non sono stati applicati a causa della scarsità punti di misura (pozzi o piezometri) presenti nelle immediate vicinanze del tratto di canale indagato, che non ha consentito uno studio della situazione locale.

Il confronto delle misure di portata del canale, ottenute applicando le differenti metodologie proposte (mulinello idrometrico, galleggianti, tracciamento salino) a tratti di canale tra loro simili come ubicazione e lunghezza, presenta valori tra loro comparabili nella campagna di giugno 2011. Leggermente differente il dato ottenuto mediante tracciamento salino; tale risultato può trovare giustificazione nella difficoltà di miscelamento della soluzione salina in alveo, data la bassa velocità del flusso del canale.

Data	MULINELLO [m ³ /s]	GALLEGGIANTE [m ³ /s]	TRACCIAMENTO SALINO [m ³ /s]
Settembre 2010	0.14 m ³ /s (valore medio di 3 sezioni)	-	Prova con esito negativo
Giugno 2011	0.24 m ³	Prova con esito negativo	0.29 m ³ /s.

Tabella III.45. Valori di portata calcolati su tratti di canale tra loro comparabili come ubicazione e lunghezza (roggia Fraschetta).

Le formule empiriche applicate al tratto di canale in esame (Tab. III.46) indicano un valore medio di perdita pari a 0.0052 m³/s.

Tuttavia le varie formule empiriche individuano entità di perdita di acqua dal canale molto dissimili tra loro, con variazioni anche di ordini di grandezza. Si discosta in modo particolare il valore della quantità di perdite restituito dalla formula dell' U.S. Bureau of Reclamation.

	<i>Davis e Wilson</i>	<i>Doorenbos</i>	<i>Lotti</i>	<i>U.S. Bureau of Reclamation</i>
m³/s	0,00160 (0.2 %)	0,00100 (0.1 %)	0,00350 (0.5 %)	0,00018 (0.02 %)

Tabella III.46. Valori delle perdite ricavati attraverso l'applicazione delle formulazioni empiriche (roggia Fraschetta).

Le misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico sono state condotte nel settembre 2010 e nel giugno 2011. Le due prove di settembre 2010 sembrano mostrare debole perdite o guadagni (- 0.04 m³/s e + 0.02 m³/s) di acqua dal canale. Tuttavia, poiché le misure sono molto vicine e la portata del canale molto bassa, i risultati potrebbero non essere validi ai fini di tale valutazione. La prove del giugno 2011, con misure di portata contemporanee nelle sezioni indagate, evidenziano una perdita di

0.03 m³/s (11,1 %); allo stesso modo della campagna di settembre, tale risultato potrebbe essere poco attendibile a causa dei bassi valori di portata misurati e dall'errore intrinseco al metodo.

Il metodo con doppio tracciante, condotto nel giugno 2011, evidenzia una perdita pari a 0.18 m³/s (12,1 %). Tale valore è comparabile con la misura differenziale di portata mediante il mulinello idrometrico dello stesso periodo. Tuttavia tale risultato potrebbe essere invalidato a causa dei bassi valori di portata misurati e dall'errore intrinseco al metodo.

Infine il metodo con tracciante e mulinello, applicato con i dati di portata del giugno 2011, evidenzia un guadagno idrico pari a pari a 0.23 m³/s (27,3 %).

Data	misure differenziali di portata mediante il mulinello idrometrico	metodo con doppio tracciante	metodo con tracciante e mulinello
Settembre 2010	- 0.04 m ³ /s + 0.02 m ³ /s	-	-
Giugno 2011	- 0.03 m ³ /s	- 0.18 m ³ /s	+ 0.23 m ³ /s

Tabella III.47. Confronto delle stime delle perdite (-) e dei guadagni (+) di acqua (Roggia Frascchetta).

Nel caso della Roggia Frascchetta, i differenti metodi utilizzati restituiscono risultati molto differenti. Ciò è verosimilmente connesso alle basse portate del canale; a questo si sommano gli errori intrinseci nei metodi, che nel caso del metodo con doppio tracciante e del metodo del tracciante e mulinello si sommano tra loro.

IV - TECNICHE GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE DI POSSIBILE PERDITA

Le perdite di acqua lungo i canali, a seconda che si tratti di canali in terra oppure rivestiti artificialmente, sono principalmente legate alle caratteristiche granulometriche e di permeabilità dei terreni in cui esso è scavato oppure al tipo ed alle condizioni del rivestimento.

Nel caso di canali non rivestiti, proprio in funzione della estrema variabilità spaziale delle caratteristiche e delle condizioni del terreno, le stime di perdita ottenibili a priori con equazioni complesse che regolano il movimento dell'acqua in mezzi porosi, per quanto rigorose, risultano limitative e possono fornire valori anche molto diversi da quelli reali (Iqbal et al., 2002). Nel caso di canali rivestiti, le perdite lungo canale sono principalmente legati a crepe nel rivestimento o infiltrazioni locali non sempre facilmente individuabili.

Per queste ragioni, dato il costo elevato degli investimenti, è necessario individuare un idoneo approccio metodologico che sia in grado di localizzare i punti o tratti di canale in cui tali fuoriuscite avvengono e di fornire indicazioni circa l'ammontare quali-quantitativo delle perdite per agevolare le operazioni di ripristino.

Alcuni metodi geofisici possono offrire una valida integrazione e fornire vantaggi significativi ai fini dell'indagine, a condizione che esista un netto contrasto nelle proprietà geofisiche fra le unità idrologiche e che si utilizzino una risoluzione sufficiente ed una sensibilità adeguata ai contrasti attesi.

In tale ambito, l'utilizzo delle prove geofisiche (Engelbert et al, 1997;. Cassel e Zoldoske, 2006), eventualmente associate al telerilevamento (Huang et al, 2010;. Arshad, 2008; Duane Nellis, 1982), è ben documentata in letteratura. Alcune tecniche geofisiche, infatti, sono state segnalate dal Comitato Nazionale Australiano per l'irrigazione ed il drenaggio (ANCID) come metodi altamente efficaci per l'identificazione e quantificazione delle infiltrazioni lungo canali. A questo riguardo, i metodi di induzione elettromagnetica ed i metodi di resistività elettrica possono fornire un rapido e puntuale campionamento delle condizioni del sottosuolo, in maniera non invasiva, per una rapida valutazione di perdite lungo canale.

In particolare, l'applicazione dei metodi geoelettrici ha un grande potenziale grazie all'elevata influenza delle proprietà idrauliche dei materiali del sottosuolo sulla resistività elettrica. Tale parametro assume valori inferiori in presenza di materiali porosi e saturi, mentre risulta più elevato in presenza di materiali compatti e secchi. La presenza di anomalie di resistività nell'area di indagine può quindi mettere in luce la locale presenza di infiltrazioni e perdite rispetto al valore di fondo.

In particolare, il metodo ERT (Electrical Resistivity Tomography) è ben documentato e testato in applicazioni idrologiche utilizzando configurazioni sia di superficie che cross-hole (Binley e Kemna, 2005).

Alcuni autori (Clifford e Binley, 2010) hanno proposto tale metodo sia per individuare le principali caratteristiche del terreno che costituisce l'alveo, sia per verificare l'interazione tra acque superficiali e acque sotterranee, con particolare riferimento al caso delle infiltrazioni. In questi casi, i modelli sintetici formulati mostrano come il principale fattore in grado di incidere sull'affidabilità dei dati misurati al di sotto della interfaccia acqua/suolo è il rapporto tra la conducibilità elettrica delle acque superficiali e quella del sottosuolo: all'aumentare di questo rapporto, si riduce la sensibilità della misura e, di conseguenza, diminuiscono le informazioni acquisibili al di sotto dell'alveo del canale. Tale parametro, assieme alla topografia e alla composizione del letto del canale, condiziona l'efficacia dell'acquisizione di dati da array di ridotte dimensioni (Clifford e Binley, 2010). Il successo di tale metodo, la sua capacità e profondità di indagine sono pertanto influenzate dalla riduzione della sensibilità della misura a seguito dell'elevata conducibilità della massa d'acqua soprastante. Tali problematiche sono particolarmente rilevanti in caso di prove eseguite in acqua salata mentre nel caso di canali irrigui, come quelli in esame, risultano decisamente attenuate.

Per tali ragioni, per garantire l'efficacia del metodo, risulta comunque essenziale un'opportuna scelta della configurazione degli elettrodi e dello schema di acquisizione delle misure.

Nel caso di applicazione dei metodi geoelettrici a canali e corsi d'acqua, sono possibili varie configurazioni dello stendimento (Crook et al. 2008):

- stendimento con elettrodi galleggianti sulla superficie dell'acqua;
- stendimento con elettrodi immersi trainato lungo il letto del corso d'acqua;
- stendimento con elettrodi fissi, infissi sul fondo del corso d'acqua.

Tra questi, l'uso di elettrodi galleggianti appare il più versatile e speditivo data la loro mobilità ed il ridotto rischio di rimanere "intrappolati" nei depositi di fondo o nella vegetazione. Inoltre, i dati così ottenuti risultano di più facile interpretazione quantitativa rispetto agli elettrodi trainati lungo alveo. Di contro, l'utilizzo di elettrodi fissi sul fondo può essere preferito laddove sia di interesse il monitoraggio del passaggio di un'onda salina a seguito della immissione di sali a monte, risultando così utile sia per evidenziare eventuali perdite di sale lungo il segmento di canale percorso, sia per effettuare un confronto con campionamenti puntuali della conducibilità elettrica.

Inoltre, recenti studi mostrano che l'efficacia di ciascuna configurazione dipende dalla spaziatura degli elettrodi e dalla lunghezza dello stendimento (Clifford e Binley, 2010). Allen e Merrick (2007), elaborando i dati derivanti da uno stendimento trainato con elettrodi galleggianti, hanno dimostrato che, utilizzando una disposizione con elettrodi di potenziale galleggianti distanziati esponenzialmente, si ottiene la massima risoluzione con la profondità.

Pertanto, nella presente ricerca per poter risalire ad “anomalie locali” potenzialmente associabili a perdite per infiltrazione lungo canali in terra o con rivestimento, si è fatto uso di due differenti tipologie di prove geofisiche, traendo esperienza dai lavori di letteratura citati:

- metodo CVES (Continuous Vertical Electric Soundings) in acqua per valutare la distribuzione di resistività lungo il segmento di canale indagato;
- metodo SOTEBIT (SOLid Transport Estimation By Impedence Tomography) a sezione fissa in corrispondenza di una sezione del canale appositamente strumentata.

Il primo metodo permette la localizzazione lungo il tratto di canale indagato di sezioni con distribuzioni di resistività anomale e quindi potenzialmente critiche rispetto alle perdite di flusso, mentre il secondo permette di monitorare il passaggio di plume salini, a seguito di immissione di sali a monte, per fornire stime quantitative sulle perdite di sale.

IV.1 - METODOLOGIE ADOTTATE

Verrà fornita nel seguito una breve introduzione metodologica delle due tecniche utilizzate nel corso dello studio, nonché una descrizione della strumentazione utilizzata per entrambi i metodi.

IV.1.1 - TECNICA CVES

La tecnica del CVES (Continuous Vertical Electric Soundings) in acqua è stata eseguita utilizzando uno stendimento di elettrodi trainato da una barca. La configurazione scelta prevede l'uso di array del tipo dipolo-dipolo: due elettrodi di corrente vicino alla barca, seguiti da cinque elettrodi di potenziale. I dipoli di potenziale vengono distanziati fra di loro in maniera esponenziale dato che tale configurazione garantisce la miglior risoluzione spaziale con la profondità come documentato da letteratura (Allen e Merrick, 2007). Uno schema della configurazione del cavo è riportato in Figura V.1.

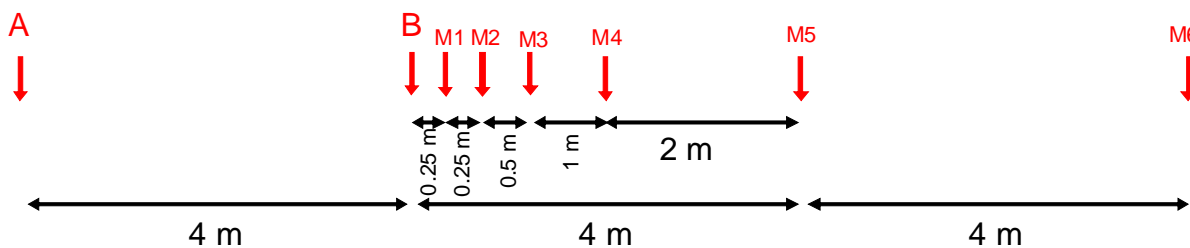


Figura IV.1. Schema di disposizione degli elettrodi lungo il cavo: A e B elettrodi di corrente, M elettrodi di potenziale.

A seguito dell'immissione di corrente tra i primi due elettrodi A e B, viene misurata la differenza di potenziale risultante alle cinque coppie di elettrodi di potenziale. I valori del potenziale misurato, in relazione alla corrente immessa ed in funzione del fattore geometrico del quadripolo di misura (parametro che riassume le caratteristiche di distanza e disposizione degli elettrodi), permettono di ottenere il valore della resistività apparente. Tale resistività è associata ad una profondità apparente che aumenta all'incrementare della spaziatura dei dipoli ed è approssimativamente calcolabile in funzione della forma delle linee equipotenziali di campo elettrico (Fig. IV.2).

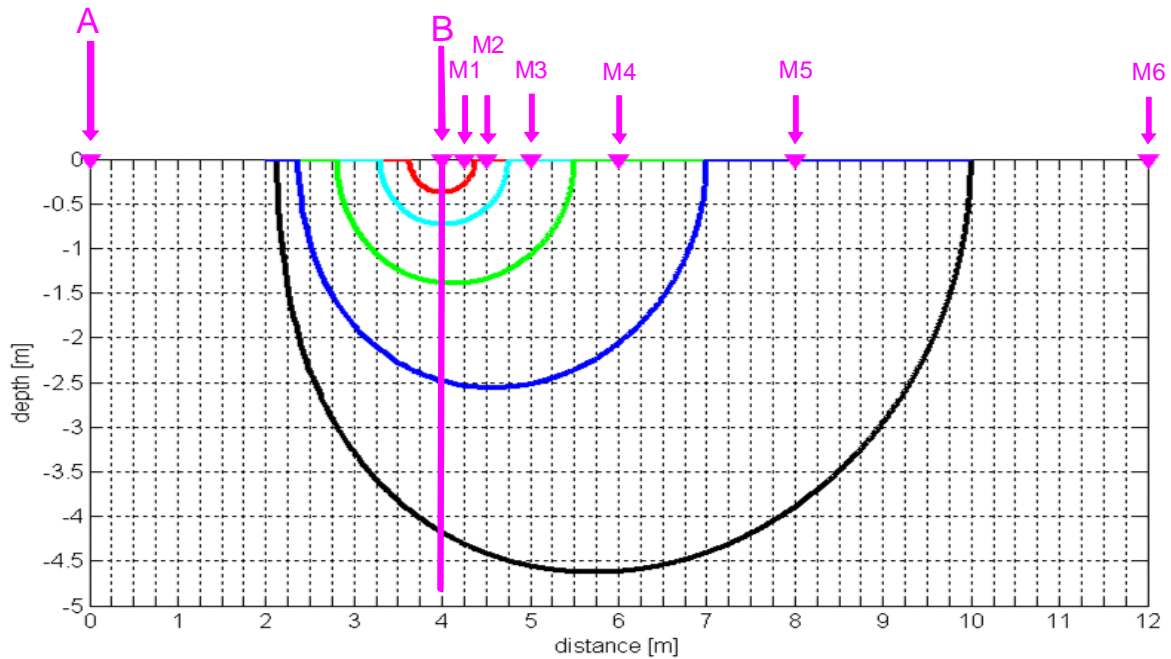


Figura IV.2. Linee equipotenziali e profondità di indagine; viene evidenziata la profondità di indagine dei vari dipoli e la verticale sulla quale sono restituiti i valori di resistività (linea in rosa).

La misura della resistività apparente, ripetuta in diversi istanti di tempo durante il trascinarsi del cavo lungo il canale con la barca, fornisce una serie di valori di resistività accoppiati alla relativa profondità che forniscono una pseudo-sezione di resistività. A tal proposito, va tenuto presente che la valutazione rispetto alla profondità di indagine è rigorosamente formulata per modelli di terreno monodimensionali (strati piani paralleli di estensione indefinita). Le applicazioni oggetto del presente studio riguardano invece condizioni in cui la variabilità laterale è significativa (ad esempio per le ridotte dimensioni laterali di alcuni canali) e quindi l'effetto delle correnti elettriche "fuori piano" può influenzare la misura. In tal caso la profondità di indagine, intesa come profondità di visualizzazione del valore di resistività apparente, potrebbe non corrispondere con il valore reale. Tali considerazioni vanno tenute in conto nei casi in cui la perdita sia legata a disomogeneità delle sponde piuttosto che del fondo del canale, come verrà ulteriormente commentato nel seguito quando verranno presentati i singoli casi di studio.

Il cavo con il quale sono state eseguite le prove è un cavo multipolare lungo il quale sono posizionati, alla spaziatura prescelta, i vari elettrodi. Questi ultimi sono in ottone, placcati in oro per garantire un buon accoppiamento con il fluido ed una buona immissione di corrente elettrica per una adeguata affidabilità della misura. Il galleggiamento del cavo e degli elettrodi è stato ottenuto mediante il semplice impiego di bottiglie di plastica vuote fissate al cavo di traino in prossimità degli elettrodi oppure mediante l'uso di elementi galleggianti applicati al cavo stesso. Due immagini dei diversi dispositivi sono riportate in Fig. IV.3.



Figura IV.3. Immagini degli elementi galleggianti applicati al cavo e agli elettrodi.

Il cavo è stato collegato ad un natante e trascinato lungo i tratti di canali oggetto di indagine mediante due diversi dispositivi di trascinamento. Sono stati impiegati sia un natante radiocomandato di proprietà della ditta aerRobotix (Fig. V.4), sia un natante trascinato a mano da uno o più operatori che camminavano all'interno del canale stesso o lungo la sponda qualora questa fosse accessibile e permettesse il controllo diretto del natante (Fig. IV.5).



Figura IV.4. Immagine del natante radiocomandato da sponda e del cavo elettrodo trascinato.



Figura IV.5. Immagini del natante trascinato dagli operatori sia direttamente in alveo che da sponda.

Dei due metodi di trascinamento scelti il primo, pur essendo più oneroso economicamente, risulta certamente il più versatile, data la facilità di utilizzo in diverse condizioni di accessibilità delle sponde e del canale stesso. Inoltre, esso risulta essere un approccio meno invasivo rispetto al trascinamento del natante direttamente in alveo da parte degli operatori che può, talvolta, causare delle turbolenze nei depositi di fondo, influenzando così le misure. Ciò è chiaramente evitato tramite l'uso del natante a controllo remoto il quale ha pescaggio pressoché assente in grado di non influire sulle misure. Allo stato attuale la potenza delle eliche del natante garantiscono la possibilità di esecuzione delle misure solo in condizioni in cui la velocità di flusso sia inferiore a circa 2 m/s. Tuttavia, un potenziamento della motorizzazione è sicuramente possibile per renderne più versatile l'applicazione. Inoltre, ulteriori sviluppi dell'impiego del natante radiocomandato potrebbero consistere nell'assegnazione di una traccia GPS dell'intero canale per far seguire in automatico al natante il preciso percorso assegnato. Simili limitazioni dovute alla velocità del flusso nel canale permangono nel caso in cui il trascinamento avvenga per mezzo degli operatori per garantire la sicurezza degli stessi. In questo secondo caso, inoltre, sempre per ragioni di sicurezza, nel caso in cui gli operatori lavorino direttamente in alveo il massimo battente d'acqua indagabile è di 0.7m. Tale vincolo può essere parzialmente superato nel caso in cui le operazioni avvengano da sponda (tramite operatori o tramite controllo remoto); tuttavia battenti d'acqua superiori al metro limitano l'attendibilità delle misure e sono pertanto da evitare. Allo stesso modo, per garantire l'affidabilità delle misure, si raccomanda l'utilizzo del metodo solo per battenti d'acqua superiori ai 0,3 m.

Si sono utilizzati per l'esecuzione delle misure, con entrambi i metodi di trascinamento adottati, due diversi georesistivimetri:

- il primo è un georesistivimetro Polares della *Pasi s.r.l.*, con immissione di corrente sinusoidale (in media 350 mA) a 114 Hz a cui è stato applicato un sistema GPS "Topcon GMS2" per ottenere la posizione spaziale delle successive acquisizioni. Tale georesistivimetro lavorando con corrente alternata e consente l'acquisizione di un profilo di resistività verticale all'incirca ogni 10 secondi.

- Il secondo è un georesistivimetro Sysmar della *Iris instruments* che lavora a corrente continua ma con 10 quadripoli paralleli che misurano in contemporanea, quindi è possibile acquisire 1 profilo di resistività verticale ogni metro. Anche questo strumento è connesso ad un GPS "Garmin" per rilevare la posizione spaziale della misura.

Entrambi gli strumenti si sono dimostrati adatti per il caso di studio e le finalità in oggetto. In particolare, il tomografo Polares, data la sua velocità di acquisizione, risulta avere una maggior densità di misure nell'unità di spazio, ma ha dimostrato alcuni problemi di affidabilità. Il georesistivimetro Sysmar pur consentendo meno acquisizioni nell'unità di spazio ha di contro la possibilità di una visualizzazione diretta della pseudo sezione di resistività. Ciò permette un controllo visivo immediato da parte degli operatori delle anomalie riscontrate (Fig. IV.6). Quest'ultimo strumento controlla tuttavia la corrente immessa in base ad una tensione stabilita a priori. Ciò fa sì che è possibile eseguire in continuo le prove solo per tratti di canale con caratteristiche di alveo omogenee; tale vincolo non sussiste invece con l'impiego del georesistivimetro Polares.

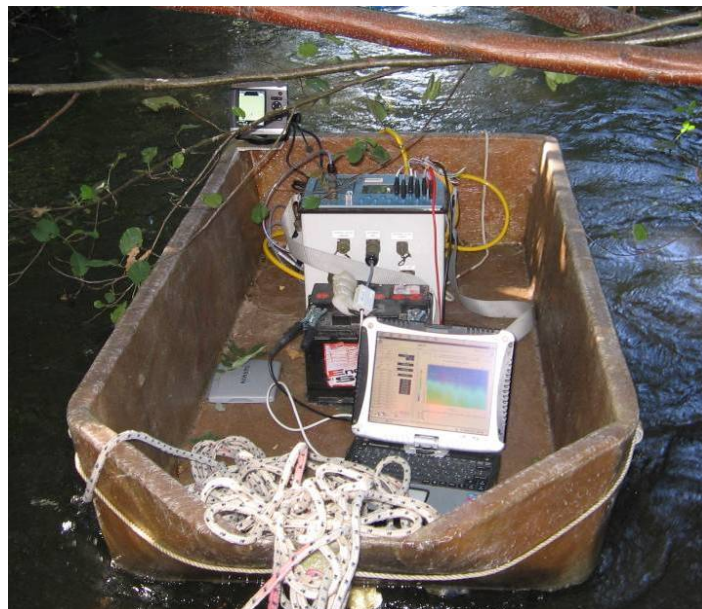


Figura IV.6. Immagine del natante trascinato dagli operatori con strumentazione Sysmar a bordo e visualizzazione diretta della pseudosezione.

Indipendentemente dal tipo di strumentazione utilizzato, il risultato finale delle prove CVES è quindi una pseudo sezione di resistività del tratto di canale studiato. Viene riportato un esempio di pseudo sezione in Fig. IV.7. L'immagine riporta una condizione ideale in cui è possibile distinguere approssimativamente la

profondità del fondo del canale e le sue principali caratteristiche fisiche e geometriche; in particolare, in condizioni di fondo integro e con assenza di evidenti anomalie (come nell'esempio qui riportato), la resistività aumenta con la profondità ed esiste una continuità laterale dei vari strati in cui è suddivisa la sezione. Come prima accennato la profondità di indagine rappresentata è solo indicativa risultando predominanti, in alcune condizioni, l'influenza delle sponde.

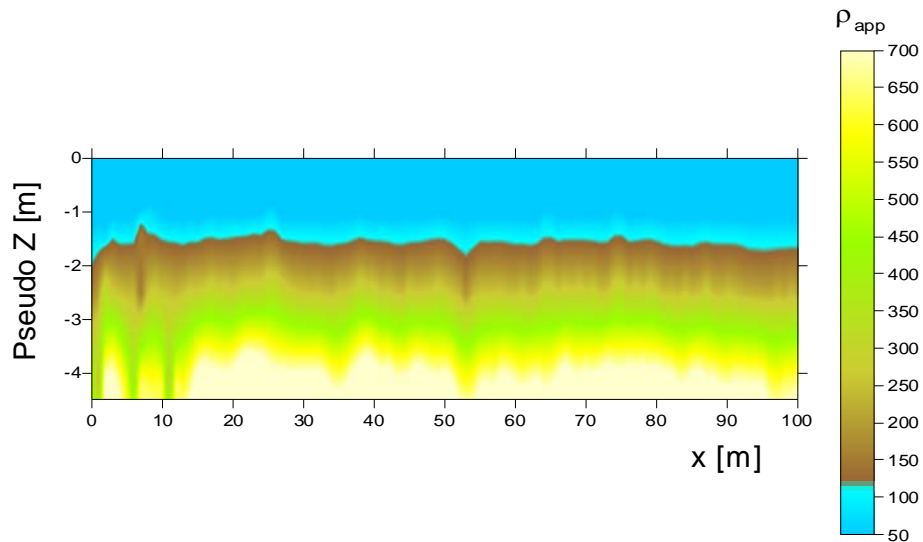


Figura IV.7. Esempio di pseudo-sezione di resistività, risultato delle prove CVES. La scala colori utilizzata nella rappresentazione permette di distinguere il battente idraulico (scala di azzurro) e le caratteristiche fisiche e geometriche del fondo.

IV.1.2 - TECNICA SOTEBIT

Nell'ambito della presente ricerca, il metodo SOTEBIT è stato applicato ad una singola sezione del canale associandolo all'immissione in acqua di sale e fluorescina a monte della sezione di misura. La tecnica adottata consiste nell'esecuzione di una tomografia elettrica veloce in corrispondenza di una sezione di canale ed è oggetto di un brevetto Italiano (Luigi Sambuelli - n. TO 2002 A000771, "Metodo di rilevazione di elementi solidi trascinati da una corrente di un alveo di un corso d'acqua e dispositivo di rilevazione relativo"). Tale tecnica è già stata adottata in casi di studio di laboratorio ed ha permesso di monitorare correttamente diverse tipologie di trasporto di fondo e di inquinanti in una canaletta attrezzata, ottenendo stime quantitative sulle caratteristiche del trasporto (Sambuelli L. e Comina C., 2010).

Per l'applicazione di tale metodologia al caso di canali irrigui sussistono le medesime limitazioni in termini di velocità di flusso e di battente idraulico riportate per il precedente metodo. In particolare va garantito il corretto posizionamento degli elettrodi sul fondo del canale e la loro stabilizzazione. A tal proposito sarebbe auspicabile la presenza di sezioni con forma il più possibile regolare e con sponde altamente resistenti (cemento o materiale granulare) di modo da non influenzare l'immissione di corrente elettrica.

La configurazione utilizzata ha previsto l'impiego di un cavo multipolare a 16 elettrodi posizionato in acqua. Il cavo multipolare è stato ancorato sul fondo del canale mediante l'applicazione di pesi, dopo essere stato irrigidito con l'utilizzo di una struttura plastica (Fig. IV.8).



Figura IV.8. Immagini del cavo, del posizionamento degli elettrodi e dell'ancoraggio sul fondo del canale dell'apparato.

Le coordinate dei singoli elettrodi sono state successivamente misurate per poter permettere di ricostruire la geometria della sezione e la geometria di acquisizione delle misure. A quest'ultimo proposito, si segnala che è stata creata una specifica sequenza di acquisizione con l'utilizzo di un totale di 227 quadripoli (sia di tipo Dipolo-Dipolo, sia di tipo Wenner-Schulumberger). In tal modo, si sono quindi acquisiti 227 valori di resistività apparente che, a seconda del quadripolo utilizzato, interessano diverse zone della sezione e diverse altezze. Per la misura dei valori di resistività il cavo è connesso a un dispositivo di acquisizione veloce (CIT, Iridium Italia sas) che inietta una corrente sinusoidale a 916 Hz e misura la differenza di potenziale risultante alle varie coppie di elettrodi. Tramite l'utilizzo di tale dispositivo di acquisizione è possibile ottenere un intero set di misure ogni 30 s. I dati così ottenuti sono stati invertiti per mezzo di uno specifico software, appositamente creato e progettato (NES Elettric Arbitrary 2D Close Geometry by Andrea Borsic).

Il risultato finale delle prove è quindi un'immagine della sezione del canale in termini di resistività elettrica ed in diversi istanti di tempo. Come si vedrà, discutendo il caso sperimentale studiato, tale immagine permette di monitorare il passaggio del plume salino, di valutare eventuali disomogeneità nella sua propagazione all'interno del canale studiato, di fare stime quantitative sulla concentrazione di sale presente e di fare un confronto con le acquisizioni puntuali effettuate con altri metodi nel corso del presente studio.

IV.2 - CASI DI STUDIO

Vengono nel seguito riportati i risultati ottenuti con l'applicazione nei diversi casi di studio delle due metodologie di indagine descritte. Dei tratti di canali studiati si riportano, per comodità di consultazione, alcune caratteristiche rispetto alle proprietà dell'acqua, alle tipologie di flusso ed al materiale costituente il fondale che sono già presenti in altri capitoli della relazione, ma che risultano utili ai fini dell'interpretazione delle specifiche prove..

Per l'applicazione di tali metodologie nei quattro canali analizzati, i tratti selezionati sono quelli lungo i quali sono state applicate altre tecniche di indagine.

IV.2.1 - NAVIGLIO DI BRA

Il tratto del Naviglio di Bra oggetto di studio scorre nella pianura alluvionale cuneese attraversando le località di Bastia, Murazzo e San Sebastiano del Comune di Fossano (Provincia di Cuneo).

La stratigrafia locale è composta prevalentemente da un materasso alluvionale ghiaioso-sabbioso della potenza complessiva di circa 50 metri.

Il tratto di canale esaminato presenta un rivestimento del fondo e delle sponde in cemento, intervallato da alcuni tratti di alveo in terra. I sedimenti prelevati direttamente in alveo mediante due campionamenti eseguiti durante il periodo in asciutta sono risultati essere rispettivamente composti da:

- ghiaia debolmente ciottoloso-sabbiosa in matrice costituita da sabbia limosa,
- ghiaia sabbiosa in matrice rappresentata da limo sabbioso debolmente argilloso.

Lungo le sponde si rileva la presenza predominante di vegetazione arbustiva a basso fusto e, localmente, alberi ad alto fusto. Le misure effettuate lungo il canale mostrano valori di conducibilità pari a circa $386 \mu\text{S}/\text{cm}$ (a cui corrisponde una resistività elettrica di $25.9 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$). La portata è stata misurata sia mediante l'impiego del correntometro, sia mediante il metodo dei galleggianti. Nel primo caso si è ottenuto un valore di $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$ (luglio del 2010), col secondo metodo sono state effettuate una prima misura nel luglio 2010 che ha fornito un valore di $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$ ed una seconda nell'ottobre 2010 che ha prodotto un valore di $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le prove CVES sono state eseguite lungo due diversi tratti di canale, nei pressi della località Murazzo, in data 11 maggio 2011. I tratti oggetto di prova presentano sponde sia cementate che in terra, mentre il fondo del canale risulta essere prevalentemente in materiale naturale. Il trascinamento del cavo è stato condotto in questo sito a mezzo di natante radiocomandato aerRobotix, data la buona accessibilità delle sponde e la visione diretta del natante e del cavo trascinato. Le misure sono state eseguite sia a favore di corrente che contro corrente, ottenendo una buona sovrapposizione del dato sia spaziale (relativo al

posizionamento GPS del natante lungo il percorso; Fig. IV.9), sia numerico (riferito al risultato quantitativo dell'indagine). Il georesistivimetro adottato è il Polares della Pasi Srl.

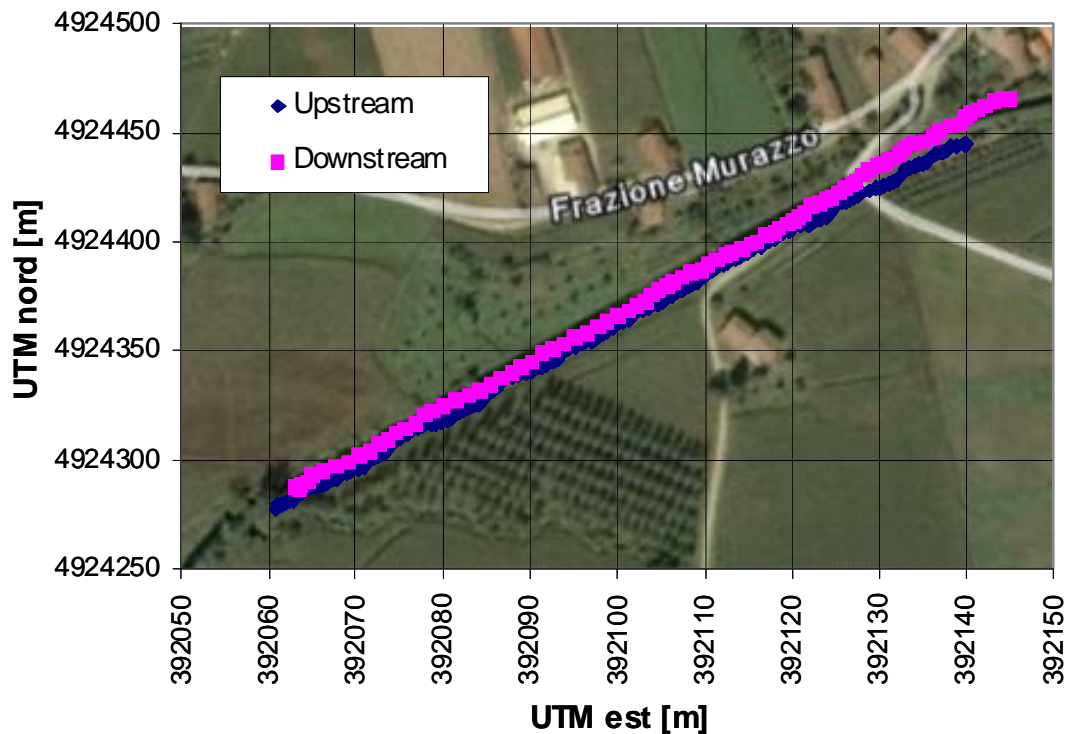


Figura IV.9. Esempio di acquisizione del CVES in località Murazzo; si osserva la buona sovrapposibilità dei percorsi GPS eseguiti a favore di corrente (downstream) e contro corrente (upstream).

In Figura IV.10 viene riportato un esempio dei dati "grezzi" ottenuti nel tratto di indagine caratterizzato da sponde cementate in calcestruzzo. Nel grafico è riportato il valore di resistività elettrica misurato dai vari dipoli che, al crescere della loro spaziatura, interessano profondità maggiori. È possibile evidenziare il valore relativamente costante della misura per i primi due dipoli di potenziale che, essendo quelli a minore spaziatura, misurano essenzialmente il valore di resistività elettrica dell'acqua. Con il crescere della spaziatura, il valore di resistività elettrica aumenta progressivamente per la presenza del fondo del canale e del materiale ghiaioso sabbioso di cui esso è costituito. In particolare, si evidenziano due zone del fondale in cui i valori di resistività permangono bassi anche al crescere della spaziatura degli elettrodi. Tali anomalie individuano quindi delle sezioni trasversali del canale in cui il materiale del fondo o delle sponde è localmente molto poroso e saturo di fluidi ed in cui la perdita di acqua dal canale potrebbe essere significativa.

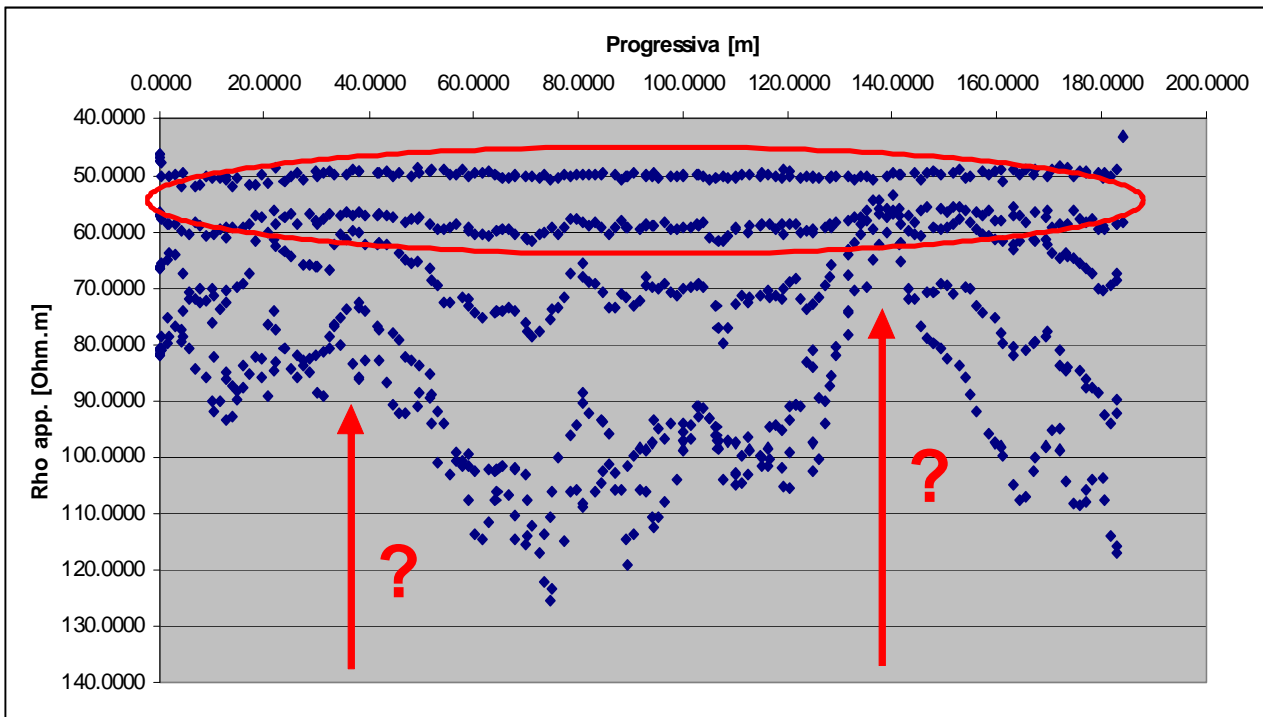


Figura IV.10. Esempio di dati “grezzi” per la prova CVES; nel cerchio in rosso sono messi in evidenza i valori di resistività imputabili alla presenza dell’acqua, si evidenziano inoltre due zone del fondale con anomalo andamento di resistività.

La pseudo sezione ricavata a partire dal dato “grezzo” lungo il medesimo tratto di canale è riportata in Figura IV.11. La scala colore scelta è stata tarata in modo da evidenziare le differenze tra il valore misurato relativo all’acqua e quello imputabile al fondo del canale. Il valore di resistività misurato per l’acqua risulta leggermente superiore a quanto riscontrato in precedenza, ma ciò ricade nella variabilità naturale delle proprietà del fluido ed è imputabile al diverso periodo di esecuzione delle misure. Il valore è stato inoltre confermato da apposite misure eseguite a mezzo di un conducimetro. Nella pseudo sezione si osserva un’evidente anomalia di distribuzione della resistività elettrica nel fondo del canale alla progressiva 130m. La medesima anomalia è riscontrata anche nella seconda prova eseguita a favore di corrente, anche se appare meno netta dato che la velocità di flusso ha permesso di acquisire un ridotto numero di misure nell’unità di spazio.

Come brevemente accennato in precedenza, l’anomalia di resistività riscontrata può essere imputabile ad alterazioni del rivestimento sia del fondo del canale che delle sue sponde. La misura della resistività può essere infatti influenzata anche dalla presenza di materiali elettricamente conduttivi che si trovino lateralmente al canale. In questo senso la profondità di indagine risulta essere solo indicativa e la prova permette piuttosto di evidenziare una sezione critica rispetto alle potenziali perdite. Nello specifico, si è osservata, nel tratto di canale investigato ed in corrispondenza della progressiva in cui era evidente la presenza dell’anomalia, una zona umida con un canale di scolo che si immetteva nel tratto principale (Figura IV.12). Tale zona si collocava inoltre in corrispondenza della fine del rivestimento cementato della

sponda. In tal senso quindi la metodologia adottata si è dimostrata molto efficace nell'evidenziare la presenza di flussi di acqua in uscita dal canale o in entrata. Tuttavia non è nelle potenzialità del metodo distinguere tra le due tipologie di flusso quindi le diverse anomalie registrate durante le prove vanno sottoposte a verifica visiva per discriminarne la loro natura.

Nella medesima pseudosezione, così come nei dati "grezzi", si nota inoltre una zona intorno alla progressiva di 20 – 40 m in cui si ha un abbassamento dei valori di resistività al di sotto del contatto acqua-fondo. Tale zona, sebbene meno evidente rispetto all'anomalia precedentemente descritta potrebbe segnalare nuovamente la presenza di materiale di fondo o di sponda alterato ed essere indice di potenziali infiltrazioni e perdite. In base al livello di disomogeneità rispetto ai tratti integri è quindi possibile, una volta esaminata una casistica significativa di prove, stabilire una priorità di interventi e di zone critiche.

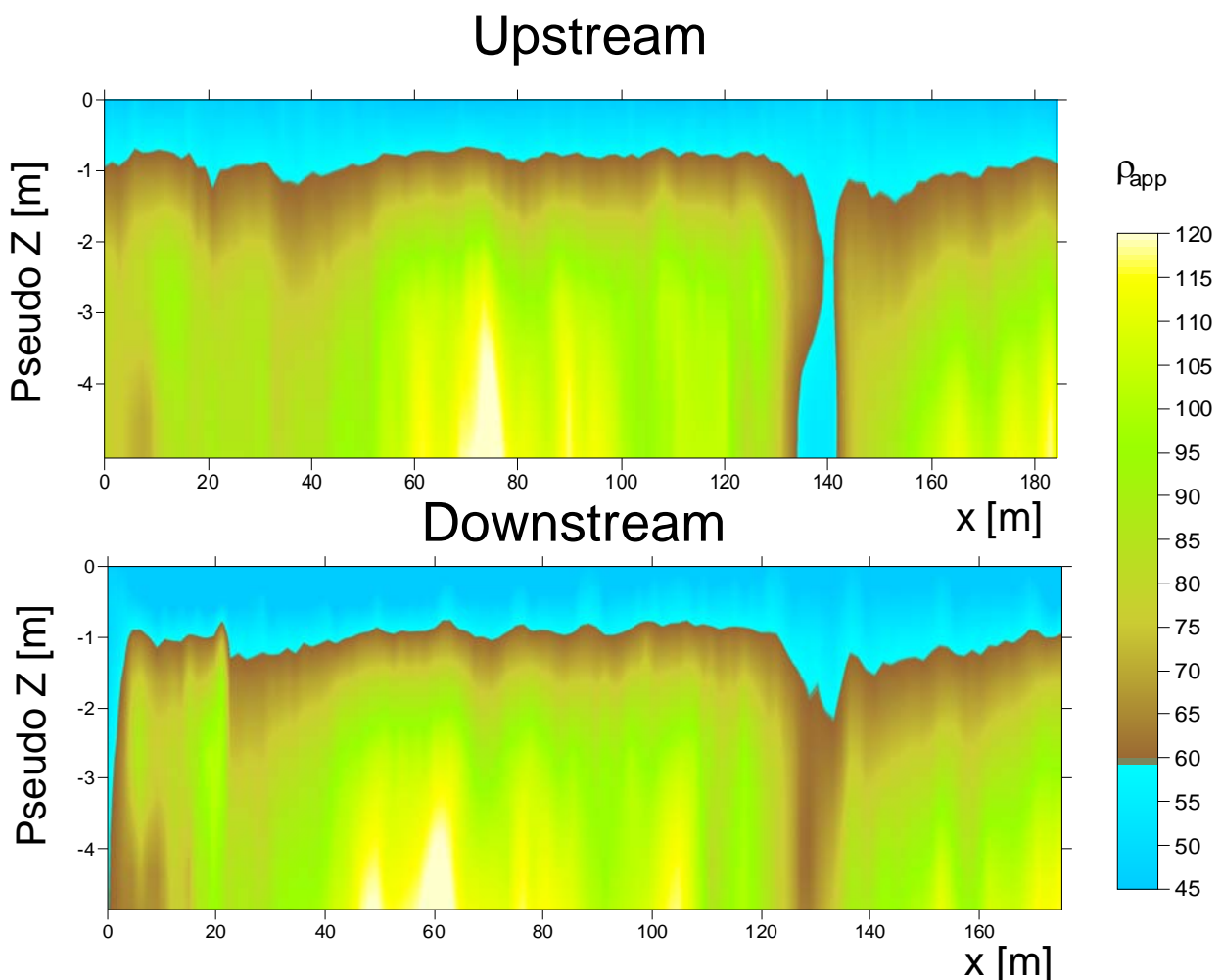


Figura IV.11. Esempi di pseudo sezione di resistività per il tratto di canale studiato, percorso a favore di corrente e contro corrente.



Figura IV.12. Zona umida con immissario nel tratto di canale investigato in corrispondenza dell'interruzione del rivestimento in cemento della sponda e concordante con la progressiva a 130m della figura precedente.

Simili considerazioni valgono anche per il secondo tratto di canale investigato. Tale tratto di canale è costituito sia da sponde che da fondale in materiale naturale e si colloca leggermente a monte rispetto al tratto precedentemente descritto. Viene riportata in Figura IV.13 l'immagine della pseudo sezione ottenuta lungo il percorso indagato. In tale tratto, l'utilizzo del natante a controllo remoto è stato possibile solo fino alla progressiva 200 m dato che la vegetazione sulle sponde del canale impediva il costeggiamento oltre tale progressiva. La prova è pertanto proseguita con il trascinamento della strumentazione da parte degli operatori. Anche in questo tratto sono state riscontrate delle zone in cui la resistività del fondo assumeva valori inferiori a quelli circostanti e risultava interrotta la continuità laterale degli elettrostrati. In accordo con le considerazioni precedentemente enunciate, in tali zone la perdita di acqua dal canale è altamente probabile. Una verifica puntuale dello stato del fondale alle progressive in cui erano segnalate le anomalie ha permesso di riconoscere zone in cui l'alveo del canale presentava locali abbassamenti e materiale principalmente ghiaioso privo di deposito superficiale limoso; tale deposito è invece riscontrato nel resto del tratto. La presenza di materiale grossolano, poroso e permeabile può pertanto favorire e giustificare eventuali locali infiltrazioni e perdite di acqua.

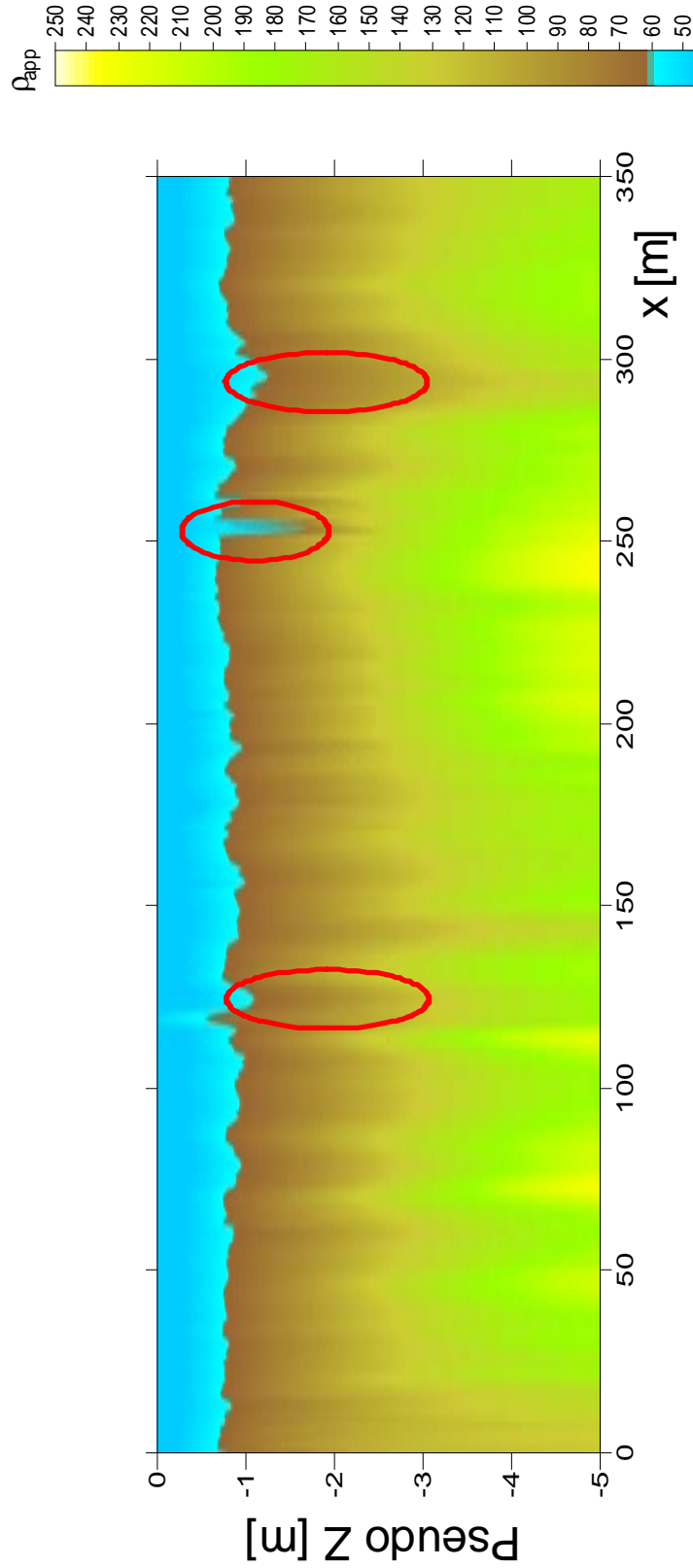


Figura IV.13. Pseudo sezione di resistività per il secondo tratto di canale studiato con evidenza delle zone giudicate anomale (indicate con il cerchio rosso).

IV.2.2 - BEALERA DI OSASCO

La bealera di Osasco è un canale irriguo che attraversa i Comuni di Osasco, San Secondo di Pinerolo e Pinerolo (Provincia di Torino). Esso riceve le acque del Torrente Chisone e si immette nel Rio Chisonetto, a NE dell'abitato di Osasco, per una lunghezza complessiva di 7 chilometri circa. La stratigrafia locale è caratterizzata dalla presenza di depositi grossolani sabbioso-ghiaiosi con sottili livelli di materiale prevalentemente argilloso, privi di continuità laterale. Le prove penetrometriche eseguite nei pressi dell'abitato Chisonetto, lungo le sponde del canale, mostrano, infatti, come, a partire dal primo m di profondità, la resistenza meccanica alla penetrazione della punta aumenti notevolmente fino "a rifiuto" con valori che suggeriscono la presenza di ghiaie, anche grossolane, al di sotto di 1 metro di copertura sciolta. Tale assetto geologico locale sembra confermato anche dai risultati delle due tomografie elettriche effettuate longitudinalmente e trasversalmente al canale.

L'alveo del canale risulta cementato solamente in corrispondenza a limitati tratti, in presenza di cambi di direzione o prese di canaletti secondari (ad esempio in corrispondenza di C.na dei Battitori); in gran parte esso è costituito da sedimenti fini a cui sono stati aggiunti grossi ciottoli per limitare l'azione erosiva della corrente. Si segnala inoltre la presenza lungo le sponde di una fitta vegetazione con alberi prevalentemente di piccolo fusto.

Le portate misurate con metodi differenti forniscono i seguenti valori:

- 0.79 m³/s misurata a giugno col metodo dei galleggianti;
- 0.73 (sez di monte) e 0.75 m³/s (sez di valle) misurate a luglio 2010 col metodo del correntometro);
- 0.78 (sez di monte) e 0.50 m³/s (sez di valle) misurate a settembre 2010 col metodo del correntometro.

Le misure di conducibilità e pH effettuate direttamente nelle acque del canale rivelano valori rispettivamente pari a 210 µS/cm (che corrisponde ad una resistività di 47.6 Ohm.m) e 7.1 µS/cm.

Il tratto di canale investigato con la tecnica CVES è quello nei pressi di contrada Battitori ed è caratterizzato per la maggior parte da alveo e sponde in materiale naturale; si segnala tuttavia la presenza anche di una porzione cementata, in corrispondenza di una curva del canale, con la presenza di due chiuse metalliche. In occasione dei diversi sopralluoghi effettuati ed in particolare alla data di esecuzione delle prove (07 ottobre 2011), le sponde del canale risultano particolarmente vegetate. Le prove sono state eseguite a mezzo di natante trascinato dagli operatori e con georesistivimetro Sysmar che permette una diretta visualizzazione della pseudo sezione. In tali condizioni di vegetazione l'uso di un natante a controllo remoto sarebbe risultato di difficile applicazione, data la mancanza di controllo visivo sul mezzo; il trascinamento in alveo è quindi preferibile in tutti i casi in cui la vegetazione spondale sia particolarmente ricca (Fig. IV.14).



Figura IV.14. Esempio di acquisizione del CVES in contrada Battitori; dall'immagine si può osservare la folta vegetazione spondale.

Sono state eseguite due diverse acquisizioni, sia a favore, sia contro corrente, per tutto il tratto di canale investigato (Fig. IV.15). La visualizzazione diretta della pseudo sezione ha permesso di osservare come, in corrispondenza del tratto di canale cementato, la misura fosse particolarmente affetta da rumore e da valori di resistività anomali rispetto ai tratti in materiale naturale. Ciò è evidente anche dai dati "grezzi" della prova, riportati in Figura V.16. Si nota come in presenza della cementazione e delle chiuse metalliche in alveo i valori di resistività assumano valori anomali e decisamente bassi. Ciò è imputabile alla elevata conducibilità elettrica degli elementi metallici a diretto contatto con l'acqua che alterano il campo elettrico e rendono inutilizzabili le misure per tutto il tratto in oggetto.

Al di là di tali valori anomali, nei tratti di canale privi di rivestimento si sono comunque osservate alcune anomalie di resistività che potrebbero indicare la presenza di sezioni critiche rispetto a potenziali perdite d'acqua. Come nel caso precedente, tali zone sono riscontrabili sia nei dati "grezzi" (Fig. IV.16) che nella pseudo sezione di resistività (Fig. IV.17) e sono caratterizzate dalla persistenza di bassi valori di resistività elettrica nonostante l'incremento di profondità. Dalla pseudosezione di resistività si osserva inoltre una variazione delle caratteristiche del fondo: esso appare più resistivo nel tratto a monte della curva cementata e presenta valori di resistività più bassi a valle di essa. Si delinea pertanto un andamento che lascia presupporre una maggior profondità dello strato ghiaioso a valle rispetto al tratto di monte. Va fatto notare al proposito che la progressiva 0 della prova è in corrispondenza del passaggio del canale al di sotto del ponte della strada provinciale; tale passaggio restringe la sezione del canale incrementando localmente la velocità di flusso e favorendo l'azione erosiva (concordemente con quanto evidenziato dalla

prova). Anche in questo caso le misure contro ed a favore di corrente risultano coerenti tra di loro e restituiscono una simile distribuzione dei valori di resistività elettrica.

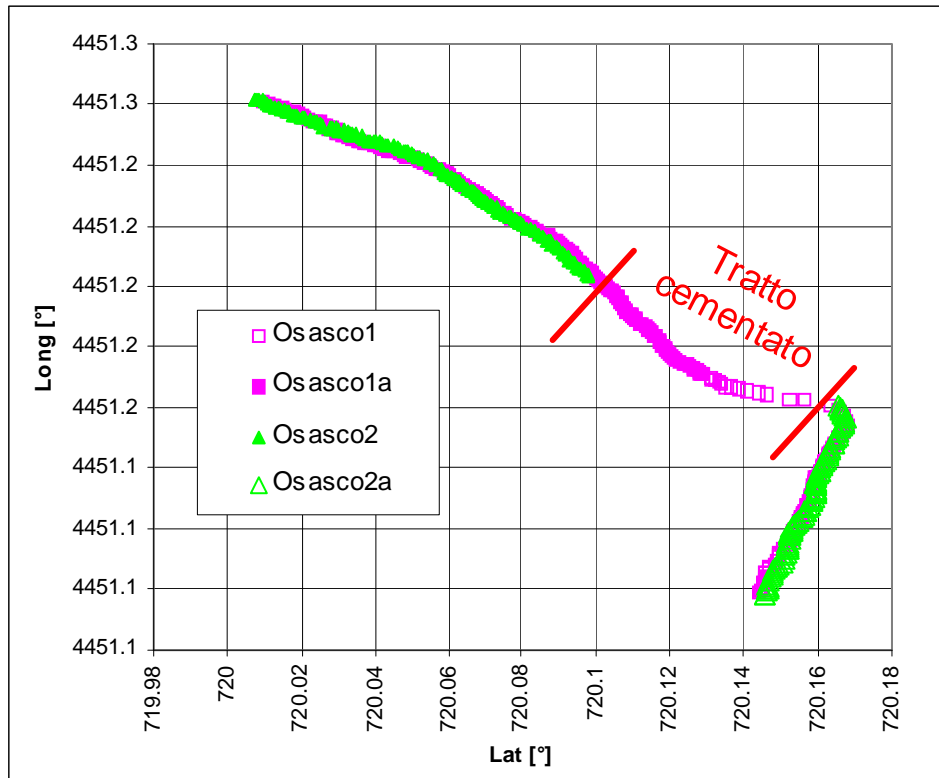


Figura IV.15. Esempio di acquisizione del CVES in contrada Battitori, percorsi GPS a favore di corrente (in rosa) e contro corrente (in verde).

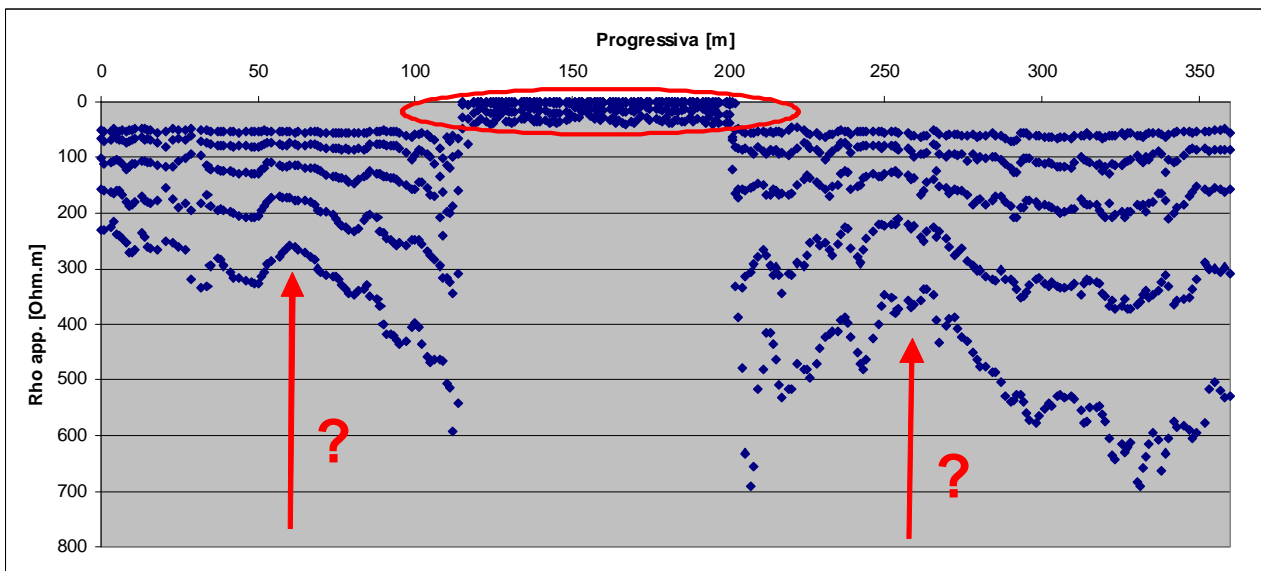


Figura IV.16. Esempio dati "grezzi" per la prova CVES. All'interno del cerchio in rosso i valori anomali di resistività imputabili alla presenza del tratto cementato e delle chiusure metalliche; si evidenziano inoltre due zone del fondale con andamento anomalo di resistività.

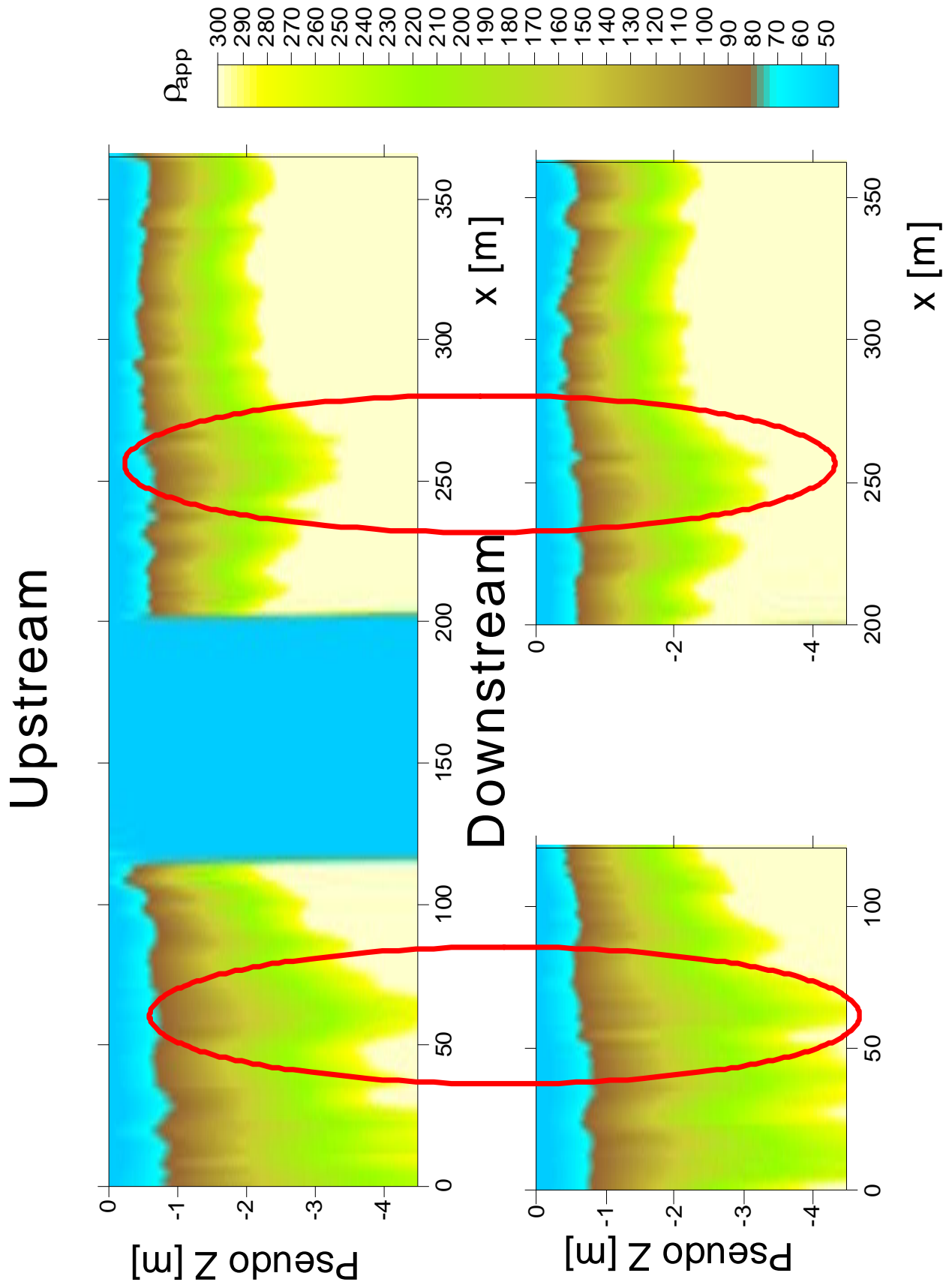


Figura IV.17. Esempi di pseudo sezione di resistività per il tratto di canale studiato percorsi a favore di corrente e contro corrente; in rosso sono evidenziate alcune anomalie locali.

Per poter meglio valutare la presenza di disomogeneità nel primo tratto di canale (tra il ponte e la chiusa metallica) è stata effettuata l'immissione, in corrispondenza della prima chiusa, di una soluzione salina di NaCl (concentrazione di circa 100 gr/l) e sono state ripetute le prove CVES dopo che essa è transitata lungo tutto il tratto di interesse (Fig. IV.18). L'obiettivo di tale prova è quello di visualizzare eventuali differenze tra la pseudo sezione ottenuta prima del passaggio della soluzione salina e la medesima ottenuta dopo il passaggio della soluzione. In sezioni trasversali del canale, ove siano presenti potenziali perdite irrigue, la soluzione salina tende ad infiltrarsi riducendo localmente la resistività del fondo, data l'elevata conducibilità della soluzione rispetto all'acqua naturalmente presente nel canale, permettendo così di visualizzare percorsi di infiltrazione nel fondo e nelle sponde.

Per poter eseguire in maniera affidabile tale prova di confronto è tuttavia necessario che la collocazione spaziale delle prove CVES, eseguite nei diversi istanti di tempo, sia il più possibile simile. A tal proposito è stata scartata la prova Osasco 6 che, come si evince dal grafico in Figura 2.10, presenta un andamento altalenante della traccia GPS che la rende inutilizzabile per la prova.

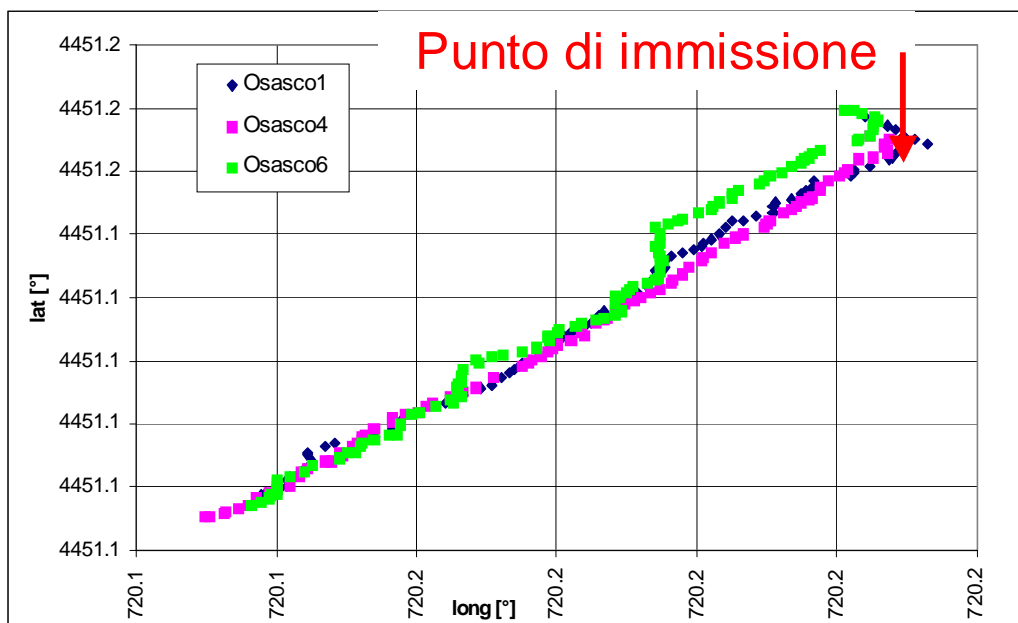


Figura IV.18. Percorsi GPS dell'acquisizione dei diversi CVES prima e dopo l'immissione della soluzione salina.

Le pseudo sezioni di resistività ottenute per il tratto studiato prima e dopo l'immissione della soluzione salina sono riportate in Figura IV.19. Come è possibile notare, non appaiono ad una prima osservazione delle differenze significative nei valori di resistività misurati. Per gli scopi della prova risulta più interessante l'immagine ottenuta dalla differenza dei valori di resistività segnalati nelle due pseudo sezioni, riportata in Figura IV.20. Tale immagine presenta infatti delle zone in cui la resistività, coerentemente con lo scopo della prova, decresce nei due intervalli temporali considerati. Sono segnalati in particolare in tale immagine due anomalie relativamente superficiali, rispetto al fondo del canale, che,

anche in considerazione della loro forma, sembrano indicare la presenza di tratti di infiltrazione della soluzione salina.

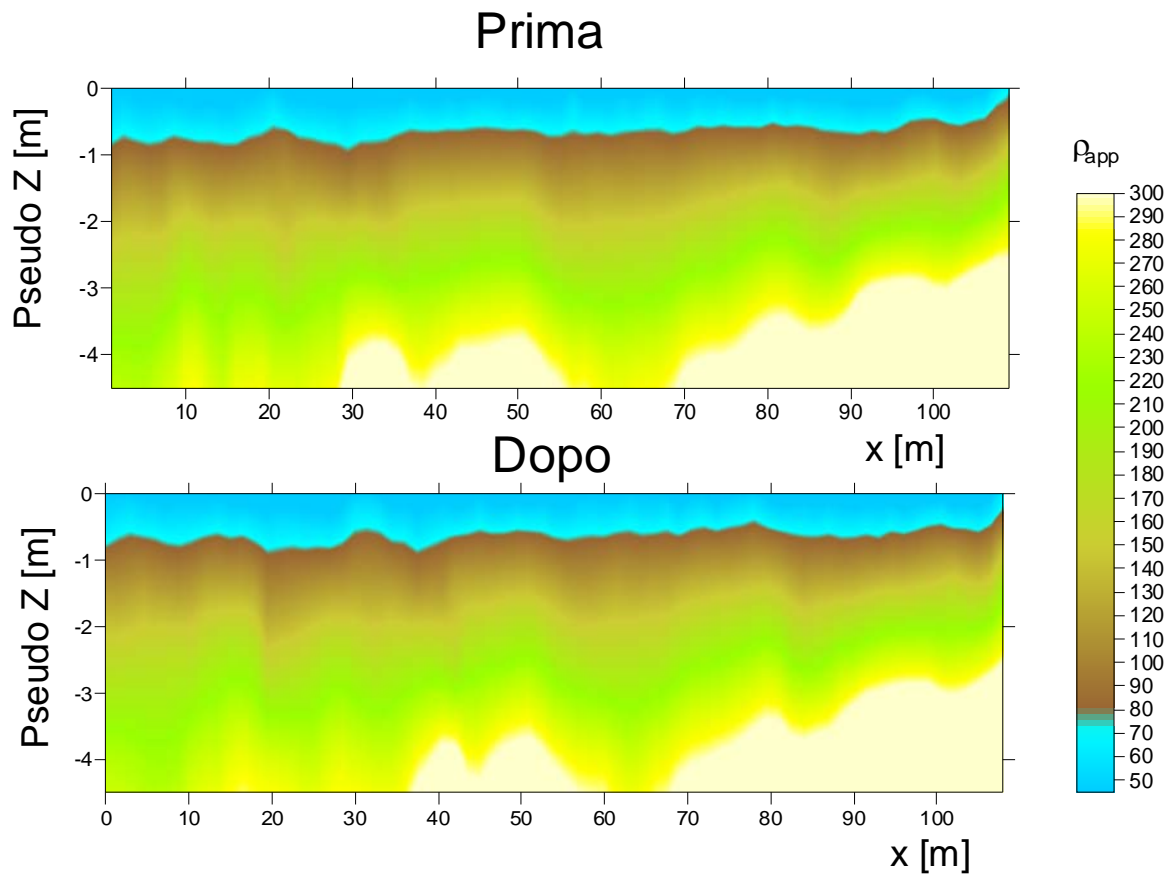


Figura IV.19. Pseudo sezioni di resistività per il tratto di canale studiato, prima e dopo l'immissione della soluzione salina.

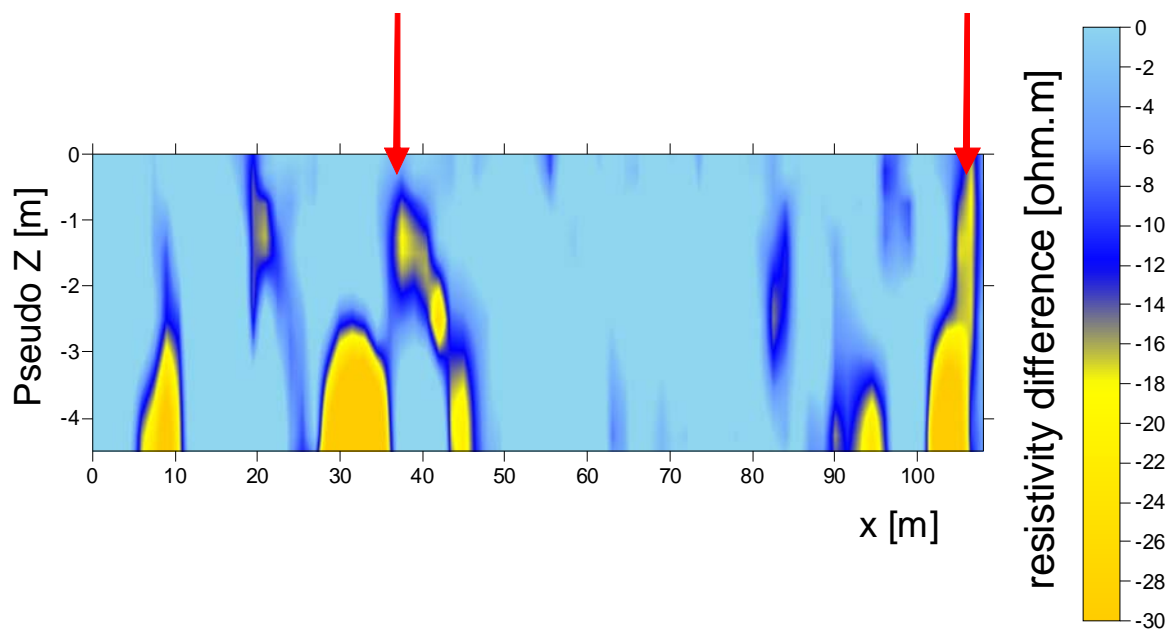


Figura IV.20. Immagine ottenuta come differenza delle due immagini precedenti con evidenza dei probabili percorsi di infiltrazione.

Di queste anomalie la prima è collocata alla progressiva di circa 40 – 50 m (che già da una prima analisi della pseudosezione risultava apparentemente critica), la seconda invece è collocata al passaggio tra alveo naturale e rivestimento cementato (progressiva 100 – 110 m). In questo ultimo punto, dato l'incremento della velocità di flusso e la presenza di un salto idraulico causato dalla chiusa, sembra essere presente una maggiore erosione in alveo, come si può notare anche dall'osservazione visiva di tale tratto. Le anomalie più profonde riscontrate in Figura 2.12 sono da analizzare con maggior cautela (come risulterà chiaro anche dalla trattazione della medesima prova eseguita nella Roggia Fraschetta di Tortona). Tali anomalie sembrano infatti imputabili più ad una diversa collocazione spaziale della misura che alla reale presenza di sale in alveo.

Infine, all'altezza del ponte di attraversamento della strada provinciale, è stata possibile eseguire una prova SOTEBIT. La prova ha interessato lo stesso segmento di canale lungo cui è stata eseguito il tracciamento salino. La prova è stata eseguita il 16 giugno 2011. Sono stati posizionati il cavo ed i relativi elettrodi (14 elettrodi sul fondo del canale e 2 sulle sponde) ed è stata individuata con precisione la posizione di ciascun elettrodo per poter ricostruire nel dettaglio la forma della sezione. Si riporta in Figura IV.21 l'immagine della sezione attrezzata per la misura, vista da monte, con l'indicazione della posizione dei singoli elettrodi. La ricostruzione della resistività elettrica misurata lungo la sezione con il software di interpretazione adottato, che risolve il problema inverso, è possibile tramite una discretizzazione del dominio di interesse con una mesh agli elementi finiti che viene altresì visualizzata in Figura IV.21.

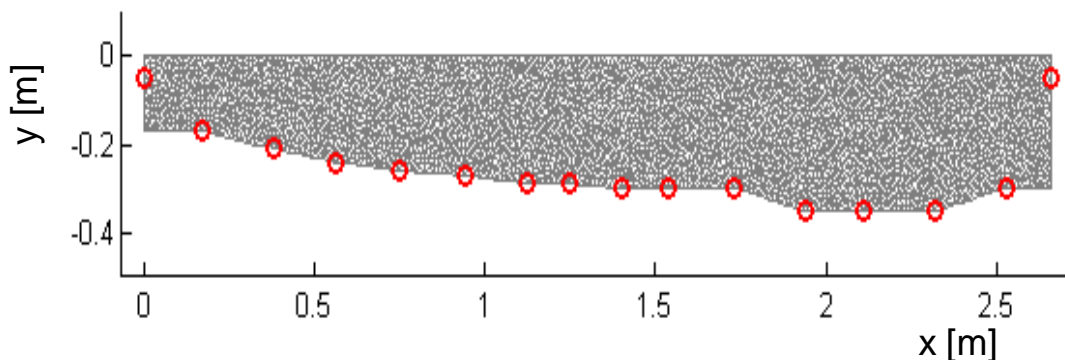


Figura IV.21. Sezione del canale strumentata con elettrodi per la prova SOTEBIT, vista da monte; in grigio, esempio di mesh ad elementi finiti per la ricostruzione del campo di resistività.

Una prima rappresentazione qualitativa delle misure è riportata in Figura IV.22. È possibile evidenziare come, rispetto alla curva misurata durante il tracciamento salino in corrispondenza alla medesima sezione, siano evidenti delle disomogeneità nella distribuzione del valore della resistività elettrica, a seconda dei quadripoli in cui è valutata. Tali disomogeneità indicano quindi la presenza di zone a maggior o minor concentrazione di sale durante il passaggio del plume. La valutazione della reale forma del plume salino e dei diversi livelli di concentrazione nel tempo risulta fondamentale per una stima del

quantitativo di sale disciolto che ha attraversato la sezione di misura e, conseguentemente, per poter valutare con maggior accuratezza la percentuale di sale eventualmente perso nel tratto di canale indagato a causa di eventuali perdite.

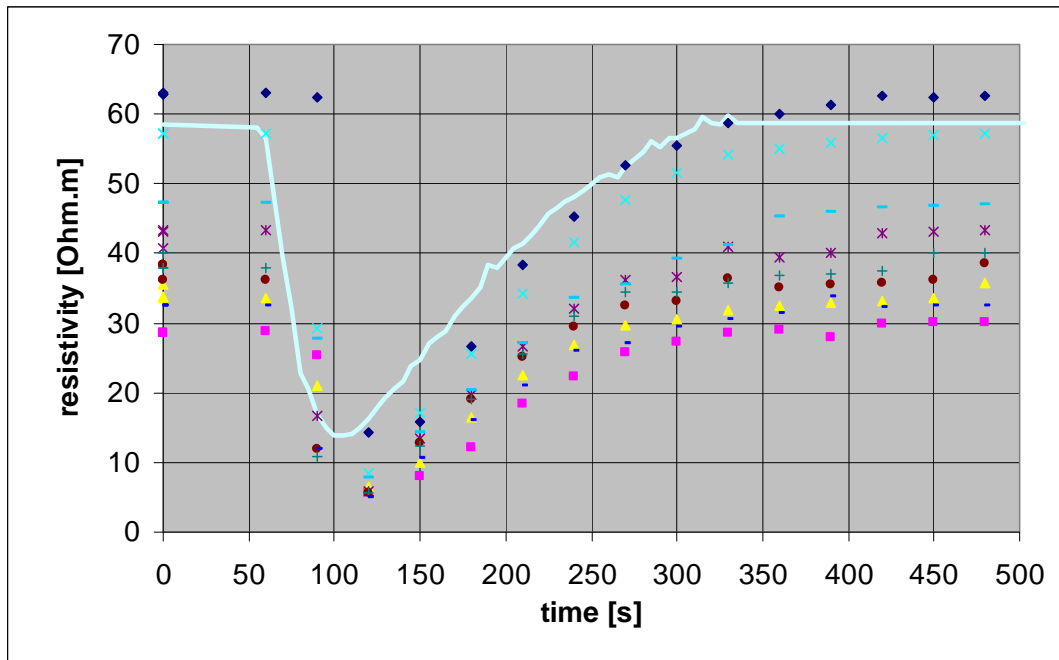


Figura IV.22. Confronto qualitativo tra dati di resistività apparente ai diversi quadripoli e misura del tracciamento salino (curva azzurra a tratto continuo).

L'insieme dei valori di resistività così misurati dai diversi quadripoli e nei diversi istanti di tempo permettono di ottenere un'immagine della sezione del canale in termini di concentrazione salina per intervalli consecutivi di circa 30 s al passaggio del plume salino (Figura IV.23). Le singole immagini riportate in Figura IV.23 sono state ottenute per passaggi successivi:

- è stato ricostruito il valore di fondo dell'acqua naturalmente presente nel canale facendo alcune misure di "bianco" in assenza di soluzione salina;
- sono state interpretate in termini di resistività elettrica tutte le immagini acquisite durante il passaggio della soluzione;
- è stata effettuata la differenza in termini di resistività elettrica tra il valore di "bianco" e le singole immagini;
- tale differenza è stata tradotta in termini di concentrazione salina riferendosi alla concentrazione naturale dell'acqua del canale ed a leggi di taratura sperimentale che regolano la variazione di resistività elettrica al variare della concentrazione salina di NaCl.

Con i precedenti passi è stato quindi possibile ottenere la serie di immagini riportate in Figura IV.23 che visualizzano il passaggio del plume salino in corrispondenza alla sezione di interesse.

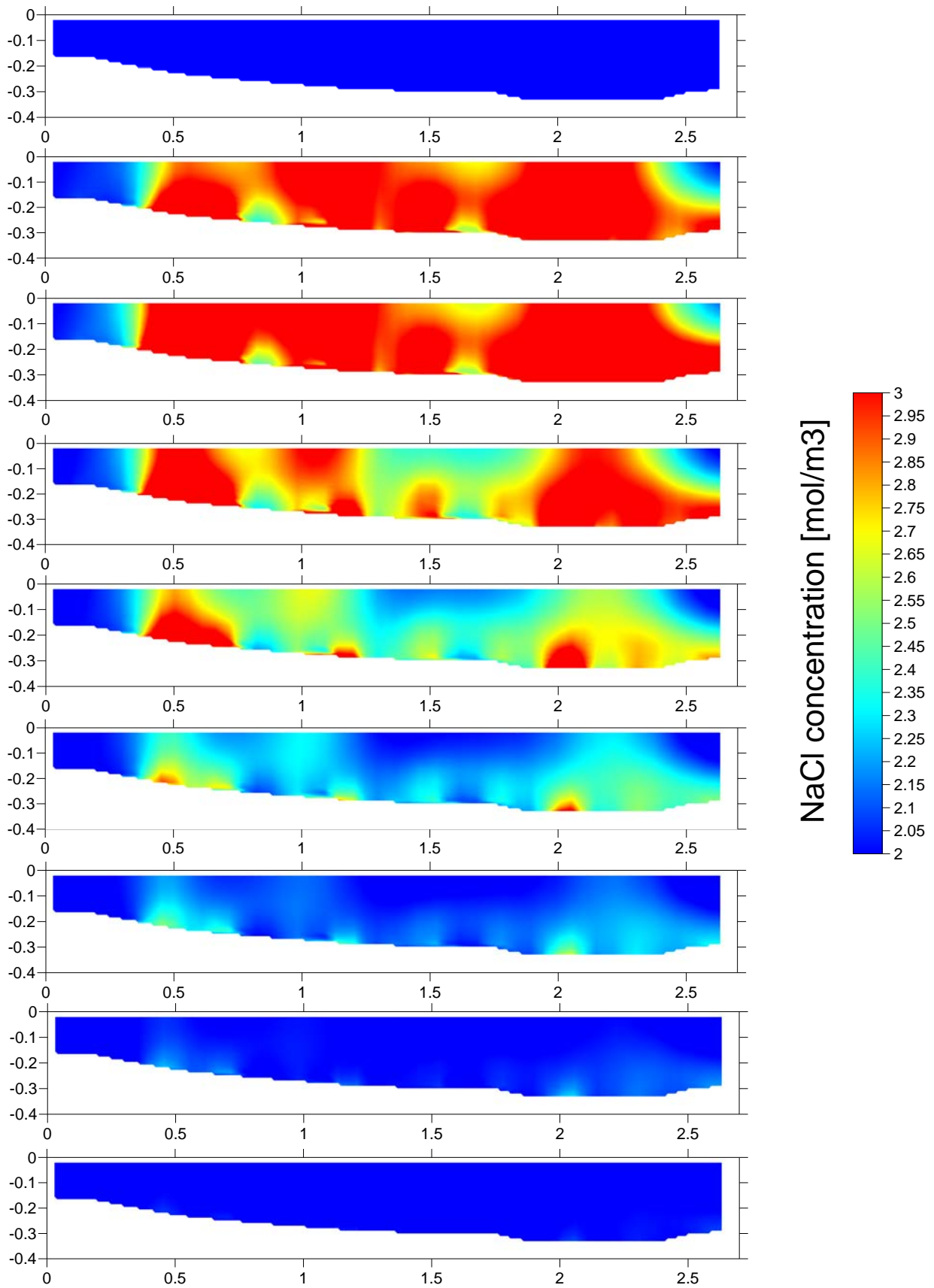


Figura IV.23. Monitoraggio del passaggio del plume salino in termini di concentrazione in corrispondenza alla sezione del canale ubicata presso il ponte di attraversamento della strada provinciale; la sezione del canale è vista da monte. Ogni immagine corrisponde ad un intervallo di acquisizione di 30 s.

Osservando le immagini di Figura IV.23 sono evidenti delle disomogeneità nel passaggio del plume salino nella sezione di interesse. In particolare si evidenzia come la concentrazione sul lato sinistro dell'immagine rimanga relativamente inalterata durante il passaggio del plume. Ciò appare coerente con quanto osservato visivamente (osservazione facilitata dall'aggiunta di fluoresceina alla soluzione salina). In Figura IV.24 si riporta un'immagine del canale al momento del passaggio della soluzione. Si nota come nel lato destro dell'immagine (che corrisponde al lato sinistro delle figure precedenti, viste da monte) siano chiaramente visibili gli elettrodi ed il cavo utilizzato per la misura e quindi come l'acqua in tale zona non sia interessata dal passaggio della soluzione. Ciò è imputabile a differenze di velocità di flusso nella sezione del canale, data anche la presenza di una curva verso sinistra a valle della sezione strumentata. Come prima menzionato il riconoscimento di tali disomogeneità, e quindi nel caso specifico la riduzione delle dimensioni laterali della sezione interessata dal passaggio del plume, sono fondamentali per una stima quantitativa del sale passato.



Figura IV.24. Immagine del passaggio del plume salino in corrispondenza della sezione strumentata.

Il paesaggio da un punto di osservazione Euleriano ad uno Lagrangiano ha inoltre permesso la visualizzazione 3D del plume salino che viene riportata in Figura IV.25. Da essa è possibile visualizzare come le "code" del passaggio risultino localizzate ai lati della sezione data la ridotta velocità di flusso in corrispondenza delle sponde. Anche in questo caso si osserva come la misura di valori mediati di concentrazione in corrispondenza alla sezione non sono in grado di cogliere tali particolari.

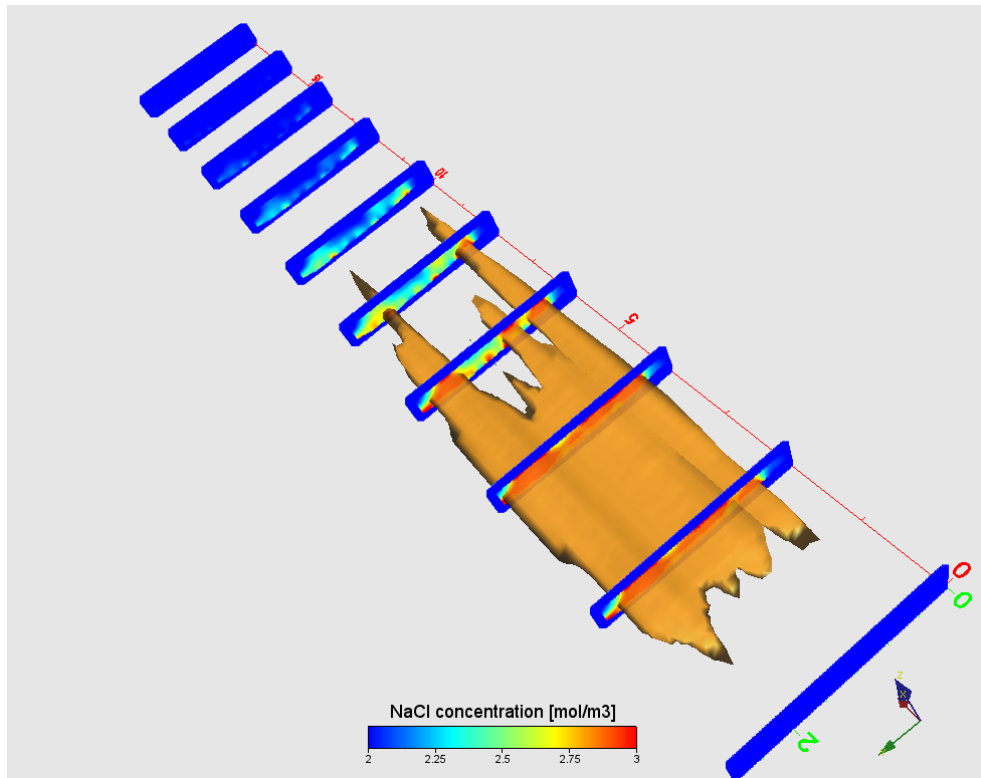


Figura IV.25. Ricostruzione 3D del passaggio del plume salino (in giallo terra di siena) in corrispondenza alla sezione di misura.

IV.2.3 - CANALE DI CALUSO

Il tratto del Canale Caluso oggetto di studio scorre nel territorio comunale di Mazzè e di Caluso (Provincia di Torino), precisamente tra le frazioni di Tonengo e di Arè. L'assetto stratigrafico locale è caratterizzato prevalentemente da sedimenti ghiaioso sabbiosi di spessore pluridecamentrico con all'interno lenti di limo ed argilla prive di continuità laterale. Le prove penetrometriche eseguite in prossimità del canale indicano la presenza di uno strato meccanicamente resistente a partire da circa 60 cm di profondità. A partire da tale quota è pertanto plausibile che inizino le ghiaie, come desumibile anche dai risultati delle tomografie elettriche effettuate nei pressi del canale.

Il Canale Caluso è impostato su un alveo in parte naturale, in parte cementato e lungo i tratti di alveo non cementato è presente una fitta vegetazione prevalentemente di tipo arbustivo con locali alberi da fusto. Il valore medio di portata, ricavato mediante l'applicazione di vari metodi, si attesta intorno a 1.8 m³/s. In particolare, sono stati applicati il metodo dei galleggianti, che ha restituito un valore pari a 1.99 m³/s, il metodo con tracciamento salino, da cui si è ottenuto il valore di 2.17 m³/s, il tracciamento con multi campionamento, da cui si è ottenuto il valore di 1.8 m³/s, il tracciamento con multi campionamento, che ha fornito un valore di portata di 1.69 m³/s, il correntometro, da cui si è ricavato il valore di 0.7 m³/s in alveo cementato ed il mulinello, che ha prodotto un valore di portata pari a circa 2.17 m³/s in alveo naturale. Le misure di conducibilità e pH effettuate direttamente nelle acque del canale rivelano valori rispettivamente pari a 84 (che corrisponde ad una resistività di 120 Ohm.m) e 7.3 µS/cm.

Le prove sperimentali con metodi geofisici lungo questo tratto di canale sono state rese particolarmente difficoltose dalle condizioni di portata e di flusso. In particolare, lungo il tratto di canale cementato, nei diversi sopralluoghi effettuati, si sono sempre trovate condizioni sfavorevoli per l'applicazione dei metodi riportati nei capitoli precedenti. In due occasioni l'elevata velocità di flusso (> 2m/s) non consentiva l'utilizzo del natante trascinato da operatori, inoltre i tentativi di posizionare la strumentazione per le prove SOTEBIT non hanno avuto successo dato che, sebbene zavorrati, gli elettrodi venivano trascinati dalla corrente ed impedivano una corretta esecuzione della misura. In occasione di un altro sopralluogo nel medesimo tratto, il battente idraulico era di pochi centimetri e non risultava pertanto sufficiente per garantire l'efficacia delle misure. Infine, sono state eseguite in data 06 e 07 ottobre 2011 due diverse prove CVES in corrispondenza a tratti leggermente a monte rispetto a quello cementato utilizzato per le prove di tracciamento salino. La prima prova è stata effettuata in un tratto in cui era possibile accedere al canale e trascinare direttamente in alveo il natante (seppur a fatica dato l'elevata velocità di deflusso e battente idraulico inferiore a 0.5 m). La seconda prova è stata invece effettuata in un tratto in cui, seppur il battente idraulico era all'incirca pari ad 1 metro, la sponda del canale era accessibile e permetteva di manovrare il natante dalla sponda.

Si riportano nelle figure IV.26 e IV.28 i dati “grezzi” e la pseudo sezione risultante dalla prima prova. Il tratto di canale in oggetto aveva sia sponde che fondo in materiale naturale e rappresenta bene un esempio di canale privo di evidenti anomalie con valori della resistività elettrica molto stabili sia nel percorso contro corrente, sia in quello a favore di corrente. Inoltre le resistività elettriche raggiungono valori molto elevati in profondità ad indicare materiale molto consistente e privo di perdite. Se raffrontati con i valori di resistività dei due canali precedentemente indagati, si osserva come lo strato ghiaioso di fondo (resistività > 300 Ohm.m) appaia più superficiale e come in generale i valori di resistività medi appaiano più elevati e con andamento uniforme all’interno di tutto il tratto. Si osserva pertanto una buona continuità laterale degli elettrostrati, suggerendo pertanto la presenza di un fondale integro e privo di perdite.

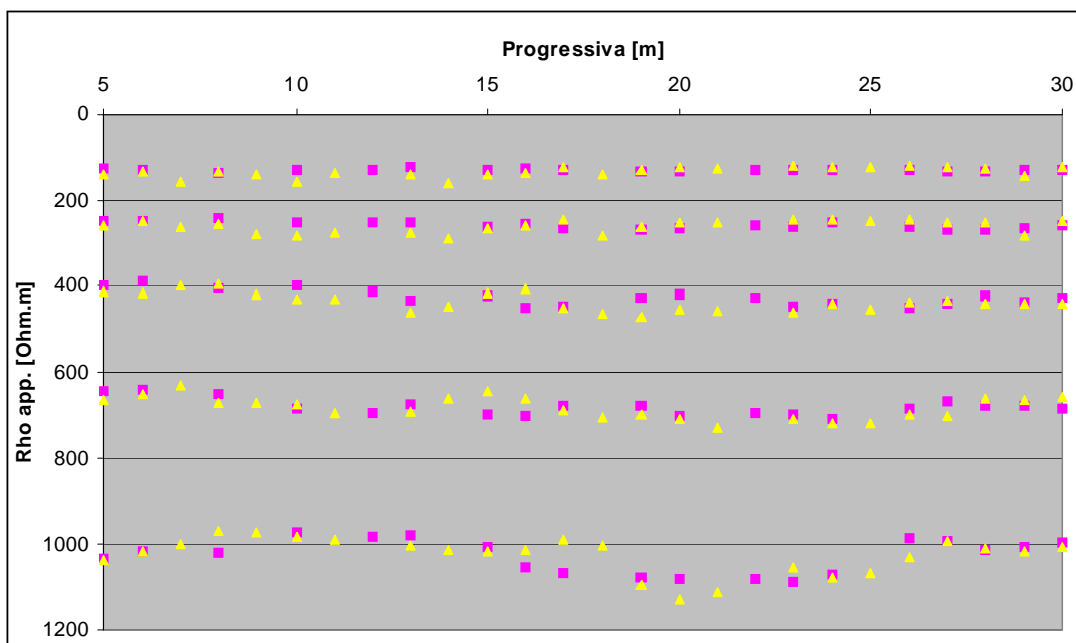


Figura IV.26. Esempio di dati “grezzi” per la prova CVES, valori di resistività a favore (in rosa) e contro corrente (in giallo).

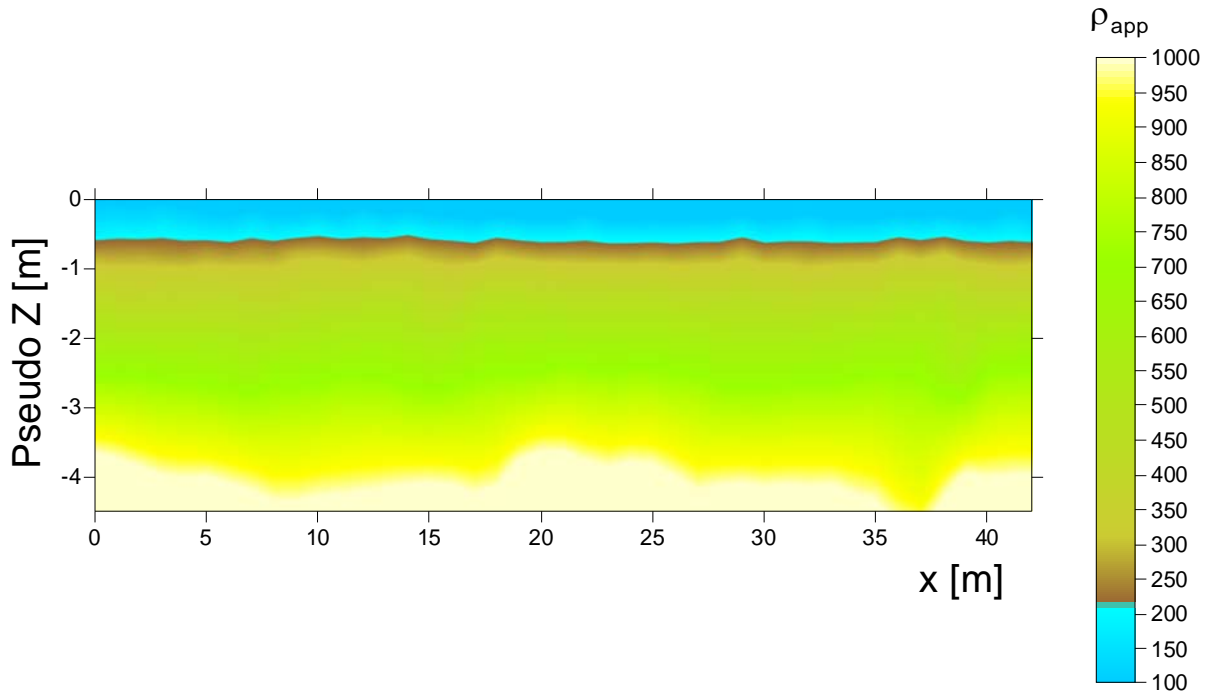


Figura IV.28. Pseudo sezione di resistività per il primo tratto di canale studiato.

In figura IV.29 è invece riportata la pseudo sezione risultante dall'indagine lungo il secondo tratto di canale. Contrariamente al tratto precedente, la resistività elettrica assume localmente valori di resistività relativamente bassi. L'anomalia centrale della pseudo sezione può essere parzialmente imputabile alla presenza di una chiusa metallica che altera il campo elettrico ed influenza le misure, data l'elevata conducibilità del ferro a diretto contatto con l'acqua. Tuttavia, lateralmente ad essa vi è la presenza di altre anomalie con forma meno regolare e valori di resistività leggermente superiori. Date le condizioni litostratigrafiche locali riscontrate lungo il canale, tali anomalie potrebbero essere legate alla presenza di lenti di materiale argilloso prive di continuità laterale. La presenza di contatti stratigrafici laterali, come quelli mostrati, potrebbe favorire localmente le perdite di drenaggio come evidenziato dalla pseudosezione. Nuovamente quindi la prova CVES è in grado di segnalare la presenza di sezioni critiche rispetto alle finalità in oggetto che dovranno comunque essere verificate.

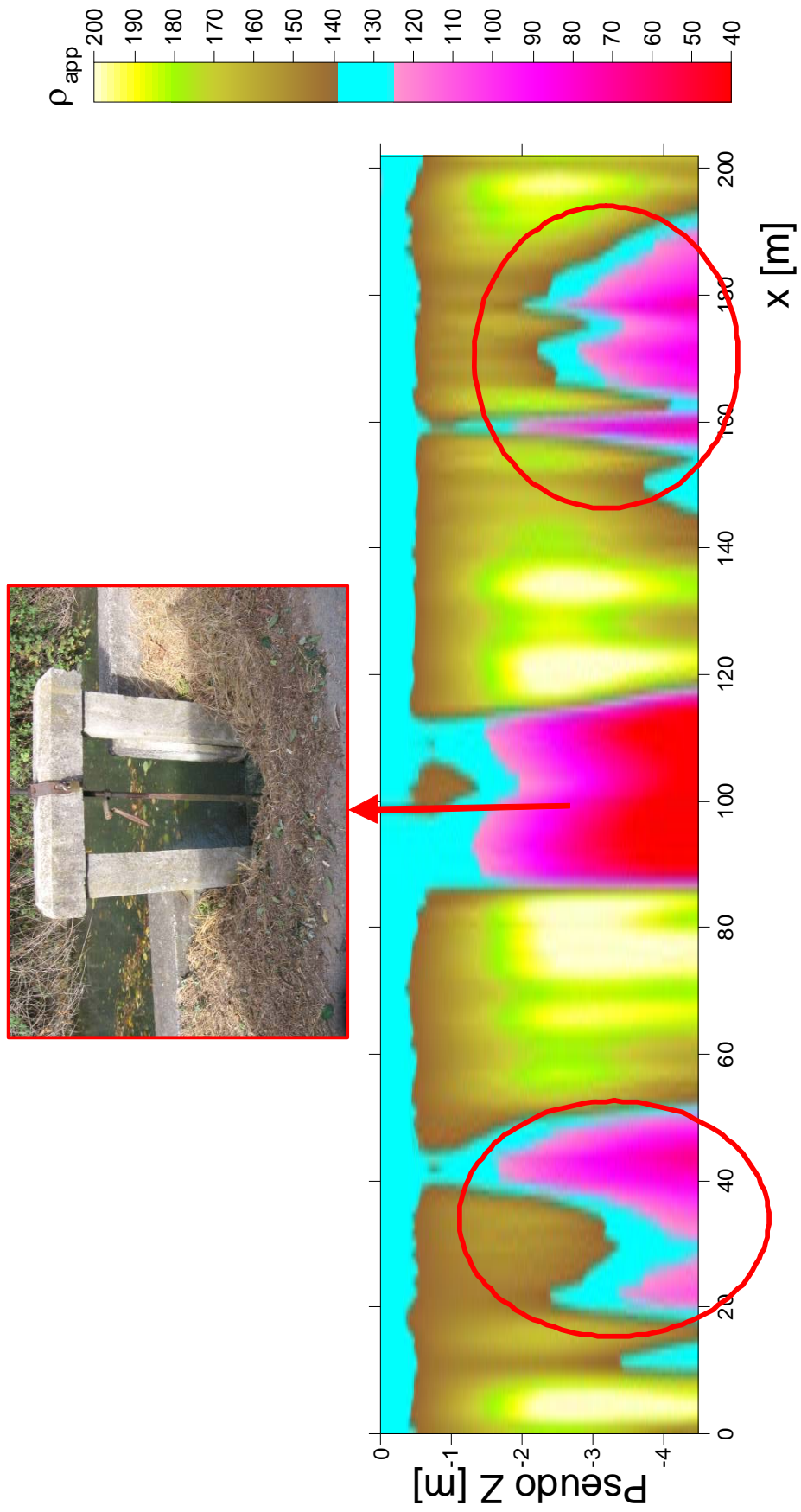


Figura IV.29. Pseudo sezione di resistività per il secondo tratto di canale studiato con evidenza delle anomalie riscontrate.

IV.2.4 - ROGGIA FRASCHETTA

La Roggia Fraschetta è un canale irriguo che scorre nella pianura alessandrina in sponda sinistra dello Scrivia; in particolare, il tratto di canale preso in esame scorre nel territorio comunale di Tortona (Provincia di Alessandria). Lungo tale tratto, le sponde e l'alveo sono in terra e materiale naturale di riporto, solamente nell'ultima porzione del segmento studiato è presente un rivestimento in calcestruzzo su tutta la sezione. La platea del canale ha una larghezza variabile da 1 a 2 m e la profondità si attesta tra 10 e 30 cm. Lungo l'intero tratto, la fitta vegetazione lungo le sponde rende difficoltoso l'accesso al canale.

Le prove penetrometriche eseguite lungo il canale rivelano il significativo aumento di resistenza alla penetrazione a partire dalla profondità di un metro circa. Il rifiuto alla penetrazione della punta ottenuto repentinamente a tale profondità fa presupporre la presenza di materiali ghiaioso sabbiosi al di sotto di una coltre di copertura sciolta di un metro di spessore circa.

Le misure di portata eseguite con il correntometro, in corrispondenza di 3 sezioni posizionate nel tratto di canale indagato (settembre del 2010), hanno prodotto valori pari a $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ nella porzione più a monte e $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ in quella più a valle.

Al momento di esecuzione delle prove CVES (14 ottobre 2011) sia il flusso idraulico che la portata risultavano particolarmente ridotti. Infatti, date le condizioni di secca della parte a valle del tratto di canale interessato, le prove sono state condotte in presenza di acqua approssimativamente stagnante. Ciò ha permesso altresì di verificare l'applicabilità del metodo CVES anche in presenza di un abbondante deposito di fondo limoso argilloso e di acque torbide. Le prove sono state eseguite per un tratto di canale abbastanza ampio che si colloca leggermente a monte rispetto a quello indagato con gli altri metodi riportati nella presente relazione (Fig. IV.30). L'acquisizione CVES è stata resa difficoltosa dalla presenza di abbondante vegetazione che ostruiva localmente l'alveo. È stato per cui necessario interrompere in alcuni punti l'acquisizione come riportato in Figura IV.30. Tuttavia, nel complesso, tali difficoltà non hanno compromesso il risultato in termini di pseudo sezione dato che nella fase di elaborazione ed interpretazione dei dati è stato possibile "ricomporre" i vari tratti studiati. Tale situazione potrebbe presentarsi anche in altri canali, ad esempio in presenza di attraversamenti superficiali che impediscano di percorrere con continuità tratti di canale significativi ai fini della prova, senza comprometterne tuttavia il risultato finale.

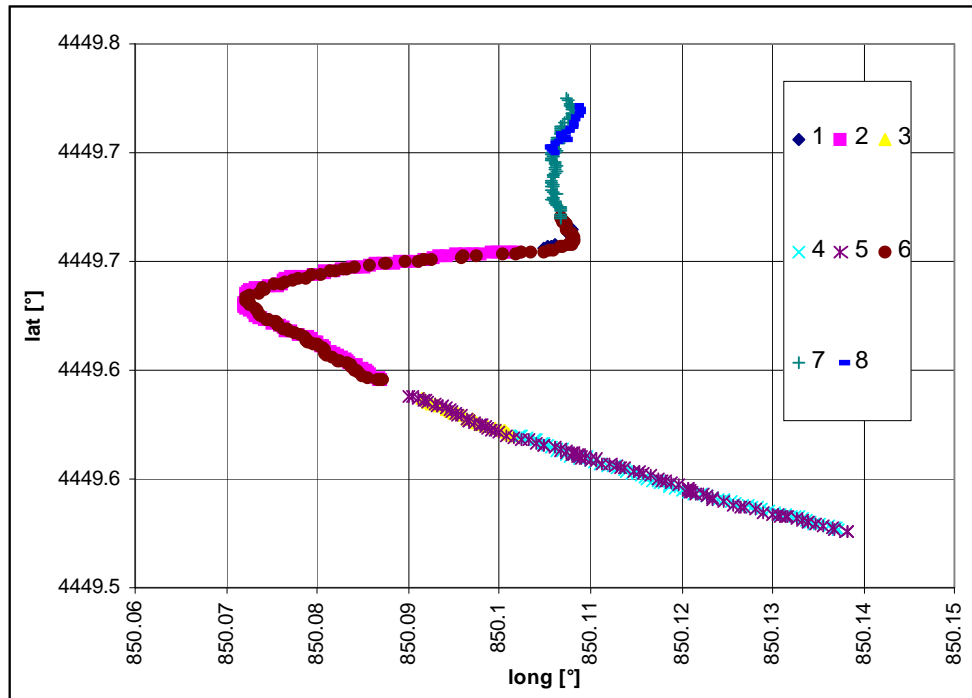


Figura IV.30. Acquisizione del CVES lungo la roggia frassetta, percorsi GPS a favore di corrente e contro corrente.

Si riporta in figura 2.21 la pseudo sezione di resistività ottenuta dalla prove. Si notino subito i valori di resistività dell'acqua decisamente inferiori rispetto ai casi precedenti, data la sua torbidità naturale e la probabile presenza di materiale argilloso in sospensione. Inoltre, coerentemente con le condizioni riscontrate, si osserva un marcato incremento del battente idraulico da monte verso valle. Il tratto di canale considerato appare suddiviso in due parti distinte con una netta anomalia di resistività nel mezzo (alla progressiva di circa 200 m). La parte di monte risulta avere valori crescenti di resistività in profondità mentre nella parte di valle si rileva un decremento di resistività con la profondità. In questo caso quindi più che evidenziare delle anomalie locali si è riscontrato un intero tratto (all'incirca dalla progressiva 250 m in poi) che appare critico rispetto alla presenza di potenziali perdite. Infatti, in tale porzione di canale, si evidenziano delle zone a ridotta resistività per crescenti profondità di indagine che andrebbero meglio indagate.

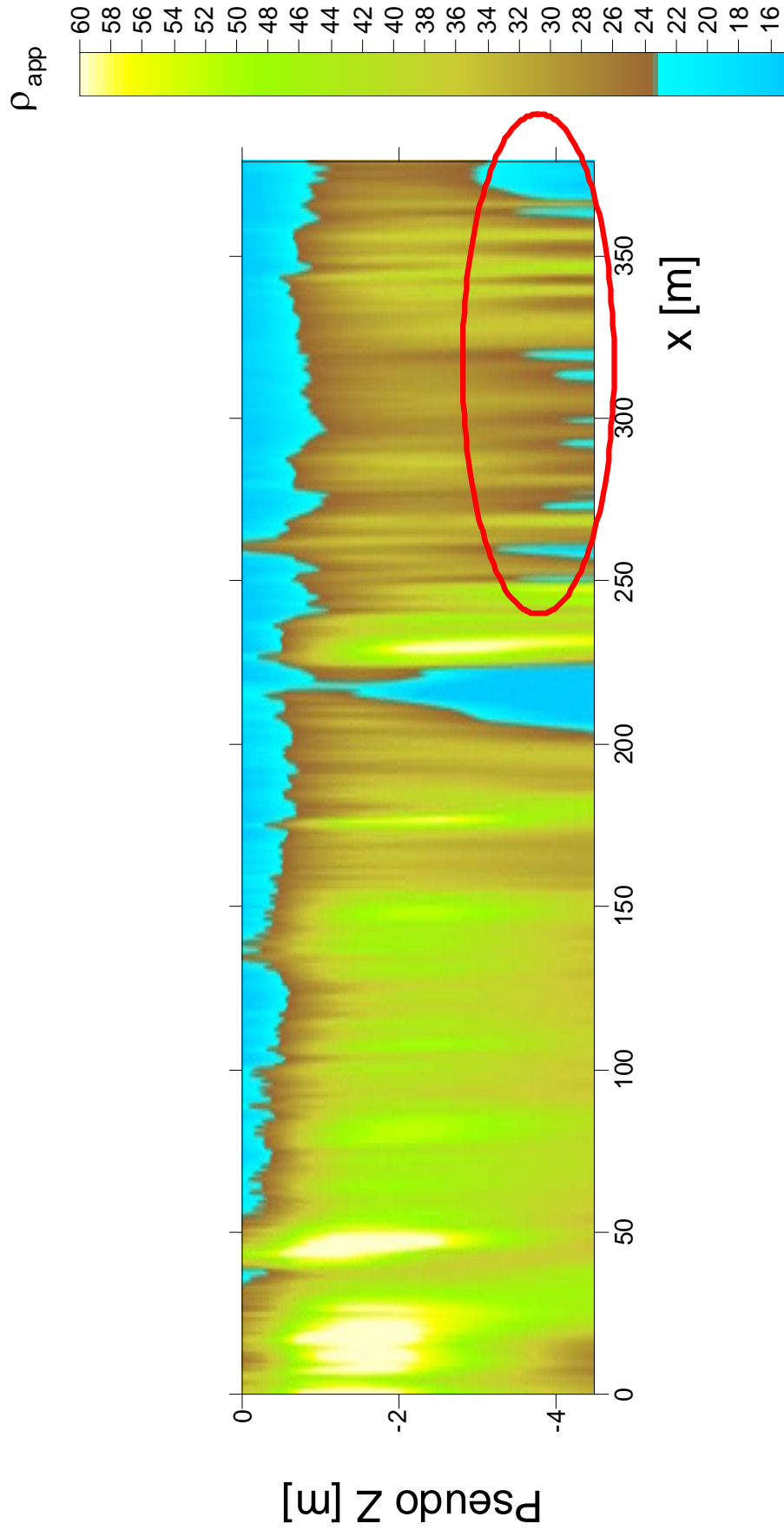


Figura IV.31. Pseudo sezione di resistività per il tratto di canale studiato con evidenza delle zone a ridotta resistività nella seconda parte del percorso.

Anche in questo caso si è tentato di ripetere l'acquisizione CVES a seguito dell'immissione di una soluzione salina per meglio evidenziare eventuali zone di perdita nella seconda parte della pseudo sezione prima commentata. Tale prova è stata tuttavia resa difficoltosa dalle ridotte velocità di flusso presenti al momento di esecuzione che hanno comportato il ristagno della soluzione salina senza che essa percorresse tutto il tratto di canale interessato. Si riporta al proposito in Figura IV.32 un'immagine della pseudo sezione del canale prima dell'immissione della soluzione salina e corrispondente agli ultimi 50 m di Figura IV.31. Data la diversa scala di colori adottata è possibile apprezzare meglio come la prova CVES sia in grado di visualizzare correttamente la presenza di abbondante deposito di fondo sul canale (resistività tra i 19 e 24 Ohm.m con colorazione in marrone) e di anomalie localizzate in profondità.

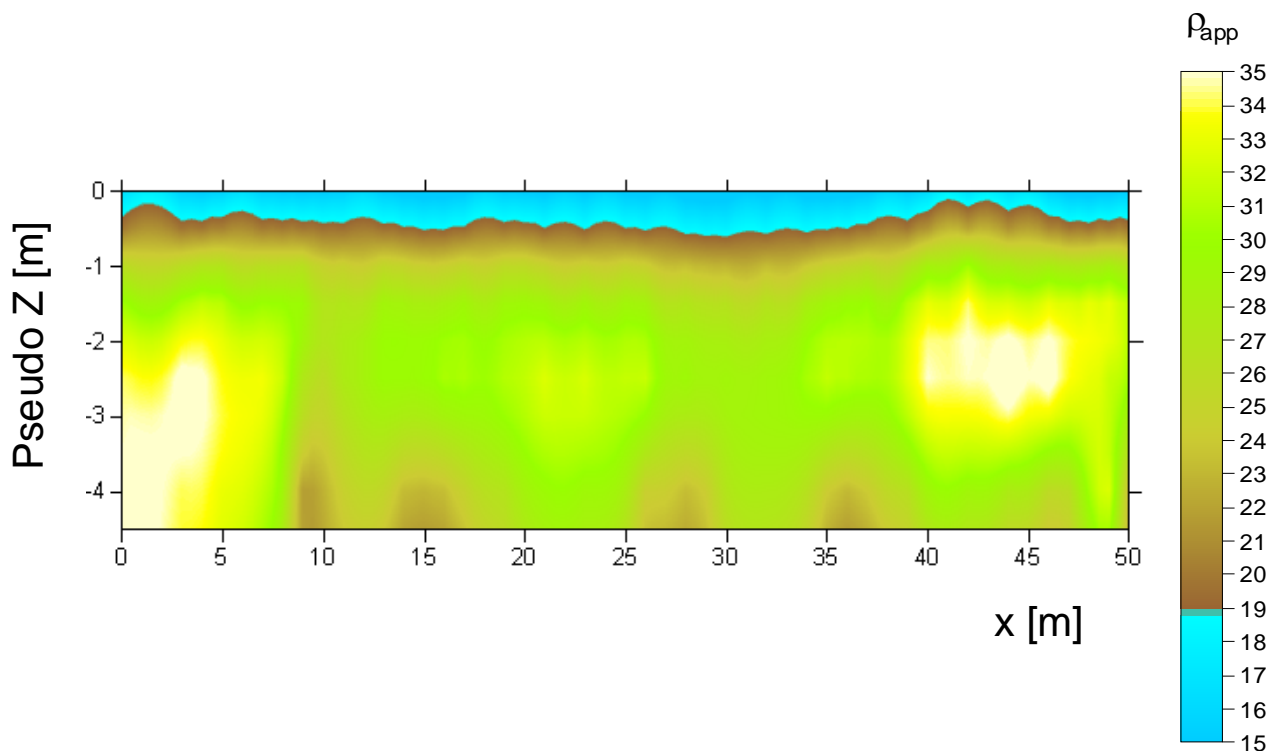


Figura IV.32. Pseudo sezione di resistività in corrispondenza del tratto di canale interessato dalla immissione della soluzione salina (corrispondente agli ultimi 50 metri della pseudo sezione riportata in Fig. IV.31).

In Figura IV.33 viene invece riportata l'immagine ottenuta come differenza tra la medesima pseudo sezione, prima e dopo l'immissione della soluzione salina. Come nel caso di studio precedente, zone a ridotta resistività indicano zone di "ristagno" della soluzione salina e quindi la presenza di possibili tratti di perdita. Come si evince dalla figura, la soluzione salina rimane confinata nella parte superiore della sezione nei depositi sciolti del fondo e solo localmente sembra infiltrarsi più in profondità. In particolare, data la ridotta velocità di deflusso, il plume salino sembra interessare solo gli ultimi 20 m della pseudo sezione. In tal senso le disomogeneità evidenziate nella sezione alle progressive di 5 e 20 metri non appaiono imputabili alla presenza della soluzione salina, ma solo a differenze di collocazione spaziale delle due diverse prove. Ciò permette di evidenziare come tale tipologia di prova possa essere fortemente affetta da

errori di localizzazione e come le medesime anomalie in profondità osservate per il caso di studio di Osasco siano da considerare con particolare attenzione.

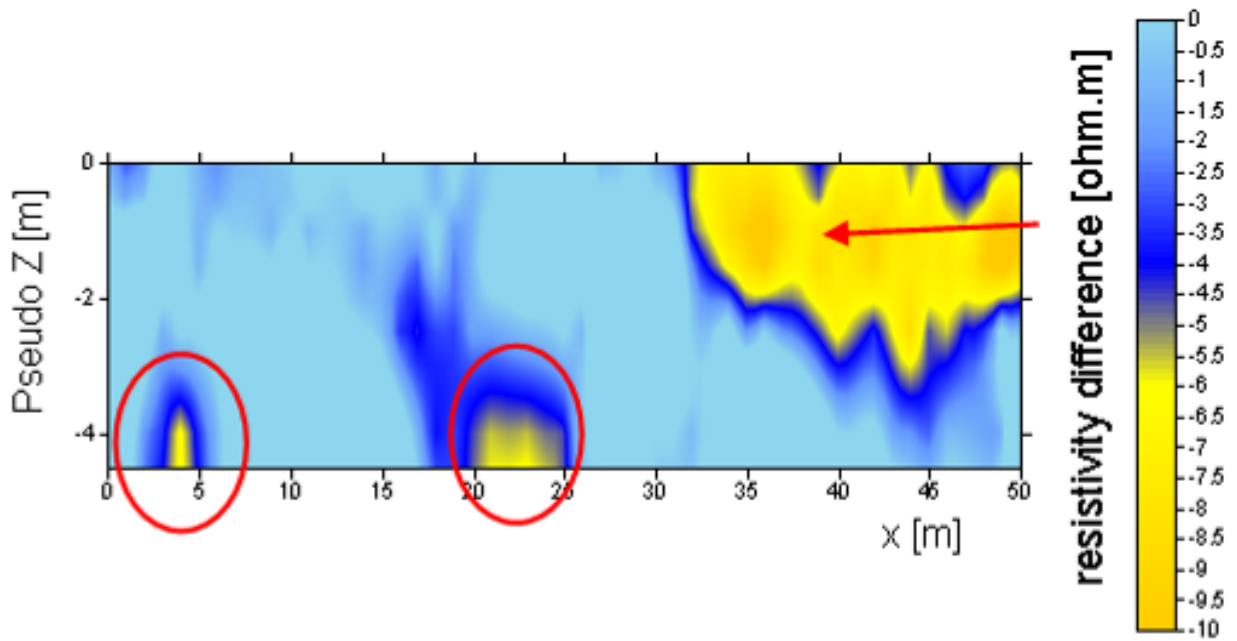


Figura IV.33. Immagine ottenuta come differenza delle prove CVES prima e dopo l'immissione della soluzione salina; si possono osservare anomalie di resistività ed evidenze di passaggio del plume salino.

IV.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Entrambe le tecniche geofisiche adottate nell'ambito del presente studio hanno dimostrato interessanti potenzialità per una loro applicazione alla ricerca delle perdite di canali irrigui. Infatti, anche in base alla letteratura scientifica menzionata, tali metodologie risultano tra le poche in grado di fornire, in maniera speditiva e relativamente economica, una buona indicazione sui tratti di canale potenzialmente interessati da perdite.

Dal punto di vista applicativo la tecnica CVES si è dimostrata di facile utilizzo nella maggior parte dei tratti di canale investigati. Tolte le limitazioni tecniche rispetto alla velocità di flusso (raccomandata $< 2\text{m/s}$) e del battente idraulico (raccomandato $> 0.3\text{ m}$) è possibile investigare tratti di canale, anche abbastanza lunghi, in un ridotto intervallo di tempo. Per battenti idraulici superiori ai 0.7 m è necessario prevedere l'utilizzo di un natante a controllo remoto oppure garantire l'accessibilità delle sponde per un tratto significativo.

In assenza di condizioni escludenti, esiste tuttavia la possibilità del verificarsi di falsi negativi e falsi positivi i quali andrebbero ulteriormente investigati e verificati a mezzo di indagini indirette con altri metodi. I falsi negativi si possono ridurre essenzialmente all'impossibilità di definire la minima perdita rilevabile. I falsi positivi possono essere di due tipi: riconoscibili e non riconoscibili. I falsi positivi riconoscibili derivano dal fatto che ogni apporto o prelievo di acqua (con o senza chiuse metalliche) genera un segnale di resistività alterata. I falsi positivi non riconoscibili possono essere dati dalla presenza di materiale argilloso sul fondo di canali cementati o di ghiaie sul fondo di canali naturali che diano segnali di resistività alterata. Le anomalie riscontrate con tale tecnica vanno quindi valutate attentamente.

Tuttavia, soprattutto utilizzando la configurazione di prova che permette una contestuale diretta visualizzazione della pseudo sezione di resistività, è possibile affiancare al tecnico che esegue l'indagine un esperto che possa valutare la tipologia di eventuali anomalie riscontrate.

Le prove condotte a seguito dell'immissione di soluzione salina hanno fornito risultati promettenti che vanno però ulteriormente verificati, in particolare per quanto concerne la collocazione spaziale delle misure. Dalle prime prove sino ad ora condotte, non appare tuttavia un significativo contributo di tale metodologia in termini di approfondimento e di dettaglio dell'indagine rispetto alle prove condotte senza traccianti.

La tecnica SOTEBIT ha dimostrato sicure attrattive per quanto concerne il monitoraggio del passaggio di un plume salino nella sezione di misura. Le condizioni escludenti rispetto alla velocità di flusso ed al battente idraulico sono le medesime riscontrate per la precedente tecnica. I risultati ottenuti hanno dimostrato l'efficacia della tecnica nel monitoraggio qualitativo e quantitativo del passaggio del plume salino, fornendo anche importanti indicazioni per l'interpretazione di altre prove, quali quelle di tracciamento.

Resterebbero da approfondire metodi che siano in grado di monitorare e fornire informazioni quantitative circa le concentrazioni saline e la loro distribuzione lungo il tratto di canale a seguito di prove di tracciamento per poter così valutare l'entità di eventuali perdite.

V - TELERILEVAMENTO

Il telerilevamento è la disciplina scientifica che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e su oggetti posti a distanza mediante misure di radiazione elettromagnetica, emessa, riflessa o trasmessa, che interagisce con le superfici di interesse. Il telerilevamento consente di superare le difficoltà connesse con le campagne di misura tradizionali fornendo informazioni sinottiche (elevata copertura spaziale, osservazione istantanea di grandi aree), dinamiche (frequenza temporale delle misure, acquisizione dati in tempi diversi di una stessa area di interesse), omogenee (consistenza dei dati), senza perturbare l'oggetto osservato e a costi contenuti.

Lo studio di un fenomeno o di una superficie effettuato con tecniche di telerilevamento prevede in generale tre fasi distinte:

- acquisizione dei dati mediante ripresa da terra, aereo, o satellite;
- elaborazione dei dati;
- interpretazione e uso dei dati.

Nell'ambito del presente progetto si intendono acquisire immagini ad alta risoluzione geometrica (fino a 0.50 m di pixel) per l'analisi radiometrica dell'infrarosso delle aree canalizzate e limitrofe in modo da evidenziare eventuali anomalie dello stato vegetativo circostante imputabile ad una maggiore presenza di acqua. Sono previste, oltre ad una fase di analisi della disponibilità dei dati in determinate stagioni, anche una fondamentale fase di elaborazione geometrica e radiometrica per ottenere immagini calibrate e pronte per un'analisi qualitativa radiometrica attraverso una fase di classificazione.

V.1 - INTRODUZIONE

Le immagini da satellite

Un'immagine da satellite è un dato numerico digitale, che può essere sottoposto ad una serie di elaborazioni.

In base alle risoluzioni dei sensori una immagine da satellite è composta da una serie di immagini il cui numero è dato dalla risoluzione spettrale del sensore, e il cui nome è assegnato in base all'ordine di acquisizione. Quindi se prendiamo come riferimento una immagine Landsat ogni immagine sarà divisa in 7 **BANDE** cioè 7 immagini acquisite in altrettante zone dello spettro e.m. Le singole bande sono a loro volta formate da un insieme di pixel la cui dimensione è data dalla risoluzione spaziale, ed il cui valore espresso in DN è dato dalla risoluzione radiometrica del sensore.

Ogni immagine telerilevata è quindi un dato digitale RASTER composta cioè da un certo numero di “pixel”, inseriti entro una matrice in righe e colonne, che può essere manipolata digitalmente attraverso software specifici.

L'utilizzo delle immagini satellitari nelle applicazioni territoriali risulta sempre più esteso e sempre più rispondente alle esigenze degli operatori, che sovente non si accontentano più di una visione cartografica rappresentativa a colori (spesso non aggiornata), ma chiedono che i dati diretti e telerilevati (sia da satellite, ma anche da piattaforma aerea) siano:

- Sempre aggiornati
- Digitali, semplici e pronti all'uso
- Integrabili con altre informazioni
- Utilizzabili con software diffusi ed economici
- Che diano informazioni al di là del “visibile” e quindi anche tematiche
- Che diano concretezza, a livello di geo-informazione, ai numeri, alle statistiche ed ai tematismi che occorre trattare.

Inoltre, le opportunità odierne di un più diffuso utilizzo delle immagini ad alta risoluzione, aumentano e si giustificano con l'espansione del mercato tecnologico attraverso:

- La facilità di entrare in possesso per chiunque di PC sempre più potenti ed economici
- La diffusione di software (elaborazione e GIS) sempre più accessibili e facili da usare
- Il continuo sviluppo e diffusione della “cultura” del dato digitale.

Tipologia delle immagini

Le immagini da satellite possono essere acquisite come:

Multispettrali, si tratta di immagini rilevate separatamente in più bande spettrali, che possono essere successivamente composte tra loro per avere composizioni a colori. Queste bande prese singolarmente sono visibili in toni di grigio con l'ampiezza radiometrica tipica del sensore (Es. *Landsat 7* = 8 bit) . In genere le immagini multispettrali hanno una definizione spaziale inferiore ma una utilità molto ampia per quanto riguarda l'analisi multitematica del territorio vista la possibilità molto vasta di combinazioni tra le bande.

Pancromatiche si intendono quelle immagini che viceversa coprono uno spettro elettromagnetico molto ampio in una unica immagine campionata in toni di grigio.

Il *pancromatico* viene utilizzato per la cartografia, vista la migliore definizione e soprattutto il miglior contrasto evidente nell'immagine.

A titolo di esempio le piattaforme HR (High Resolution) hanno una risoluzione di circa 1 metro nel pancromatico e di 4 metri nel multispettrale con 4 immagini registrate in altrettante zone dello spettro elettromagnetico.

La risoluzione

Ogni sensore/piattaforma per il telerilevamento é caratterizzato da quattro proprietà:

- la risoluzione spaziale;
- la risoluzione radiometrica;
- la risoluzione spettrale;
- la risoluzione temporale.

La **risoluzione spaziale** é l'area minima sul terreno vista dallo strumento da una data altezza ad un dato istante, ovvero la distanza minima entro la quale due oggetti appaiono distinti nell'immagine. Viene definita dall' EIFOV (Effective Field Of View). Sensori a bordo di piattaforme molto lontane dagli oggetti da osservare normalmente osservano un'area più grande ma non possono ottenere un grande dettaglio. Il dettaglio in una immagine dipende anche dalla risoluzione spaziale del sensore cioè dalla sua tecnologia costruttiva.

La **risoluzione radiometrica** rappresenta la minima differenza di intensità che un sensore può rilevare tra due valori di energia riflessa. E' anche definita come il numero di livelli discreti in cui può venire suddiviso un segnale. La risoluzione radiometrica è espressa nel sistema binario in potenza di 2. Questo range corrisponde al numero di bits usati per codificare i numeri nel formato binario. Ciascun bit registra un esponente della potenza di due (per esempio 1 bit = $2^1 = 2$). Il massimo numero di livelli di luminosità disponibili dipende dal numero di bits usati per rappresentare l'energia registrata. Quindi se un sensore usa 8 bits per registrare i dati (*Landsat*), i valori digitali disponibili sono $2^8 = 256$, variando da 0 a 255. Se sono usati 11 bits (nuovi sensori alta risoluzione) i valori disponibili saranno $2^{11} = 1048$ variando con una risoluzione radiometrica maggiore

La **risoluzione spettrale** La risoluzione spettrale di un sensore è determinata dall'ampiezza di banda (intervallo di lunghezze d'onda) che lo strumento riesce a discriminare.

In base al numero di bande che il sensore può acquisire, si distinguono sistemi:

- MONOSPETTRALI o pancromatici (1 sola banda);
- MULTISPETTRALI (da 2 a poche decine di bande);
- IPERSPETTRALI (molte decine di bande).

i multispettrali, che registrano l'immagine in un limitato numero di bande spettrali distinte (di norma in numero inferiore a dieci), spesso ampie e non sempre contigue, e gli iperspettrali, che acquisiscono il segnale in numerosi intervalli di lunghezze d'onda molto stretti e ravvicinati, e che quindi consentono di ottenere una risposta spettrale dettagliata dei diversi oggetti investigati. Per fornire un'accurata identificazione degli obiettivi presenti al suolo la risoluzione spettrale del sensore deve essere confrontabile il più possibile con la curva di riflettanza dell'oggetto (firma spettrale). Il limite dei sistemi ad alta risoluzione è stabilito dal basso rapporto segnale/rumore in quanto la potenza raccolta dal sensore, a

parità di radianza al suolo, è proporzionale all'ampiezza dell'intervallo di lunghezze d'onda in cui il segnale viene registrato (Brivio et al., 1992). Questo problema può in parte essere compensato allungando allungando i tempi di esposizione durante l'acquisizione dell'immagine.

La **risoluzione temporale** è il tempo che intercorre tra acquisizioni successive della stessa area. Il periodo di rivisitazione di un sensore satellitare è normalmente di diversi giorni. Nella maggior parte dei satelliti c'è una certa sovrapposizione dell'ampiezza di ripresa di orbite adiacenti per la maggior parte dei satelliti, e che questa sovrapposizione aumenta all'aumentare della latitudine, alcune aree della Terra possono essere riprese più frequentemente. Inoltre, alcuni satelliti hanno la capacità di orientare i loro sensori per riprendere la stessa area in passaggi differenti con intervalli temporali più ristretti. Quindi la risoluzione temporale di un sensore dipende da una varietà di fattori fra cui le caratteristiche del satellite e del sensore, la sovrapposizione dell'ampiezza di ripresa e la latitudine (Planetek, 2001).

L'acquisizione dei dati telerilevati è vincolata alla quantità di energia radiante che il sistema deve raccogliere; ciò impedisce di migliorare contemporaneamente i parametri di risoluzione definiti. A parità di qualità della tecnologia usata, le tre risoluzioni (tranne quella temporale) sono legate tra loro e il miglioramento di una va sempre a discapito delle altre. In particolare, un aumento della risoluzione spettrale del sistema è sempre accompagnato da un peggioramento della risoluzione geometrica delle immagini acquisite, per effetto dell'aumento necessario delle dimensioni degli elementi CCD. D'altra parte, un sensore caratterizzato da una buona risoluzione spettrale, fornisce una risposta spettrale molto dettagliata, caratteristica che si rivela indispensabile, come si vedrà in seguito, per le applicazioni del telerilevamento finalizzate alla lettura del territorio, oggetto di questo capitolo.

V.2 - DATI DISPONIBILI

Sulla base dei dati disponibili sul mercato (in archivio) è stata fatta un'indagine sulle possibili immagini satellitari disponibili ed adeguate per l'analisi dell'area test di Fossano; E stata data la priorità alla risoluzione geometrica a scapito di quella spettrale in quanto il dato multi spettrale ad alta risoluzione geometrica attualmente sul mercato permette comunque l'analisi radiometrica degli indici di vegetazione nell'infrarosso vicino. In ogni caso attualmente non sono disponibili dati multi spettrali con infrarosso medio ad alta risoluzione geometrica (inferiore ai 4 m). Un presupposto fondamentale è quello di avere una sufficiente risoluzione geometrica tale da poter individuare aree di anomalia vegetativa nell'intorno di qualche metro dai canali indagati. Questo è possibile solo tramite dati con risoluzione geometrica multi spettrale al di sotto dei 4 m.

Di seguito si riporta la tabella comparativa dei dati attualmente disponibili sul mercato e che possono soddisfare i presupposti iniziali dell'indagine.

	GEOEYE 1	IKONOS	QUICKBIRD	WORLDVIEW 2
Altitudine dell'Orbita	681 Km	681 Km	450 Km	770 km
Sensore pancromatico	Sì	Sì	Sì	Sì
Sensore multispettrale (bande)	Sì (4)	Sì (3)	Sì (4)	Sì (8)
Ampiezza della traccia di osservazione	15,2 Km al nadir	11 Km al nadir	16,5 Km al nadir	16,4 Km al nadir
Scanning	Sincrono	Sincrono	Sincrono	Sincrono
Dimensione Scena	225 Km ²	120 Km ²	272 Km ²	
Risoluzione max del pancromatico	0,41 m al nadir	0,82 m al nadir	0,61 m al nadir	0,46 m
Risoluzione max del multispettrale	1,65 m al nadir	3,2 m al nadir	2,44 al nadir	1,84 m
Ampiezza della Dinamica	11 bit per pixel	8 o 11 bit per pixel	11 bit per pixel	11 bit per pixel
Massimo angolo a nadir	0° - 60°	0° - 26°	0° - 25°	0° - 45°
Medio angolo a nadir		0° - 10°	0° - 15°	
Periodo di Rivisitazione	meno di 3 giorni	2,9 giorni a 1 m di risoluzione; 1,5 giorni a 4 m di risoluzione (i)	Da 2 a 5 giorni per acquisizioni 0° - 25°	1,1 giorni
Periodo di Rivisitazione a nadir		14 giorni	Dipendente dalla latitudine	
Prezzo per nuove acquisizioni (pancromatico prodotto base)	20 US \$/Km ²	30 US \$/Km ²	22,5 US\$/km ² (m)	25 €/km ² (o)
Prezzo per immagini da archivio (pancromatico prodotto base)	10 US \$/Km ²	24 US \$/Km ² (l)	22,5 US\$/km ² (m)	
Dimensione minima acquistabile (nuove acquisizioni)	1 scena di qualsiasi tipo	100 km ²	64 km ²	1/8 di scena (400 km ²)
Dimensione minima acquistabile (immagini d'archivio)		80 km ²	25 km ²	1/8 di scena (400 km ²)
Tempo minimo per richiesta acquisizione	24-48 ore	24-48 ore	24-48 ore	24-48 ore
Tempo minimo di risposta dall'ordine	3-5 gg. (c)	50 gg. (c)	90 giorni (n)	30 gg.
Tempi di consegna dall'acquisizione	Da 30 min. a 48 ore (d)	10 gg. (d)	10 gg.	10 gg.
Copertura nuvolosa	20 % (e)	20% (h)	20%	10%

Figura V.1. Tabella comparativa dati VHR – Very High Resolution acquisibili attualmente

I dati sui costi sono indicativi

Per poter scegliere il dato adeguato sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche del sito:

- Indagine e mappatura su colture nell'intorno del tratto di canale in studio
- valutazione del periodo di massimo e minimo vegetativo per le colture
- Verifica periodo di piena e magra canale
- Verifica variazione stagionale della falda superficiale
- Verifica tipo di irrigazione e tempistiche

Sulla base dei suddetti presupposti ed indagini è stata poi verificata la disponibilità in archivio dei dati ad alta risoluzione geometrica di cui alla figura V.1.

Di seguito è riportata la tabella V.1 dei dati disponibili con data di acquisizione e risoluzione multi spettrale:

Tipo sensore	Data Acquisizione	Risoluzione MS 4-8 bande
Quickbird	3 sett 2005	288 cm
Quickbird	10 dic 2006	288 cm
Quickbird	3 mag 2009	288 cm
Quickbird	22 lug 2010	288 cm
Worldview-2	5 ott 2010	184 cm (8 bande)

Tabella V.1. Tabella immagini satellitari disponibili sull' area test di Fossano
In evidenza il dato acquisito.

V.2.1 - LE IMMAGINI WORLDVIEW-2

Lanciato lo scorso ottobre 2009, Worldview-2 acquisisce immagini multispettrali ad **8 bande** con risoluzione geometrica di circa **1,8 metri**, per fornire la migliore rappresentazione a colori naturali della Terra, oltre che immagini pancromatiche con risoluzione di **46 centimetri** (commercializzate con la risoluzione di **50 cm nel pancromatico e 2 metri nel multispettrale**).

In particolare WorldView-2 è il primo satellite commerciale ad alta risoluzione in grado di acquisire, accanto alle quattro tipiche bande Blu, Verde, Rosso ed Infrarosso Vicino, quattro ulteriori bande multispettrali, "inedite" su un satellite ad altissima risoluzione:

- la **Coastal Band** (400 - 450 nm), utile per lo studio di aree costiere, grazie alle sue caratteristiche di penetrazione nell'acqua, e ideale per migliorare i risultati nei processi di correzione atmosferica;
- la **Yellow Band** (585 - 625 nm): molto importante per rendere meglio i colori naturali delle immagini e per ottimizzare i processi di classificazione;
- la **Red Edge Band** (705 - 745 nm): fondamentale per l'analisi approfondita delle condizioni di salute della vegetazione;

- la **Near Infrared 2 Band** (860 - 1040 nm): una seconda banda nell'infrarosso vicino, meno influenzata dalle condizioni atmosferiche, estremamente utile a supporto dell'analisi della vegetazione e delle biomasse.

Di seguito è riportata una tabella comparativa sulla distribuzione spettrale delle bande Worldview-2 in confronto con le "classiche" 4 bande multi spettrali acquisibili dagli altri satelliti commerciali.

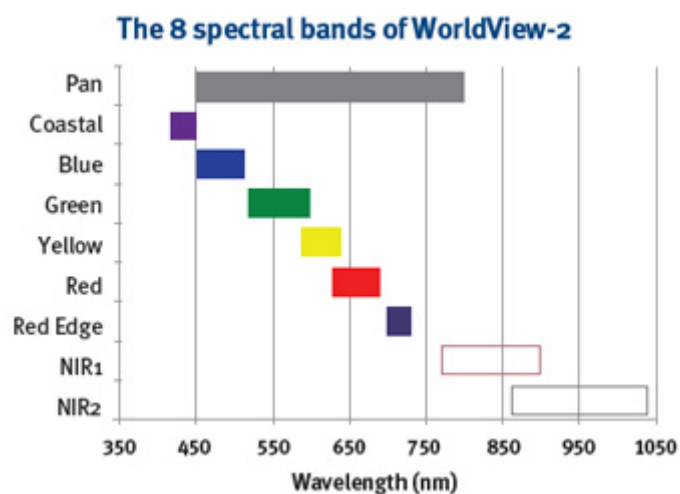


Figura V.2. Schema distribuzione bande spettrali della piattaforma Worldview-2 (fonte: Digitalglobe).

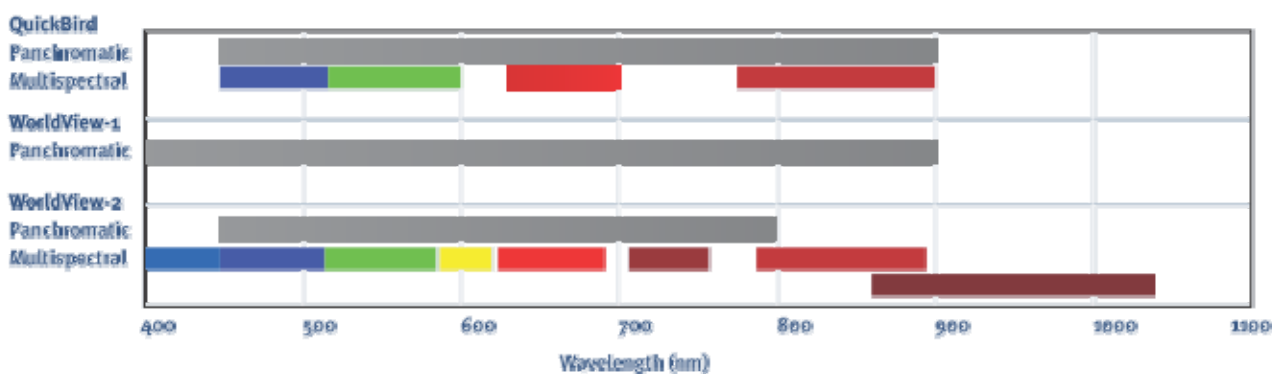


Figura V.3. Schema distribuzione bande spettrali nelle configurazioni "classica" MS 4 bande e con la nuova configurazione della piattaforma worldview-2 a 8 bande (fonte: Digitalglobe).

V.2.2 - IL PAN-SHARPENING

L'operazione di pan-sharpening consiste nella fusione tra il dato pancromatico e quello multispettrale, conservando nell'immagine risultante le caratteristiche di risoluzione geometrica dell'uno e di contenuto spettrale dell'altro.

La disponibilità di una banda pancromatica a 0.5 m di risoluzione, insieme alle bande multispettrali a 2 m, fornisce l'opportunità di creare un pansharpened a colori a 0.5 m di risoluzione. Questo tipo di elaborazione permette (come è possibile vedere nelle immagini elaborate) di migliorare decisamente il riconoscimento degli oggetti e, nell'ambito delle analisi di vegetazione, di poter applicare gli indici con una risoluzione 4 volte superiore.

V.3 - TELERILEVAMENTO DELLA VEGETAZIONE

La vegetazione, può essere studiata con tecniche di rilevamento a terra e con sensori remoti. Nel passato, i dati raccolti a terra mediante misure puntiformi o areali e/o distribuite su transetti sono stati utilizzati anche per realizzare carte della vegetazione. Più efficienti sono le tecniche che si basano sul telerilevamento. La vegetazione infatti è facilmente riconoscibile su immagini remote perché i diversi popolamenti hanno comportamenti spettrali che producono vere e proprie "firme". Una curva di riflettanza tipica della vegetazione è riportata in figura 2.5: si osserva che l'andamento di tale curva è regolato, nelle bande del visibile, vicino e medio infrarosso, rispettivamente dal contenuto e tipo di pigmenti fogliari, dalla struttura della foglia e dal contenuto in acqua. La frazione di energia riflessa nel campo del visibile è correlata alla presenza di pigmenti fogliari quali la clorofilla, la xantofilla e il carotene. La clorofilla in particolare, determina l'assorbimento nel blu (0,39 μm) e nel rosso (0,65 μm) e una riflessione dell'energia incidente pari all'8-15% nel verde. La struttura fogliare è responsabile del comportamento spettrale nelle bande dell'infrarosso vicino, tra 0,70 e 1,35 μm , provocando una riflessione molto elevata, nell'ordine del 30-70% dell'energia incidente. Nel dominio dell'infrarosso medio, tra 1,35 e 2,70 μm le proprietà spettrali della vegetazione dipendono strettamente dal contenuto in acqua della foglia. In condizioni di stress idrico si ha un innalzamento dei valori di radiazione riflessa, più accentuato in alcune bande di assorbimento. La curva di riflettanza può variare in funzione di molti fattori quali il tipo di vegetazione e la sua densità, lo stadio fenologico, lo stato fito-sanitario, il contenuto di umidità, ecc.. Dall'analisi dei comportamenti spettrali è possibile definire relazioni quantitative fra dati telerilevati e fenologia mediante algoritmi che si basano sul rapporto delle bande spettrali tipiche di assorbimento e riflessione.

Su questi presupposti si basa l'analisi che si intende sviluppare per l'individuazione di aree di perdita dei canali.

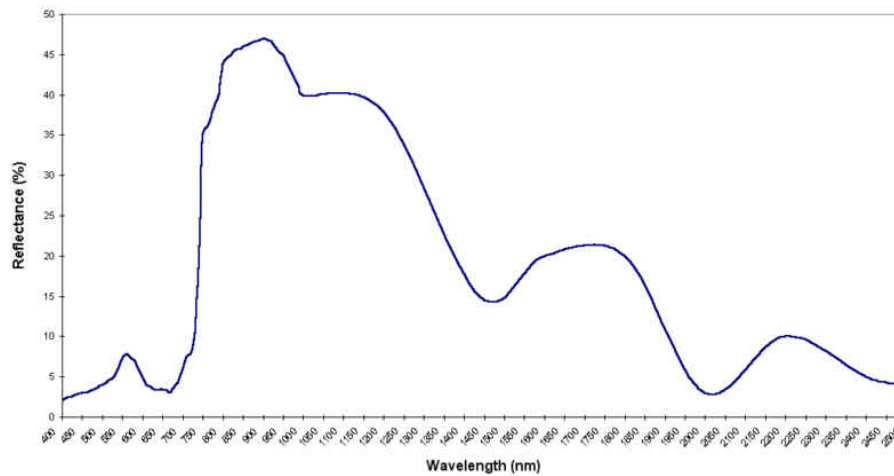


Figura V.4. Firma spettrale tipica della vegetazione.

La scelta del sensore (e delle relative immagini) deve avvenire solo dopo aver chiarito il significato e le motivazioni del monitoraggio e le caratteristiche del bersaglio da rilevare. Nel caso attuale l'obiettivo è di riconoscere e valutare eventuali anomalie della vegetazione ai bordi dei canali tenendo presente le seguenti considerazioni e/o problemi :

- la copertura vegetale non è uniforme e sono possibili interferenze del suolo;
- la composizione floristica della vegetazione varia nello spazio dando luogo a diverse comunità vegetali. Inoltre all'interno di una stessa comunità le proporzioni di ogni singola specie possono pesare diversamente;
- esiste un'elevata variabilità temporale e spaziale delle condizioni di umidità del suolo il quale, in base alle condizioni della topografia della superficie e delle stagionalità, può interferire con la risposta del sensore;
- In base alle caratteristiche del target individuato (canale e relative zone di perdita d'acqua), la risoluzione alla quale studiare il sistema deve essere al massimo di qualche metro.

Sicuramente i dispositivi a scansione multi e iperspettrali, montati su piattaforme aeree, offrono il vantaggio di alte risoluzioni geometriche e spettrali contemporaneamente con il vantaggio della pianificazione temporale del volo. In questo caso il test sarà effettuato con dati satellitari che offrono costi sicuramente inferiori a scapito della risoluzione spettrale e pianificazione temporale e di acquisizione spaziale limitata.

V.3.1 - INDICE DI VEGETAZIONE

Con i dati a disposizione è possibile studiare sicuramente l'indice di vegetazione.

L'Indice di Vegetazione, nella sua formulazione come NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), sfrutta la diversa risposta della copertura vegetale alle bande spettrali del visibile (rosso) e del vicino infrarosso, e fornisce un valore numerico adimensionale, teoricamente compreso tra -1 e +1. Tale valore è stato dimostrato essere in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare (*Leaf Area Index*), ed ai processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica). La caratteristica del comportamento della vegetazione non sottoposta a stress è infatti quella di riflettere soltanto circa il 10% della radiazione ricevuta nella regione spettrale della luce visibile (rosso), ed allo stesso tempo di riflettere oltre il 40% di quella ricevuta nell'infrarosso vicino. Nella mappe NDVI elaborate, valori bassi di NDVI si verificano in aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre gli alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa.

Con il monitoraggio delle mappe di NDVI potrebbero essere tenuti sotto costante osservazione fenomeni di variazione dell'indice su base stagionale da correlare con lo stato di salute dei canali irrigui. A livello internazionale è in grande crescita inoltre, l'utilizzo di questo strumento da parte degli enti per la programmazione e l'assistenza tecnica in campo agricolo su scala nazionale e regionale, con particolare riferimento alla valutazione dell'impatto sulle produzioni agricole a seguito di particolari eventi ambientali (siccità, inondazioni, infestazioni etc.).

E' importante precisare che l'utilizzo dell'Indice di Vegetazione per il monitoraggio delle condizioni della vegetazione (e a maggior ragione della situazione dei canali irrigui) ha una valenza assolutamente "qualitativa", e non consente, allo stato attuale delle conoscenze (ma molte ricerche vengono oggi dirette in questo senso), una valutazione "quantitativa" di tale stato. In particolare il confronto tra diverse situazioni dell'indice nei diversi periodi dell'anno, richiede un'analisi approfondita delle differenze nella tipologia di vegetazione e di suolo presenti, al fine di differenziare localmente i diversi stadi fenologici dall'influenza dei differenti tipi di suolo e quindi indirettamente della situazione della manutenzione dei canali.

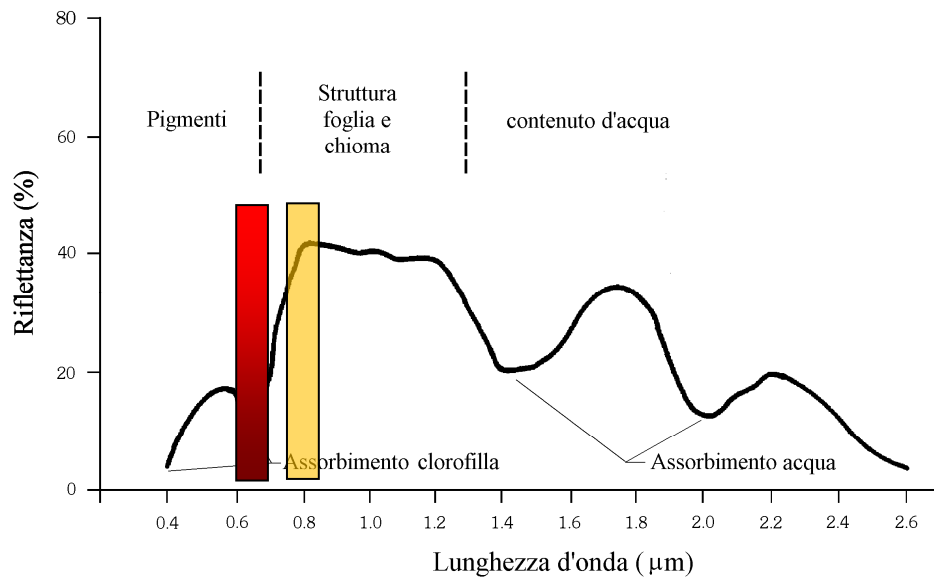


Figura V.5. Esempio di “Firma Spettrale” ossia la quantità di energia riflessa in funzione della lunghezza d’onda incidente. Per il calcolo dell’indice di vegetazione vengono utilizzate le immagini che registrano il rosso e l’infrarosso vicino.

V.4 - IL PREPROCESSING DELLE IMMAGINI

Il dato telerilevato che viene distribuito e venduto, solitamente ha subito solo un preprocessing di base volto a correggere i problemi del sensore e per effettuare una grezza georeferenziazione. Il dato in formato “raw” cioè grezzo, non è assolutamente adatto per poter operare analisi dirette sui dati.

I dati raccolti dai sensori necessitano in ogni caso, prima del loro utilizzo nelle applicazioni, di una serie di correzioni volte a eliminare o limitare i disturbi e le distorsioni introdotte durante l’acquisizione e la trasmissione dei dati. Questa fase di pre-elaborazione comprende due classi principali di correzioni: quelle che interessano il contenuto geometrico delle immagini e quelle che interessano il loro contenuto radiometrico.

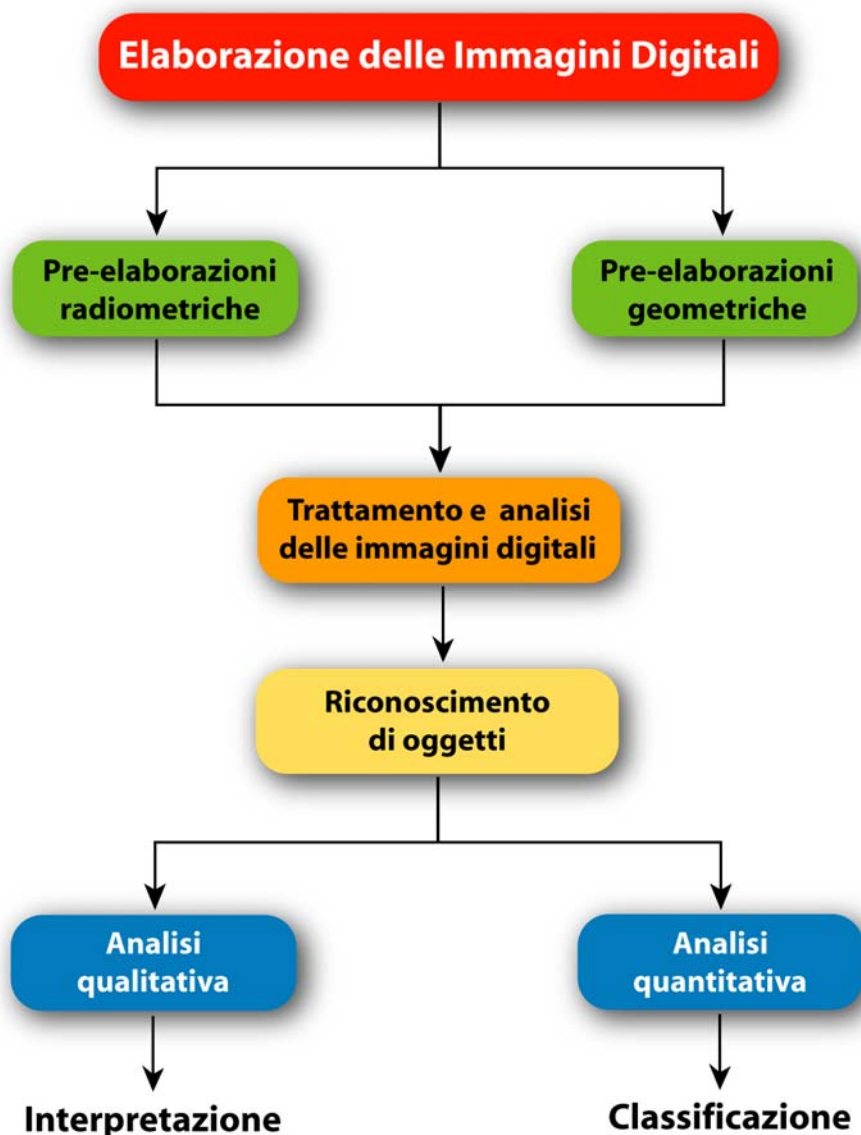


Figura V.6. Diagramma delle preelaborazioni necessarie nel telerilevamento da satellite.

Queste fasi si rendono necessarie perché l'acquisizione dell'immagine introduce errori sia geometrici che radiometrici (errori, rumore, distorsioni, ...). Questa fase viene anche chiamata *restauro dell'immagine (image restoration)* e, come già detto, prevede correzioni geometriche e correzioni radiometriche:

- la *correzione geometrica* ha lo scopo di eliminare le deformazioni spaziali introdotte dal sistema di ripresa e a generare una nuova immagine con le proprietà di scala e di proiezione di una rappresentazione cartografica;
- la *correzione radiometrica* ha lo scopo di eliminare le distorsioni del segnale dovute al cattivo funzionamento dei sensori e all'influenza delle condizioni esterne al momento

dell'acquisizione, sia legate alle diverse condizioni di illuminazione sia al diverso stato dell'atmosfera interposta tra il sensore e la scena osservata.

V.4.1 - PRE-ELABORAZIONI GEOMETRICHE

Le deformazioni geometriche sono dovute a fattori legati alle relazioni geometriche del sistema *sensore – piattaforma – bersaglio*, come il movimento relativo della Terra e del satellite, le caratteristiche del sistema di acquisizione (ampiezza del FOV, ripresa non nadirale, ecc.), la curvatura della Terra e la presenza di rilievi sulla stessa, le variazioni di posizione della piattaforma durante l'acquisizione dell'immagine, ecc.

La correzione geometrica può essere effettuata seguendo due approcci:

- *Metodi analitici*: viene analizzato il processo fisico-geometrico di acquisizione dell'immagine e il modello ricavato viene utilizzato per individuare le formule di correzione. Questi metodi, chiamati *rigorosi* o *parametrici*, consentono di correggere tutti quegli errori dovuti a fenomeni di natura ben definita e i cui effetti sulla geometria dell'immagine sono prevedibili e si mantengono costanti nel tempo. Ad esempio consentono la correzione dovute al movimento del satellite durante l'acquisizione, alla curvatura terrestre, al disturbo dovuto dalla presenza dell'atmosfera, ecc.
- *Metodi sintetici*: viene realizzata una relazione matematica fra le coordinate dei pixel dell'immagine e le coordinate di corrispondenti punti di controllo sulla superficie terrestre, chiamati *GCP – Ground Control Points*.

La decisione di utilizzare una tecnica piuttosto che l'altra, o l'utilizzo di entrambe, dipende dall'applicazione per cui si devono utilizzare queste immagini e dai dati a disposizione (metadati e parametri del sensore eventualmente disponibili).

V.4.2 - LA CORREZIONE RADIOMETRICA

Serve a calibrare i sensori, eliminare gli errori dovuti al loro cattivo funzionamento e a ridurre l'influenza dello strato di atmosfera interposto tra sensore e superficie terrestre.

Di solito consistono in:

- calibrazione radiometrica;
- equalizzazione del sensore (destriping) – APPLICATO IN GENERE DAL PRODUTTORE;
- ripristino di linee e pixel mancanti - APPLICATO IN GENERE DAL PRODUTTORE;

- correzione atmosferica.

Calibrazione radiometrica

I dati telerilevati vengono generalmente forniti all'utenza in valori di DN, ossia in valori numerici proporzionali alla radiazione proveniente dalle superfici, oggetto del telerilevamento. Durante l'acquisizione, il sensore traduce, infatti, l'energia elettromagnetica incidente in formato digitale (DN) attraverso un processo caratterizzato da specifici parametri, tipici di ogni sensore. È sempre necessario, prima di ogni elaborazione, effettuare preventivamente un'operazione di correzione radiometrica del dato satellitare, chiamata calibrazione. Questa correzione, che prevede la conoscenza dei parametri relativi al sensore in esame, permette di ritradurre i DN presenti nell'immagine nei valori di radianza originari registrati dal sensore. I parametri da impiegare per la correzione sono differenti per i dati acquisiti nelle diverse bande di uno stesso sistema di acquisizione; la loro applicazione ai dati originali comporta, quindi, una sensibile modifica delle firme spettrali.

Correzione atmosferica

Per un corretto utilizzo dei dati telerilevati è necessario tenere in considerazione la presenza dell'atmosfera e dei suoi effetti sulla propagazione del segnale elettromagnetico.

I gas atmosferici, gli aerosol ed i vapori contribuiscono ad assorbire, diffondere e rifrangere la radiazione solare diretta e riflessa dalla superficie terrestre, interferendo con la corretta stima delle caratteristiche dell'onda che porta informazione sull'oggetto osservato.

L'influenza dell'atmosfera si esercita in due modi distinti: lo strato atmosferico agisce come barriera che, per fenomeni di assorbimento, smorza la propagazione dell'energia elettromagnetica e, a causa di fenomeni di diffusione (scattering), agisce come sorgente fittizia.

Esistono due tipi di diffusione: la diffusione di Mie, causata da particelle atmosferiche aventi diametro maggiore della lunghezza d'onda della radiazione, come per esempio il vapor d'acqua o la polvere, e la diffusione di Rayleigh o selettiva, il cui contributo tende a diminuire con l'aumentare della lunghezza d'onda della radiazione, producendo valori trascurabili già nell'infrarosso vicino. Questo tipo di diffusione è naturale, avviene sempre, anche in condizioni di cielo sereno e ha come effetto quello di distorcere i valori osservati dal sensore in modo dipendente dalla lunghezza d'onda del segnale rilevato. In definitiva, l'energia misurata dal sensore e registrata nelle immagini che l'utente si trova a elaborare non coincide esattamente con la riflettività delle superfici terrestri osservate, ma contiene termini non trascurabili di disturbo dovuti agli effetti atmosferici.

Per la riduzione degli effetti del disturbo atmosferico e per la determinazione dei valori corretti di riflettività degli oggetti, vengono eseguite apposite procedure di correzione radiometrica delle immagini. In

generale, si tratta di risolvere la seguente equazione che consente di ricavare la riflettanza spettrale della superficie terrestre a livello del suolo:

$$\rho_s = \frac{E_{r\lambda}}{E_{i\lambda}} = \frac{k\pi L_{s\lambda}}{E_{g\lambda} \times \cos \theta_z}$$

in cui:

- $L_{s\lambda}$ è la radianza a livello della superficie [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$]
- $E_{g\lambda}$ è l'irradianza solare a livello della superficie [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$]
- θ_z è l'angolo zenitale del Sole
- k è un fattore che tiene conto del cambiamento della distanza Terra-Sole, dovuta all'eccentricità dell'orbita terrestre

Si risale alla radianza $L_{s\lambda}$ e all'irradianza $E_{g\lambda}$ a livello della superficie modellando il trasporto della radiazione solare attraverso l'atmosfera. I parametri significativi sono la trasmittanza (trasparenza) e la radianza dell'atmosfera. Entrambi questi parametri danno contributi parassiti alla radianza al sensore, il primo negativo ed il secondo positivo.

Per fare questo tipo di correzioni si possono seguire diverse procedure, in funzione della disponibilità di dati sulle caratteristiche dell'atmosfera all'epoca di acquisizione dell'immagine. La difficoltà nella stima dei dati atmosferici e la natura approssimata dei modelli ad essi collegati portano ad adottare un approccio semplificato nel calcolo delle correzioni atmosferiche. Le metodologie semplificate di correzione sono volte alla determinazione e all'abbattimento unicamente della componente diffusiva del disturbo atmosferico sulla base di informazioni estratte dalle stesse immagini (Dark Substraction). Si tratta di metodi meno accurati, ma comunque molto diffusi in quanto non necessitano di dati sulle condizioni atmosferiche al tempo di acquisizione dell'immagine. Le firme spettrali ricavate dalle osservazioni del sensore corrette dagli effetti atmosferici sono idonee al loro impiego nelle operazioni di riconoscimento degli oggetti posti sulla superficie terrestre.

Conclusa la prima fase di pre-elaborazione dei dati si prevede l'utilizzo delle immagini così calibrate per l'analisi dello stato vegetativo delle superfici in prossimità dei canali che potrebbero direttamente e/o indirettamente essere coinvolte dalle perdite d'acqua.

V.5 - AREA DI STUDIO

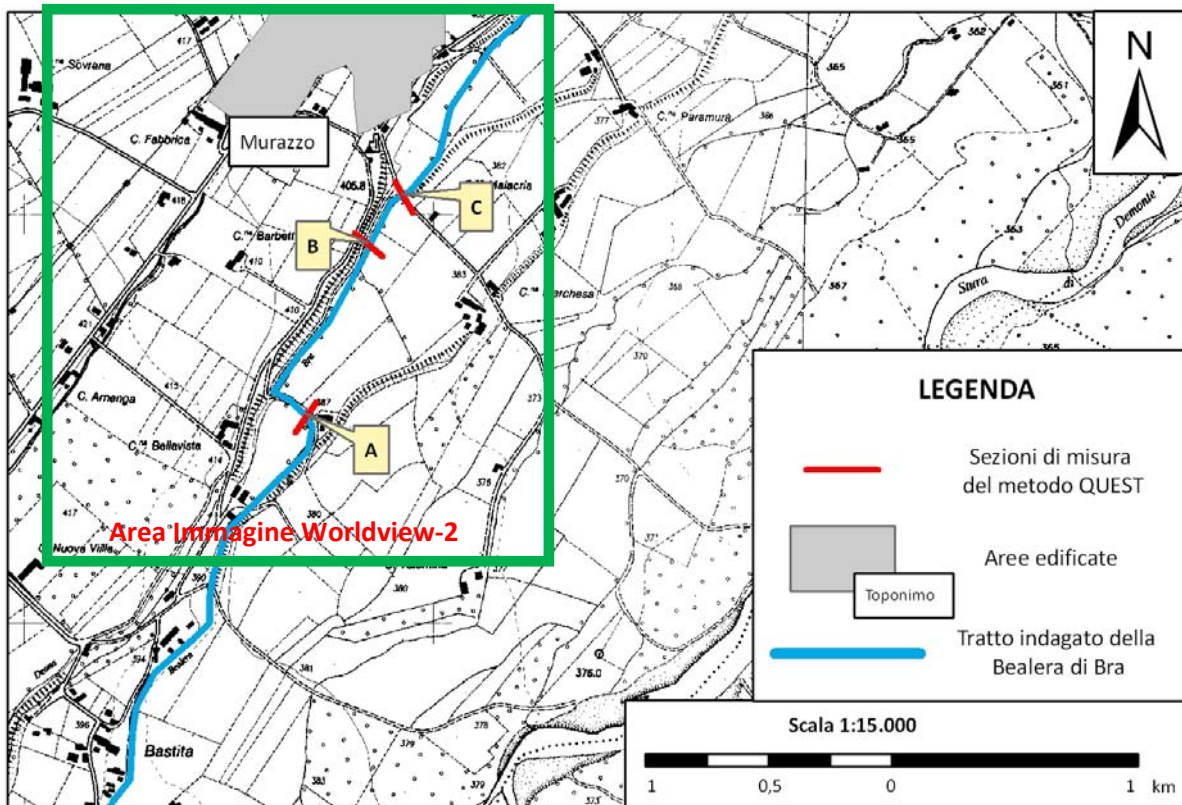


Figura V.7. Cartografia dell'area di Studio utilizzata come test per la metodologia. In verde l'area inquadrata dal dato satellitare acquisito.

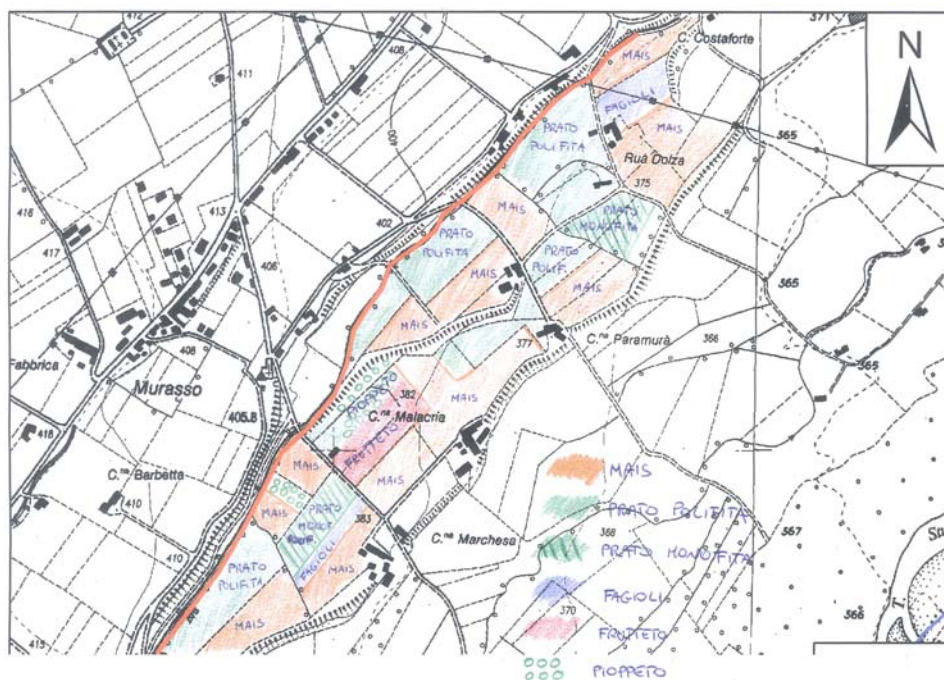


Figura V.8. Cartografia dell'area di Studio nella quale sono riportate le colture a margine del canale in esame.

V.6 - ANALISI DELLE IMMAGINI

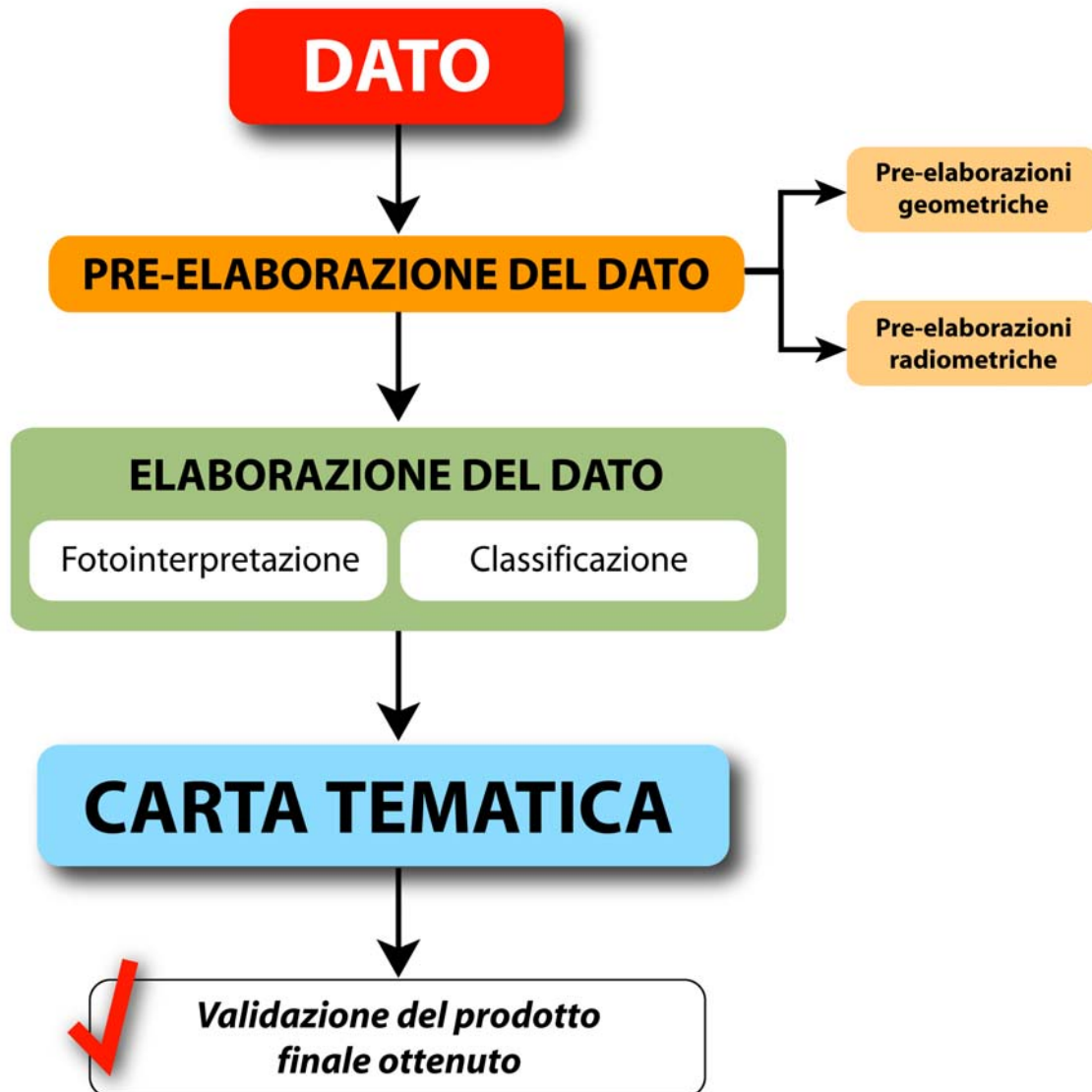


Figura V.9. Diagramma delle fasi di elaborazione ed analisi dei dati tele rilevati necessarie per ottenere una cartografia tematica finale.



Figura V.10. Immagine Worldview 2 a colori naturali (R:5 G:3; B:2). In blu il canale oggetto di studio. Da notare come la vegetazione sia poco differenziata all'interno di aree omogenee. In giallo le linee di profilo radiometrico prodotte sulle immagini degli indici di vegetazione.



Figura V.11. Immagine Worldview 2 a colori naturali PAN-SHARPENED (R:5 G:3: B:2). La radiometria del dato multispettrale a risoluzione 2 m è stata trasferita sulla banda pancromatica a 50 cm. In arancione il canale oggetto di studio. Da notare come la risoluzione geometrica degli oggetti favorisca il loro riconoscimento.

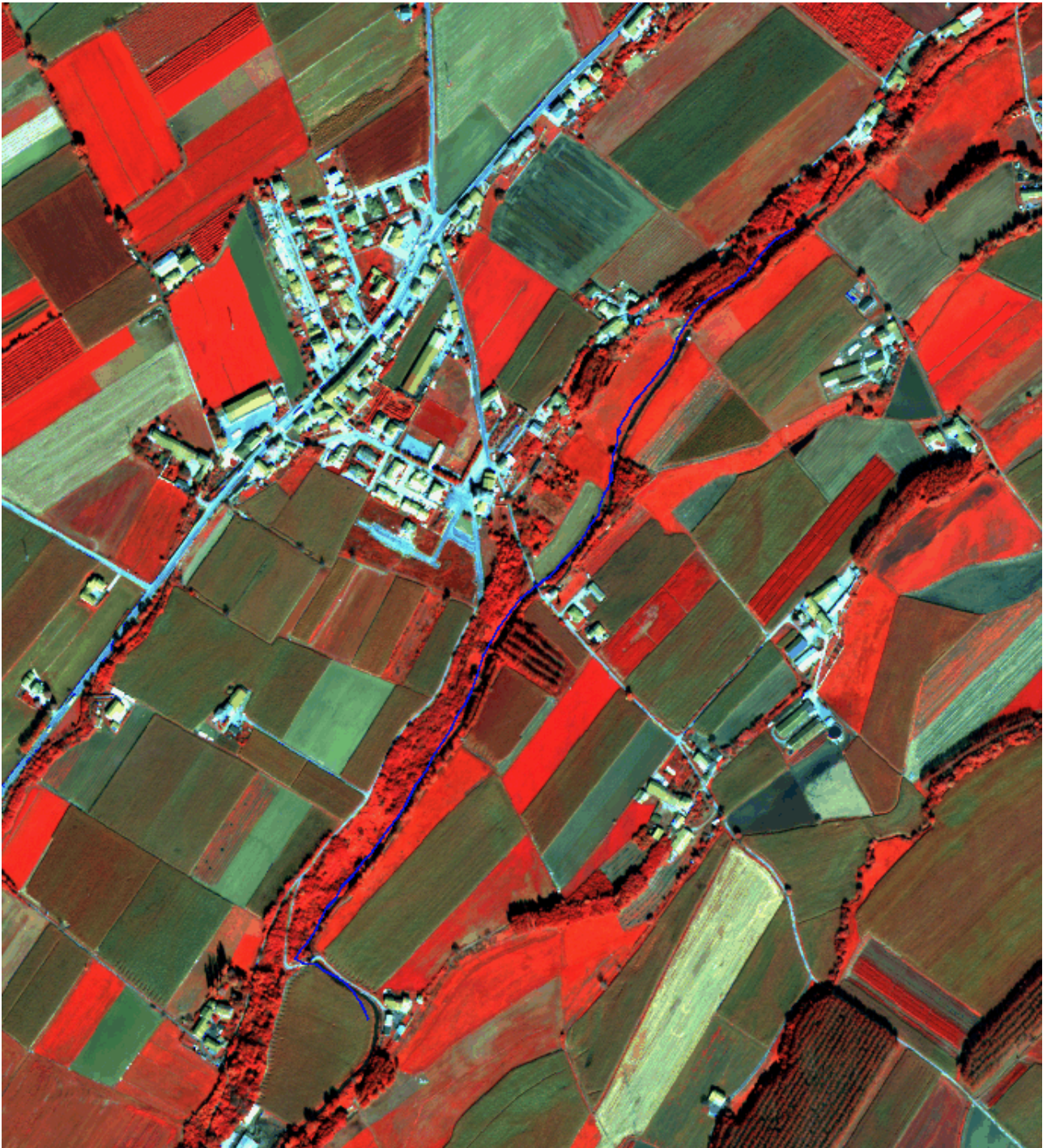


Figura V.12. Immagine Worldview 2 a falsi colori (R:7 G:5: B:3). In blu il canale oggetto di studio. Da notare come la vegetazione sia ancora poco differenziata all'interno di aree omogenee nonostante l'utilizzo del canale infrarosso vicino.



Figura V.13. Immagine Worldview 2 a falsi colori PAN-SHARPENED (R:7 G:5: B:3). In blu il canale oggetto di studio. Da notare come la risoluzione a 50 cm consenta già un chiaro riconoscimento delle differenze vegetative (intensità dei rossi).

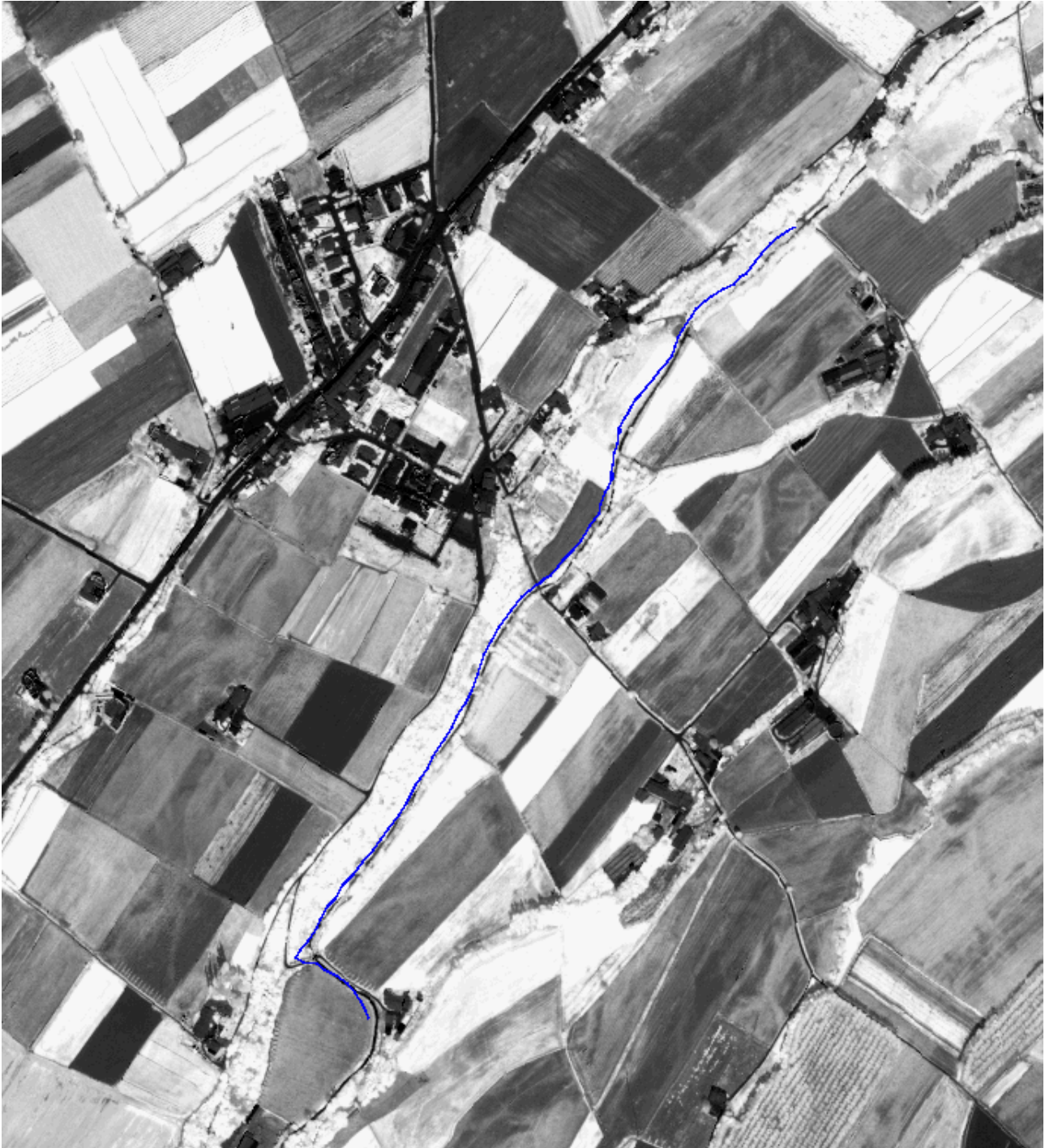


Figura V.14. Immagine Worldview 2 – INDICE DI VEGETAZIONE NORMALIZZATO ($NDVI = \frac{NIR:7 - RED:5}{NIR:7 + RED:5}$). In blu il canale oggetto di studio. L'indice mette in evidenza numericamente le differenze di stato vegetativo su un'area di campionamento di circa 2m. La visualizzazione in scala di grigi (8 bit) non è ancora utile per la interpretazione cartografica.

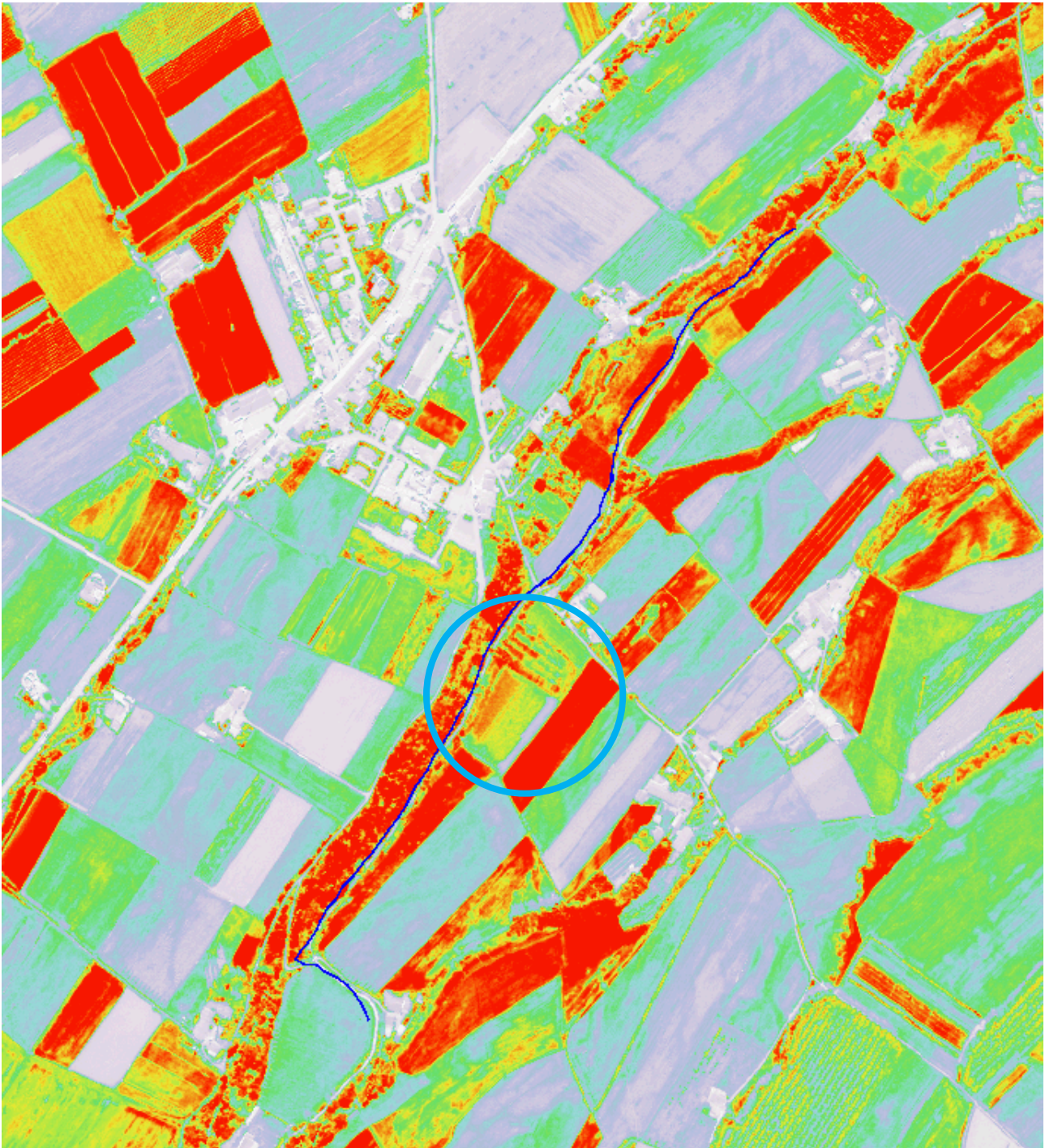


Figura V.15. Immagine Worldview 2 – INDICE DI VEGETAZIONE NORMALIZZATO ($NDVI = \frac{NIR:7 - RED:5}{NIR:7 + RED:5}$). In blu il canale oggetto di studio. SCALA COLORI DA BIANCO (valori bassi) A ROSSO (Valori alti). La classificazione dell'indice NDVI mette in evidenza le differenze di stato vegetativo. In blu si evidenzia l'area anomala riscontrata anche numericamente dal calcolo dell'NDVI.

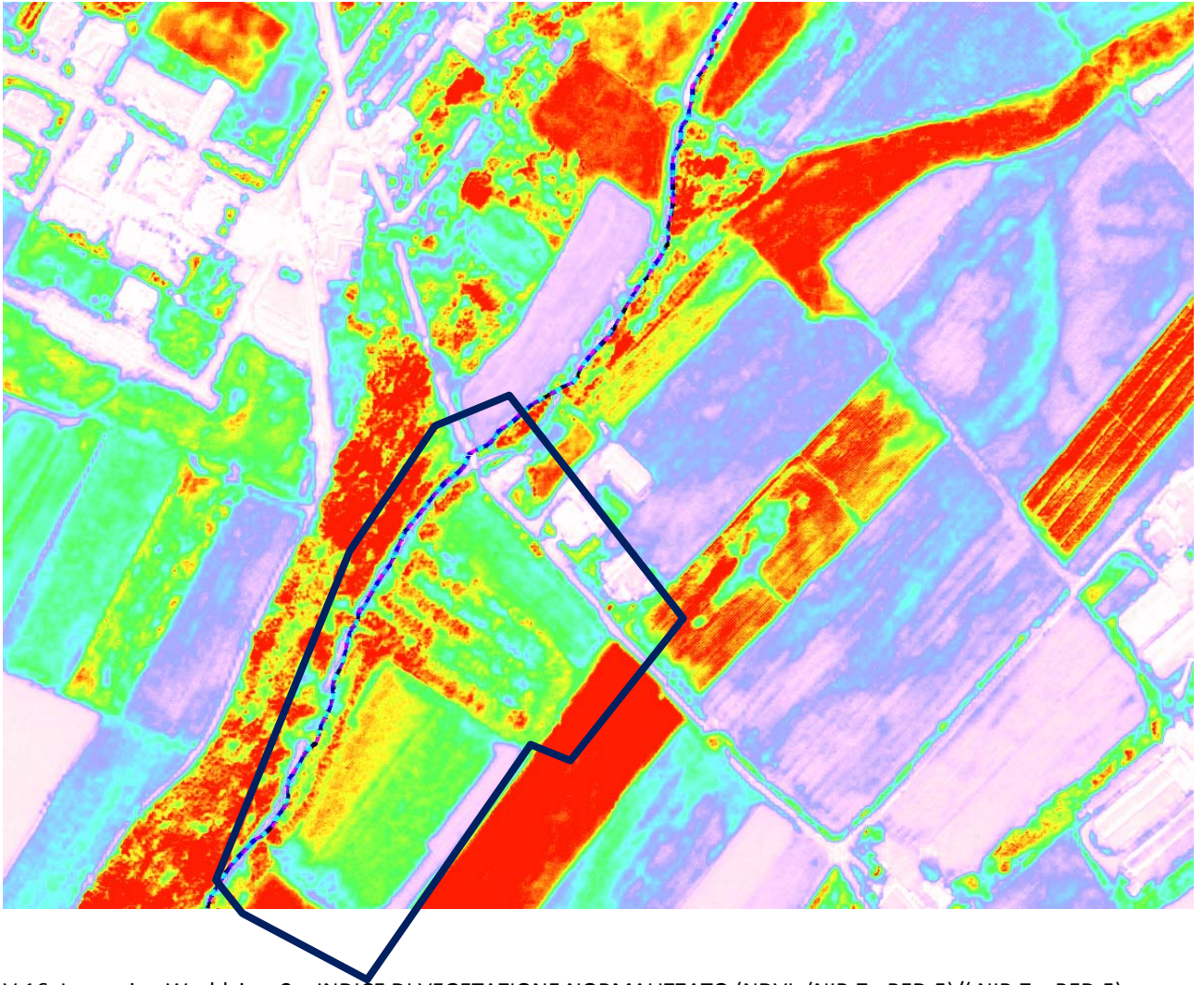


Figura V.16. Immagine Worldview 2 – INDICE DI VEGETAZIONE NORMALIZZATO ($NDVI = \frac{NIR:7 - RED:5}{NIR:7 + RED:5}$) – SULL'IMMAGINE PAN-SHARPENED. In blu il canale oggetto di studio. SCALA COLORI DA BIANCO (valori bassi) A ROSSO (Valori alti). L'utilizzo del dato PAN-SHARPENED permette di migliorare la definizione ed il riconoscimento delle aree anomale.

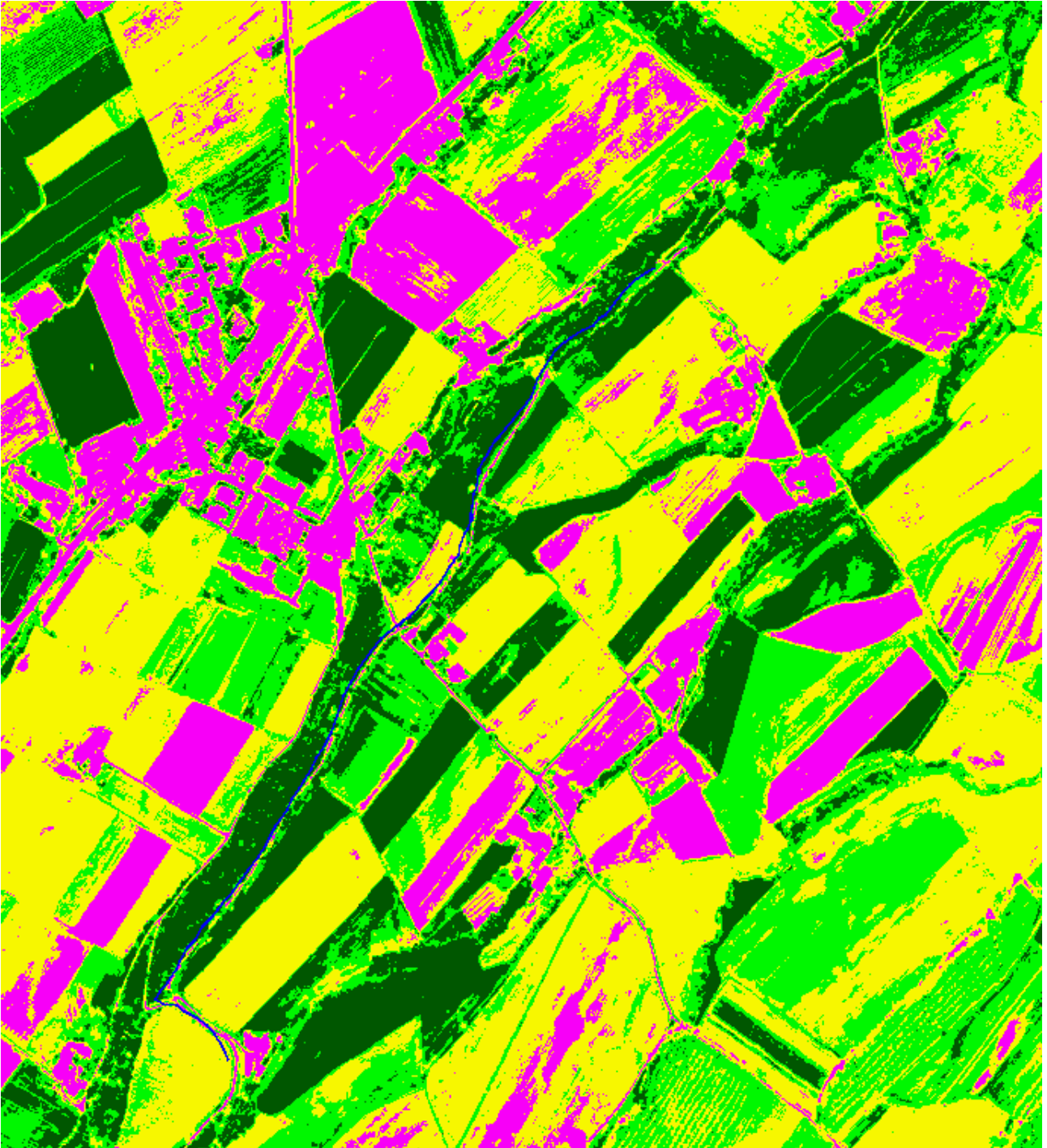


Figura V.17. Immagine Worldview 2 – CLASSIFICAZIONE DELL'INDICE DI VEGETAZIONE NORMALIZZATO ($NDVI = \frac{NIR:7 - RED:5}{NIR:7 + RED:5}$). In quattro classi basate sull'intensità dello stato vegetativo scala colori da viola (non vegetato) a verde scuro (densamente vegetato). A partire dai valori numerici dell'NDVI in scala cromatica, è stata ottenuta una cartografia classificata delle aree a diverso stato vegetativo. Il dato può essere esportato come vettoriale.

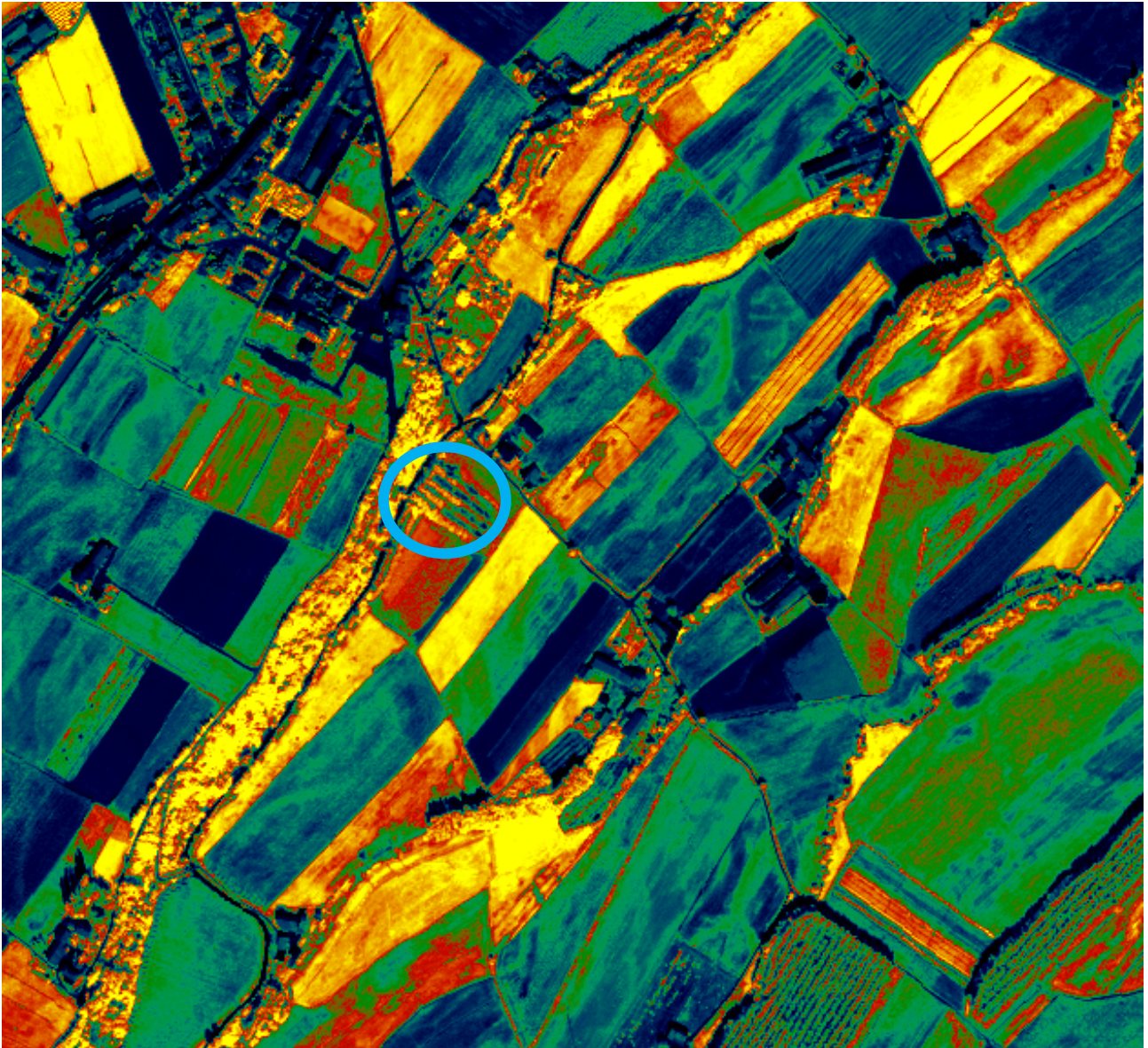


Figura V.18. Immagine Worldview 2 –ENHANCED VEGETATION INDEX normalizzato realizzato sulla radiometria calibrata dell'immagine in riflettanza. Questo tipo di elaborazione permette di enfatizzare lo stato vegetativo delle chiome rispetto al suolo vegetato. nelle zone con vegetazione arborea questo indice risulta più performante (esempio zona pioppeto indicata in azzurro).

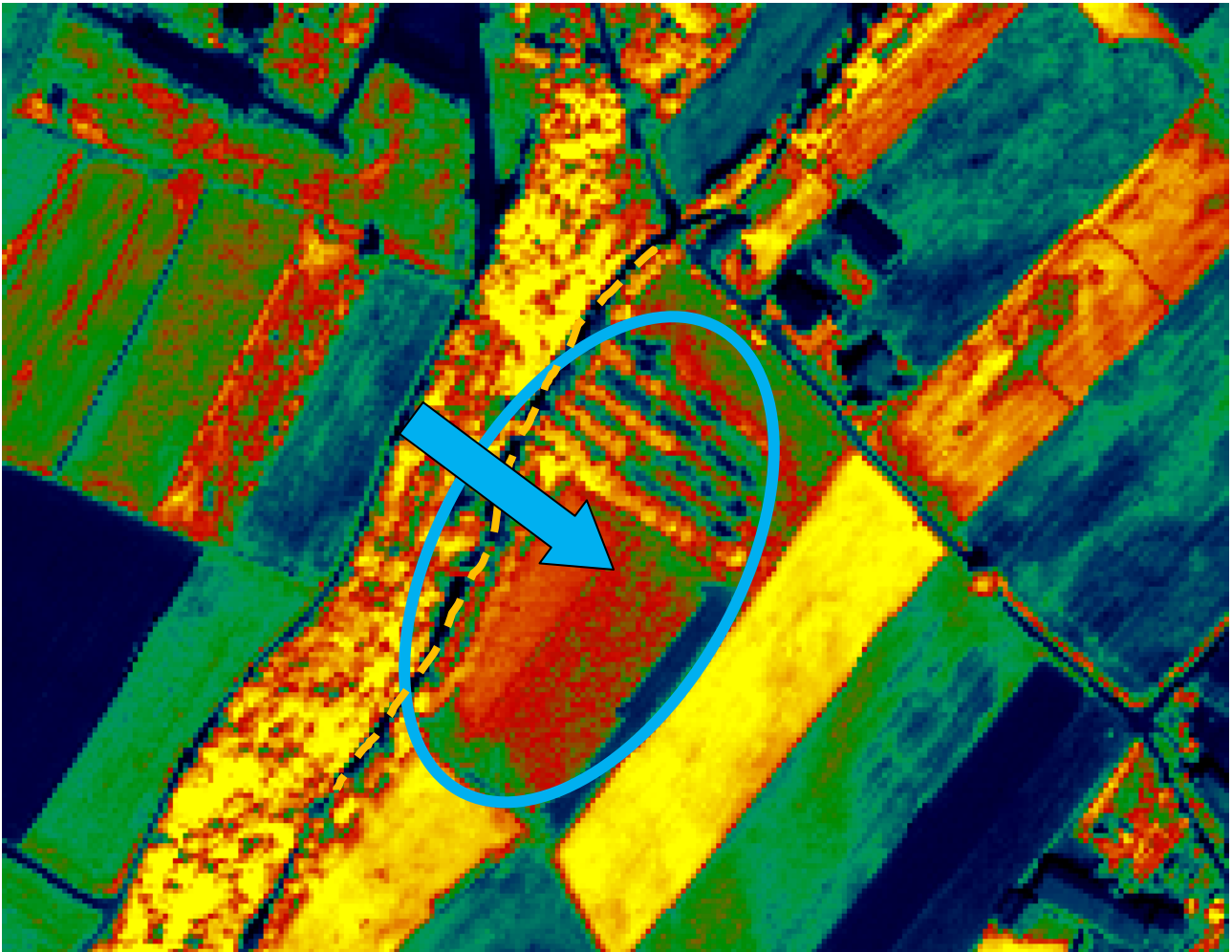


Figura V.19. ZOOM –ENHANCED VEGETATION INDEX NORMALIZZATO. Da notare l'anomalia vegetativa con un rate in diminuzione dall'area limitrofa al canale irriguo oggetto dell'analisi (arancione), verso l'esterno (come indicato dalla freccia azzurra).



Figura V.20. Posizione dei profili radiometrici dell'NDVI.

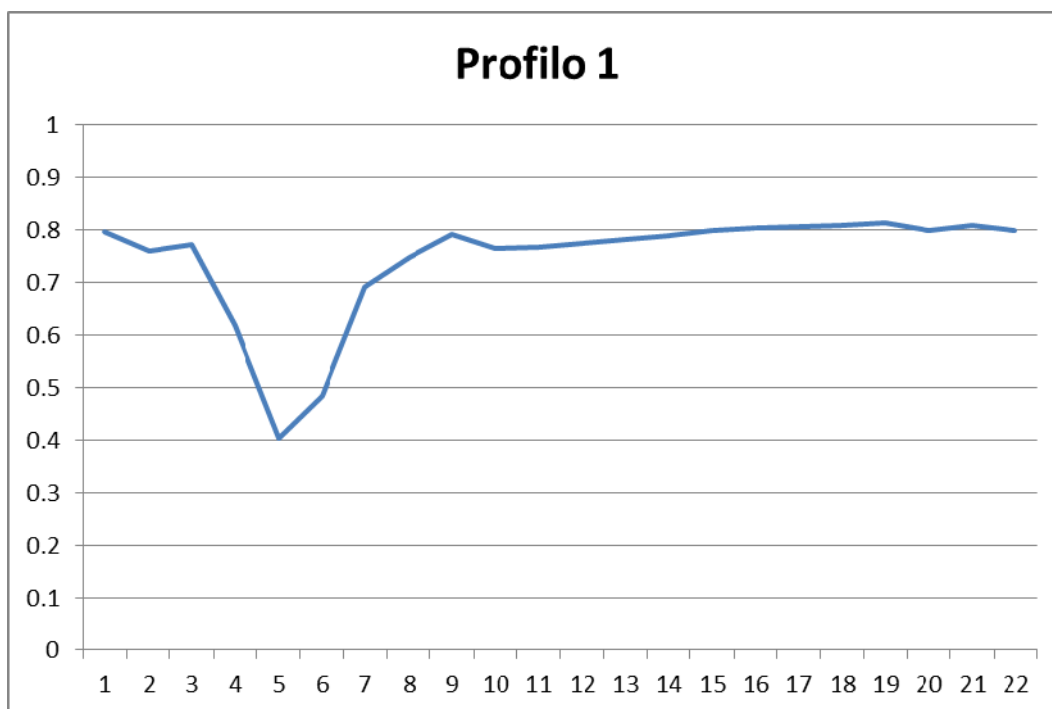


Figura V.21. PROFILI RADIOMETRICI dell'NDVI. Da notare l'anomalia principale dovuta alla presenza di acqua nel canale irriguo. Sulla destra del diagramma c'è un andamento costante (vedi Fig. V.10).

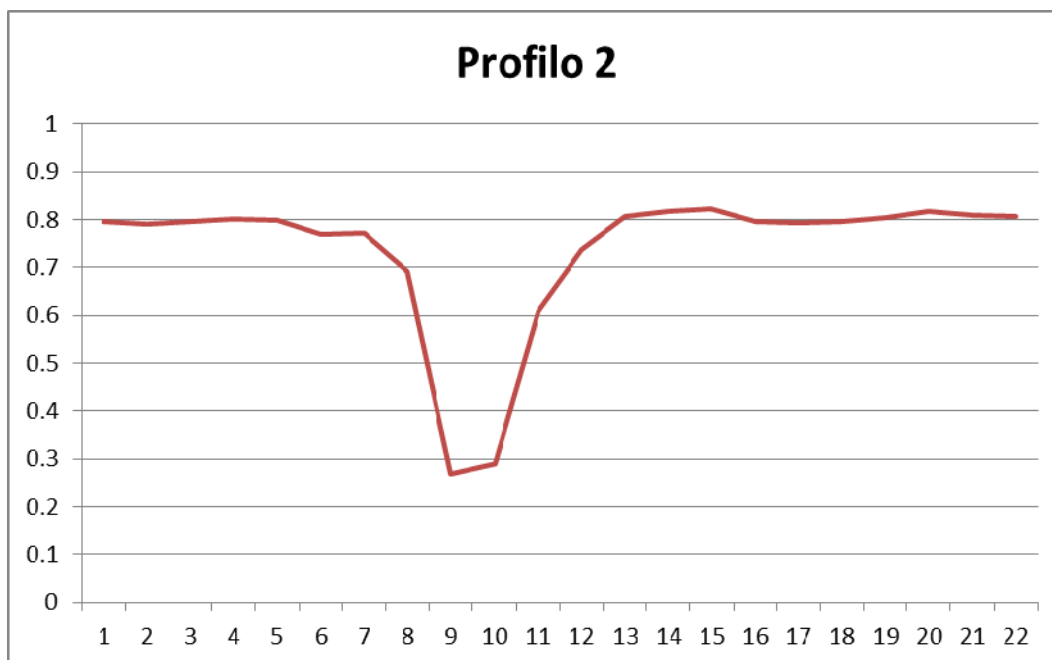


Figura V.22. PROFILI RADIOMETRICI dell'NDVI. Da notare l'anomalia principale dovuta alla presenza di acqua nel canale irriguo. Sulla destra del diagramma continua un andamento costante dell'NDVI (vedi Fig. V.10).

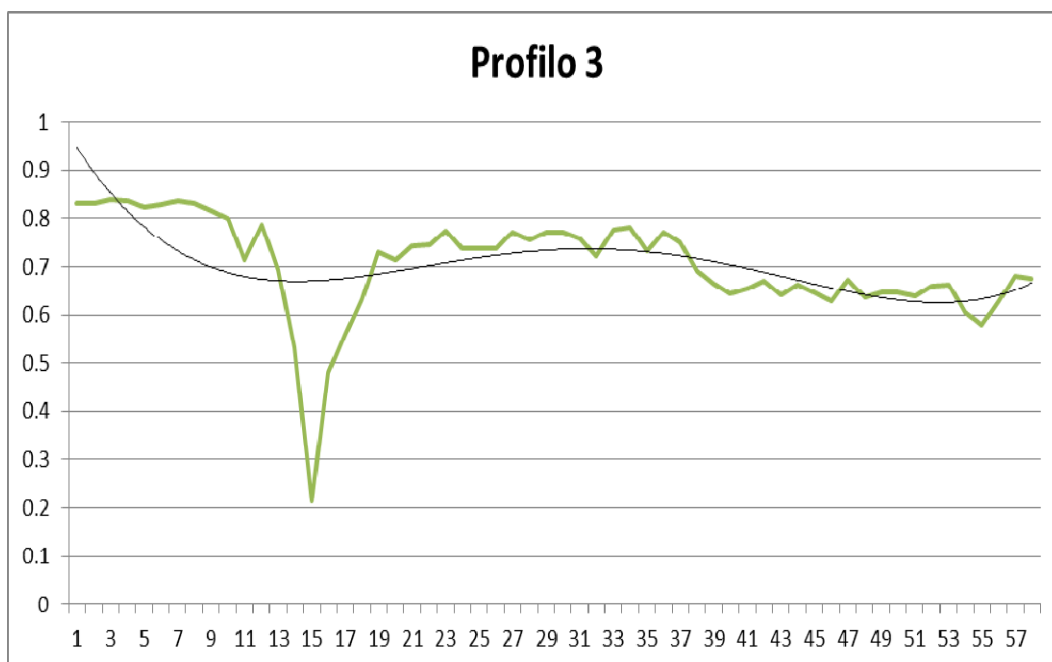


Figura V.23. PROFILI RADIOMETRICI dell'NDVI. Da notare l'anomalia principale dovuta alla presenza di acqua nel canale irriguo. In questo diagramma centrato sull'area di anomali si nota la diminuzione dell'indice NDVI (vedi Fig. V.10).

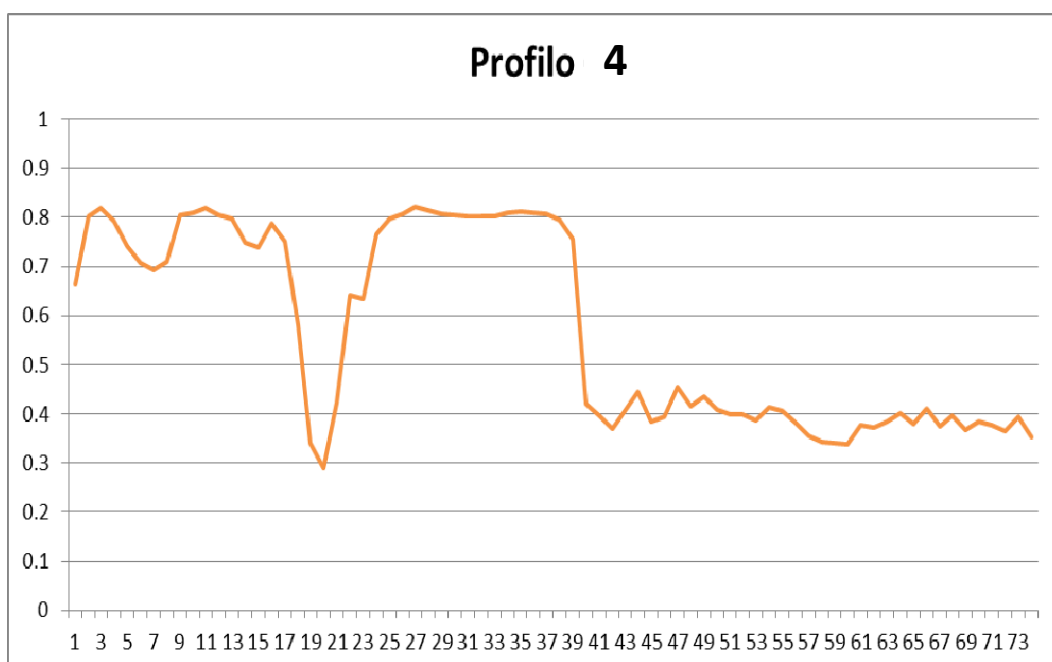


Figura V.24. PROFILI RADIOMETRICI dell'NDVI. Da notare l'anomalia principale dovuta alla presenza di acqua nel canale irriguo. In questo diagramma centrato sull'area di anomalia si nota anche un netto salto di radiometria verso l'esterno dell'area (vedi Fig. V.10).

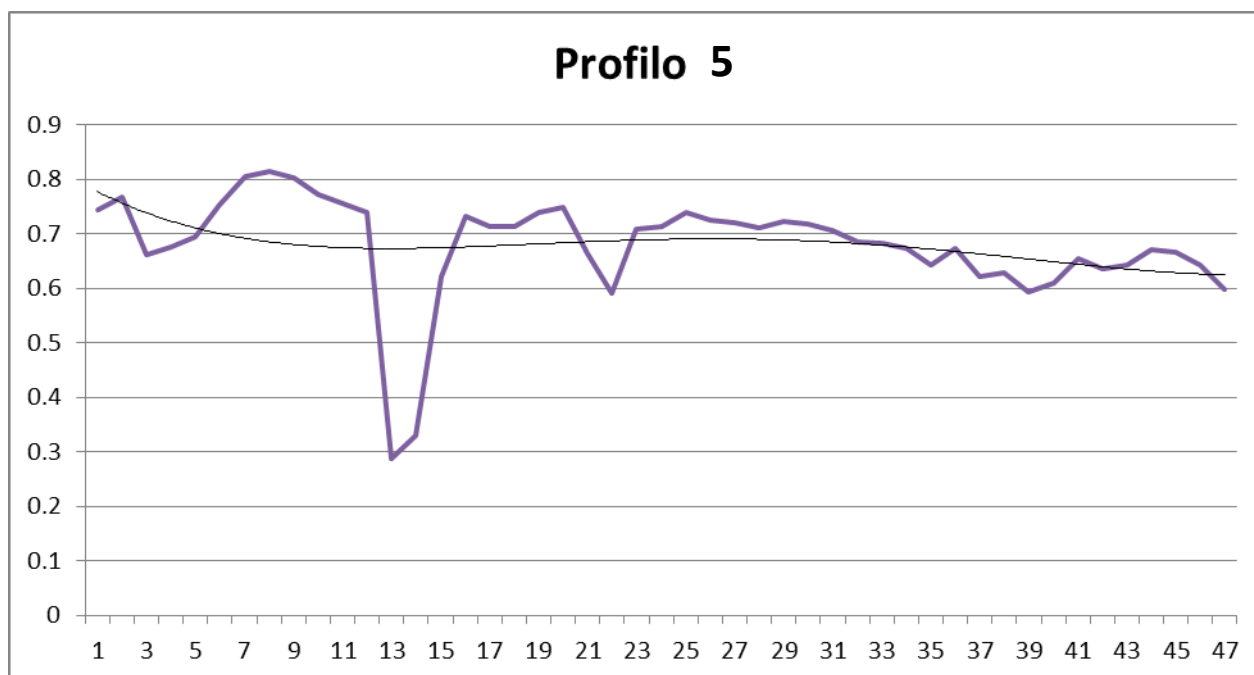


Figura V.25. PROFILI RADIOMETRICI dell'NDVI. Da notare l'anomalia principale dovuta alla presenza di acqua nel canale irriguo. In questo diagramma centrato su un'area esterna alla zona di anomalia si nota nuovamente un sostanziale andamento costante dell'indice NDVI (vedi Fig. V.10).

V.7 - CONCLUSIONI

Lo studio svolto ha cercato di evidenziare la potenzialità del sistema "telerilevamento satellitare", quale strumento per l'individuazione di perdite dai canali irrigui idoneo ad operare con elevata risoluzione spaziale, oltre che spettrale.

I risultati ottenuti permettono di valutare analogie o differenze di comportamento spettrale fra le zone indagate, andando a definire tipologie di classi utili nell'identificazione delle aree in perdita.

Tuttavia questo lavoro presuppone sviluppi futuri al fine di migliorare l'accuratezza e la validazione dei risultati. In primo luogo si dovrà procedere al miglioramento della calibrazione del dato grezzo al fine di ottenere dati radiometricamente corretti, per poter confrontare firme spettrali estrapolate dall'immagine, con firme spettrali ottenute da banche dati già raccolte in letteratura. In secondo luogo si dovrà procedere alla raccolta sul campo di dati di riferimento per poter classificare più accuratamente l'immagine con tecniche di classificazione automatica.

L'utilizzo del telerilevamento da satellite ha consentito in ogni caso di fornire nuovi e più dettagliati elementi conoscitivi delle situazioni ambientali connesse alle aree potenzialmente in

perdita. Le bande e gli algoritmi utilizzati si prestano alla riproducibilità ed all'analisi su aree estese. La natura digitale dei dati consente la facilità di elaborazione e di gestione degli stessi.

La potenzialità di questo strumento non è da sottovalutare, anche considerando il continuo sviluppo

degli strumenti in ambito telerilevamento, che già dispongono della possibilità di acquisizione di dati aviotrasportati con bande spettrali nell'infrarosso medio-lontano e termico, e che sono indispensabili per analisi sull'umidità dei suoli; questo aspetto potrebbe essere determinante per l'individuazione diretta di aree in perdita. Infine la possibilità di acquisire dati Pancromatici+Multispettrali a risoluzione differente (fattore 4) ha permesso di creare rappresentazioni e mappe a risoluzioni e a contenuto informativo decisamente particolareggiate. Con le risoluzioni di campionamento ottenute pari a 50 cm è possibile estrarre informazioni fino a scale tecniche pari all' 1:2000 come contenuto semantico.

In conclusione il telerilevamento applicato alla stima di parametri vegetazionali (rivolti alla stima indiretta di altri fattori come la perdita dei canali irrigui) si dimostra uno strumento adeguato se ben calibrato e con ottime capacità sinottiche di analisi del territorio.

Per il futuro si auspica quindi una più ampia disponibilità di dati a risoluzioni spettrali maggiori magari con l'inserimento di bande dell'infrarosso medio e lontano (termico) capaci di valutare parametri di umidità fondamentali per la comprensione delle dinamiche idrologiche del territorio.

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: VALUTAZIONE DELLE PERDITE MEDIANTE MULINELLO IDROMETRICO

FINALITA': valutazione della variazione di portata di un canale

DESCRIZIONE SINTETICA: nel tratto di canale del quale si intende valutare l'eventuale variazione di portata vengono individuate due sezioni (una di monte e una di valle definite A e B). In entrambe le sezioni vengono effettuate misure di velocità mediante mulinello idrometrico e una valutazione dell'area della sezione. La differenza tra la portata misurata nella sezione di monte e la portata nella sezione di valle costituisce la perdita o il guadagno del canale. Al fine di ridurre gli errori legati alle variazioni delle portate del canale nel tempo, le due misure di portata dovrebbero essere eseguite contemporaneamente nelle due sezioni o comunque nel minor lasso di tempo possibile. Nel caso in cui le misure non vengano effettuate contemporaneamente è opportuno monitorare l'eventuale variazione del livello idrico mediante un trasduttore di pressione.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE: 1-2 ORE

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: 4 ore circa

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: 2 mulinelli idrometrici, 2 aste metrate per l'individuazione del profilo della sezione, 1 trasduttore di pressione

DATI NECESSARI: geometria della sezione di misura

APPLICABILITA' E LIMITI: applicabile in presenza di attraversamenti dei canali irrigui o accessibilità diretta in alveo, con opportuno equipaggiamento impermeabile, nel caso di ridotte velocità del flusso o ridotti spessori d'acqua. Il canale deve presentare un tratto rettilineo sia a monte che a valle della sezione in analisi per una lunghezza superiore a tre volte quella della sezione stessa.

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: ridotti spessori del volume dell'acqua (inferiori a 10 cm), moto turbolento e nel caso di misura in alveo colonna d'acqua superiore a 50 cm o velocità di deflusso superiori a 1,5 m/s.

INCERTEZZA: legata alla precisione dello strumento, al numero di misure e accuratezza delle stesse

PRECISIONE: l'errore sulla valutazione della differenza di portata è variabile tra il 5 e il 10%

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: buona significatività

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: metrica per la sezione in analisi, deca metrica per l'intero tratto indagato

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: -

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: da 2 a 4

DI CUI SPECIALIZZATI: 2

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE : medio

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : medio

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI: tecnico/diplomato

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE: 3000 euro

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO: 500/1000 euro

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: VALUTAZIONE DELLE PERDITE MEDIANTE METODO DEL DOPPIO TRACCIANTE

FINALITA': valutazione della variazione di portata di un canale

DESCRIZIONE SINTETICA: Il canale viene suddiviso in due settori (da monte a valle definiti AB e BC). Il tratto AB corrisponde al tratto su cui si vuole indagare la perdita. Il tratto BC invece viene utilizzato per valutare la portata. La lunghezza del tratto BC deve necessariamente essere inferiore di un ordine di grandezza rispetto ad AB, in modo da minimizzare le perdite di tale tratto di canale.

La misura delle perdite di acqua viene valutata attraverso un bilancio di massa di una sostanza tracciante nel tratto AB. In A viene immessa una massa nota di tracciante. La valutazione della massa di tracciante rilevata in B richiede l'integrazione delle concentrazioni istantanee del tracciante nel tempo e della portata. Il metodo prevede l'utilizzo di un secondo tracciante per questa operazione in modo da eliminare la necessità di una corretta valutazione delle portate con strumentazioni da campo. Il secondo tracciante viene immesso in B e rilevato in C. Durante le operazioni indicate è opportuno monitorare l'eventuale variazione del livello idrico mediante un trasduttore di pressione.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE: circa 3 ore

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: circa 8 ore

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: 1 fluorometro (ggun fl30), 1 pompa autoadescante, set tubi di estrazione, 1 conducimetro, 2 bidoni da 70 litri, 1 macchina fotografica, 1 pc, 1 generatore di corrente, 1 trasduttore di pressione

DATI NECESSARI: valutazione preliminare della portata per quantificare le masse di tracciante

APPLICABILITA' E LIMITI: applicabile in qualsiasi contesto per il tratto AB, preferibile un moto parzialmente turbolento per la miscelazione dei traccianti. Necessità di un attraversamento o di accesso in alveo per l'analisi con NaCl nel tratto BC

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: moto laminare a basse velocità od impossibilità di accesso al canale mediante fluorometro o batteria di estrazione dell'acqua con multicampionamento

INCERTEZZA: legata alla precisione degli strumenti, al numero di misure e accuratezza delle stesse

PRECISIONE : l'errore sulla valutazione della differenza di portata è variabile tra il 3 e il 5%

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: buona/ottima significatività

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: decametrica

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: miglioramento nell'immissione e miscelamento dei traccianti, campionamento in continuo dell'acqua

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: 4

DI CUI SPECIALIZZATI: 2

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE : medio

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : medio/alto

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI: tecnico/diplomato

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE: 8500 euro

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO: 1000/2000 euro

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: VALUTAZIONE DELLE PERDITE MEDIANTE METODO DEL TRACCIANTE E MULINELLO

FINALITA': valutazione della variazione di portata di un canale

DESCRIZIONE SINTETICA: Il tratto di canale su cui si indaga la perdita viene individuato da due sezioni (da monte a valle definite A e B).

La misura delle perdite di acqua viene valutata attraverso un bilancio di massa di una sostanza tracciante nel tratto AB. In A viene immessa una massa nota di tracciante. La valutazione della massa di tracciante rilevata in B richiede l'integrazione delle concentrazioni istantanee del tracciante nel tempo e della portata. Il metodo prevede l'utilizzo del mulinello idrometrico in B per la valutazione della portata.

Durante le operazioni indicate è opportuno monitorare l'eventuale variazione del livello idrico mediante un trasduttore di pressione.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE: circa 2 ore

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: circa 8 ore

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: 1 fluorometro (ggun fl30), 1 mulinello idrometrico, 2 bidoni da 70 litri, 1 macchina fotografica, 1 pc, 1 generatore di corrente, 1 trasduttore di pressione

DATI NECESSARI: valutazione preliminare della portata per quantificare la massa di tracciante da utilizzare

APPLICABILITA' E LIMITI: applicabile in qualsiasi contesto per il tratto AB, preferibile un moto turbolento per la miscelazione dei traccianti. Nel tratto BC applicabile in presenza di attraversamenti dei canali irrigui o accessibilità diretta in alveo, con opportuno equipaggiamento impermeabile, nel caso di ridotte velocità del flusso o ridotti spessori d'acqua. Il canale deve presentare un tratto rettilineo sia a monte che a valle della sezione in analisi per una lunghezza superiore a tre volte quella della sezione stessa.

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: moto laminare a basse velocità od impossibilità di accesso al canale mediante fluorometro per il tratto AB. Ridotti spessori del volume dell'acqua (inferiori a 10 cm), moto turbolento, assenza attraversamenti per il tratto BC o nel caso di misura in alveo colonna d'acqua superiore a 50 cm o velocità di deflusso superiori a 1,5 m/s.

INCERTEZZA: legata alla precisione degli strumenti, al numero di misure e accuratezza delle stesse

PRECISIONE: l'errore sulla valutazione della differenza di portata è variabile tra il 4 e l'8%

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: buona significatività

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: metrica per la sezione in analisi, deca metrica per l'intero tratto indagato

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: miglioramento nell'immissione e miscelamento dei traccianti, campionamento in continuo dell'acqua

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: 3/4

DI CUI SPECIALIZZATI: 2

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE : medio

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : medio

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI: tecnico/diplomato

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE: 8000 euro

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO: 1000/1500 euro

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: Sondaggi Elettrici Verticali Continui (Continuous Vertical Electrical Sounding CVES). Lavoro di riferimento: David Andrew Allen, 2007, "Electrical conductivity imaging of aquifers connected to watercourses". PhD Thesis in Groundwater Management, Faculty of Science, University of Technology, Sidney.

FINALITA': Evidenziare se in una sezione verticale del canale ortogonale alla corrente si ha una variazione di resistività elettrica associabile ad una perdita di acqua.

DESCRIZIONE SINTETICA: Si trasla, lungo l'asse del canale, un natante con a bordo un georesistivometro, collegato ad un GPS, cui è connesso un cavo galleggiante per tomografie elettriche trascinato dal natante. La sequenza delle misure impostata sul georesistivometro consente di effettuare un sondaggio elettrico verticale (SEV) con schema dipolo-dipolo. Il dipolo di corrente è costituito dai due elettrodi più vicini al natante, i restanti elettrodi fungono da dipoli di tensione. Gli elettrodi di tensione sono distribuiti sul cavo ad intervalli esponenzialmente crescenti; 8 elettrodi sono generalmente sufficienti, dunque ogni SEV consiste in 5 letture. Con un georesistivometro a corrente alternata o ad acquisizione simultanea i tempi di acquisizione delle 5 letture sono tali da essere considerati istantanei: le letture possono dunque essere associate ad un unico punto geografico al quale vengono dunque riferiti, in verticale, i 5 valori di resistività, delineando una elettrostratigrafia. Per quanto concerne le profondità di indagine, maggiore è la distanza tra il dipolo di tensione e quello di corrente, maggiore è la profondità raggiunta dalle misure. Lungo l'asse del canale, ad intervalli dipendenti dalla velocità del natante e dalla velocità di acquisizione del georesistivometro, si ottiene una serie di elettrostratigrafie, ciascuna di 5 pseudo-strati, che, accostate, permettono la costruzione di un diagramma a nastro (pseudo-sezione). Il diagramma, in condizioni ideali, consiste in fasce parallele con colori rappresentanti le resistività misurate. La fascia più superficiale è rappresentativa della resistività dell'acqua. Le interruzioni del parallelismo negli strati non pertinenti all'acqua indicano alterazioni localizzate della resistività attribuibili a variazioni nelle caratteristiche dei materiali (naturali o artificiali), ad interruzioni di continuità e, quindi, anche ad eventuali perdite.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE (per 100 m): circa 15 minuti (preparazione e varo del natante esclusi).

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: due ore/km.

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: Georesistivometro ad alta velocità di acquisizione con misure associabili a GPS. In corrente alternata con frequenze intorno ai 100 Hz o con acquisizione simultanea di almeno 8 dipoli. Cavo per tomografia elettrica reso galleggiante possibilmente con elettrodi in grafite o dorati, disposti ad intervalli esponenziali. Natante per il trasporto della strumentazione.

DATI NECESSARI: nessuno

APPLICABILITA' E LIMITI: In assenza di condizioni escludenti, esistono possibilità di falsi negativi e falsi positivi. I falsi negativi sono essenzialmente legati alla impossibilità di definire la minima perdita rilevabile. I falsi positivi possono essere di due tipi: riconoscibili e non riconoscibili. I falsi positivi riconoscibili derivano dal fatto che ogni apporto o prelievo di acqua dal canale (con o senza chiuse metalliche) genera un segnale

di resistività alterata. I falsi positivi non riconoscibili possono essere dati dalla presenza di materiale argilloso sul fondo di canali cementati o di ghiaie sul fondo di canali naturali che diano segnali di resistività alterata.

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: canali con altezze d'acqua inferiori a 0.3m; canali con altezza d'acqua maggiori di 0.7 m e con correnti con velocità maggiori di 2 m/s circa che non abbiano almeno una sponda percorribile da un operatore per il tratto di indagine.

INCERTEZZA: (eventuale in relazione alle finalità) metrica nella collocazione orizzontale delle anomalie di resistività lungo il tratto di canale studiato; incertezza sulla posizione dell'anomalia sul fondale o sulle sponde.

PRECISIONE : (in relazione alle finalità) metrica.

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: elevata, in relazione alla collocazione spaziale della perdita.

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: metrica/metrica.

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: utilizzo di natante a controllo remoto autonomo con traccia GPS preimpostata ed esecuzione automatica delle misure, visualizzazione diretta della pseudo-sezione tramite operatori sulle sponde del canale con segnalazione immediata dei tratti critici.

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: 2

DI CUI SPECIALIZZATI: 1

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE : Nessuno + Laurea

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : Laurea (3 anni)

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI: Laurea (3 anni)

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE: 20000,00 € – 40000,00 €

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO: A titolo puramente indicativo, per lavori in regione si può ipotizzare un costo, tutto incluso, pari a circa 1500 €/km.

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: Tomografia elettrica veloce (SOLID Transport Estimation By Impedance Tomography - SOTEBIT) . Brevetto Italiano a nome Luigi Sambuelli n. TO 2002 A000771 del Politecnico di Torino, "Metodo di rilevazione di elementi solidi trascinati da una corrente di un alveo di un corso d'acqua e dispositivo di rilevazione relativo". Lavoro di riferimento: Sambuelli L.; Comina C, 2010, Fast ERT to estimate pollutants and solid transport in water flow: a laboratory experiment, Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, pp. 21, Vol. 51, ISSN: 0006-6729.

FINALITA': Rilevare in una sezione di corso d'acqua ortogonale alla corrente anomalie di resistività collegabili al transito di materiale solido o di inquinanti disciolti. Per una interpretazione ottimale occorre effettuare alcune misure di bianco in assenza di materiale trasportato o disciolto.

DESCRIZIONE SINTETICA: In corrispondenza ad una opportuna sezione del canale, il più possibile regolare, si sistemano, sotto il pelo dell'acqua, almeno 16 elettrodi, rilevando, sul piano della sezione, le coordinate orizzontali e verticali di ogni elettrodo. Per canali con rapporto profondità/larghezza < 0.1 gli elettrodi possono essere collocati solo sul fondo del canale, non sistemandone alcuno lungo le sponde. Gli elettrodi sono connessi, tramite un cavo per tomografia elettrica, ad un georesistivimetro in corrente alternata con frequenza di almeno 100 Hz. Il georesistivimetro è programmato per eseguire una tomografia elettrica (con circa 200 misure). Un tale numero di misure non può essere eseguito contemporaneamente, dunque l'immagine tomografica che si ottiene non è un'istantanea della resistività del mezzo che transita attraverso la sezione, ma una specie di integrale nel tempo che dura tanto quanto l'acquisizione. La significatività del dato acquisito aumenta pertanto nel caso di apparecchiature veloci e correnti di deflusso lente. La tecnica richiede di eseguire alcune misure "di bianco" (ossia misure in condizioni di deflusso senza tracciante). Le misure effettuate al passaggio del tracciante presentano alterazioni di resistività più o meno intense nelle aree della sezione a seconda della quantità di tracciante disciolto e della sua distribuzione spaziale nella sezione misurata. La differenza pixel-pixel delle immagini con tracciante rispetto a quelle di bianco permette di stimare e ricostruire, in prima approssimazione, tale distribuzione spaziale e la concentrazione del tracciante nella sezione di indagine.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE: In questo caso non si può definire il tempo per unità di lunghezza, ma per dimensioni di sezione. Tenuto conto delle dimensioni medie dei canali oggetto di indagine, si tratta di circa 1 ora per sezione.

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: Circa 2 ore per sezione.

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: Georesistivimetro ad alta velocità di acquisizione, in grado di effettuare almeno 20 letture al secondo, cavo per tomografie elettriche.

DATI NECESSARI: nessuno.

APPLICABILITA' E LIMITI: Tolate le condizioni escludenti, la minima concentrazione di soluzione salina rilevabile non è determinabile a priori e può variare secondo il rumore elettrico presente nelle tomografie.

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: Battente d'acqua minore di 0.2 m. Velocità della corrente maggiore di 2 m/s. Impossibilità di accedere ad una sezione rettangolare o trapezoidale.

INCERTEZZA : (eventuale in relazione alle finalità) la stima dei quantitativi di sale è legata alla velocità di acquisizione della misura e non può essere valutata a priori.

PRECISIONE : (in relazione alle finalità) elevata in termini di collocazione spaziale del plume salino, discreta in una sua discretizzazione temporale.

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: permette di discriminare la reale forma di un plume salino nel canale e migliorare l'interpretazione di misure di tracciamento che derivano da campionamenti con restituzione di valori di concentrazione medi del sale.

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: metrica/decimetrica.

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: nessuna.

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: 2

DI CUI SPECIALIZZATI:1

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE : Nessuno + Laurea

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : Laurea (5 anni)

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI: Laurea (3 anni)

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE: 25000,00 €

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO: A titolo puramente indicativo, per lavori in regione si può ipotizzare un costo, tutto incluso, pari a circa 1000 € per sezione.

SCHEDA VALUTAZIONE METODI

METODO: ANALISI INDICI RADIOMETRICI DELLA VEGETAZIONE DA IMMAGINI MULTI SPETTRALI DA SATELLITE AD ALTA RISOLUZIONE GEOMETRICA

FINALITA': Mappatura di indici radiometrici (ad es. indice di vegetazione normalizzato) per l'individuazione di anomalie nello stato vegetativo/umidità della vegetazione dovuta alla presenza/assenza di acqua proveniente dai canali irrigui.

DESCRIZIONE SINTETICA: Il metodo propone l'utilizzo di dati telerilevati da aereo/satellite per l'analisi a scala media (max 1:5000) degli indici vegetativi e di umidità dei suoli/vegetazione per l'individuazione indiretta di eventuali perdite dei canali.

L'abbondanza localizzata di acqua dovuta alla perdita potrebbe favorire il sorgere di un'anomalia vegetativa rapportata alla superficie vegetata omogenea di riferimento; tipicamente nei primi metri nell'intorno dell'area della perdita.

TEMPO NECESSARIO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE: Acquisizione immagini: variabile a seconda della disponibilità in archivio e/o delle necessità di nuove acquisizioni ad hoc (da pochi giorni a qualche mese di programmazione anticipata)

TEMPO NECESSARIO PER L'ELABORAZIONE E L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE: Elaborazione immagini: preelaborazioni geometriche e radiometriche : circa 2 giorni lavorativi per immagine da 10 x 10 km (swath tipico per l'alta risoluzione satellitare)

STRUMENTAZIONE NECESSARIA: Hardware : PC con sistema operativo a 64 bit e memoria sufficiente (4 gb RAM) – Windows Based, Software: Software dedicato per Remote Sensing (per il momento NO freeware)

DATI NECESSARI: Metadati completi delle immagini per la calibrazione radiometrica e geometrica. Dati di verità a terra sulle coperture ed uso del suolo

APPLICABILITA' E LIMITI: E' necessario un ambito vegetato (cioè presenza di vegetazione nell'area indagata – possibilmente coltivi stagionali) ed una risoluzione geometrica delle immagini adeguata alla scala della perdita da rilevare (in generale sopra i 3 metri). Inoltre è necessario un dato almeno multi spettrale su 4 bande (almeno una banda infrarosso vicino) possibilmente anche infrarosso medio e lontano per avere la possibilità di centrare gli indici sulle lunghezze d'onda di assorbimento dell'acqua (valutazione umidità).

EVENTUALI CONDIZIONI ESCLUDENTI: Assenza totale di vegetazione

INCERTEZZA: Il metodo è qualitativo ed indiretto. E possibile estrarre una mappa di anomalia degli indici calcolati da validare dal punto di vista vegetazionale.

PRECISIONE: Idem (comunque collegato alla vegetazione e non all'anomalia)

SIGNIFICATIVITA' DEL METODO: Dipendente dalla risposta radiometrica indiretta della vegetazione rispetto alle presunte perdite da individuare

SCALA DI LAVORO/SCALA DI RESTITUZIONE DEL DATO: Dipende dalla risoluzione del dato di partenza – tipicamente tra 1:5.000 e 1:25.000 (in base al tipo di immagine) come scala cartografica di riferimento. Dal punto di vista semantico, il contenuto informativo dell'immagine è generalmente superiore alla scala cartografica a cui è dedicato.

POSSIBILI MIGLIORAMENTI OPERATIVI: Rispetto al presente test si auspica la disponibilità futura di dati a maggior risoluzione geometrica e spettrale così da aumentare la significatività del dato estratto indagando lunghezze d'onda più lontane.

operatori

N° DI OPERATORI NECESSARI: 1

DI CUI SPECIALIZZATI: 1

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'ESECUZIONE DELLE MISURE :

NON POSSIBILE FARE IN AUTONOMIA – ACQUISTO DATO e/o VOLO SATELLITE/AEREO

GRADO DI SPECIALIZZAZIONE RICHIESTO PER L'INTERPRETAZIONE DELLE MISURE : ELEVATO

GRADO DI ISTRUZIONE RICHIESTO PER OPERATORI SPECIALIZZATI : LAUREA

costi

COSTI DELLA STRUMENTAZIONE:

DATI : a partire da 10-15 euro al Km²

Hardware: PC windows Based (circa 1000 euro)

Software : a partire da 4-5000 euro – attualmente software libero non particolarmente diffuso in questo ambito – da ricercare eventualmente in futuro

COSTO NEL CASO DI INCARICO ESTERNO:

– VARIABILE (non quantificabile a priori) – Legato ad una consulenza specializzata – da richiedere eventualmente anche alle società che commercializzano il dato grezzo –

VI – BIBLIOGRAFIA

Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.

Associazione Geotecnica Italiana (1990) - Commissione AGI per Laboratori Geotecnici, Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio, Questioni di Geotecnica, n.5, edizione provvisoria, pp. 275.

Allen D. and Merrick N. (2007) - Robust 1D inversion of large towed geo-electric array datasets used for hydrogeological studies - Exploration Geophysics, 38, 1, pp.50–59.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1963) - Standard test method for particle-size analysis of soils designation (D 422 – 63 (reapproved 1998)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1985) - Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants (D 2217 – 85 (reapproved 1998)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) - Standard test method for open-channel flow measurement of water by velocity-area method (D3858 – 95 (reapproved 2008)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) - Standard test method for velocity measurements of water in open channels with rotating element current meters (D4409 – 95 (reapproved 2008)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) - Standard test method for velocity measurements of water in open channels with electromagnetic current meters (D5089 – 95 (reapproved 2008)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) - Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method. ASTM Philadelphia, USA (D3858 – 95 (reapproved 2008)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) - Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Rotating Element Current Meters. ASTM Philadelphia, USA (D4409 – 95 (reapproved 2008)).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1995) -Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Electromagnetic Current Meters. ASTM Philadelphia, USA (D5089 – 95 (reapproved 2008)).

Ansaldi G., Maffeo B. (1979) - Carta idrogeologica della provincia di Cuneo - Note illustrative, parte IV. Provincia di Cuneo.

Ansaldi G. & Maffeo B. (1981) - Le acque sotterranee della pianura cuneese. Parte VI. In: Inventario delle risorse idriche della Provincia di Cuneo - Amm. Prov. Di Cuneo, quaderno n°33, pp. 118-120.

Arshad M. (2008) - Improving the accuracy of canal seepage detection through geospatial techniques - George Mason University, Ph.D dissertation, pp. 164.

Ballesio F., Cavalli C., Civita M., Marchiolatti M., Olivero G, Vigna B. (1995) - La Pianura Cuneese (Piemonte Meridionale): allocazione, qualità di base e vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee - Atti 2° Conv. Naz. "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: metodologia, tecnologie e obiettivi", Nonantola (MO). Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed, Bologna - vol. 3, pp. 2-14.

Bertrand-Krajewski J.-L. , Cardoso M.A., Ellis B., Frehmann T., Giulianelli M., Gujer W., Krebs P., Pliska Z., Pollert J., Pryl K. (2005) -Towards a better knowledge and management of infiltration and exfiltration in sewer systems: the APUSS project - t10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005

Biancotti A. (1979) - Il Quaternario dell'area compresa fra Stura di Demonte e Tanaro (Piemonte sud-occidentale) - Rend. Sc. fis. mat. e nat. Acc. Naz. Lincei. Serie VIII, LXVI, Fasc 1-9.

Binley A. and Kemna A. (2005) - DC resistivity and induced polarization methods - In: Hydrogeophysics (eds Y. Rubin and S.S. Hubbard), Springer. pp. 129–156.

Boni A., Boni P., Peloso G. F., Gervasoni S. (1980) - Dati sulla Neotettonica del Foglio di Pavia (59) e di parte dei fogli Voghera (71) ed Alessandria (70) - C.N.R. P. F. Geodinamica, pubbl. n° 356, "Contributo alla realizzazione della Carta Neotettonica D'Italia, parte III", pp. 1199-1223.

Bonsignore G., Bortolami G., Elter G., Montrasto A., Petrucci F., Ragni U., Sacchi R., Sturani C., Zanella E. (1969a) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:10000. Fogli 56 e 57 "Torino – Vercelli". II ed. Serv. Geol. It., Roma.

Bortolami D., Carraro F., Crema G. C., Sacchi R. & Sturani C. (1969) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000, Foglio 68 – Carmagnola. Stab. L. Salomone, Roma.

Bortolami G., De Luca D.A., Masciocco L., Morelli Di Popolo e Ticineto A. (2002a) - Le acque sotterranee della pianura di Torino - Provincia di Torino. pp. 32.

Bortolami G., De Luca D.A., Masciocco L., Morelli Di Popolo e Ticineto A. (2002b) - Le acque sotterranee della pianura di Torino. Carta della base dell'acquifero superficiale del settore di pianura della Provincia di Torino - Provincia di Torino.

Bove A., Biancotti A., Costamagna A., Destefanis E., De Luca D. A., Masciocco L., Ossella L. & Tonussi M. (2004) - Carta dei Complessi Idrogeologici alla scala 1:100000, Torino.

Bove A., Destefanis E., De Luca D. A., De Marco E., Masciocco L., Ossella L. & Tonussi M. (2002) - Carta delle isopiezometriche della falda idrica superficie libera alla scala 1:100000, Torino.

Bove A., Destefanis E., De Luca D. A., Masciocco L., Ossella L., Tonussi M. (2005a) - Idrogeologia della pianura piemontese. Studio idrogeologico finalizzato alla caratterizzazione dell'acquifero superficiale nel territorio di pianura della Provincia di Torino. Articolo XIII - Regione Piemonte Dir. Pian. Ris. Idr., Torino.

Bove A., Destefanis E., De Luca D. A., Masciocco L., Ossella L., Tonussi M. (2005b) - Idrogeologia della pianura piemontese. Carta delle isopiezometriche della falda idrica a superficie libera - Regione Piemonte Dir. Pian. Ris. Idr., Torino.

Braga G., Bellinzona G., Bernardelli L., Casnedi R., Castoldi E., Cerro A., Cotta Ramusino S., Gianotti R., Marchetti G., Peloso G. F. (1976) - Indagine preliminare sulle falde acquifere profonde della porzione di Pianura Padana compresa nelle province di Brescia, Cremona, Milano, Piacenza, Pavia ed Alessandria -, Quad. Ist. Ric. sulle Acque, 28 (2), Roma, pp. 45-74.

Carraro F. & Petrucci F. (1969) - Carte Géologique de la plaine du Piémont à l'échelle de 1:400000 - Atti 8° Congr. INQUA, Parigi.

Carraro F., Bortolami G.C., Campanino F., Clari P.A., Forno M.G., Ferrero E., Ghibauda G., Maso V. & Ricci B. (1978) - Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 56 (Torino), 68 (Carmagnola) e 80 (Cuneo) - Contrib. Concl. Per la realizz. della Carta Neotettonica d'Italia. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica, Torino, pp. 149-180.

Carpi. A. (1988) - Idrogeologia e vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della zona pedemontana tra i fiumi Pesio e Gesso (Beinette - CN) - Tesi di Laurea in Ing. Mineraria, relatori Civita M, Vigna B., Politecnico di Torino - pp. 159.

Carta geologica d'Italia (1970a) – Foglio 70 “Alessandria” alla scala 1:100.000. II edizione - Serv. Geol. d'Italia, Roma.

Carta geologica d'Italia (1970b) – Foglio 69 “Asti” alla scala 1:100.000. II edizione - Serv. Geol. d'Italia, Roma.

Cassel F.S. and Zoldoske D. (2006) - *Assessing canal seepage and soil salinity using the electromagnetic remote sensing technology*, *Sustainable irrigation management, technology and policies - WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 96, WIT Press, pp. 55-63.

Cavalli C., Vigna B. (1995) - *Il "Villafranchiano" nel sottosuolo della pianura cuneese (Il Quaternario) - Italian Journal of Quaternary Sciences 8(2)*, pp. 423-434.

Civita M., Fiorucci A., OLIVERO G. & VIGNA B. (2000) - *Le risorse idriche sotterranee del territorio cuneese (Piemonte meridionale). Parte 2: il settore di pianura- Pubblicazione n° 2169 del G.N.D.C.I.-C.N.R., U.O. 4.1, Dipartimento di Georisorse e Territorio. pp. 225-241.*

Civita M., Fiorucci A., Olivero G. & Vigna B. (2000) - *Schema Idrogeologico della Pianura Cuneese alla scala 1:200000, Tav.1, - Torino.*

Clifford J. and Binley A. (2010) - *"Geophysical characterisation of riverbed hydrostratigraphy using electrical resistance tomography" - Near Surface Geophysics, 8, pp.493-501, doi:10.3997/1873-0604.2010035.*

Crook N., Binley A., Knight R., Robinson D.A., Zarnetske J. and Haggerty R. (2008) - *Electrical resistivity imaging of the architecture of substream sediments - Water Resources Research 44, W00D13. doi:10.1029/2008WR006968.*

Custodio E., Llamas M.R (2005) -. *Idrologia sotterranea - Dario Flaccovio Editore.*

Dela Pierre F., MikahiloV V., Polino R. (1985) - *The tectonosedimentary evolution of the tertiary basins in the western Po plain: kinematics inferred from subsidence curves - Acc. Naz. delle Scienze, "Atti del convegno rapporti Alpi- Appennino e guide alle escursioni", Roma, pp. 129-146.*

De Luca D. A., Masciocco L., Ricci P., Zuppi G.M. (1987) - *Studio idrogeologico della pianura alessandrina - Milano, pp. 18.*

De Luca D. A. (2009) - *Introduzione alla chimica delle acque sotterranee - Dispense del corso di Idrogeologia Applicata. Università degli Studi di Torino, Torino. pp. 164.*

De Luca D. A. (2009) - *Le carte piezometriche. Metodi di realizzazione, interpretazione e applicazione allo studio del deflusso idrico sotterraneo - Dispense del corso di Idrogeologia Applicata. Università degli Studi di Torino, Torino. pp. 123.*

Dhillon G.S. (1967) - *Estimation of Seepage Losses from Lined Canals - Indian Journal of Power and River Valley Development, 1967.*

Duane Nellis M. (1982) - *Application of thermal infrared imagery to canal leakage detection - Remote Sensing of Environment, Volume 12, Issue 3, pp. 229-234.*

Ellis J., Krajewski B., Revitt J.L., Mike D., Rieckermann J. (2010) - *APUSS: Assessing the significance of infiltration and exfiltration on the performance of urban sewer systems* - In: Ellis, John Bryan and Bertrand- Krajewski, Jean-Luc, (ed.) *Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems (APUSS)*. IWA Publishing, London, pp. 19-29.

Engelbert P.J., Hotchkiss R.H. and Kelly W.E. (1997) - *Integrated remote sensing and geophysical techniques for locating canal seepage in Nebraska* - *Journal of Applied Geophysics*, Volume 38, Issue 2, pp.3-154.

Gelati R. & Gnaccolini M. (1988) - *Sequenze deposizionali in un bacino episuaturale nella zona di raccordo tra Alpi ed Appennino settentrionale* - *Atti Tic. Sc. Terra*, v. 31, pp. 340-350, Pavia.

Gianotti F., Forno M.G., Ivy-ohs S., Kubik P.W. (2008) - *New chronological and stratigraphical data on the Ivrea amphitheatre (Piedmont, NW Italy)* - *Quaternary International* 190, [s.l.], pp. 123 - 135.

Huang Y., Fipps G., Maas S.J. and Fletcher R.S. (2010) - *Airborne remote sensing for detection of irrigation canal leakage* - *Irrigation and Drainage*, 59, 5, pp.524-534.

Iqbal Z., MacLean R.T., Taylor B.D., Hecker F.J. and Bennett, D.R. (2002) - *Seepage losses from irrigation canals in southern Alberta* - *Canadian Biosystems Engineering/Le genie des biosystemes au Canada*, 44, 1.21-1.27.

Irace A., Clemente P., Natalicchio M., Ossella L., Trenkwalder S., De Luca D.A., Mosca P., Piana F., Polino R. & Violanti D. (2009) - *Geologia e Idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale* - *La Nuova Lito (Firenze)*, pp. 110.

Kraatz D.B. (1971) - *Irrigation canal lining*, *Irrigation and Paper n° 2* - Reissued as n° 1 *Land and Water Development Series*, FAO, Roma, pp. 199.

Lasagna M., De Luca D.A. (2008) - *Contaminazione da nitrati nelle acque sotterranee della pianura torinese-cuneese: quadro generale e ruolo dei corsi d'acqua* - *Giornale di Geologia Applicata* 8 (2008), pp.75-87.

Malaroda R. et alii. (1970) - *Carta Geologica del Massiccio dell'Argentera alla scala 1:50.000* - Note illustrative, in: *Memorie della Società Geologica Italiana - Volume IX*, pp. 557-663.

Moisello U. (1999) - *Idrologia tecnica. La Goliardica Pavese*, Pavia, pp. 825.

Moore J., Adams M., Allis R., Lutz S., Rauzi S. (2005) - *Mineralogical and geochemical consequences of the long-term presence of CO₂ in natural reservoirs: An example from the Springerville - St. Johns field Arizona, and New Mexico, U.S.A.* *Chemical Geology*, v. 217, p. 365-385.

Peisino V., Carena G. & Merlina S. (2005) - *Elaborazione dei rilievi e degli studi di carattere idrologico-idraulico per la redazione degli elaborati a supporto dell'adeguamento al PAI, Cuneo*, pp. 13.

Piper A. M. (1944) - *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses - Am. Geophys, Union Trans*, pp. 914-923.

Platenek (2001) - *Corso di telerilevamento* – <http://www.planetek.it>, Bari.

Prigiobbe, V. (2005) - *Analysis and Application of Novel Method for Quantifying Infiltration and Exfiltration in Urban Sewer Systems - PhD thesis, Università di Roma "Tor Vergata"*.

Raviolo P. L. (1993) - *Il laboratorio geotecnico: procedure di prova, elaborazione, acquisizione dati - Ed. Controls, Torino*, pp. 608.

Rieckermann J., Gujer W. (2002) - *Quantifying Exfiltration from Leaky Sewers with Artificial Tracers - Proceedings of the International Conference on "Sewer Operation and Maintenance. 2002", Bradford, UK*.

Rieckermann J., Bares V., Kracht O., Braun D., Gujer W. (2003) - *Quantifying exfiltration with continuous dosing of artificial tracers - Proceedings of the Hydrosphere conference, Brno, CZ, 2-3 October, 4 p.*

Rieckermann J., Borsuk, M.; Reichert, P., Gujer, W. (2005) - *A novel tracer method for estimating sewer exfiltration - Water Resources Research, 41(5), pW05013.*

Roche M. (1963) - *Hydrologie de surface - Ed. Gauthier-Villars, Parigi*, pp. 430.

Roure F., Polino R. & Nicolich R. (1990) - *Early Neogene deformation beneath the Po plain: constraints on post-collisional Alpine evolution - Mem. Soc. Géol. France N.S., v. 156, Parigi*, pp. 309-322.

Sacco F. (1917) - *L'evoluzione del Fiume Tanaro durante l'era quaternaria - Atti Soc. It. Sc. Nat.*, 56, pp. 156-178.

Sacco F., Franchi S. & Stella A. (1931) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 80, Prima Edizione, Cuneo*.

Sambuelli L. and Comina C. (2010) - *Fast ert to estimate pollutants and solid transport variation in water flow: a laboratory experiment- Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 51, n.1, pp. 1 - 22.*

Schoeller H. (1962) - *Les Eaux Souterraines - Masson, Parigi*, pp. 642.

Smart P.L. & Laidlaw I.M.S. (1977) - *An evaluation of some fluorescent dyes used for water tracing - Water Resources Research 13. pp.15-33.*

Smart P.L. (1984) - A review of the toxicity of twelve fluorescent dyes used for water tracing - NSS Bull. pp. 21–33.

STANDARDS ISO3455 (1976) - Calibration of rotating-element current meters in straight open tanks.

Vanossi M. & Oxilia M. (1978) - Osservazioni sul contatto Brianzonese - Piemontese tra le valli dei T. Pesio e T. Colla (Alpi marittime).

Vanossi M., Dellagiovanna G. (1991) - Guide geologiche regionali - Alpi Liguri, a cura della Società Geologica Italiana.

Vigna B. (2009) - Monitoraggio di approfondimento idrologico delle interferenze tra il bacino idrografico del T. Gesso e il bacino di alimentazione dei fontanili e delle sorgenti del sistema "Brobbio - Pesio" - Convenzione rep. n. 12753 del 28/09/2007, Hydrodata, consulenza per la Regione Piemonte - Direzione Territorio Rurale - Settore Infrastrutture Rurali Territorio.

Vittonatto G. (2009) - Il Canale di Caluso - Tipografia Moderna. Ravenna. pp. 15

Ward S.H. (2005) – Geotechnical and environmental Geophysics – Society of Exploration Geophysics, Tulsa, ok, 397 pp.

<http://www.adbpo.it>

http://www.apat.gov.it/Media/carta_geologica_italia/default.htm