

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

Studio degli attraversamenti idrici e delle loro modalità costruttive nell'acquedotto di Valle Orco

Relatore:

Prof. Fulvio Boano

Correlatori:

Ing. Giuseppe Astore

Ing. Mafalda Piraino

Ing. Riccardo Vesipa

Candidata:

Benedetta Pirrello

Luglio 2020

*A mio padre,
che mi ha trasmesso la passione
incondizionata
per questo mestiere.*

SOMMARIO

INTRODUZIONE.....	1
1 DESCRIZIONE DELL'ACQUEDOTTO	2
1.1 Stato di fatto	2
1.2 Il tracciato.....	5
1.2.1 Asta A.....	6
1.2.2 Asta B.....	7
1.2.3 Asta C.....	7
1.2.4 Asta D.....	8
1.3 Interferenze.....	9
2 CRITERI DI VALUTAZIONE PROGETTUALE	11
2.1 Vincoli idrografici	11
2.2 Reticolo Idraulico Principale.....	12
2.2.1 Torrente Orco	13
2.2.2 Torrente Soana	15
2.2.3 Torrente Malesina	16
2.2.4 Torrente Chiusella.....	16
2.2.5 Enti gestori dei corsi d'acqua	16
2.3 Reticolo Irriguo	18
2.3.1 Canale Demaniale di Caluso	19
2.4 Fasce fluviali PAI vigenti.....	22
3 Attraversamenti	27
3.1 Tipologie d'attraversamento.....	28
3.1.1 Subalveo: scavo tradizionale in trincea	28
3.1.2 Tecnologie "No Dig".....	30
3.1.3 Attraversamenti aerei	40
3.2 Modalità d'attraversamento dei vincoli idrografici.....	42
3.3 Analisi vantaggi- svantaggi per le principali opzioni d'attraversamento	46

3.3.1	Tipologico TA - Scavo in trincea	47
3.3.2	Tipologico TB.1 – Microtunnelling	48
3.3.3	Tipologico TB.2 - T.O.C.....	48
3.3.4	Tipologico TC – Aereo.....	49
3.4	Analisi multicriteria per le tipologie d’attraversamento.....	49
3.4.1	Categoria A - Aspetti funzionali	51
3.4.2	Categoria B - Aspetti sociali e ambientali.....	54
3.4.3	Categoria C: Aspetti tecnici	59
3.4.4	Categoria D: Aspetti economici	68
3.4.5	Risultati analisi multicriteria	71
3.5	Analisi delle alternative.....	77
3.5.1	Attraversamento ID01	79
3.5.2	Attraversamento ID03	82
3.5.3	Attraversamento ID05	84
3.5.4	Attraversamento ID06.....	91
3.5.5	Attraversamento ID10.....	93
3.5.6	Attraversamento ID14.....	95
3.5.7	Attraversamenti ID 22, ID23, ID24 e IR26.....	98
3.5.8	Riepilogo	104
4	Analisi idrologica degli attraversamenti in staffaggio su ponte	105
4.1	Bacino del Torrente Viana	107
4.1.1	Assetto geografico e ambientale.....	107
4.1.2	Inquadramento climatico.....	109
4.1.3	Tempo di corrivazione.....	110
4.2	Il modello HEC-HMS	110
4.3	Costruzione della carta del Curve Number	112
4.4	Input precipitazioni	117
4.5	Parametri per la taratura	121

4.6	Risultati	122
5	Utilizzo del GIS nella progettazione	131
5.1	ArcGIS	131
5.2	Interazione tra GIS e BIM.....	132
5.3	Google Earth	133
5.4	Il Geodatabase	134
5.4.1	Il Geodatabase del progetto dell'acquedotto di Valle Orco	135
	Conclusioni	142
	Bibliografia	145

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1:	Inquadramento regionale dell'area in esame; in rosso il tracciato dell'acquedotto in progetto; nel riquadro celeste l'area che ospita il sistema di centrali idroelettriche dell'Alta Valle Orco.	4
Figura 2:	Schema di distribuzione delle acque nel sistema di impianti per la produzione di energia idroelettrica.	5
Figura 3	Tracciato dell'acquedotto di Valle Orco. Vedi allegato A.	6
Figura 4:	Reticolo idrografico principale e reticolo irriguo.	12
Figura 5:	Bacini idrografici in cui ricade l'area in esame.....	13
Figura 6:	Bacino del torrente Orco; in verde il bacino a carattere montano; in rosa il bacino a carattere vallivo.	15
Figura 7:	Sviluppo del Torrente Orco.	15
Figura 8:	Interferenze del tracciato con le fasce fluviali PAI.....	26
Figura 9:	Tipologie d'attraversamento dei vincoli idrografici	27
Figura 10:	Attraversamento con scavo in trincea [10]	29
Figura 11:	Attraversamento in subalveo [12].....	29
Figura 12:	Attraversamento in subalveo per profondità elevate [12].....	30
Figura 13:	Campo di applicabilità delle diverse tecnologie No Dig in funzione del tipo di suolo [14]	32
Figura 14:	Tipica disposizione per scavo in spingitubo [14]	33

Figura 15: Teste di scavo per attraversamenti in spingitubo [14]	33
Figura 16: Tipica disposizione per scavo in microtunnelling [14].....	34
Figura 17: Attraversamento con tecnologia T.O.C. [19].....	36
Figura 18: Fasi operative per lo scavo con tecnologia T.O.C. [17].....	36
Figura 19: Tipologia di teste per lo scavo del foro pilota [20].	37
Figura 20: Staffaggio di una condotta tramite mensole [23].	41
Figura 21: Esempio di condotta in staffaggio a un ponte; attraversamento ID30, Torrente Viana; l'immagine è un render; la condotta rappresentata appartiene al tracciato in progetto [11].	41
Figura 22: Attraversamenti idrici.	42
Figura 23: Attraversamenti del Torrente Orco; ipotesi di modalità di attraversamento da studio di fattibilità.	43
Figura 24: Attraversamenti del reticolo principale; ipotesi della modalità di attraversamento da studio di fattibilità. Vedi allegato B.	44
Figura 25: Attraversamenti del reticolo irriguo; ipotesi della modalità di attraversamento da studio di fattibilità. Vedi allegato C.	44
Figura 26: Schema costruttivo di un pozzo di spinta per microtunnelling.....	69
Figura 27:Classifica delle modalità d'attraversamento; preferenza agli aspetti sociali e ambientali	75
Figura 28: Attraversamenti studiati nel dettaglio.	78
Figura 29: Torrente Soana; attraversamento ID01 Aree allagate derivanti dai dati della piena del 2000.....	81
Figura 30: Torrente Soana; attraversamento ID01.	81
Figura 31: Attraversamento ID03, Torrente Orco. Aree allagate derivanti dai dati della piena del 2000.....	84
Figura 32: Torrente Orco; attraversamento ID03.....	84
Figura 33: Attraversamento ID05, Torrente Orco.....	90
Figura 34: Torrente Orco; attraversamento ID05.....	90
Figura 35: Dettaglio del ponte della SP460.....	90
Figura 36: Attraversamento ID06, Torrente Orco.....	92

Figura 37: Attraversamento ID10, Torrente Chiusella.....	94
Figura 38: Torrente Chiusella; attraversamento ID10.....	95
Figura 39: Attraversamento ID14, Rio Ribes.....	97
Figura 40: Rio Ribes; attraversamento ID14.....	97
Figura 41: Dettaglio dell'impalcato del ponte della SS565	97
Figura 42: Informazioni di portata in sito - Canale di Rivarolo; attraversamento IR26	99
Figura 43: Attraversamenti ID22, ID23, ID24, IR26; Gora d'Ozegna, Torrente Orco, canale di restituzione, Canale di Rivarolo.	102
Figura 44: Possibile suddivisione dell'attraversamento in 2 tratti: microtunnelling e subalveo	102
Figura 45: Torrente Orco; attraversamento ID23.....	103
Figura 46: Canale di restituzione, dal Canale di Rivarolo al Torrente Orco; attraversamento ID 24.....	103
Figura 47: Canale di Rivarolo; attraversamento IR26; vista monte.	103
Figura 48: Ponte della SS565 in prossimità dell'attraversamento ID 23.....	104
Figura 49: Dettaglio del ponte della SS565.....	104
Figura 50: Attraversamenti in staffaggio su ponte esistente	105
Figura 51: Collocazione dell'attraversamento ID30 del Torrente Viana nel tracciato.	106
Figura 52:Attraversamento ID30- Torrente Viana.	106
Figura 53: Da sinistra: collocazione dell'area di studio; comuni alle estremità del Bacino Malone e Posizione dell'attraversamento in esame; bacino del torrente Malone (in celeste), Bacino del torrente Viana (in rosa) e bacino del torrente Viana chiuso alla sezione dell'attraversamento in esame (in viola).....	107
Figura 54: Suddivisione in fasce per quota per la costruzione della curva ipsometrica.....	108
Figura 55: Interazione tra i software HEC-GeoHMS e HEC-HMS [26]	111
Figura 56: Carta del tipo di suolo.....	115
Figura 57: Carta d'uso del suolo.....	116
Figura 58: Carta del Curve Number.....	116
Figura 59: Schema del procedimento per ricavare le intensità di pioggia per lo ietogramma Chicago.	120

Figura 60: Confronto tra il punto in cui si sono ottenuti gli idrogrammi di piena e il punto in cui si hanno dati disponibili.	122
Figura 61: Suddivisione in sottobacini del bacino in esame; modello generato da HEC GeoHMS	123
Figura 62: Schematizzazione del bacino in HEC-HMS	123
Figura 63: Idrogrammi di piena per tempi di pioggia di 6 ore	125
Figura 64: Idrogrammi di piena per tempi di pioggia di 24 ore	127
Figura 65: Idrogramma di piena del bacino W130 (in alto) e W180 (in basso); grafico di pioggia persa. Risultati relativi alla simulazione con TR200 e Tp 24 ore.	129
Figura 66: Utilizzo di Google Earth durante il sopralluogo	133
Figura 67: Database del progetto dell'acquedotto di Valle Orco.....	135
Figura 68: Estratto della tabella degli attributi del tracciato.	136
Figura 69: Tracciato dell'acquedotto, differenziazione per diametro nominale.	136
Figura 70: Estratto della tabella degli attributi dei punti di consegna.....	137
Figura 71: Estratto della tabella degli attributi delle camere di manovra.....	137
Figura 72: punti di consegna e camere di manovra.....	137
Figura 73: Geologia e dissesto; evento alluvionale del 2000.....	139
Figura 74: Carta d'uso del suolo.	140

ELENCO DEGLI ALLEGATI

Allegato A: Tracciato dell'acquedotto.

Allegato B: Attraversamenti del reticolo idrico principale – Ipotesi delle modalità d'attraversamento derivanti dal presente studio.

Allegato C: Attraversamenti del reticolo irriguo– Ipotesi delle modalità d'attraversamento derivanti dal presente studio.

Allegato D: Risultati dell'analisi multicriteria.

INTRODUZIONE

La presente trattazione è volta ad approfondire e risolvere le problematiche dovute alla presenza di numerosi attraversamenti idrici nel contesto della Progettazione Definitiva dell'acquedotto di Valle Orco, servizio sviluppato dalla società di ingegneria Geodata Engineering S.p.a. per conto di SMAT S.p.a.

L'acquedotto di Valle Orco nasce dall'esigenza di preservare le falde acquifere sotterranee, fino ad oggi utilizzate come fonte principale di alimentazione della rete idrica esistente, sostituendole con le acque superficiali accumulate nei laghi artificiali dell'alta Valle Orco, e fino ad oggi utilizzate per scopi idroelettrici.

La rete di adduzione che si sviluppa per circa 140 km, attraversando 41 comuni, è fortemente condizionata dalla presenza di vincoli di varia natura ed in particolare da quelli di natura idrografica.

Durante tale studio sono state definite nel dettaglio tutte le opere necessarie al superamento di tale vincolo, sia sulla base di considerazioni da carattere tecnico funzionale che di tipo geologico/geotecnico e costruttivo, mediante un'analisi definita multicriteria che analizza tutte le modalità costruttive nel dettaglio e attribuisce un peso ad ogni attributo che le contraddistingue, restituendo la tecnologia migliore per ogni attraversamento.

Particolare attenzione è stata posta ai principali attraversamenti idrici, come quelli presenti lungo il torrente Orco, caratterizzato da un complesso comportamento idromorfologico ed un'elevata evoluzione morfodinamica; per essi è stata studiata l'ipotesi di realizzazione mediante tecnologie di scavo non tradizionali dette Trenchless o No Dig.

L'analisi multicriteria è stata sviluppata in corrispondenza degli attraversamenti idrici principali ed ha permesso di confrontare varie soluzioni realizzative, sulla base di parametri funzionali, ambientali, economici, costruttivi e di sicurezza. Tale analisi pertanto ha lo scopo di scegliere la soluzione ottimale, non solo dal punto di vista tecnico-economico, ma anche da un punto di vista ambientale sia in fase di costruzione che in fase di esercizio, garantendo così la salvaguardia della risorsa idrica fluviale.

1 DESCRIZIONE DELL'ACQUEDOTTO

Lo schema idrico in progetto ha la finalità di integrare l'approvvigionamento delle reti acquedottistiche a servizio del territorio delle Comunità Montane Valle Orco; il comprensorio acquedottistico coinvolge quarantuno comuni, per un totale di 124.951 abitanti, risolvendone definitivamente le criticità qualitative e di vulnerabilità ascrivibili a carenze sistematiche, stagionali ed a volte eccezionali.

Attraverso una caratteristica capacità di adattamento dell'impianto alla variabilità dei consumi nel centro di utenza locale, l'acquedotto in progetto potrebbe essere in grado di fornire integrazioni di approvvigionamento all'hinterland torinese.

Nella configurazione individuata il nuovo sistema acquedottistico avrà una capacità di rifornire l'utenza per portate tra 600 e 810 l/s nelle varie situazioni stagionali. Il nuovo acquedotto utilizzerà l'acqua proveniente dalla centrale idroelettrica di Bardonetto.

Per quanto riguarda gli interventi su scala locale, concentrati nell'area dei comuni interessati, sono stati analizzati orientandosi soprattutto a criteri di massimizzazione della funzionalità delle reti e degli impianti acquedotto esistenti rendendoli compatibili alla ricezione del nuovo sistema di approvvigionamento idrico.

1.1 STATO DI FATTO

Attualmente i comuni siti nella Valle Orco sono serviti da un acquedotto che attinge per la maggior parte da pozzi.

Sul territorio è presente una successione di falde che, andando in profondità, perdono di potenzialità. L'acquedotto attualmente esistente attinge per la maggior parte da queste falde tramite pozzi che raggiungono 180-200 m di profondità. Ma la mancanza di depositi argillosi nel terreno non garantisce una qualità dell'acqua molto elevata, rendendola vulnerabile ad agenti inquinanti che percolano negli strati inferiori limitando l'uso idropotabile della risorsa. Dette falde vengono ricaricate in tempi molto lunghi, e sempre più spesso si stanno rivelando insufficienti a soddisfare il fabbisogno degli abitanti della valle.

Inoltre, estrarre acque da profondità troppo elevate risulta molto dispendioso in termini di energia, per il funzionamento delle pompe di estrazione, e di conseguenza in termini economici.

Per cui i principali problemi sono:

- scarsità d'acqua nelle falde;
- acque vulnerabili a inquinanti;
- svantaggio economico dovuto all'attingimento da falde troppo profonde.

Perciò si è deciso di cercare una soluzione alternativa alla crescente richiesta d'acqua dell'utenza che garantisca una buona qualità dell'acqua per scopi idropotabili e una disponibilità adeguata.

La soluzione è stata trovata nell'utilizzo delle acque superficiali decorrenti nella parte più a monte del bacino del Torrente Orco, ricadente nel parco nazionale del Gran Paradiso; questo risulta essere un ambiente naturale incontaminato, e le sue acque sono utilizzabili a scopi idropotabili, previa potabilizzazione in un impianto potabilizzatore in progetto.

Ad oggi queste acque sono state riservate per la produzione di energia idroelettrica e in parte a scopo irriguo. Infatti, nell'alta Valle Orco (Figura 1) è presente un sistema di impianti idroelettrici che raccoglie le acque dei bacini del Parco Naturale del Gran Paradiso, e le convoglia in una successione di serbatoi costituiti da laghi artificiali, che portano l'acqua alle centrali idroelettriche posizionate in serie (Figura 2).

Si identificano due gruppi di serbatoi [1], per un totale di circa 88,5 milioni di m³: il primo gruppo comprende i serbatoi di Agnel e Serrù che portano acqua alla centrale di Villa, a monte del lago di Ceresole; il secondo gruppo comprende il lago di Valsoera che rifornisce la centrale di Telessio, a valle dell'omonimo lago e il lago di Eugio.

Il serbatoio di Ceresole e quello di Telessio riforniscono a loro volta la centrale idroelettrica di Rosone[2]; la stessa acqua viene poi indirizzata alla centrale di Bardonetto, e infine alla centrale di Pont.

	Serbatoio	Capacità utile (m ³ x 10 ⁶)
1° Gruppo	Agnel	2,1
	Serrù	14,2

	Serbatoio	Capacità utile (m ³ x 10 ⁶)
	Ceresole	35,9
2° Gruppo	Telessio	23,3
	Valsoera	8,0
	Eugio	5,0

Tabella 1: Serbatoi per la produzione di energia idroelettrica.

Il nuovo acquedotto di Valle Orco verrà alimentato dalle acque di scarico della centrale idroelettrica di Bardonetto; l'impianto è dotato di una vasca di regolazione di 10.000 m³, nella quale confluiscono sia le acque provenienti dalla centrale di Rosone, sia quelle provenienti dal torrente Orco.

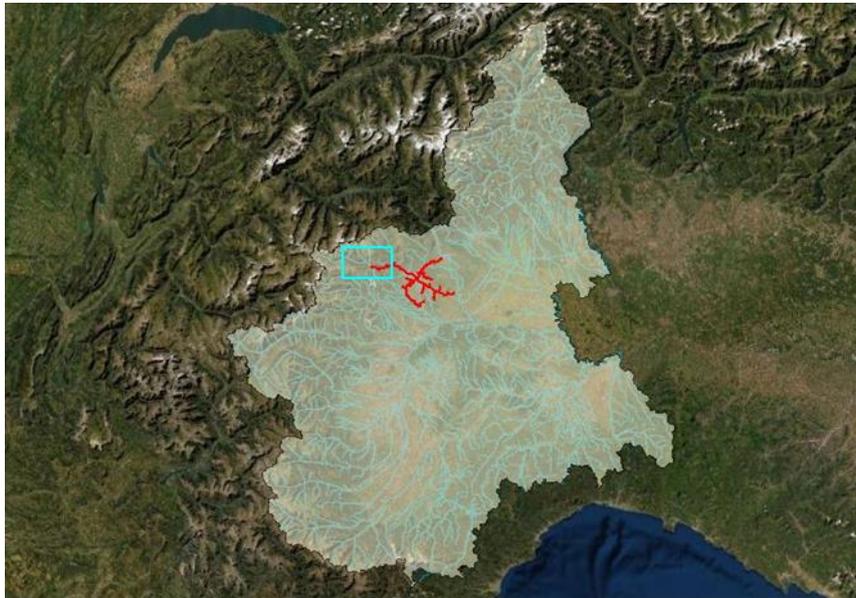


Figura 1: Inquadramento regionale dell'area in esame; in rosso il tracciato dell'acquedotto in progetto; nel riquadro celeste l'area che ospita il sistema di centrali idroelettriche dell'Alta Valle Orco.

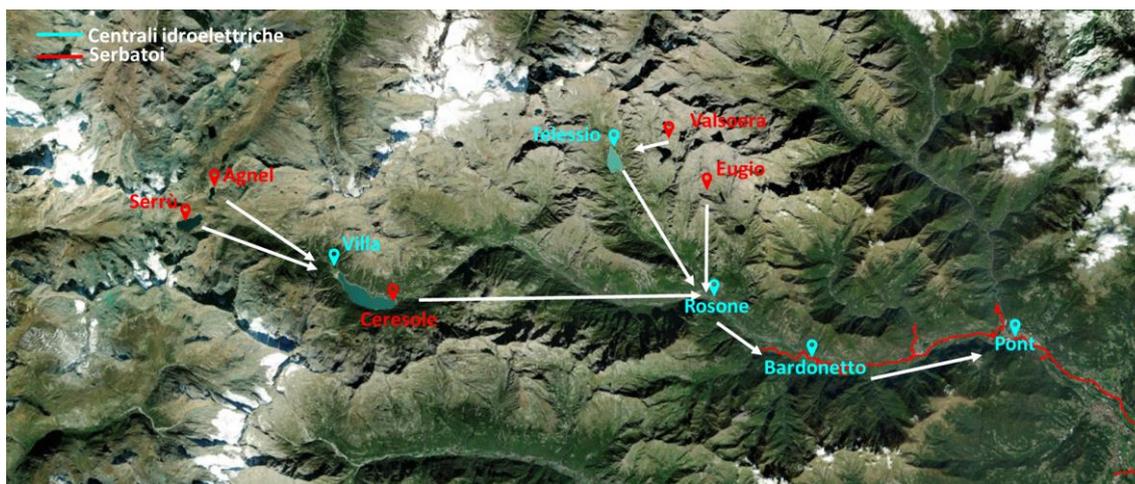


Figura 2: Schema di distribuzione delle acque nel sistema di impianti per la produzione di energia idroelettrica.

In conclusione, la carenza della risorsa sembra risolversi con la soluzione in progetto, utilizzando le acque dell'alto bacino del torrente Orco; la quantità è garantita dalla presenza di circa 88,5 milioni di m³ di serbatoi, e la qualità è garantita dall'altitudine a cui si preleva la risorsa.

1.2 IL TRACCIATO

L'intervento in progetto è costituito da una rete adduttrice che si sviluppa per circa 140 km, con diametro variabile da DN 80 a DN 1000 in ghisa sferoidale.

Il tracciato occupa quindi il territorio amministrativo di 41 comuni con la finalità di servirne 39 di essi.

Il tracciato del nuovo acquedotto, il cui schema planimetrico è riportato in Figura 3 e in dettaglio nell'allegato A, si estende per circa 140 km e si divide in 4 aste principali, descritte di seguito nel dettaglio.

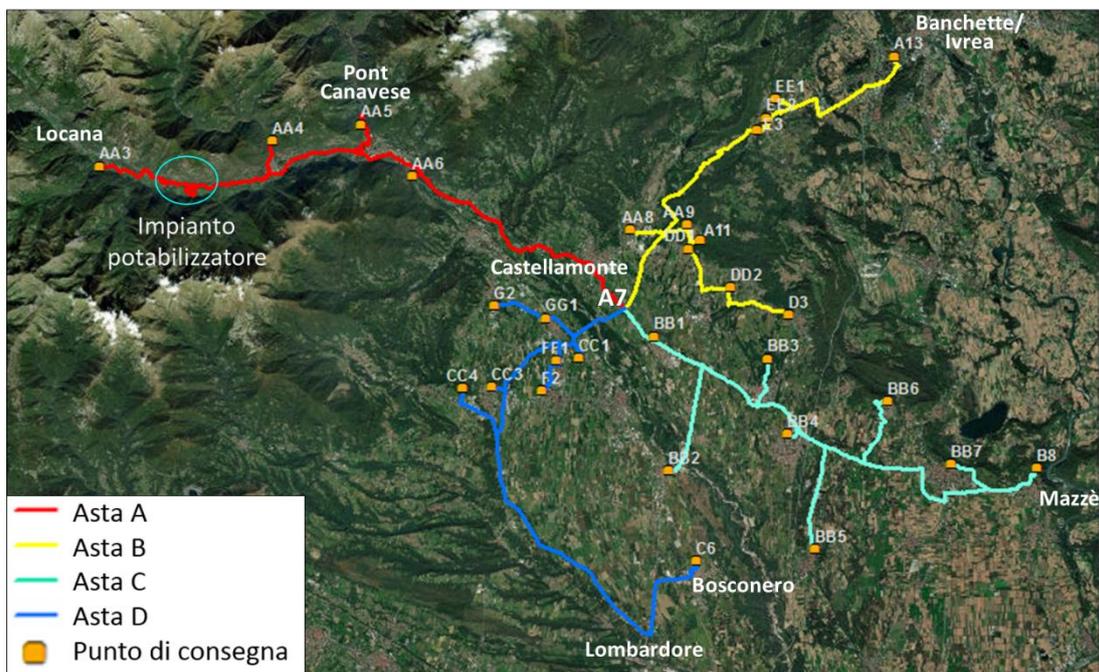


Figura 3 Tracciato dell'acquedotto di Valle Orco. Vedi allegato A.

1.2.1 ASTA A

A partire dall'impianto di potabilizzazione in progetto a valle di Locana (nodo A3), a quota di circa 550 m s.l.m. il tracciato prevede un primo tratto che sale verso monte, verso il punto di consegna AA3, con una condotta con DN 100 per rifornire il comune di Locana, fino a una quota di 700 m s.l.m; il tratto che scende verso la valle invece, procede verso Est seguendo perlopiù il percorso della SP460 che percorre tutta la lunghezza della valle. Arrivato all'altezza di Pont Canavese (nodo A5), a circa 450m s.l.m., la condotta ha già affrontato un dislivello di 100 m. A questo punto la condotta si restringe, passando da DN 1000 a DN 800, poiché parte dell'acqua viene scaricata nel serbatoio della centrale idroelettrica di Pont. Il tracciato scende ancora verso valle in direzione Cuornè, seguendo l'andamento del torrente; inizia a distanziarsene a partire da Cuornè per avvicinarsi verso il comune di Castellamonte, fino a raggiungere il nodo principale dell'acquedotto, nodo A7, presso Castellamonte, all'incrocio tra la SS565 di Castellamonte e la SP222, circa 1,2 km a Est dall'Orco; questo nodo, a una quota di 325 m s.l.m. rappresenta un punto nevralgico della rete, poiché qui si incrociano le quattro aste principali; in questo punto sarà posizionata una camera di manovra per la gestione dell'adduzione alla rete.

L'asta A presenta quattro diramazioni: una che connette l'impianto di potabilizzazione in progetto alla condotta principale (nodo A3), con un DN 1000; la seconda che porta verso il comune di Sparone (dal nodo A4 verso il punto di consegna AA4) con un DN 100 e una lunghezza di circa 2 km; la terza che porta verso Pont Canavese (dal nodo A5 verso il punto di consegna AA5) con un DN 150 lunga circa 2,8 km; la quarta (dal nodo A6 verso il punto di consegna AA6), con un DN 250, che porta ad un punto di consegna poco a valle di Pont Canavese

L'asta A ha un'estensione di circa 35 km, compresi i rami secondari.

1.2.2 ASTA B

A partire dal nodo principale A7, l'asta B si estende verso Nord-Est fino al confine tra Banchette e Ivrea, dove raggiunge una quota di circa 260 m s.l.m. per un dislivello di circa 65 m.

Il tracciato segue inizialmente la SS565 fino all'incrocio con la strada provinciale di Agliè, dove risale verso Nord per reimmettersi nella SP222.

Sull'asta principale la condotta presenta un DN 700 nel primo tratto, fino alla camera di manovra all'altezza di Torre Canavese (nodo A8), per poi ridursi a DN 450 per il resto dell'asta.

All'altezza di Torre Canavese (nodo A8) si diramano due condotte: una verso Ovest (AA8) con un DN 250, lunga circa 1,5 km, e l'altra una che si estende verso Sud-Est (D3), che attraversa il comune di Torre Canavese e le sue frazioni; questa diramazione si estende per circa 9 km. La terza diramazione (nodo E2), molto breve, si estende per circa 150 m, verso il punto di consegna EE2. La quarta diramazione si estende per circa 1 km, si trova a valle di Lorenzè (nodo E1), e sale verso monte con un DN 100, fino al punto di consegna EE1.

L'asta B si estende per circa 30,4 km, compresi i rami secondari.

1.2.3 ASTA C

A partire dal nodo principale A7, il tracciato si estende verso Sud-Est fino al comune di Mazzè, con un diametro che varia da DN 350 a DN 200.

Segue inizialmente la SP222, poi devia verso la SP53 e la percorre tutta fino al comune di Caluso, aggira Caluso da Sud, seguendo a SS26 e si dirige verso Mazzè lungo la SP595.

Il punto di recapito (B8) è posto sulla parte collinare, a Nord del centro abitato di Mazzè, a una quota di circa 340 m s.l.m.

L'asta C presenta sette diramazioni, tre in sinistra orografica e quattro in destra; la prima, molto breve, circa 150 m va dal nodo B1 verso il punto di consegna BB1; la seconda, dal nodo B2 si estende verso il punto di consegna BB2 per circa 4,7 km verso Feletto seguendo la SP41 con un DN 200; la terza diramazione si estende dal nodo B3 verso Cuceglio (BB3) con un DN 200, per un'estensione di circa 2,2 km; la quarta, dal nodo B4 si estende per circa 150 m verso il punto di consegna BB4; la quinta si estende dal nodo B5 verso Sud, in direzione Foglizzo seguendo la SP82, con un DN 150, per un'estensione di 4,5 km (BB5); la sesta dal nodo B6 si estende a Nord verso Orio Canavese, seguendo la SP53, con un DN 200, per un'estensione di 3,7 km (BB6); la settima dal nodo B7 si addentra nel comune di Caluso, con un DN 300 e un'estensione di circa 1,9 km (BB7).

L'asta 3 si estende per circa 39 km, compresi i rami secondari.

1.2.4 ASTA D

A partire dal nodo principale A7, la condotta si estende verso Sud-Ovest fino a Busano, con un DN 500, piegando gradualmente verso Sud-Est fino a Lombardore, dove ha una quota di circa 230 m s.l.m., con un dislivello di 95 m rispetto al nodo principale A7; segue un tratto in direzione Bosconero, dove raggiunge il punto di consegna C6 a 250 m s.l.m., dove si hanno circa 20 metri di dislivello rispetto a Lombardore.

L'asta 5 presenta tre diramazioni principali: la prima si dirama dal nodo C1 verso Nord-Ovest seguendo la SP460 in un primo tratto e poi la SP13DIR, in direzione Valperga, con un DN 300 per circa 4 km (G2); la seconda diramazione dal nodo C1' va verso Sud, si estende per circa 250 m fino al punto di consegna CC1; la terza diramazione, lunga circa 3 km diparte dal nodo C2 in direzione Sud-Ovest con DN 300 diretta verso Favria; la quarta va verso Ovest, si estende dal nodo C3 per circa 500 m fino al punto di consegna CC3; la quinta diramazione dal nodo C4 va verso Nord-Ovest (CC4) con un DN 100, per un'estensione di circa 2,8 km in direzione di Busano e Rivara.

L'asta 4 si estende per circa 35 km, compresi i rami secondari.

Il nuovo acquedotto servirà i seguenti 39 comuni:

Asta 1	1	Locana	Asta 4	24	Rivarolo C.se
	2	Sparone		25	Busano
	3	Pont C.se		26	Rivara
	4	Cuorgnè		27	Bosconero
	5	Castellamonte		28	Bairo
Asta 2	6	Torre C.se		29	Agliè
	7	S. Martino C.se		30	Cuceglio
	8	Pavone C.se		31	Colleretto Giacosa
	9	Samone		32	Loranzè
	10	Salerano C.se		33	Parella
	11	Banchette		34	Oglianico
	12	Ivrea		35	Favria
Asta 3	13	Ozegna		36	Salassa
	14	Feletto		37	S. Ponso
	15	S. Giorgio C.se		38	Valperga
	16	S. Giusto C.se		39	Pertusio
	17	Foglizzo			
	18	Montalenghe			
	19	Orio C.se			
	20	Barone C.se			
	21	Candia C.se			
	22	Caluso			
	23	Mazzè			

Tabella 2: Comuni serviti dal nuovo acquedotto.

1.3 INTERFERENZE

Per lo studio del tracciato del nuovo acquedotto è necessario considerare tutti i tipi di interferenze presenti nel sito in esame. Distinguiamo innanzitutto le interferenze superficiali e quelle sotterranee.

Per le interferenze superficiali l'analisi è più semplice poiché sono facilmente rintracciabili e mappabili; queste interferenze sono costituite da infrastrutture quali la rete ferroviaria, autostradale e stradale.

Uno step molto importante della progettazione è la mappatura dei sottoservizi a rete. Questi molto spesso seguono il tracciato delle strade per comodità, così come l'acquedotto attualmente in progetto; nei punti dove il tracciato dell'acquedotto interseca

il tracciato di altri sottoservizi, bisogna risolvere l'interferenza operando degli accorgimenti studiati caso per caso, o eventualmente deviando il tracciato del nuovo acquedotto nei punti più critici.

I sottoservizi/ infrastrutture a rete coinvolti nel tracciato sono:

- elettrodotto/ alta tensione;
- illuminazione semaforica e illuminazione pubblica;
- distribuzione di energia elettrica;
- rete gas;
- linee telefoniche e fibre ottiche;
- acquedotto e fognatura esistenti.

2 CRITERI DI VALUTAZIONE PROGETTUALE

Tra i principali criteri di valutazione progettuale vi è l'analisi dei vincoli sul territorio; questi sono di varia natura [9]:

- vincoli relativi all'orografia del territorio;
- vincoli relativi al reticolo idrografico;
- vincoli di natura infrastrutturale- acquedottistica;
- vincoli urbanistici;
- infrastrutture autostradali;
- infrastrutture viarie;
- infrastrutture ferroviarie;
- siti produttivi e strutture destinate a servizi;
- vincoli di carattere colturale;
- metanodotti ed altri sottoservizi.

Nel lavoro svolto, sono stati analizzati i vincoli di natura idrografica, volti alla risoluzione delle interferenze generate tra il tracciato acquedottistico ed il reticolo idrografico esistente.

2.1 VINCOLI IDROGRAFICI

La zona oggetto dell'intervento è caratterizzata da un complesso reticolo idrografico, con presenza di numerosi corsi d'acqua naturali ed artificiali.

La risoluzione dell'interferenza con il reticolo idrografico viene eseguita mediante attraversamenti che possono essere realizzati sia in scavo tradizionale che mediante soluzioni in sotterraneo (trenchless/No Dig), o attraverso una struttura aerea. È stato fatto pertanto uno studio approfondito sul reticolo idrografico, volto alla definizione della migliore tipologia di attraversamento.

Il sistema idrografico che caratterizza il territorio è composto da fiumi, torrenti, corsi d'acqua e dalla presenza di sistemi irrigui, pertanto al fine di gestire tale sistema in maniera più efficiente, il reticolo idrografico (Figura 4) è stato suddiviso in due principali categorie[3]:

1. reticolo idraulico principale [RP];

2. reticolo irriguo [RI].

Tale suddivisione ha inoltre permesso di identificare in maniera più semplice anche i vari enti gestori, al fine di richiedere pareri e autorizzazioni in fase di progettazione definitiva.

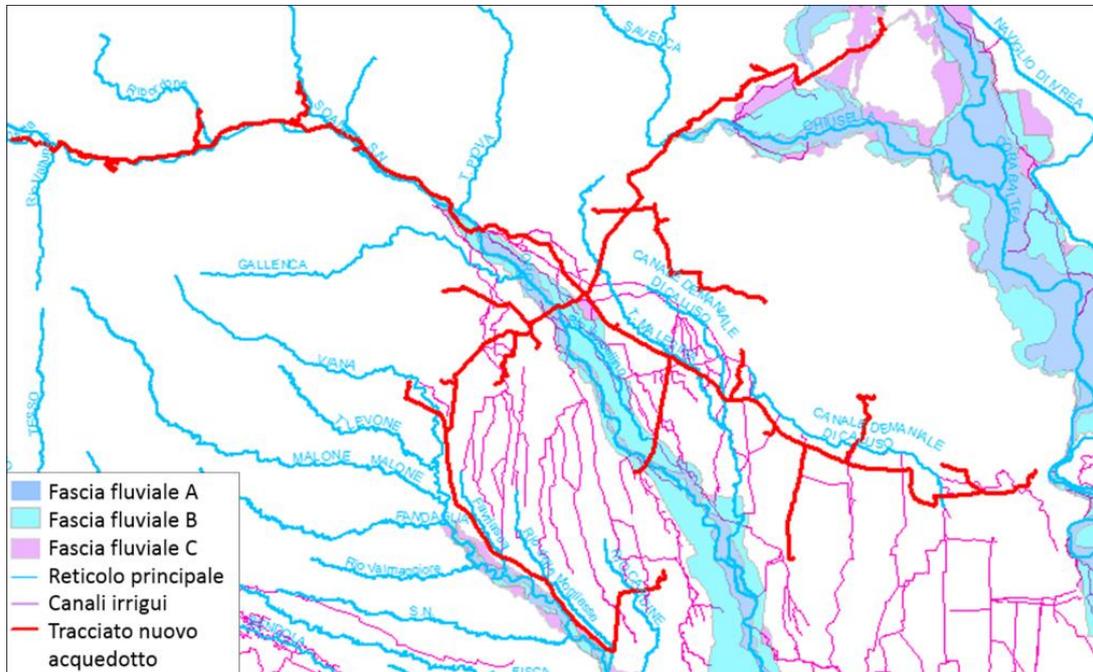


Figura 4: Reticolo idrografico principale e reticolo irriguo.

2.2 RETICOLO IDRAULICO PRINCIPALE

I principali corsi d'acqua presenti nell'area in progetto sono il Torrente Orco, Torrente Soana, Torrente Malesina, Torrente Chiusella e Torrente Viana. Di seguito è riportato un elenco di tutti i corsi d'acqua del reticolo idrico principale:

1. Torrente Soana;
2. Rio Gallina;
3. Torrente Orco (5 attraversamenti);
4. Canale Peschiera;
5. Rio San Pietro;
6. Torrente Malesina (2 attraversamenti);
7. Torrente Chiusella;
8. Roggia dei Mulini;

9. Rio Ribes;
10. Rio Gais;
11. Rio Cua;
12. Rio Ciconio;
13. Rio Vercellino;
14. Rio Molinatto;
15. Gora di Ozegna;
16. Rio Levesa (3 attraversamenti);
17. Torrente Viana;
18. Favriasca;
19. Rio Torto;
20. Bialera di Provanina;
21. Rio Cardine;
22. Altri corsi d'acqua senza nome.

Essi ricadono nell'area individuata dai bacini idrografici dei torrenti Orco, Malone e Chiusella.

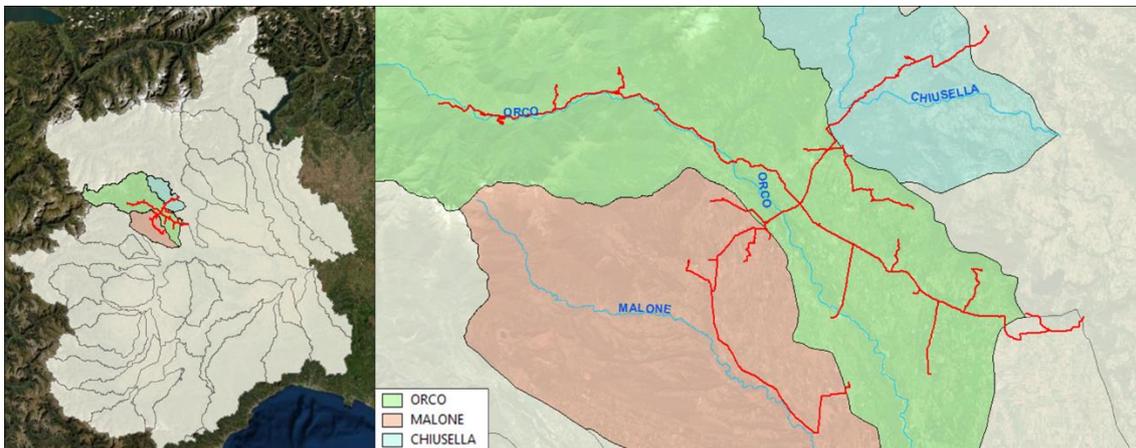


Figura 5: Bacini idrografici in cui ricade l'area in esame.

2.2.1 TORRENTE ORCO

Il Torrente Orco, per le sue dimensioni, le caratteristiche idro-morfologiche e la sua storia di eventi alluvionali, costituisce il vincolo idrografico più importante di tutta l'area in progetto.

Il torrente ha origine dal lago Rosset [4], sul versante meridionale del massiccio del Gran Paradiso, nelle Alpi Graie; il suo bacino idrografico si estende per una superficie di circa 930 km².

Si possono distinguere due sottobacini principali, quello di carattere montano e quello vallivo (Figura 6).

Per i primi 50 km circa assume le caratteristiche di tipico torrente montano, con alveo inciso tra le pareti rocciose, passando attraverso numerosi laghi artificiali e opere di regolazione per produzione di energia idroelettrica, quali il lago Agnel, il lago di Serrù, il lago di Ceresole ed altri laghi minori; il tratto montano si estende fino a Pont Canavese, a valle della confluenza del torrente Soana in Orco. Più a valle, nei pressi dell'altopiano canavesano, inizia ad assumere un andamento pianeggiante per una lunghezza di circa 40 km, fino alla confluenza in Po nei pressi di Chivasso (Figura 7). In questo secondo tratto il torrente cambia il suo regime, l'alveo si espande, si generano rami secondari che si riempiono solo in caso di morbida o di piena. Da Pont Canavese la pendenza diminuisce e genera piene rapide con grande apporto di materiale solido; il deposito di materiale genera un disalveamento del fondo e formazione di nuovi rami, provocando spesso esondazioni in campi coltivati circostanti.

La portata media è di 24,4 m³/s; la massima portata registrata è di 1410 m³/s [4], durante la piena del Settembre 1947, all'altezza di Pont Canavese. Il massimo tirante che si registra è di 3 metri sopra lo zero idrometrico, all'altezza di Foglizzo.

A seguito delle piene del '93 e del 2000 si sono registrati ampi fenomeni di erosione spondale e di fondo, soprattutto alle altezze di Rivarolo, Feletto e Valperga; in queste occasioni il torrente è tornato ad occupare canali ormai abbandonati da anni.

Nel progetto del nuovo acquedotto il Torrente Orco viene coinvolto dall'altezza di Pont Canavese fino a Feletto, in 5 attraversamenti di cui 4 subacquei e uno aereo; in questo tratto il torrente è di competenza della Regione Piemonte.

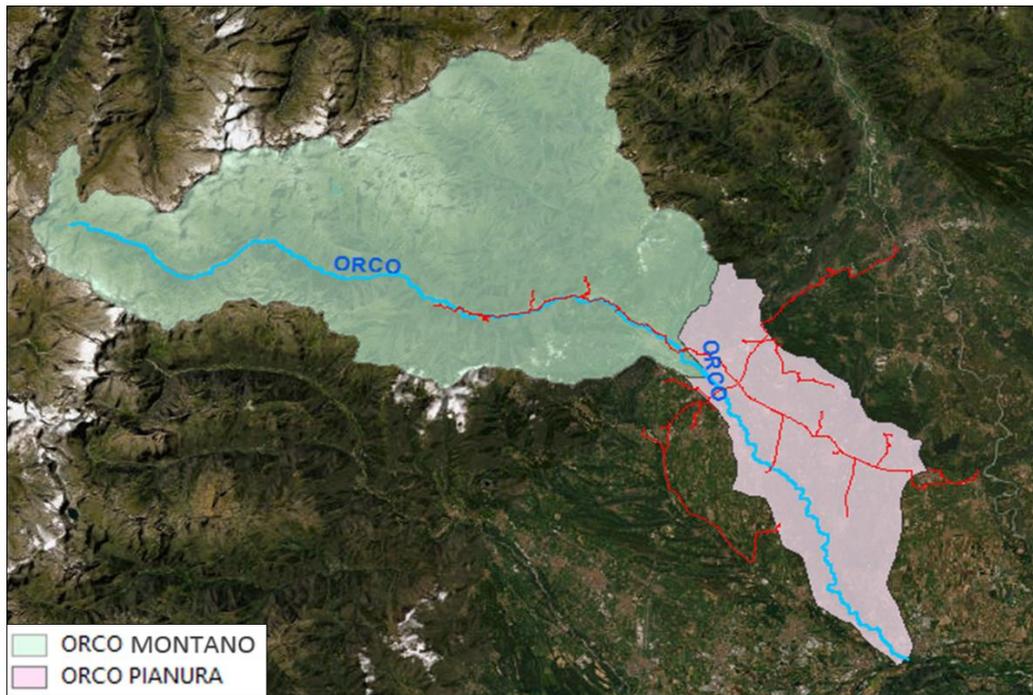


Figura 6: Bacino del torrente Orco; in verde il bacino a carattere montano; in rosa il bacino a carattere vallivo.

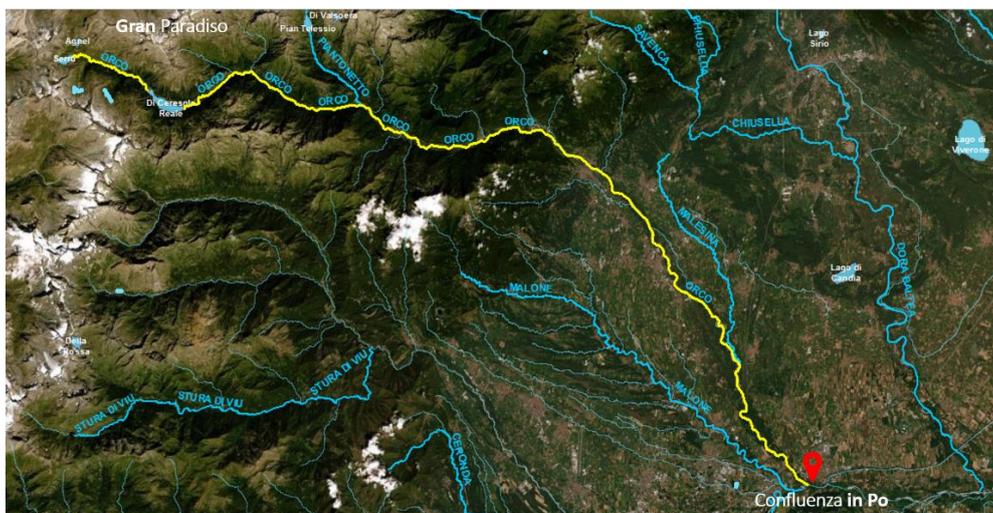


Figura 7: Sviluppo del Torrente Orco.

2.2.2 TORRENTE SOANA

Il torrente Soana rappresenta uno dei maggiori affluenti del torrente Orco; nasce a Piamprato [5] e si sviluppa per circa 24,7 km nell'omonima valle; confluisce in Orco all'altezza di Pont Canavese. Il torrente Soana ha l'assetto morfologico tipico di un torrente montano, con pendenze molto ripide e velocità elevate; ha una portata media di $7,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Esso viene coinvolto per un breve tratto, subito a monte della confluenza in Orco.

2.2.3 TORRENTE MALESINA

Il torrente Malesina nasce a circa 600 m s.l.m. dalle colline di Muriaglio [6], a Castellamonte, e si sviluppa per circa 1,4 km con una portata di 1,4 m³/s; sfocia in Orco all'altezza di Foglizzo. Il torrente presenta alveo monocursale, sinuoso e a tratti meandriforme, rettilineo solo in brevi tratti grazie ad interventi antropici; esso viene attraversato in due punti: all'altezza di Castellamonte/Bairo e all'altezza di San Giorgio Canavese; nei tratti interessati dagli attraversamenti il torrente mantiene il suo corso tipicamente sinuoso.

2.2.4 TORRENTE CHIUSELLA

Il Torrente Chiusella nasce dal Monte Marzo [7] e si sviluppa per circa 40 km. Esso confluisce in Dora Baltea all'altezza dell'abitato di Cerone. Ha una portata media di 6,1 m³/s; presenta un andamento sinuoso per tutto il suo sviluppo, con portate e velocità elevate, scavando un alveo talvolta molto inciso.

2.2.5 ENTI GESTORI DEI CORSI D'ACQUA

Tutti i corsi d'acqua dell'area in esame sono di competenza della Regione Piemonte, ad eccezione dei corsi d'acqua che determinano gli attraversamenti ID11, ID12, ID13 e ID14, che ricadono rispettivamente nei comuni di Parella, Colletterto Giacosa, Colletterto Giacosa e Samone/Pavone Canavese; essi sono di competenza dell'AIPO (secondo quanto riportato nella nota 155 del 05/02/2018, Fasc.155_2018 A).

Di seguito viene riportato l'elenco degli attraversamenti del reticolo idrico principale.

LOTTO	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	DN Tubazione	Ente gestore
1	ID	1	Pont Canavese	Torrente Soana	800	Regione Piemonte
	ID	2	Cuornè/Pont Canavese	Rio Gallina	800	Regione Piemonte
	ID	3	Cuornè	Torrente Orco	250	Regione Piemonte
	ID	4	Cuornè	Canale Peschiera	800	Regione Piemonte

LOTTO	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	DN Tubazione	Ente gestore
	ID	5	Cuornè	Torrente Orco	800	Regione Piemonte
	ID	6	Cuornè/Valperga	Torrente Orco	800	Regione Piemonte
	ID	7	Castellamonte	Rio San Pietro	800	Regione Piemonte
2	ID	8	Castellamonte/Bairo	Torrente Malesina	700	Regione Piemonte
	ID	9	Torre Canavese/Baldissero Canavese	Strada	250	Regione Piemonte
	ID	10	Strambinello	Torrente Chiusella	450	Regione Piemonte
	ID	11	Parella	Strada	450	AIPO
	ID	12	Colletterto Giacosa	Strada	450	AIPO
	ID	13	Colletterto Giacosa	Roggia dei Mulini	450	AIPO
	ID	14	Samone/ Pavone Canavese	Rio Ribes	450	AIPO
	ID	15	Agliè	Rio Gais	200	Regione Piemonte
	ID	16	Agliè	Rio Cua	200	Regione Piemonte
3	ID	17	Ciconio	Rio Ciconio	200	Regione Piemonte
	ID	18	Lusigliè	Rio Vercellino	200	Regione Piemonte
	ID	19	Feletto	Torrente Orco	200	Regione Piemonte
	ID	20	San Giorgio Canavese	Torrente Malesina	350	Regione Piemonte
	ID	21	San Giorgio Canavese	Rio Molinatto	300	Regione Piemonte
4	ID	22	Castellamonte	Gora di Ozegna	500	Regione Piemonte
	ID	23	Castellamonte/Salassa	Torrente Orco	500	Regione Piemonte
	ID	24	Castellamonte	S.N.	500	Regione Piemonte

LOTTO	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	DN Tubazione	Ente gestore
	ID	25	Valperga	Rio Levesa	300	Regione Piemonte
	ID	26	Valperga	S.N.	300	Regione Piemonte
	ID	27	Oglianico	Rio Levesa	300	Regione Piemonte
	ID	28	Salassa	Rio Levesa	500	Regione Piemonte
	ID	29	Salassa/ Oglianico	S.N.	500	Regione Piemonte
	ID	30	Busano	Torrente Viana	100	Regione Piemonte
	ID	31	Favria	Favriasca	400	Regione Piemonte
	ID	32	Favria	S.N.	400	Regione Piemonte
	ID	33	Rivarossa/ Oglianico/ Rivarolo Canavese	Rio Torto	400	Regione Piemonte
	ID	34	Rivarolo Canavese	S.N.	400	Regione Piemonte
	ID	35	Rivarolo Canavese	Bialera di Provanina	400	Regione Piemonte
	ID	36	Rivarolo Canavese	Rio Cardine	400	Regione Piemonte

Tabella 3: Attraversamenti del reticolo idrico principale.

2.3 RETICOLO IRRIGUO

Il tracciato coinvolge molti canali irrigui, utilizzati in parte a scopo idroelettrico e in parte a integrazione di portata a scopo irriguo; vengono elencati di seguito:

1. Roggia di Oglianico;
2. Canale dei Mulini/ Canale di Agliè;
3. Canale dei Molini;
4. Canale di Caluso/Canale Demaniale (4 attraversamenti);
5. Gora di Agliè;

6. Gora dell'Abbazia;
7. Gora S.Giorgio;
8. Vadopiano;
9. Staglia;
10. Rodallo;
11. Gora di Agliè;
12. Canale di Rivarolo;
13. tre diramazioni della Roggia di Favria;
14. Roggia di Favria;
15. Rio Levesa;
16. Altri canali irrigui senza nome.

2.3.1 CANALE DEMANIALE DI CALUSO

Tra i principali canali irrigui coinvolti vi è il Canale Demaniale di Caluso. Questo viene intersecato in quattro punti, denominati IR05, IR06, IR16 e IR21, all'altezza di Castellamonte i primi due, Orio Canavese e Caluso. Due di questi attraversamenti, IR16 e IR21, sono previsti in staffaggio su ponte, quindi non interferiscono con il corso d'acqua in fase di realizzazione. Restano gli attraversamenti IR05 e IR06 da studiare nel dettaglio, per garantire la continuità della fornitura alle utenze durante la realizzazione degli attraversamenti.

Per analizzare le interferenze con il reticolo irriguo sono stati utilizzati i metadati scaricati dal sito della Regione Piemonte, sezione Sistema Informativo della Bonifica ed Irrigazione (SIBI). In particolare, le informazioni sui consorzi irrigui di appartenenza sono state ricavate dallo shaepfile denominato "consorzi_WEB".

LOTTE	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	Consorzi irrigui	DN Tubazione
1	IR	1	Cuorgnè	Roggia di Oglianico	CONSORZIO IRRIGUO DI FAVRIA-SALASSA-SAN PONSO/ ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	800
	IR	2	Castellamonte	Canale dei Mulini/ Canale di Agliè	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	800

LOTTE	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	Consorzi irrigui	DN Tubazione
	IR	3	Castellamonte	Canale dei Molini	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	800
	IR	4	Castellamonte	Strada	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	800
	IR	5	Castellamonte	Canale di Caluso/Canale Demaniale	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	800
2	IR	6	Castellamonte	Canale Demaniale	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	700
3	IR	7	Castellamonte	Gora di Agliè	ROGGIA DI AGLIE'/ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	350
	IR	8	Ozegna	S.N.	ROGGIA DI OZEGNA	200
	IR	9	Feletto	Gora dell'Abbazia	ROGGIA DI AGLIE'/ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	200
	IR	10	Ozegna	Gora S.Giorgio	ROGGIA DI OZEGNA	350
	IR	11	San Giorgio Canavese	Strada	CONSORZIO IRRIGUO DEL CANALE DI RIVAROLO CANAVESE	350
	IR	12	San Giorgio Canavese	Vadopiano	CONSORZIO IRRIGUO DEL CANALE DI RIVAROLO CANAVESE	350
	IR	13	San Giorgio Canavese	S.N.	ROGGIA DEI MULINI DI CASTELLAMONTE	350
	IR	14	San Giorgio Canavese	Strada	ROGGIA DI OZEGNA	350
	IR	15	Foglizzo/San Giusto Canavese	Strada	ROGGIA DI OZEGNA	150
	IR	16	Orio Canavese	Demaniale di Caluso	CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	200
	IR	17	Orio Canavese	Staglia	CONSORZIO DI MIGL. FONDARIO ROGGIA S. GIORGIO	300
IR	18	Barone Canavese	S.N.	CONSORZIO DI MIGL. FONDARIO ROGGIA S. GIORGIO	300	

LOTTI	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	Consorzi irrigui	DN Tubazione
	IR	19	Caluso	Rodallo	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	300
	IR	20	Caluso	S.N.	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	300
	IR	21	Caluso	Demaniale di Caluso	CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	300
	IR	22	Caluso	S.N.	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	300
	IR	23	Caluso	S.N.	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	300
4	IR	24	Castellamonte	Gora di Agliè	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	500
	IR	25	Castellamonte	S.N.	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	500
	IR	26	Salassa	Canale di Rivarolo	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	500
	IR	27	Salassa	tre diramazioni della Roggia di Favria	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	150
	IR	28	Oglianico	Strada	ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	300
	IR	29	Oglianico	Roggia di Favria	ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	300
	IR	30	Oglianico	S.N.	ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	500
	IR	31	Lombardore	Rio Levesa	ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	400
	IR	32	Rivarolo Canavese	S.N.	ROGGIA COMUNALE DI OGLIANICO	400
	IR	33	Rivarolo Canavese	S.N.	CONSORZIO DI MIGL. FONDARIO ROGGIA S. GIORGIO	400
IR	34	Bosconero	S.N.	CONSORZIO DEI CANALI DEL CANAVESE EX CONSORZIO DEL CANALE DI CALUSO	400	

LOTTI	N°		Comune	Corso d'acqua o strada	Consorzi irrigui	DN Tubazione
	IR	35	Bosconero	S.N.	CONSORZIO IRRIGUO DEL CANALE DI RIVAROLO CANAVESE	400

Tabella 4: Attraversamenti del reticolo irriguo.

2.4 FASCE FLUVIALI PAI VIGENTI

Data la ricchezza idrografica del territorio in esame è stata effettuata un'analisi sulle interferenze della nuova condotta con le fasce fluviali vigenti.

I metadati delle fasce fluviali dei corsi d'acqua in esame sono stati scaricati dal Geoportale della Regione Piemonte, il file utilizzato è denominato "fasce fluviali vigenti", di responsabilità della Regione Piemonte, revisionato nel 2013.

Le fasce PAI sono definite come segue [8]:

“Fascia di deflusso della piena (Fascia A):

Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:

- fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);

- limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);

- Fascia di esondazione (Fascia B):

Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:

- le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;

- le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C):

Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione dell'area soggetta ad inondazione viene eseguita con gli stessi criteri adottati per la fascia B, tenendo conto delle aree con presenza di forme fluviali fossili. Per i corsi d'acqua arginati l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche corrispondenti alla piena:

- altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini,

- altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.”

La delimitazione di tali zone è stata individuata tenendo conto [3]:

- a) “del sistema di classificazione delle fasce individuate dal Piano di Assetto Idrogeologico – PAI (A, B e C);
- b) delle aree che risultano geomorfologicamente, pedologicamente ed ecologicamente collegate alle dinamiche idrauliche, dei paleoalvei e delle divagazioni storiche dei corsi d’acqua, con particolare riguardo agli aspetti paesaggistici;
- c) delle aree tutelate ai sensi dell’articolo 142, comma 1, lettera c., del Codice dei beni culturali e del paesaggio.

Le zone fluviali “allargate” comprendono interamente le aree di cui alle lettere a., b., c.; le zone fluviali “interne” comprendono le aree di cui alla lettera c. e le fasce A e B

del PAI; in assenza delle fasce del PAI, la zona fluviale interna coincide con le aree di cui alla lettera c”.

L’interferenza con le fasce PAI è obbligata per gli attraversamenti idrici; la progettazione delle opere in corrispondenza degli attraversamenti deve però tener conto della seguente prescrizione del PAI riguardante la costruzione di opere permanenti in fasce fluviali, come pozzetti d’ispezione o pozzi di spinta: “le eventuali trasformazioni devono garantire la conservazione dei complessi vegetazionali naturali caratterizzanti il corso d’acqua, anche mediante misure mitigative e compensative atte alla ricostituzione della continuità ambientale del fiume e al miglioramento delle sue caratteristiche paesaggistiche e naturalistico-ecologiche”.

Le aree del tracciato che ricadono nelle fasce fluviali PAI sono riportate in Figura 8.

Le fasce fluviali del torrente Orco vengono più volte interessate dal tracciato; all’altezza di Cuornè, superato l’attraversamento del ponte della SP460, in sinistra orografica il tracciato ricade per un tratto in fascia A, dopo l’attraversamento, e poi permane in fascia B fino ad attraversare nuovamente il Torrente Orco da sinistra a destra (Figura 8, area 1).

Altro punto critico per il Torrente Orco è all’altezza di Feletto (Figura 8, area 5) dove il tracciato attraversa per un tratto di circa 850 m la fascia B, per poi attraversare l’alveo da sinistra a destra.

Un ultimo attraversamento del torrente Orco è previsto all’altezza di Salassa, a monte del ponte della SS565 (Figura 8, area 6). Qui il tracciato taglia l’alveo perpendicolarmente, attraversando le fasce A e B, e la fascia C in sinistra orografica.

Il Torrente Chiusella viene attraversato in un solo punto, nel comune di Strambinello, attraversando la fascia A e la fascia B PAI del torrente (Figura 8, area 2): per un primo tratto lungo circa 325 m in destra attraversa la fascia B, poi attraversa la fascia A in alveo e in sponda sinistra per circa 170 m, e poi un breve tratto in fascia B di circa 100 m in sinistra orografica.

Più avanti col tracciato, vicino la rotonda della SS565 all’altezza di Lorenzè, il tracciato torna a interferire con la fascia C PAI del torrente Chiusella, che si estende per

un breve tratto, esterna alla fascia B che si estende invece per un tratto molto ampio verso Nord.

Il Rio Ribes viene attraversato in un punto, all'altezza di Samone/Pavone Canavese. Qui il tracciato attraversa la fascia A e B del rio, per un'estensione di circa 140 m (Figura 8, area 3).

Il Rio Rialass non viene direttamente attraversato poiché confluisce in Ribes poco più a Nord del tracciato.

Poco più avanti, il tracciato ricade nella fascia C PAI comune ai Rii Ribes, Rialass e Dora Baltea per un'estensione di circa 1,7 km (Figura 8, area 4).

Anche alcuni attraversamenti di canali irrigui ricadono nelle fasce fluviali dei corsi d'acqua in loro prossimità:

- L'attraversamento del canale di Rivarolo, IR26, a monte del ponte della SS565 all'altezza di Salassa ricade nella fascia fluviale B del torrente Orco, ed è prevista la realizzazione in subalveo (Figura 8, area 6);
- L'attraversamento della Gora di Agliè, in seguito denominato IR24, ricade in fascia C del Torrente Orco, all'altezza di Salassa (Figura 8, area 6);
- IR25, ricadente in fascia B del Torrente Orco, altezza Salassa (Figura 8, area 6);
- Attraversamento della Roggia di Oglianico, IR01, che ricade nella fascia B del Torrente Orco, in Cuornè (Figura 8, area 1);
- Attraversamento del canale dei Mulini e del Canale di Agliè, IR02 (Figura 8, area 1);
- Attraversamento IR09 ricadente in fascia B del Torrente Orco, in destra orografica, all'altezza di Feletto (Figura 8, area 5).

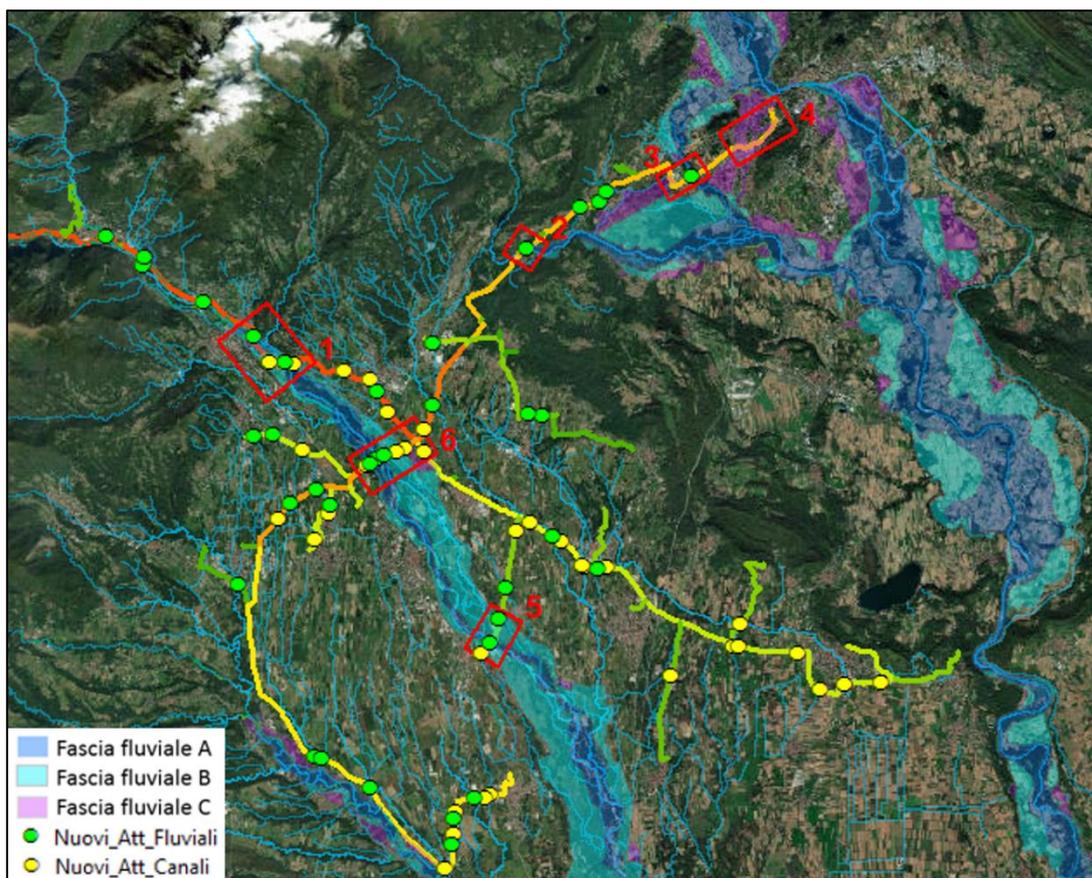


Figura 8: Interferenze del tracciato con le fasce fluviali PAI.

Area	Attraversamenti idrici coinvolti	Corso d'acqua	Comune	Fasce
1	ID05 - ID06 - IR01 - IR02	Torrente Orco	Cuornè	A-B
2	ID10	Torrente Chiusella	Strambinello	A-B
3	ID14	Rio Ribes	Samone/ Pavone Canavese	A-B-C
4	-	Rio Ribes-Rialass-Dora Baltea	Samone	C
5	ID18 - ID19 - IR09	Torrente Orco	Feletto	A-B
6	ID22 - ID23 - ID24 - IR24 - IR25 - IR26	Torrente Orco	Salassa	A-B-C

Tabella 5: Aree studio per interferenza del tracciato con le fasce fluviali PAI.

3 ATTRAVERSAMENTI

Una delle fasi della progettazione è lo studio dei vincoli presenti nell'area d'interesse. Tali vincoli, come espresso nel capitolo 2 sono di diversa natura. In questo capitolo vengono studiate le modalità costruttive degli attraversamenti idrici.

Esistono diverse modalità di risoluzione dei vincoli idrografici [10] (Figura 9).

Una prima distinzione fondamentale è quella tra attraversamenti subacquei e aerei.

Tra gli attraversamenti subacquei la distinzione è innanzitutto tra scavo a cielo aperto (subalveo) e attraversamento con tecnologie Trenchless o No Dig.

Per gli attraversamenti aerei invece, si distingue tra il caso in cui è presente un ponte preesistente a cui staffare la condotta e il caso in cui non è presente un ponte o esso non è utilizzabile ai fini dell'attraversamento.

Di seguito sono stati descritti i metodi che vengono successivamente presi in considerazione nel progetto:

- subalveo: scavo in trincea;
- No Dig: microtunnelling, spingitubo, T.O.C.;
- aerei: staffaggio su ponte, attraversamento aereo su struttura portante.

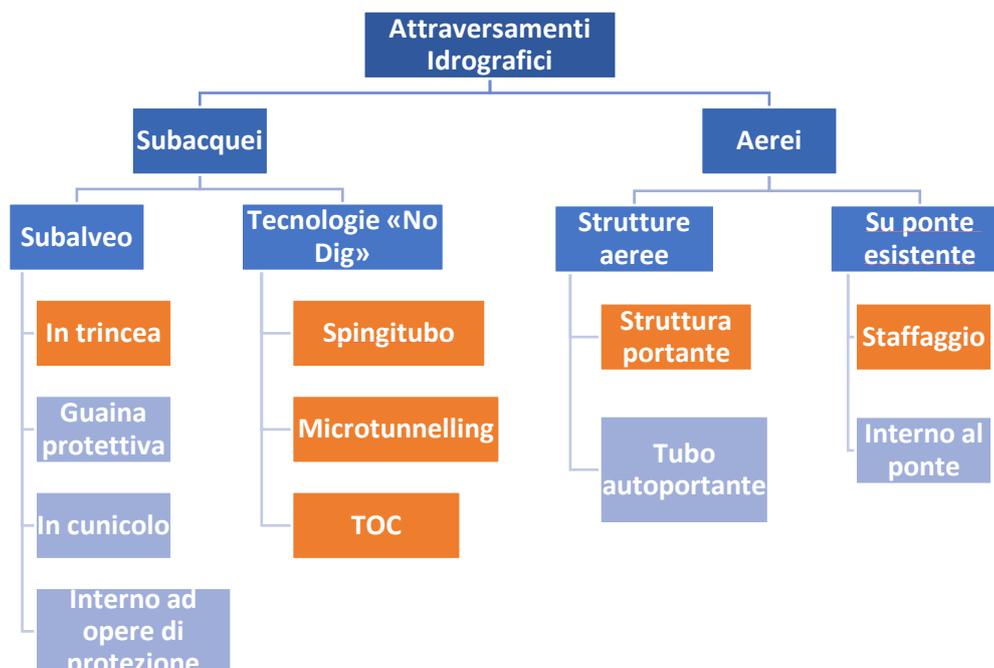


Figura 9: Tipologie d'attraversamento dei vincoli idrografici

3.1 TIPOLOGIE D'ATTRAVERSAMENTO

3.1.1 SUBALVEO: SCAVO TRADIZIONALE IN TRINCEA

Per attraversamenti in subalveo s'intende che la posa della condotta avviene con scavo a cielo aperto o scavo tradizionale in trincea.

La tipologia prevista per gli attraversamenti è prevalentemente lo scavo in trincea a pareti inclinate (o pareti verticali, protette con casseri metallici o in legno).

Lo scavo della trincea (successivamente denominato "in subalveo") avviene previa deviazione del corso d'acqua o parzializzazione della sua sezione, per il tempo necessario alla realizzazione dell'attraversamento [11]. La posa in trincea avviene secondo lo schema riportato in Figura 10: la condotta viene poggiata su un sottofondo in sabbia costipata o su uno strato di magrone con sella d'appoggio in calcestruzzo; poi viene ricoperta di sabbia costipata e materiale di risulta.

Uno dei vantaggi dello scavo in trincea è l'assenza di opere accessorie permanenti (come pozzi di spinta, necessari invece per le tecnologie spingitubo e microtunnelling), oltre che la sua economicità rispetto alle altre tecnologie, soprattutto nei casi di attraversamenti corti e con profondità di posa non molto elevata.

Ma questa modalità di scavo presenta alcuni svantaggi. In fase di cantiere si deve necessariamente sottrarre, seppur temporaneamente, parte della vegetazione generando una discontinuità ecologica. Talvolta inoltre può risultare complicato o impossibile deviare il corso d'acqua, per presenza di costruzioni, infrastrutture, vegetazione troppo fitta o impedimenti di natura ambientale.

In presenza di alvei molto larghi o molto profondi, può non essere la scelta migliore, sia per il fattore ambientale, che per quello economico, che per la sicurezza. Come descritto in seguito, le tecnologie No Dig sono invece delle ottime soluzioni per attraversamenti fluviali lunghi o profondi.

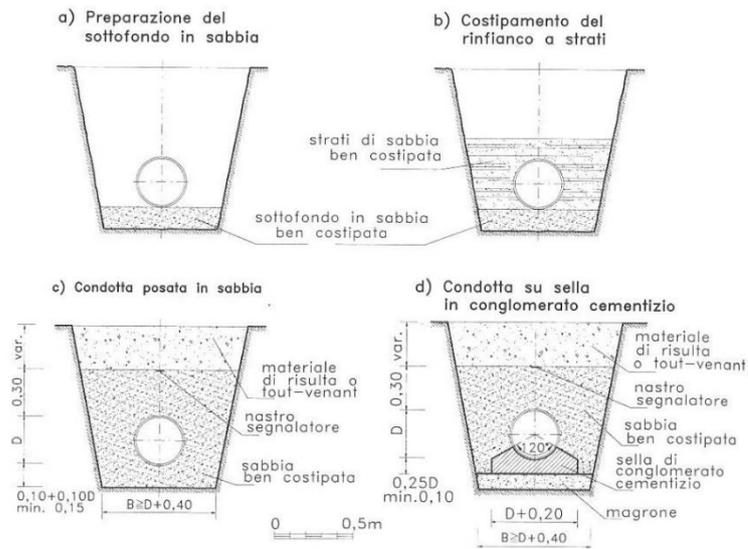


Figura 10: Attraversamento con scavo in trincea [10]

La profondità di scavo deve essere tale da garantire un adeguato ricoprimento della condotta, in previsione anche di cambiamenti morfologici del fondo dell'alveo dovuti a fenomeni di trasporto solido; si deve scongiurare il rischio di scalzamento della condotta. Lo studio del fenomeno erosivo può essere trascurato nel caso in cui l'attraversamento si trovi subito in prossimità di opere di stabilizzazione del fondo, di cui si può prevedere il comportamento morfodinamico.

In ogni caso la profondità di posa non deve essere inferiore a 1,5 m.

Sul fondo dell'alveo, in corrispondenza dell'attraversamento, si possono inoltre posizionare dei materassi tipo Reno o simili per evitare fenomeni erosivi [10]. Queste soluzioni devono essere studiate per casi specifici e adottate all'occorrenza.

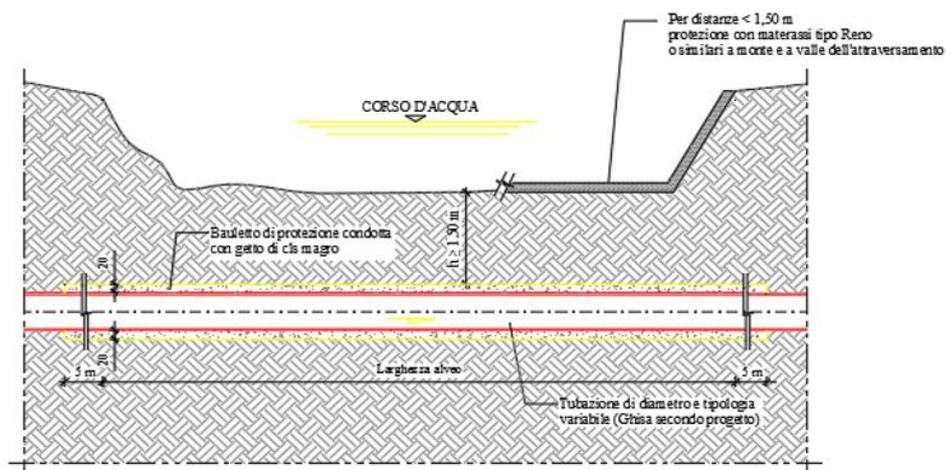


Figura 11: Attraversamento in subalveo [12]

cantiere è notevolmente ridotta, non necessitano di deviare il corso d'acqua, né di scavare e ripristinare l'alveo impattando su flora e fauna.

Le emissioni di CO₂ si riducono notevolmente [14] con l'utilizzo delle tecnologie trenchless (Tabella 6)

Tipo d'attraversamento	Per DN600; profondità 4 m; lunghezza 100 m		Per DN1200; profondità 4 m; lunghezza 100 m	
	Scavo in trincea	Trenchless	Scavo in trincea	Trenchless
Emissioni di CO ₂ (tonnellate)	66,7	27,1	110,6	69,7
% CO ₂	100 %	40,6 %	100 %	63,0 %

Tabella 6: Emissioni di CO₂ per lo scavo in subalveo e per lo scavo No Dig [14]

Inoltre, esse rappresentano ad oggi le tecniche più sicure di attraversamento: il rischio di infortuni in cantiere è molto ridotto rispetto alle tecniche di scavo tradizionali; portano a una riduzione del 67% di infortuni sui cantieri (secondo INAIL) e una riduzione dell'80% dei costi sociali e ambientali (secondo TILab).

I vantaggi che si ottengono col trenchless sono quindi:

- minimizzazione della movimentazione di materiale e di mezzi pesanti;
- minor tempo di realizzazione dell'attraversamento;
- eliminazione di pericoli legati allo scavo a cielo aperto e maggiore sicurezza in cantiere;
- minori emissioni di CO₂;
- minimizzazione dell'impatto sul traffico, nel caso di attraversamento in prossimità di strade.

In alcuni casi anche il costo risulta conveniente rispetto all'attraversamento in subalveo, ma ciò è da considerare nei casi specifici, poiché dipende da parametri quali il diametro della condotta, la profondità di posa, la lunghezza dell'attraversamento, le caratteristiche geotecniche del terreno.

Le tecniche No Dig più utilizzate sono lo spingitubo, il microtunnelling e la Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C., o Horizontal Directional Drilling, HDD).

Il loro campo di applicabilità varia a seconda delle caratteristiche geotecniche del sito (Figura 13).

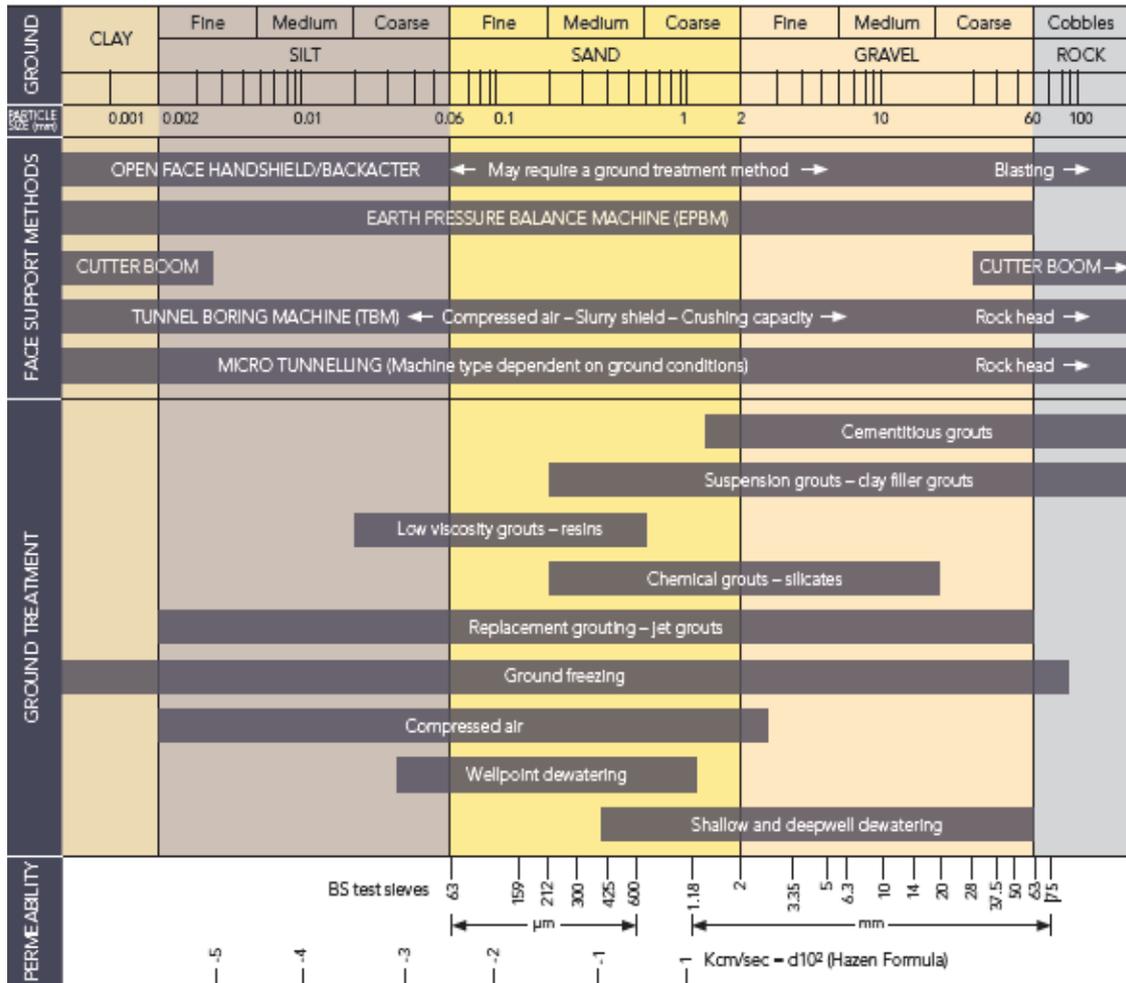


Figura 13: Campo di applicabilità delle diverse tecnologie No Dig in funzione del tipo di suolo [14]

3.1.2.1 SPINGITUBO

La tecnica spingitubo è la più classica delle tecnologie No Dig [15]. Essa prevede l'utilizzo di un mezzo di perforazione orizzontale che scava un tunnel nel quale vengono spinti, man mano che lo scavo avanza, i singoli conci della condotta che vengono poi giuntati; lo scavo non può essere direzionato.

Esistono diverse teste scavatrici a seconda della tipologia di terreno (Figura 15).



Figura 14: Tipica disposizione per scavo in spingitubo [14]

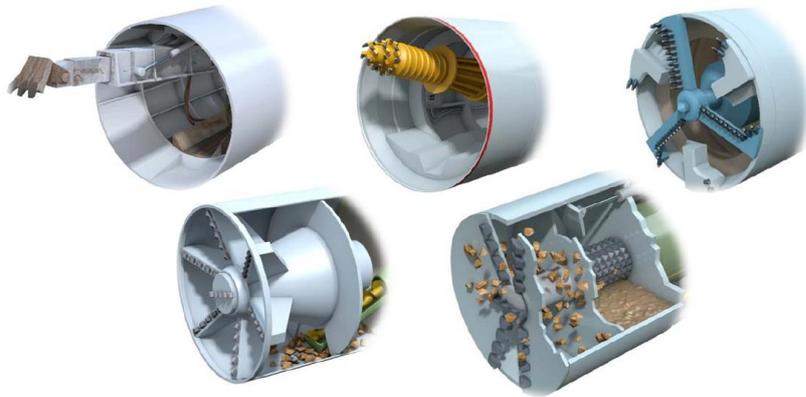


Figura 15: Teste di scavo per attraversamenti in spingitubo [14]

La prima operazione è la costruzione dei pozzi di partenza e di arrivo [16]. Il pozzo di partenza funge anche da camera di spinta; esso ha solitamente dimensioni 8 m x 6 m circa con profondità variabile a seconda della profondità dell'attraversamento, considerando un franco di circa 60 cm in profondità per la lavorazione di saldatura o giunzione. Nel pozzo d'entrata viene collocata la macchina di perforazione, che può funzionare o tramite martinetti idraulici o con martello pneumatico. Il pozzo di partenza deve quindi essere opportunamente dimensionato in modo da garantire la controspinta necessaria alla macchina perforatrice. Tale aspetto deve essere tenuto in conto nel dimensionamento strutturale e geotecnico.

Il materiale scavato viene convogliato in tubi camicia di acciaio di resistenza adeguata a sopportare la spinta del terreno; da qui il materiale già frantumato viene rimosso tramite una còclea.

Uno dei limiti della tecnologia spingitubo è la lunghezza di scavo; l'attrito tra terreno e condotta infatti può risultare molto elevato. La lunghezza massima di scavo dipende quindi dal tipo di terreno e dal diametro di scavo. In Tabella 7 sono riportati dei valori indicativi di lunghezza di attraversamento massimo in funzione del diametro di scavo.

Diametro (m)	< 0,9	0,9	1,0	1,2	1,35	1,5	1,8	1,9	2,1	2,4
Lunghezza scavo (m)	150	200	250	450	550	700	900	1000	1000	2000

Tabella 7: Lunghezze massime di scavo con tecnologia spingitubo [14].

Per lunghezze maggiori di quelle riportate in tabella è possibile aggiungere delle stazioni di spinta intermedie.

3.1.2.2 MICROTUNNELLING

Una delle tecnologie No Dig più utilizzate è la tecnologia del microtunnelling, che prevede la perforazione per mezzo della macchina detta MTBM (Micro Tunnel Boring Machine).

La MTBM [17] è una macchina fresante telecomandata che scava a sezione piena; la sezione di scavo sarà dunque della stessa dimensione del diametro esterno della macchina. La condotta viene inserita in conci in contemporanea all'avanzamento dello scavo, evitando di incorrere in cedimenti del fronte di scavo.

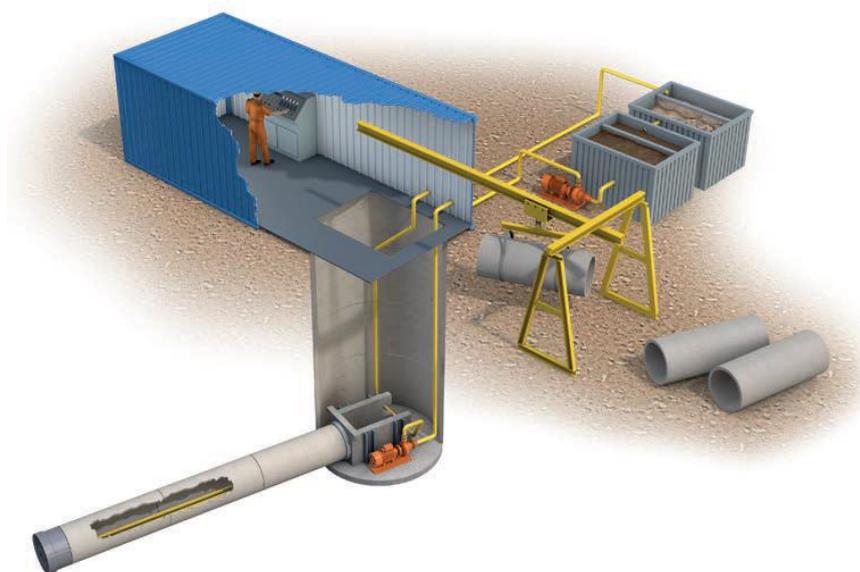


Figura 16: Tipica disposizione per scavo in microtunnelling [14].

I materiali di risulta vengono riportati verso la sezione di uscita grazie a un meccanismo di smarino a circolazione idraulica o con cinta o carrellini, e vengono accumulati in un container.

La traiettoria dello scavo viene controllata tramite una sorgente laser posta nel pozzo di partenza che rileva posizione e inclinazione della testa fresante [18]. Correzioni di percorso possono venire effettuate tramite dei martinetti idraulici posti sulla testa fresante, azionabili singolarmente.

Se lo scavo è molto lungo e quindi l'attrito tra terreno e condotta è troppo elevato, può essere necessario aggiungere, dopo una certa distanza dal punto di partenza, una stazione di spinta intermedia, che trasmetta la spinta necessaria all'avanzamento di un certo tratto di condotta, troppo distante dalla sezione d'ingresso per risentire della spinta fornita dal punto di partenza. Le stazioni di spinta intermedie devono essere posizionate in modo da far avanzare la condotta senza bloccarsi per effetto dell'attrito.

Esistono diversi tipi di testa fresante a seconda della tipologia di terreno. La testa utilizzata deve essere la stessa per tutta la durata dello scavo; essa deve quindi essere scelta in modo che sia idonea a frantumare il terreno o la roccia più compatto di tutto lo scavo.

Al termine della fase di scavo, all'interno del tubo spinto sezione per sezione, si posiziona la condotta che costituirà l'acquedotto. La tubazione spinta inizialmente nello scavo servirà quindi da camicia, mentre al suo interno vi sarà la condotta dell'acquedotto.

La camicia dovrà avere un diametro tale da garantire un franco di manovra per l'inserimento della condotta interna; il franco richiesto è circa il 30% del diametro esterno della condotta dell'acquedotto.

La differenza fondamentale tra il microtunnelling e lo spingitubo è che lo scavo con spingitubo non può essere direzionato, mentre col microtunnelling si ha una libertà di deviazione del 30% rispetto alla livelletta in salita e del 10% in discesa [17].

3.1.2.3 TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA-T.O.C. (O HDD)

La perforazione in T.O.C. è una tecnologia No Dig che permette di eseguire attraversamenti molto lunghi con traiettorie anche curvilinee, senza eseguire scavi a cielo aperto. È una delle tecniche più utilizzate per realizzare lunghi attraversamenti senza impattare eccessivamente sui costi e sull'ambiente e senza coinvolgere aree sensibili.

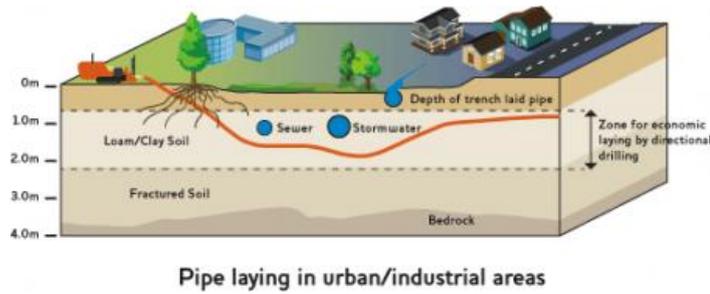


Figura 17: Attraversamento con tecnologia T.O.C. [19]

Le fasi operative per la posa di una tubazione mediante T.O.C. sono essenzialmente tre:

1. esecuzione del foro pilota;
2. alesatura del foro;
3. tiro e posa della tubazione.

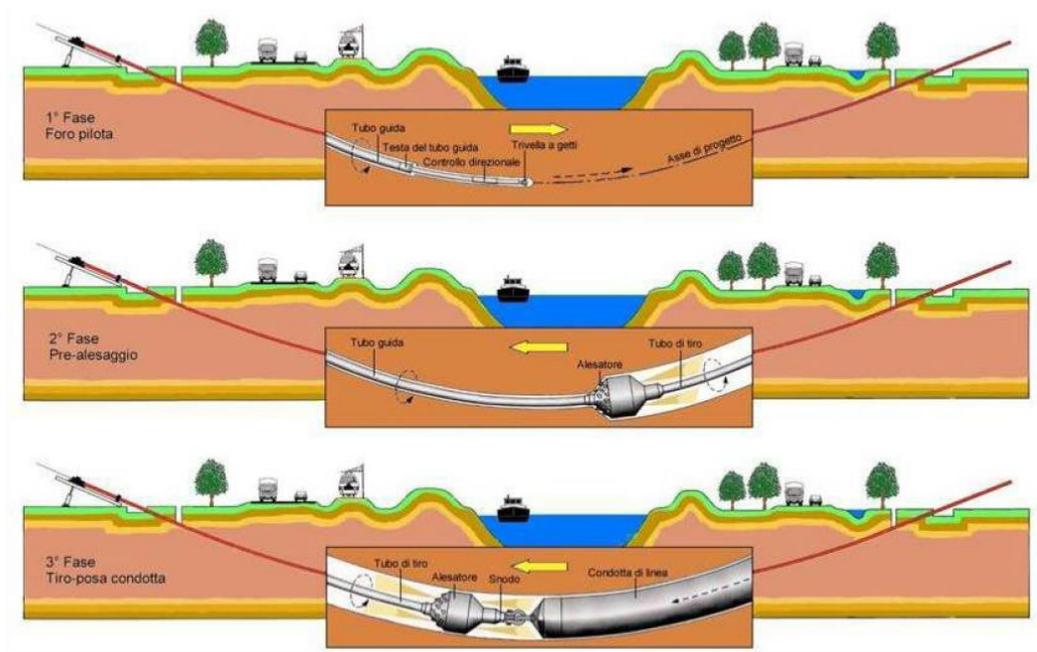


Figura 18: Fasi operative per lo scavo con tecnologia T.O.C. [17]

Segue una descrizione delle tre fasi.

- Esecuzione del foro pilota:

La prima fase di scavo prevede la trivellazione per mezzo di una testa perforatrice orientabile, connessa a più aste; questo sistema viene detto “sonda pilota”, e segue un percorso predefinito.

Dalla testa fuoriesce un fluido, tipicamente acqua o fanghi bentonitici, che serve a lubrificare le aste e la testa durante l'avanzamento. Tale fluido, mischiato al materiale di scavo, ripercorre il tragitto indietro e torna ad accumularsi nella sezione di ingresso, dove viene immagazzinato nell'apposita vasca, depurato e riutilizzato per lo stesso scopo. Tale schema di circolazione di fanghi è applicabile solo per terreni non molto compatti. Per rocce o terreni molto compatti si impiegano diversi sistemi di trivellazione a rotopercolazione, meno precisi nel seguire la direzione della traiettoria. Esistono metodi più precisi per perforare la roccia pur restando esattamente in linea con la traiettoria, quali la perforazione idromeccanica.

La direzione della sonda pilota viene controllata generalmente con onde radio o via cavo, utilizzando un apparecchio collocato all'interno della testa e in grado di fornire dati real time su profondità, inclinazione e direzione sul piano orizzontale. Il cambio di direzione può avvenire grazie alla particolare forma della testa pilota (Figura 19); essa infatti ha una forma asimmetrica, con una faccia inclinata e grazie alla lubrificazione di testa e aste si riesce ad avanzare lungo il tracciato ruotando la testa asimmetrica della sonda pilota.

Quando la testa perforatrice raggiunge la superficie della sezione di uscita, la fase di scavo del foro pilota è completa.



Figura 19: Tipologia di teste per lo scavo del foro pilota [20].

- Alesatura del foro:

Il foro pilota viene poi allargato, a partire dalla sezione d'uscita verso la sezione d'entrata, tramite un alesatore di diametro maggiore rispetto alla condotta da posare di circa il 20/30%, di diversa forma a seconda del tipo di terreno coinvolto; alcuni alesatori

sono anche in grado di aumentare o diminuire il loro diametro, per far fronte a eventuali variazioni di diametro della condotta da progetto.

Quando anche la fase di alesatura è stata completata, a seconda del tipo di terreno, si può effettuare una fase di tamponamento, in cui viene tirato dalla sezione di uscita verso quella di ingresso un altro alesatore di diametro minore rispetto al primo, continuando a iniettare il fluido (acqua o fango) diretto sta volta verso l'uscita. Questo fluido si miscela con la restante roccia frantumata e sedimento smosso. Tale operazione serve a stabilizzare il foro, oltre che a lubrificare l'alesatore e le aste.

- Tiro e posa della condotta:

Le sezioni di condotta vengono saldate presso la sezione di uscita, formando un'unica condotta. Bisogna prestare particolare attenzione alle giunzioni perché le sollecitazioni a cui sono soggette le tubazioni in T.O.C. sono più elevate rispetto alle tubazioni posate a cielo aperto. La condotta saldata viene poi testata con acqua in pressione e posizionata su rulli per ridurre gli attriti durante l'avanzamento.

A questo punto inizia la fase finale, l'inserimento della condotta nel foro. Essa viene agganciata dietro l'alesatore e viene trainata verso il sito d'entrata.

Alla fine del lavoro le aree di ingresso e di uscita vengono ripristinate alla condizione iniziale.

I dati necessari per elaborare il progetto di uno scavo in T.O.C. sono:

- curvatura e lunghezza della traiettoria;
- conoscenza delle aree circostanti per organizzare i siti di entrata e uscita;
- mappatura dei sottoservizi presenti;
- la tolleranza richiesta per la traiettoria;
- caratteristiche geotecniche del sito.

I principali vantaggi che derivano dall'applicazione di uno scavo in T.O.C. sono [19]:

- elevata sicurezza in cantiere;
- realizzazione dell'attraversamento molto veloce;
- non si intacca il corpo idrico, eliminando le operazioni di deviazione del corso d'acqua;
- eseguibilità in qualsiasi condizione atmosferica;

- riduzione di inquinamento da polveri dovute a scavi a cielo aperto;
- si può eseguire fino a profondità elevate senza aumento di rischio.

3.1.2.4 CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI TECNOLOGIE D'ATTRAVERSAMENTO

	Spingitubo	Microtunnelling	T.O.C.
D esterno della tubazione MIN [mm]	600	350	25
D esterno della tubazione MAX [mm]	3600	3600	1500
L max [m]	Dipende dal tipo di materiale scavato; per granulometria grossolana ~100 m.	Dipende dal diametro di scavo e dal materiale di scavo ~200-1000 m	2600+
Direzionabile	No	Si, da 2° a 12° a seconda del tipo di tubo	Si, da 2° a 12° a seconda del tipo di tubo
Tipologia terreno	Qualsiasi	Qualsiasi	Terreni con buone caratteristiche meccaniche. Non adatto a terreni con granulometria grossolana (ciottoli)
Posa sotto falda	Da valutare	Si	Si
Tipo di tubo	Ghisa, Acciaio, Polietilene	Ghisa, Acciaio, Polietilene	Acciaio, Polietilene
Costo	Tecnica economica	Tecnica costosa: - mobilitazione macchina - Realizzazione pozzi di spinta e di arrivo - Costo camicia in calcestruzzo	Tecnica mediamente costosa: - Abbattimento costi sicurezza cantiere; - Eliminazione costi di scavo pozzi; - Aumento dei costi per tubazioni in ghisa.
Disagi urbani e ambientali	Dovuti a: - scavo dei pozzi di spinta e d'uscita;	Dovuti a: - scavo dei pozzi di spinta e d'uscita; - sistemazione del cantiere;	Minimi: - area di cantiere molto ristretta;

	Spingitubo	Microtunnelling	T.O.C.
	- impianto di trattamento dello smarino	-impianto di trattamento dello smarino	- impianto di trattamento dello smarino

Tabella 8: Principali caratteristiche delle tecnologie No Dig [21]

La scelta dell'attrezzatura idonea a realizzare le opere in sotterraneo verrà adottata nel corso della progettazione definitiva, quando saranno disponibili i risultati delle campagne di rilevazione geologico/geotecniche.

Tipo d'attraversamento	Per DN600; profondità 4 m; lunghezza 100 m		Per DN1200; profondità 4 m; lunghezza 100 m	
	Scavo in trincea	Trenchless	Scavo in trincea	Trenchless
Larghezza di scavo	1400 mm	760 mm	2350 mm	1450 mm
Larghezza di ripristino	1700 mm	-	2650 mm	-
Volume scavato/m	6,1 m3	0,5 m3	10,28 m3	1,65 m3
Quantità di materiale di riempimento dello scavo	11,9 tonnellate	-	18,27 tonnellate	-
Numero di camion da 20 tonnellate per 100 m di condotta	136	8	220	21
Emissioni di CO2 (tonnellate)	66,7	27,1	110,6	69,7

Tabella 9: Confronto tra scavo in trincea e scavo con tecnologia No Dig [22]

3.1.3 ATTRAVERSAMENTI AEREI

Un'altra modalità d'attraversamento di corsi d'acqua è costituita dagli attraversamenti aerei. Gli attraversamenti aerei possono essere realizzati:

- all'interno di strutture di ponti esistenti;
- con ancoraggi a ponti esistenti (in seguito denominati "in staffaggio");
- su strutture appositamente costruite per sostenere la condotta;
- condotte autoportanti (ponti-tubo).

Per realizzare l'attraversamento all'interno della struttura ponte è preferibile collocare la condotta al di sotto del piano stradale, sotto il marciapiede o la banchina e posizionare la condotta all'interno di un apposito cassonetto protettivo, munito di chiusini opportunamente distanziati che permettono di ispezionare la condotta senza intaccare la struttura ponte, e intervenire in fretta in caso di manutenzione o guasto.

Quando il passaggio all'interno della struttura ponte non è realizzabile per motivi di spazio, la modalità di attraversamento preferibile tra quelle aeree è lo staffaggio, cioè ancorare la condotta esternamente al ponte, senza interagire con la sua struttura in modo che, nell'eventualità di guasti alla condotta, si possa intervenire facilmente senza interagire con la struttura del ponte. Questa modalità è applicabile nel caso di condotte non troppo grandi e strutture ponti con possibilità di allocare la condotta. La condotta viene ancorata al ponte lateralmente tramite delle apposite mensole di sostegno o grappe metalliche (Figura 20)

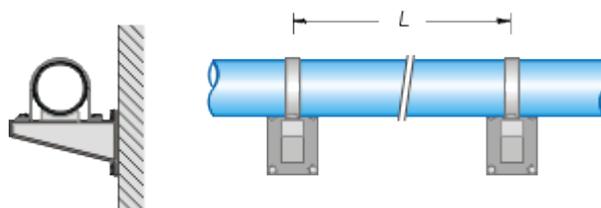


Figura 20: Staffaggio di una condotta tramite mensole [23].



Figura 21: Esempio di condotta in staffaggio a un ponte; attraversamento ID30, Torrente Viana; l'immagine è un render; la condotta rappresentata appartiene al tracciato in progetto [11].

Si noti che in questo caso la condotta è esposta a variazioni termiche, quindi è consigliabile isolare la condotta termicamente.

Ove possibile è bene progettare l'attraversamento dalla parte di valle del ponte, per evitare l'impatto diretto dell'acqua sulla condotta in caso di piena. In ogni caso la condotta non deve mai limitare la luce dell'impalcato in modo da non interagire col deflusso della piena.

Le soluzioni di attraversamento con ponti-tubo o strutture di sostegno alla condotta hanno il grande svantaggio dell'impatto visivo; esse inoltre sono più vulnerabili in quanto sono poste fuori terra e senza protezioni, per questo si posano solitamente solo tubazioni in acciaio con diametro non inferiore a 200 mm.

Nel progetto dell'acquedotto di Valle Orco sono presenti 6 attraversamenti in staffaggio e un attraversamento all'interno della struttura ponte.

3.2 MODALITÀ D'ATTRAVERSAMENTO DEI VINCOLI IDROGRAFICI

Il progetto dell'acquedotto di Valle Orco presenta 71 attraversamenti idrografici, distinti in attraversamenti del reticolo principale (36) e attraversamenti del reticolo irriguo (35). È necessario stabilire la modalità di attraversamento per ognuno di essi.

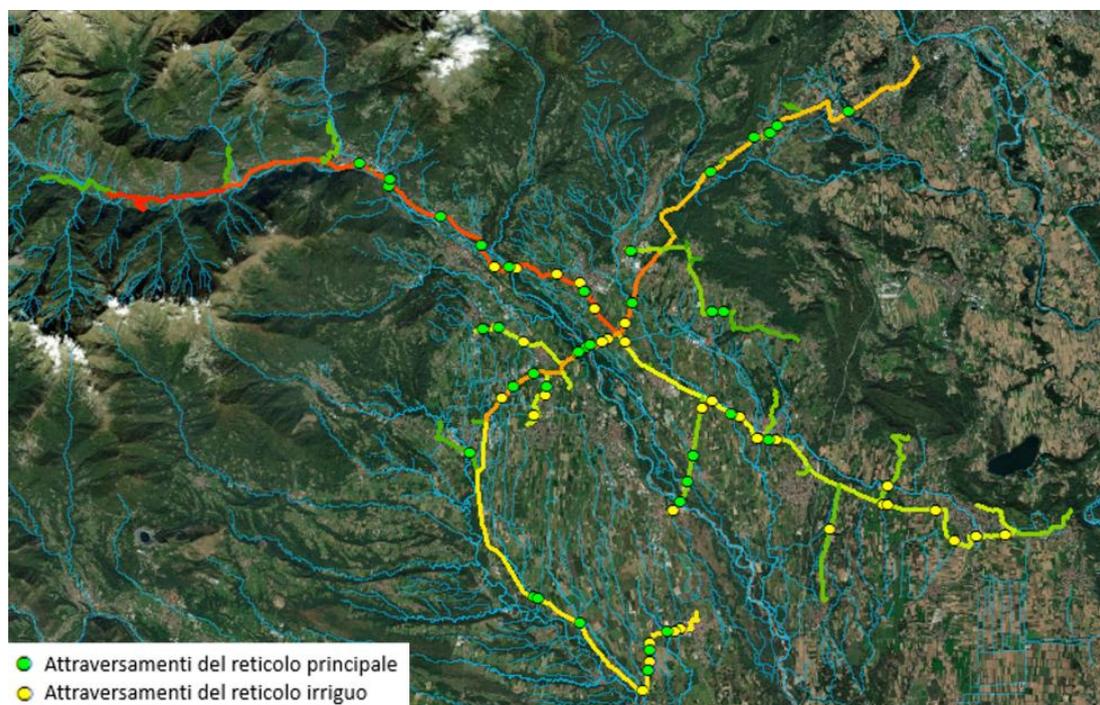


Figura 22: Attraversamenti idrici.

Una prima ipotesi è stata effettuata nello studio di fattibilità, in cui si distinguono le seguenti modalità d'attraversamento:

- scavo tradizionale in trincea (denominato in subalveo);
- trivellazione orizzontale controllata T.O.C.;
- spingitubo;
- attraversamento con interferenza su strada;
- staffaggio su ponte.

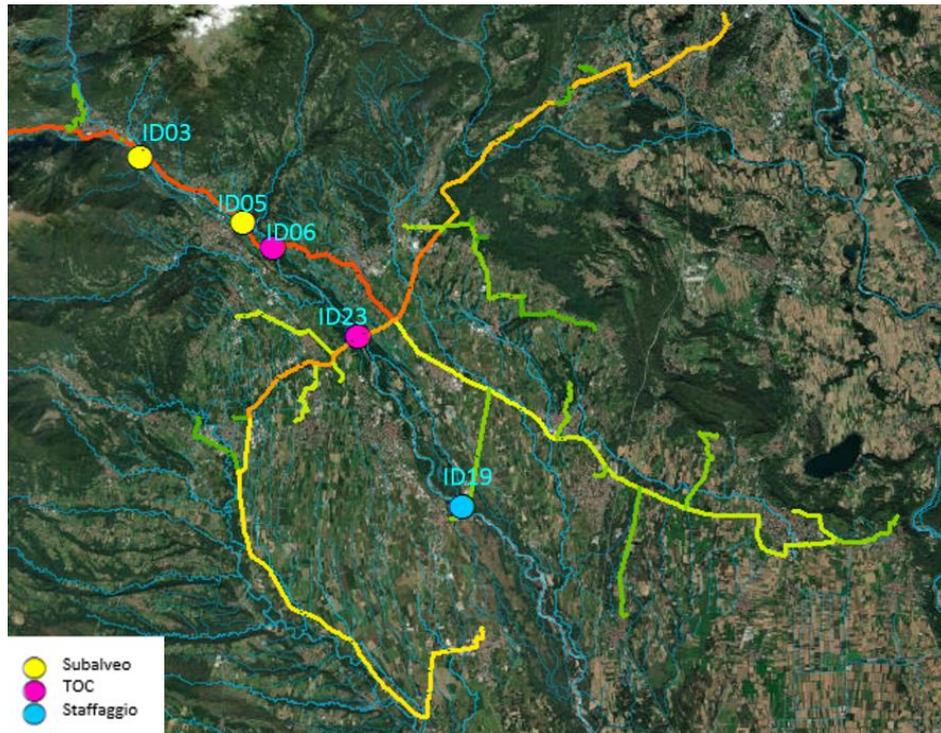


Figura 23: Attraversamenti del Torrente Orco; ipotesi di modalità di attraversamento da studio di fattibilità.

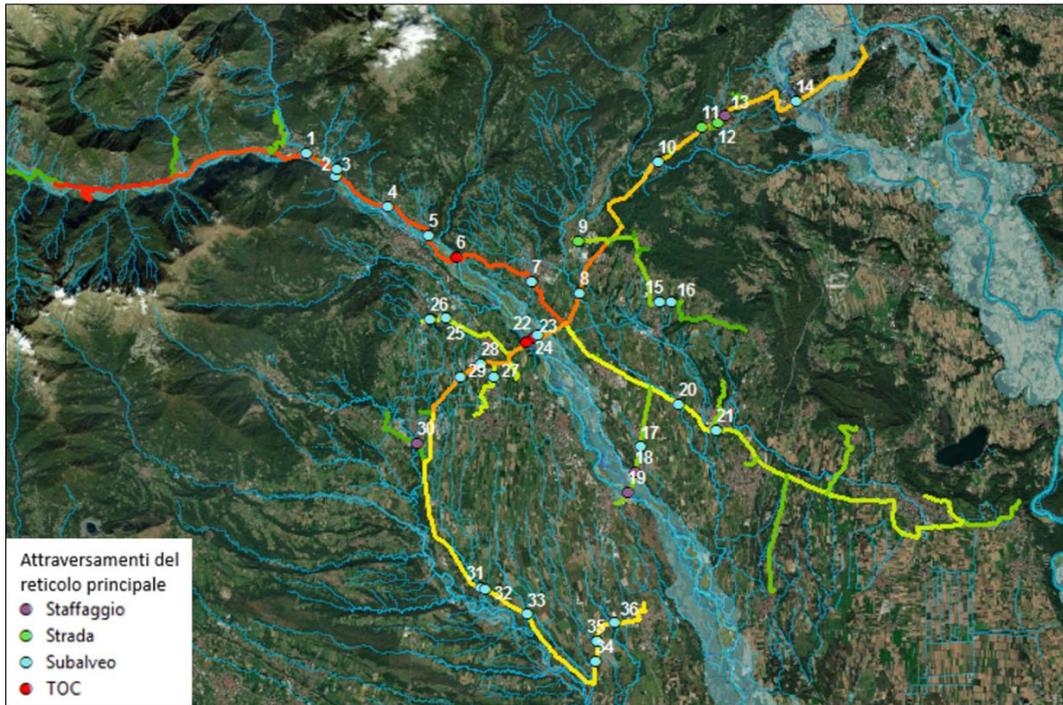


Figura 24: Attraversamenti del reticolo principale; ipotesi della modalità di attraversamento da studio di fattibilità. Vedi allegato B.

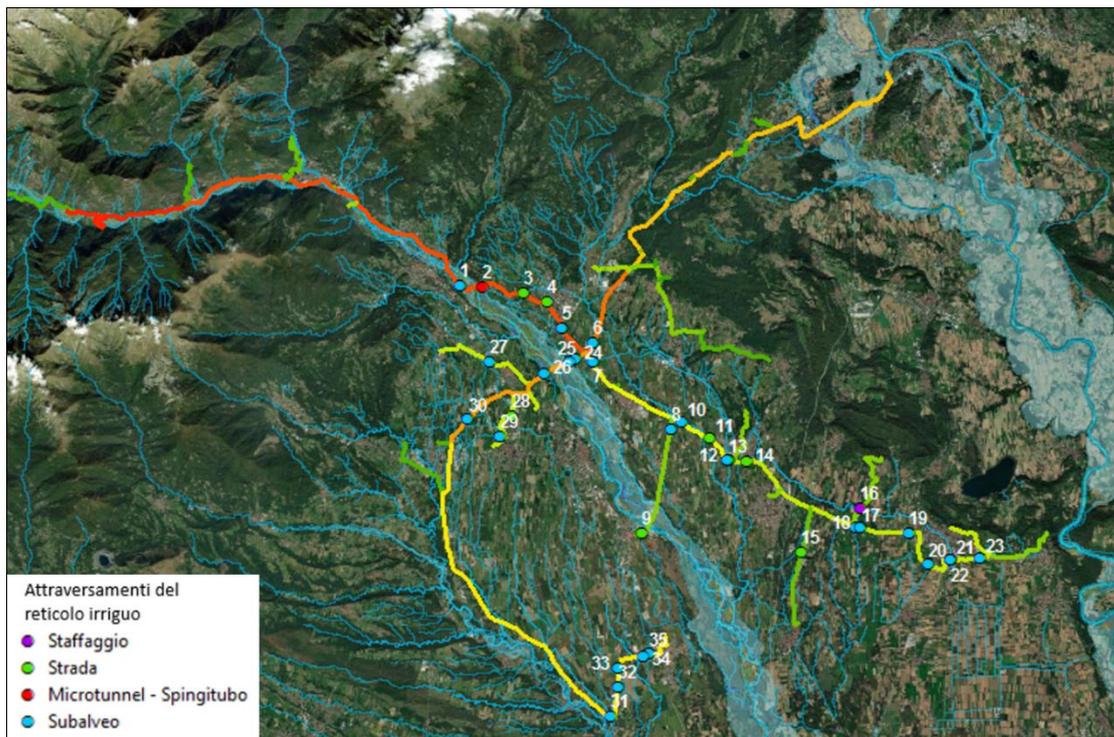


Figura 25: Attraversamenti del reticolo irriguo; ipotesi della modalità di attraversamento da studio di fattibilità. Vedi allegato C.

		36	Attraversamenti reticolo principale	35	Attraversamenti reticolo irriguo
		Quantità	N° P.D.	Quantità	N° P.D.
Subalveo		26	1-2-3-4-5-7-8-10-14-15-16-17-20-21-22-25-26-27-28-29-31-32-33-34-35-36	24	1-5-6-7-8-10-12-17-18-19-20-22-23-24-25-26-27-29-30-31-32-33-34-35
No Dig	Microtunnelling	0	-	1'	2
	T.O.C.	3	6--23--24	0	-
	Spingitubo	0	-	1'	2
Staffaggio su ponte		4	13-18-19-30	2	16-21
Interferenza su strada		3	9--11--12	8	3-4-9-11-13-14-15-28

Tabella 10: Tipologie di attraversamento ipotizzate nello studio di fattibilità.

Per studiare gli attraversamenti fluviali bisogna innanzitutto identificarli e caratterizzarli, attribuendo a ognuno di essi le caratteristiche che lo contraddistinguono.

A tal fine sono state create delle schede contenenti i seguenti campi:

- numero attraversamento;
- nome del corso d'acqua;
- comune in cui ricade;
- tratto del tracciato;
- coordinate;
- diametro nominale;
- tipo di attraversamento ipotizzato nello Studio di Fattibilità;
- necessità di effettuare un sondaggio in prossimità dell'attraversamento in esame;
- larghezza del fiume (in prima approssimazione).

Alle schede sono state aggiunte le immagini aeree dell'attraversamento, immagini da rilievo in situ e in assenza di foto in situ sono state estrapolate immagini da Google Maps utilizzando il comando street view ove disponibile. Le schede hanno lo scopo di facilitare l'identificazione degli attraversamenti. Le immagini potranno essere inoltre utili

all'operatore che in una seconda fase andrà a fare il rilievo di dettaglio in loco, per facilitare la fase di individuazione del punto esatto dell'attraversamento in esame.

L'individuazione degli attraversamenti è avvenuta in ArcGIS. I punti sono stati contrassegnati con quattro simboli diversi a seconda della tipologia di attraversamento.

L'individuazione non è sempre immediata, soprattutto nel caso degli attraversamenti su strada poiché questi non sono individuabili da immagini satellitari. Sono stati contraddistinti con l'attributo "strada" gli attraversamenti di canali che convogliano in tombini.

3.3 ANALISI VANTAGGI- SVANTAGGI PER LE PRINCIPALI OPZIONI D'ATTRAVERSAMENTO

Si evidenziano tre tipologie principali d'attraversamento di un corso d'acqua:

- Attraversamento con scavo in trincea (subalveo) TA
- Attraversamento con tecnologie trenchless TB
- Attraversamento aereo TC

Tra le tecnologie trenchless si evidenziano due tipologie principalmente utilizzate per gli attraversamenti idrici:

- Microtunnelling TB.1
- Trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) TB.2

È necessario studiare le alternative e scegliere quella più indicata per ogni attraversamento idrico, in modo da:

- garantire la corretta realizzazione dell'attraversamento;
- scongiurare il rischio di scalzamento della condotta dovuto alla dinamica fluviale;
- minimizzare l'impatto ambientale;
- minimizzare le interruzioni del traffico stradale;
- contenere i costi.

A tal fine è stata eseguita un'analisi preliminare su vantaggi e svantaggi legati ad ogni tipologia.

PRO	↖	Lo scavo è direzionabile
PRO	🍃	Tecnologia trenchless
PRO	⚠️	Tecnologia che minimizza i rischi in cantiere
PRO	🔍	Perforazione consentita per ogni tipologia di terreno
PRO	○	E' possibile installare tubi di qualsiasi materiale
CONTRO	€	Tecnologia più costosa delle altre
CONTRO	🏗️	Tecnologia che prevede la costruzione di altre opere accessorie
CONTRO	↶	Lo scavo prevede spesso un diametro spesso molto maggiore del diametro della tubazione da mettere in posa
CONTRO	🚗	Limitazioni al traffico in fase di costruzione

Tabella 11: Legenda simboli.

3.3.1 TIPOLOGICO TA - SCAVO IN TRINCEA

TIPOLOGICO T.A.	VANTAGGI	SVANTAGGI
SCAVO IN TRINCEA (Subalveo) T.A. 	 Tecnica economica	E' necessario deviare il corso d'acqua; deve esserci lo spazio necessario
	Applicabile in qualsiasi condizione geologica	Difficoltà nel raggiungere profondità di scavo molto elevate
	Si possono posare tubi di qualsiasi materiale	Difficoltà nella posa di condotte con diametri molto elevati
	Lo scavo è direzionabile	Rischio legato allo scavo a cielo aperto
	Non necessita di costruzione di altri elementi (nessun pozzo di spinta)	Volume sbancato maggiore rispetto alle tecniche T.B.
	Lo scavo ha la dimensione necessaria al tubo che vi si posa	Genera una discontinuità della flora fluviale
	Non necessita di macchinari speciali	

Tabella 12: Vantaggi e svantaggi per l'attraversamento in subalveo.

3.3.2 TIPOLOGICO TB.1 – MICROTUNNELLING

TIPOLOGICO T.B.1	VANTAGGI	SVANTAGGI
MICROTUNNELLING T.B.1	Applicabile in qualsiasi condizione geologica	Tecnica più costosa delle altre (mobilitazione della MTBM, camicia in calcestruzzo, costruzione dei pozzi di spinta e di arrivo, stazioni di spinta intermedie ogni 100 m circa)
	Si possono posare tubi di qualsiasi materiale	Necessita dello spazio per la costruzione dei pozzi di spinta e d'uscita
	Lo scavo è direzionabile	Rischi/disagi derivanti dal cantiere per la costruzione dei pozzi
	Se lo scavo realizzato ha diametro molto più grande della condotta si genera di fatto un cunicolo ispezionabile, utile per manutenzione, monitoraggio e vano per altri sottoservizi	Lo scavo avrà il diametro della MTBM utilizzata; si possono dover fare fori molto più grandi di quanto richiederebbe la condotta da mettere in posa

Tabella 13: Vantaggi e svantaggi per l'attraversamento in microtunneling.

3.3.3 TIPOLOGICO TB.2 - T.O.C.

TIPOLOGICO T.B.2	VANTAGGI	SVANTAGGI
T.O.C. T.B.2	Tecnica con minor impatto ambientale	Applicabile in assenza di strati a granulometria grossolana
	Minimizza i rischi in cantiere	Difficoltà nel posare tubi in ghisa: necessitano di giunti antisfilamento che consentono una deviazione di soli 2°
	Non necessita la costruzione di altri elementi (nessun pozzo di spinta)	Sviluppo altimetrico dell'attraversamento maggiore rispetto alle altre soluzioni
	Lo scavo è direzionabile	
	Si possono raggiungere profondità di scavo molto elevate	
	Vasta gamma di diametri di scavo	
Possibilità di realizzare attraversamenti molto lunghi		

Tabella 14: Vantaggi e svantaggi per l'attraversamento in T.O.C.

3.3.4 TIPOLOGICO TC – AEREO

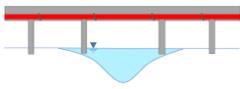
TIPOLOGICO T.C.	VANTAGGI	SVANTAGGI
<p style="text-align: center;">AEREO T.C.</p> 		
	Tecnica economica	Minore durabilità - Esposizione della condotta ad agenti atmosferici
	Applicabile in qualsiasi condizione geologica	Limitazioni al traffico in fase di costruzione
	Si possono posare tubi di qualsiasi materiale	Difficoltà nella posa di condotte con diametri molto elevati
	Non genera discontinuità della flora fluviale	Necessità di effettuare la verifica statica del ponte
	Non necessita di macchinari speciali	Se non è presente un ponte nelle vicinanze si deve prevedere la costruzione di una nuova struttura portante - impatto visivo
	Non è necessario deviare il corso d'acqua	
Tecnica con minor impatto ambientale		

Tabella 15: Vantaggi e svantaggi per l'attraversamento aereo.

3.4 ANALISI MULTICRITERIA PER LE TIPOLOGIE D'ATTRAVERSAMENTO

Per valutare la migliore tra le diverse tecnologie realizzative, per i maggiori attraversamenti è stata effettuata una Conjoint Analysis (C.A. analisi congiunta) volta a comprendere e soddisfare al meglio le esigenze del cliente, tramite la definizione di un modello che permetta di capire, a seconda delle priorità del cliente, quale sia la scelta più adatta al caso [24].

L'utilizzo della C.A. nei progetti che coinvolgono l'ambiente permette di evidenziare il valore di ogni singola componente che costituisce l'ambiente stesso e confrontarli con dati che misurano la disponibilità a pagare del cliente.

Le fasi della Conjoint Analysis sono [25] :

1. definizione degli attributi;
2. assegnazione di diversi livelli agli attributi;
3. definizione dello scenario da presentare;
4. individuazione delle preferenze;

5. analisi dei dati.

Gli attributi identificano le caratteristiche chiave della tecnologia in esame; essi costituiscono le variabili del problema, che variano a seconda della tecnologia analizzata.

L'assegnazione di diversi livelli agli attributi serve ad identificare le modalità con cui essi si manifestano; nel caso in esame sono stati identificati due livelli:

- livello 1: categorie;
- livello 2: sottocategorie.

Le categorie individuate sono quattro, a loro volta suddivise in sottocategorie:

- categoria A: aspetti funzionali:
 - funzionalità dell'attraversamento;
 - durabilità e sicurezza;
- categoria B: aspetti sociali e ambientali:
 - fase di costruzione;
 - in esercizio;
- categoria C: aspetti tecnici:
 - fase di progetto;
 - fase di costruzione;
 - cronoprogramma;
 - sicurezza;
- categoria D: aspetti economici:
 - costi di costruzione;
 - costi di manutenzione ordinaria e straordinaria;
 - costi per occupazioni temporanee ed espropri.

Gli scenari rappresentano le alternative da presentare al cliente, derivanti dalla combinazione degli attributi. In questo caso gli scenari sono le 4 tipologie d'attraversamento analizzate:

- aereo;
- subalveo;
- microtunnelling;
- T.O.C.

Le preferenze indicano a quale categoria di attributi dare maggior peso nell'analisi finale.

La scala del punteggio va da 1 a 5, dove 1 sta per caratteristica svantaggiosa e 5 per vantaggiosa.

A seguire, una descrizione dettagliata degli attributi individuati.

3.4.1 CATEGORIA A - ASPETTI FUNZIONALI

La categoria riguardante gli aspetti funzionali comprende i criteri di valutazione della funzionalità dell'attraversamento e della sua durabilità nel tempo.

FUNZIONALITÀ DELL'ATTRAVERSAMENTO

Ispezionabilità – controllo visivo di eventuali guasti

Per ispezionabilità s'intende la possibilità di monitorare visivamente lo stato della condotta internamente e, se possibile, esternamente. L'ispezione della condotta è una fase necessaria per la manutenzione ordinaria e straordinaria, in quanto permette di individuare la presenza di eventuali fessure nella condotta causa di perdite d'acqua. L'ispezionabilità della condotta è in ogni caso garantita dall'interno: a partire dal pozzetto d'ispezione si inserisce nella condotta una sonda teleguidata dall'esterno dotata di una telecamera; si riesce così ad avere un quadro completo dell'interno della condotta.

Per tutte e quattro le tipologie d'attraversamento esaminate l'ispezionabilità dell'interno della condotta è garantita.

L'opzione dell'attraversamento aereo però ha un vantaggio: l'ispezione visiva può essere operata anche esternamente, in quanto la condotta resta a vista anche in esercizio; ciò può essere utile per individuare eventuali danni senza necessariamente interrompere il flusso d'acqua all'interno, quindi senza causare disagi, seppur momentanei, all'utenza.

Anche le tecnologie No Dig sono avvantaggiate da questo punto di vista poiché la videoispezione esterna della condotta può essere effettuata inserendo la videocamera nello spazio tra la condotta e la camicia esterna.

Per il subalveo invece, è garantita solo la videoispezione interna.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Ispezionabilità - controllo visivo di eventuali guasti	5	2	4	4

Possibilità di utilizzo della camicia nel caso di guasto della condotta

Le tecnologie in microtunnelling e in T.O.C., per caratteristiche proprie del metodo realizzativo dell'attraversamento, prevedono l'utilizzo di una camicia esterna all'interno della quale si colloca la condotta; essa funge anche da protezione dai carichi esterni. La presenza della camicia esterna presuppone la realizzazione di uno scavo di diametro maggiore rispetto a quello della condotta; ciò costituisce uno svantaggio dal punto di vista economico in quanto:

- si utilizzano macchine che consentono perforazioni più grandi e di conseguenza più costose;
- aumenta il costo del materiale, poiché si aggiunge il costo della camicia stessa.

La presenza della camicia esterna apporta però significativi vantaggi all'attraversamento; infatti, in sede di manutenzione ordinaria o straordinaria, la camicia può essere utilizzata in sostituzione della condotta, facendo scorrere l'acqua direttamente in essa, che deve essere opportunamente rivestita con un rivestimento adeguato al trasporto di acqua potabile.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Possibilità di utilizzo della camicia nel caso di guasto della condotta	1	1	5	5

DURABILITÀ E SICUREZZA

Durabilità dell'attraversamento

Qualsiasi modalità di attraversamento deve garantire il corretto funzionamento dell'opera per un tempo almeno pari alla vita utile di progetto dell'acquedotto.

Alcune delle modalità di attraversamento possono però garantire una durabilità maggiore.

Nel caso di microtunnelling e T.O.C., la presenza della camicia esterna fa sì che la condotta sia protetta dagli agenti esterni anche nel peggior caso di scalzamento, che deve comunque essere sempre scongiurato in fase di progettazione.

Al contrario, nel caso di attraversamento aereo la condotta si trova esposta agli agenti atmosferici e le si attribuisce una durabilità minore.

Nel caso di attraversamento in subalveo, la condotta si trova sempre sotto uno strato adeguatamente dimensionato di sedimento ma, nel peggior caso di scalzamento, essa si troverebbe esposta alla corrente del corso d'acqua, e si troverebbe anche particolarmente in pericolo di guasto in quanto potrebbe venire coinvolta dai fenomeni di trasporto solido, ed essere interessata da impatti con materiale d'alveo.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Durabilità dell'attraversamento	2	3	5	5

Accessibilità alla condotta per ripristino e manutenzione

L'operazione di manutenzione è facilmente eseguibile nel caso di attraversamento aereo, poiché non è necessario coinvolgere il corso d'acqua in nessun caso, né per manutenzione ordinaria né per quella straordinaria.

Nel caso invece di attraversamenti subacquei, l'accessibilità è ovviamente ridotta, poiché la condotta si trova interrata.

In particolare, nel caso di attraversamento in subalveo che non prevede l'impiego di una camicia esterna, nel peggior caso di necessità di estrazione della condotta per sostituzione o manutenzione, sarebbe necessario riaprire lo scavo, previa deviazione del corso d'acqua.

Nel caso invece di scavo in T.O.C. e microtunnelling, l'accessibilità alla condotta è facilitata dalla presenza della camicia esterna. Il ripristino di eventuali guasti e la manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, avviene pertanto senza scavo e in assenza di interazione col corso d'acqua.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Accessibilità alla condotta per ripristino e manutenzione	5	1	4	4

3.4.2 CATEGORIA B - ASPETTI SOCIALI E AMBIENTALI

La categoria riguardante gli aspetti sociali e ambientali comprende criteri di valutazione dell'impatto ambientale e sociale dell'attraversamento, in fase di costruzione e in fase d'esercizio.

IN FASE DI COSTRUZIONE

Impatto ambientale- vegetazione

L'attraversamento fluviale si estende non solo alla larghezza del letto del corso d'acqua, ma anche all'area golenale, che presenta un'area più o meno vegetata.

Le zone golenali sono ambienti in continua mutazione e rappresentano lo spazio vitale per molte specie animali e vegetali. Ad ogni piena le golene vengono inondate, e l'acqua porta via parte dei sedimenti depositati nel tempo, parte della vegetazione cresciuta tra una piena e l'altra e il patrimonio genetico dell'area golenale si rinnova. La rimozione della vegetazione golenale, seppur temporanea, costituisce una grave discontinuità dell'ecosistema, più o meno impattante sull'ambiente a seconda della densità della vegetazione stessa.

La realizzazione dell'attraversamento in subalveo rappresenta la peggiore prospettiva per la continuità della vegetazione golenale, in quanto implica necessariamente la sua totale rimozione.

La tecnica in subacqueo migliore è rappresentata dal T.O.C., che non prevede alcuna rimozione della vegetazione, se non quella necessaria per portare i macchinari in cantiere.

Anche il microtunnelling rappresenta una buona soluzione dal punto di vista di conservazione vegetativa, a patto che i pozzi di spinta e d'arrivo siano piazzati in un'area opportunamente scelta per non impattare eccessivamente sull'ecosistema. Se tali pozzi vengono comunque posizionati in aree vegetate per ragioni di lunghezza dell'attraversamento fluviale, resta comunque una tecnica ecosostenibile in quanto prevede la sola rimozione della vegetazione presente nell'area dei pozzi e quella presente sul tragitto per portare le macchine in cantiere.

Il problema è totalmente assente nel caso di attraversamento aereo, per ovvie ragioni: la condotta non interagisce con l'area vegetata poiché si trova appesa al di sopra di essa.

Il punteggio attribuito varia per ogni attraversamento.

Impatto ambientale: inquinamento aereo

Lo scavo tradizionale in trincea rappresenta la peggiore delle modalità d'attraversamento per la produzione di polveri. L'inquinamento aereo dovuto allo scavo in trincea per profondità elevate si ripercuote su tutto l'ambiente circostante. Tale fattore è tanto maggiore quanto più lungo è l'attraversamento e tanto maggiore quanto maggiore è la presenza di attività antropiche circostanti, quali coltivazioni e abitazioni. Le polveri sollevate dallo scavo in trincea di un attraversamento fluviale sono comunque modeste, a causa della presenza d'acqua nel sedimento, infatti a questa voce è stato assegnato un peso modesto.

Per il microtunnelling il problema si ridimensiona notevolmente poiché lo scavo si riduce soltanto all'area dei pozzi di spinta e d'arrivo.

Per il T.O.C. il problema è quasi del tutto inesistente poiché si scava soltanto una piccola conca per facilitare l'ingresso della sonda pilota.

Per l'attraversamento aereo il problema non sussiste in quanto non viene mobilitato materiale.

Il punteggio attribuito varia per ogni attraversamento, a seconda della sua lunghezza.

Rumorosità: presenza di ricettori acustici

Il parametro rumorosità rientra tra i fattori da valutare sia in assoluto, per le singole tecnologie, sia in relazione al singolo attraversamento. Infatti, la tecnica può essere più o meno rumorosa, ma ciò ha un'influenza solo in presenza di recettori di rumore intorno che possono esserne disturbati.

La rumorosità viene inoltre relazionata alla durata del disturbo. Infatti, una tecnica può prevedere l'utilizzo di macchinari che emettono un rumore molto forte ma per una breve durata; in questo caso la rumorosità dell'operazione viene considerata bassa, poiché il disturbo al ricettore acustico è breve; se invece, il tempo della realizzazione dell'opera

è più lungo e il rumore è meno intenso, esso può comunque creare un disagio molto maggiore rispetto al caso precedente, proprio a causa della sua durata nel tempo.

La tecnologia meno rumorosa è l'attraversamento aereo, che non prevede l'utilizzo di macchine di mobilitazione terre o di perforazione.

Lo scavo in subalveo è la tecnica peggiore, poiché è quella che richiede più tempo per la realizzazione dello scavo, e impiega macchinari rumorosi.

La T.O.C. è la tecnica in subacqueo meno rumorosa, sia per durata temporale della realizzazione dell'opera, sia per tipologia di macchinario utilizzato.

Il microtunnelling invece prevede un rumore intenso dovuto alla spinta della macchina perforatrice. Ad esso va sommato il rumore prodotto dallo scavo dei pozzi di spinta e d'arrivo.

Alle tecnologie No Dig va sommato inoltre il rumore derivante dall'impianto di separazione dei fanghi bentonitici.

Il punteggio attribuito varia per ogni attraversamento, in base alla presenza di ricettori acustici.

Gestione dei volumi di scavo

Il peso della gestione dei volumi di scavo è relativo al volume di scavo stesso e quindi alla lunghezza dell'attraversamento e alla dimensione dell'alloggio scavato.

Per il Microtunnelling il volume di scavo è costituito da:

- volume scavato per la realizzazione dei pozzi di spinta e d'arrivo;
- volume del foro scavato per alloggiare la condotta; tale foro, a sezione circolare, avrà dimensione della macchina MTBM con il diametro più prossimo al diametro della condotta.

Diametro scavo esterno (mm)	DN tubazione
600 (scelta sconsigliata)	400
800	600
1200	1000
1500 (classica)	1200

Diametro scavo esterno (mm)	DN tubazione
1940	1600
2400	2000
3000	2500

Tabella 16: Mercato delle MTBM [17]

Nel caso di T.O.C. invece, il volume scavato è costituito solamente dal volume del foro, di dimensione circolare, che avrà diametro pari all'alesatore di dimensione più prossima alla dimensione della condotta da posare. A parità di lunghezza di attraversamento la T.O.C. è la tecnica d'attraversamento in subacqueo che produce meno volume di scavo.

Il subalveo prevede invece un volume di scavo nettamente maggiore rispetto alle altre tecniche. Infatti, viene scavato tutto il volume necessario per raggiungere la profondità di posa desiderata, realizzando così la posa in trincea. Parte del volume scavato viene riutilizzato per la chiusura dello scavo stesso, e la restante parte, pari al volume della condotta installata, resta da stoccare in discarica o da riutilizzare in cantiere. Il problema aggiuntivo è quello della gestione del materiale sbancato durante lo scavo. Si dovrà infatti prevedere un'area di accumulo per tale volume.

L'attraversamento in staffaggio invece non prevede volume scavato.

Il punteggio attribuito varia per ogni attraversamento, ed è tanto più svantaggioso quanto più lo spazio disponibile è ristretto e quanto più l'attraversamento è lungo.

Impatto sul traffico dovuto al sito di installazione

Uno degli aspetti da valutare per la scelta della tipologia di attraversamento è l'impatto sul traffico in fase di costruzione. Infatti, nel caso di staffaggio si deve prevedere la presenza di mezzi ingombranti in carreggiata del ponte al quale si attaccherà la condotta.

L'impatto sul traffico è tanto maggiore quanto più è trafficato il ponte coinvolto. Inoltre, bisogna distinguere il caso in cui l'intero ponte viene chiuso al traffico dal caso in cui la viabilità viene soltanto ridotta ad un senso unico; resta da analizzare caso per caso, a seconda della dimensione della carreggiata.

Per gli attraversamenti in subacqueo non si prevedono particolari impatti sul traffico, se non quelli legati al trasporto dei mezzi di perforazione in sito; essi restano però dei disturbi temporanei localizzati al solo momento di inizio e fine del cantiere.

Compatibilità costruttiva con la morfodinamica del fiume

La fattibilità dell'attraversamento impiegando una determinata tecnologia è da valutare caso per caso, operando delle scelte in base alla conoscenza del materiale in sito. In particolare, le diverse tecniche di attraversamento in subacqueo sono applicabili per condizioni morfodinamiche differenti, che vanno analizzate nel dettaglio alla luce delle indagini geologiche, per scegliere la modalità costruttiva più idonea al caso.

IN ESERCIZIO

Impatto visivo

Il problema dell'impatto visivo si pone esclusivamente nel caso degli attraversamenti aerei.

La condotta infatti resta visibile in esercizio e ciò può costituire un grave svantaggio, soprattutto nel caso in cui la condotta non sia attaccata a un ponte preesistente ma si debba costruire una nuova struttura portante, maggiormente visibile. Il problema è ancor più accentuato nel caso in cui l'ipotetica struttura ponte venga realizzata lontano da un ponte preesistente; in questo caso tale struttura portante con condotta appesa sarebbe maggiormente impattante a livello visivo, in quanto non verrebbe più "nascosta" dalla presenza della struttura ponte preesistente, ma andrebbe a spezzare la continuità visiva paesaggistica.

L'impatto visivo è tanto più grave quanto più il sito è raggiungibile dallo sguardo dell'osservatore.

Per le tecniche in subacqueo il problema dell'impatto visivo non si pone.

Resilienza rispetto agli eventi di piena

Si introduce l'aspetto della resilienza rispetto agli eventi di piena nel momento in cui si considera una piena con un tempo di ritorno maggiore a quello preso in considerazione in fase di progetto. Gli attraversamenti in subacqueo sono avvantaggiati poiché, a scanso di scalzamento, restano protetti dal materiale solido che li sovrasta. Per quanto riguarda gli attraversamenti aerei invece, una piena che genera tiranti che

raggiungono la quota della condotta, può produrre danni alla condotta o per l'impatto violento che può avere l'acqua (o materiale solido da essa trasportato) sulla condotta, nel caso di condotta staffata a monte oppure, nel caso di condotta staffata a valle, il rischio è dovuto alla stabilità dell'ancoraggio della condotta sul ponte che, travolto dalla corrente, può essere soggetto a instabilità.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Resilienza rispetto agli eventi di piena	2	4	5	5

3.4.3 CATEGORIA C: ASPETTI TECNICI

FASE DI PROGETTO

Geologia e geotecnica

In fase di progettazione la conoscenza delle caratteristiche geotecniche del suolo è fondamentale per la scelta della tecnologia più conveniente. Le considerazioni di seguito riportate, in particolare sulla scelta della tecnologia No Dig da utilizzare, oltre che le relative profondità di scavo, dovranno essere confermate dalle indagini geologico-geotecniche attualmente in corso.

I sondaggi vengono predisposti sulla golena e vengono effettuati più vicino possibile all'alveo attivo. Il sedimento che si riscontra dal sondaggio permette di fare ipotesi più veritiere sul sedimento che si risconterà per tutta la lunghezza dell'alveo, e quindi permette di escludere una tipologia di attraversamento in base alla sua eseguibilità.

Il T.O.C. non costituisce la scelta migliore in presenza di strati a granulometria grossolana poiché il foro eseguito dall'alesatore tende a collassare in presenza di sedimento ciottoloso.

Lo scavo in subalveo costituisce un problema nel caso di presenza di roccia compatta, poiché necessita di strumentazioni adatte alla frantumazione di trovanti.

Delle prime ipotesi sul tipo di sedimento possono essere effettuate da considerazioni derivanti da un'ispezione visiva in loco del sedimento affiorante.

La sola scelta che non viene influenzata dalle caratteristiche geotecniche è quella dell'attraversamento in staffaggio su ponte, poiché non prevede in nessun modo il contatto col terreno.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Assenza di informazioni geotecniche adeguate	5	4	3	2

Presenza di sottoservizi non censiti

In fase di progetto una delle informazioni indispensabili è il censimento dei sottoservizi.

Nel caso di attraversamento in staffaggio su ponte una delle eventualità da considerare è la presenza non prevista di sottoservizi staffati al ponte. Questa informazione è molto semplice da reperire, in quanto si nota già la presenza di sottoservizi staffati tramite un controllo visivo in sede di sopralluogo. In questo caso bisognerà prevedere lo staffaggio o dall'altro lato del ponte, se non occupato da altri sottoservizi, oppure bisognerà escludere l'opzione di eseguire l'attraversamento in staffaggio.

Se invece si tratta di un attraversamento aereo, allora il problema non sussiste.

Nel caso di attraversamenti in subacqueo, la presenza di altri sottoservizi che attraversano lo stesso corso d'acqua è un dato fondamentale poiché, nel caso di intersezione tra lo scavo in progetto e sottoservizi preesistenti, si potrebbero creare gravi danni perforando condotte di tali sottoservizi non censiti.

FASE DI COSTRUZIONE

Necessità di attività/ lavorazioni propedeutiche alla realizzazione dell'attraversamento

In fase di costruzione ogni tecnica di attraversamento prevede degli step da seguire prima della realizzazione dell'attraversamento vero e proprio.

Per il microtunnelling è necessario costruire i pozzi di spinta e d'arrivo; questa costituisce un'attività onerosa dal punto di vista temporale, economico e costruttivo.

Per lo scavo in subalveo e in T.O.C., è necessario scavare i pozzetti d'ispezione alle due estremità dell'attraversamento. Tali pozzetti hanno dimensioni molto più modeste dei

pozzi per il microtunnelling, quindi quest'operazione non inficia in modo eccessivamente negativo ai fini dell'analisi multicriteria.

Attività comune a tutti gli attraversamenti in subacqueo è la rimozione della vegetazione presente nel punto iniziale e finale dell'attraversamento. L'area coinvolta dipende dalla tipologia di attraversamento: per la T.O.C. l'area di cantiere è molto ristretta rispetto alle altre tecnologie in subacqueo; nel caso del microtunnelling invece l'area coinvolta è più estesa, poiché coinvolge l'area destinata ai pozzi di spinta e d'arrivo; per lo scavo in subalveo l'area da cui rimuovere la vegetazione è soltanto quella necessaria a ospitare l'ingombro delle macchine scavatrici.

Il caso di staffaggio su ponte preesistente prevede l'operazione di applicazione degli ancoraggi alla struttura ponte; l'operazione non è particolarmente lunga né impegnativa.

Invece, nel caso di attraversamento aereo, l'attività propedeutica è essenzialmente la costruzione della struttura portante (se prevista), che può impiegare più o meno tempo a seconda della struttura da installare e della lunghezza dell'attraversamento.

Accessibilità all'area di cantiere

L'accessibilità all'area di cantiere si differenzia per la presenza di vegetazione golenale più o meno fitta e per la presenza o meno di un ponte preesistente utilizzabile per lo staffaggio. Si attribuisce un vantaggio allo staffaggio in caso di ponte preesistente, in quanto l'accessibilità all'area di cantiere avviene dal ponte stesso. Nel caso di assenza di ponte invece, si attribuisce un forte svantaggio in quanto le condizioni di accesso al cantiere sono peggiorate dal fatto che si debba portare in cantiere non solo la condotta ma anche il materiale che costituirà la struttura portante (ove prevista).

Anche il microtunnelling è svantaggiato rispetto alle altre tecnologie, poiché la macchina perforatrice è la più ingombrante e complessa da trasportare in situ tra le macchine utilizzate; alla T.O.C. e al subalveo invece sono attribuiti pesi svantaggiosi nel caso di presenza di fitta vegetazione e vantaggiosi nel caso di assenza di fitta vegetazione.

Mancanza di operatori esperti

La mancanza di operatori esperti viene ovviata dall'assegnazione dell'esecuzione dell'attraversamento a ditte che si occupano specificamente di quella tecnologia di attraversamento; l'attraversamento in subalveo è sicuramente il più classico degli scavi, quindi ad esso è stato attribuito un valore positivo, mentre, nel caso del microtunnelling

e del T.O.C. è stato attribuito un valore negativo in quanto soltanto operatori specializzati in quel settore sono in grado di eseguire l'opera.

Anche l'attraversamento aereo ottiene un valore positivo, poiché le operazioni di realizzazione dell'attraversamento non sono particolarmente complesse.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Mancanza di operatori esperti	5	4	2	2

Rischio di collasso dello scavo

Il rischio di collasso dello scavo è legato alla condizione geotecnica del sito e alla tecnologia di attraversamento scelto. Questa voce è molto importante poiché pregiudica la riuscita dell'attraversamento, e permette di escludere una tipologia di attraversamento in funzione della sua adeguatezza rispetto alle condizioni geotecniche del sito.

In caso di perforazione in microtunnelling il rischio di collasso dello scavo è nullo, poiché durante l'avanzamento della perforazione vengono posti in opera i conci di calcestruzzo che compongono gli anelli della camicia esterna; questi sorreggono lo scavo, impedendo eventuali cedimenti.

Nel caso di perforazione in T.O.C. il rischio di collasso dello scavo è più o meno elevato a seconda del tipo di sedimento riscontrato. Infatti, nella seconda fase della perforazione, dopo il passaggio dell'alesatore, il foro si regge su sé stesso rischiando di crollare; a seconda del sedimento presente la perforazione in T.O.C. è sconsigliata.

Il sedimento presente sul Torrente Orco viene definito come “depositi alluvionali attuali: ciottoli poligenici, di taglia variabile dal cm³ al m³, arrotondati, in matrice sciolta prevalentemente sabbioso ghiaiosa con subordinati livelli poco potenti di sabbie e ghiaie” [28]; per questo tipo di sedimento lo scavo in T.O.C. non si presta bene per eseguire la perforazione, proprio per il rischio di collasso del foro pilota.

Nel caso di attraversamento in subalveo il rischio di collasso dello scavo dipende dalle caratteristiche geotecniche del terreno, ed è tanto più elevato quanto più è profondo lo scavo; le pareti dello scavo possono essere protette con dei casseri distanziatori che permettono di sorreggere le pareti dello scavo.

In caso di attraversamento aereo il problema non si pone.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Rischio di collasso dello scavo	5	2	5	1

Rischio inondazione durante la realizzazione dell'attraversamento

Il rischio di inondazione va valutato per le diverse tipologie di attraversamento, in relazione al danno che l'inondazione provoca e alle soluzioni da adottare per il ripristino della condizione pre-inondazione.

Il caso più svantaggiato è l'attraversamento in subalveo; infatti in caso di inondazione l'intero scavo realizzato in trincea verrebbe riempito d'acqua, provocando forti danni economici e ritardi sul cronoprogramma. In caso di inondazione il ripristino dei lavori alla condizione pre-inondazione prevederebbe:

- rimozione dell'acqua accumulata in trincea, tramite pompaggio;
- ripristino della forma dello scavo.

Per le tecnologie No Dig, che non prevedono deviazione del corso d'acqua, la voce inondazione si riduce al caso di eventualità di piena con tempo di ritorno superiore a quello stimato in progetto per la realizzazione dell'attraversamento.

In caso di attraversamento in T.O.C. invece, l'eventualità di inondazione del cantiere non costituisce un rischio eccessivamente elevato, se si posizionano i punti di estremità dell'attraversamento adeguatamente distanti dall'alveo attivo.

Per lo staffaggio su ponte esistente il problema dell'inondazione non inficia sulla fase di costruzione, supponendo che il ponte sia già progettato in modo tale che l'impalcato del ponte non venga inondato da piene con un tempo di ritorno adeguatamente calcolato.

Per l'attraversamento aereo su una nuova struttura portante invece, il caso di inondazione ha un'importanza maggiore poiché coinvolge le fasi di posa della struttura portante (ove prevista).

CRONOPROGRAMMA

Durata stimata della realizzazione dell'attraversamento

La durata della realizzazione dell'attraversamento viene stimata in base alla sua lunghezza. Confrontando le diverse tecnologie, si analizzano i tempi di realizzazione a parità di lunghezza di attraversamento: la tecnica più svantaggiata è il subalveo, poiché prevede lo sbancamento della più grande quantità di volume; segue il microtunnelling, poiché prevede la realizzazione dei pozzi di spinta e l'avanzamento dello scavo con la MTBM; segue l'attraversamento aereo su nuova struttura portante, che prevede la realizzazione della struttura stessa; la perforazione in T.O.C. è una tecnica d'attraversamento molto rapida; infine la tecnica più rapida è lo staffaggio su ponte esistente.

Possibilità di realizzare l'attraversamento da più punti contemporaneamente

La possibilità di avanzare da più punti in contemporanea è vantaggiosa poiché permette di ridurre notevolmente i tempi di realizzazione dell'opera. Tale opzione è considerabile nel caso di scavo in subalveo e nel caso di attraversamento aereo, poiché non vi è differenza tra il punto di partenza e il punto di arrivo. Nei casi di attraversamenti con tecnologia No Dig non vi è alcuna possibilità di avanzare con la posa da più punti, in quanto tali tecnologie presentano delle fasi che vanno eseguite necessariamente in ordine.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Possibilità di realizzare l'attraversamento da più punti contemporaneamente	4	5	1	1

Affidabilità del cronoprogramma stimato

Uno dei fattori più importanti che influenzano l'affidabilità del cronoprogramma stimato è il tipo di informazioni geotecniche, geologiche e del tracciato dei sottoservizi esistenti che si riesce ad ottenere prima dell'avvio del cantiere. Infatti, in fase di scavo è possibile incorrere in imprevisti che possono portare a ritardi nei lavori; alcune cause di ritardo al cronoprogramma possono essere:

- presenza di trovanti di grandi dimensioni da dover frantumare;
- guasto dei macchinari di scavo;

- condizioni meteorologiche avverse;
- condizioni idrauliche dell'alveo: corso d'acqua in piena.

Le diverse tecnologie riescono a gestire gli imprevisti in modo diverso.

Il microtunnelling risponde bene alla presenza di trovanti, alle condizioni meteo avverse e alla condizione di alveo in piena. Per contro un guasto della macchina provocherebbe gravi ritardi nel cronoprogramma, ma la probabilità che un guasto avvenga è molto bassa rispetto alla probabilità che si verifichino gli altri inconvenienti, quindi complessivamente tale tecnologia risulta molto affidabile rispetto al cronoprogramma stimato in fase di progetto.

Il T.O.C. invece necessita di una testa perforatrice adatta al tipo di sedimento che deve scavare/frantumare; la presenza di trovanti imprevisti quindi sarebbe un problema nel caso di incompatibilità con la testa perforatrice scelta; una soluzione potrebbe essere deviare il tracciato più in profondità, se le dimensioni del trovante lo consentono.

Il T.O.C. risponde bene invece in caso di condizioni meteo avverse e alla condizione di alveo in piena. Così come per il microtunnelling, il caso di guasto della macchina perforatrice provocherebbe gravi ritardi nel cronoprogramma, ma la probabilità che un guasto avvenga è molto bassa rispetto alla probabilità che si verifichino gli altri inconvenienti, quindi complessivamente tale tecnologia risulta molto affidabile rispetto al cronoprogramma stimato in fase di progetto.

Nel caso di scavo in subalveo l'affidabilità del cronoprogramma stimato è la migliore, poiché le macchine escavatrici risultano molto versatili nel gestire diversi sedimenti. Nel caso di trovante di dimensioni troppo grosse per la macchina scavatrice si procederà con la frantumazione di detto trovante e il proseguimento dello scavo. Il subalveo costituisce una buona scelta anche nel caso di guasto macchina, poiché le macchine utilizzate sono molto comuni e si possono facilmente reperire macchine sostitutive.

Lo scavo in subalveo rappresenta invece una scelta svantaggiata nel caso di condizioni meteo avverse e condizioni di piena, per cui i lavori dovrebbero necessariamente essere sospesi in attesa di condizioni favorevoli.

L'attraversamento aereo invece non risente degli imprevisti sopra elencati; costituisce un'ottima soluzione per affidabilità del cronoprogramma stimato.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Affidabilità del cronoprogramma stimato	5	3	2	2

Flessibilità nella gestione del ritardo

Amnesso il verificarsi di un imprevisto, si valuta la capacità di far fronte a tale imprevisto, con soluzioni che favoriscano l'avanzamento dei lavori e la minimizzazione dei riardi.

Le tecniche che presentano la possibilità di avanzare da più punti contemporaneamente sono certamente più avvantaggiate, poiché un imprevisto legato a un problema puntuale blocca i lavori solamente su una parte, consentendo l'avanzamento dei lavori dal lato opposto.

Guasti a macchine per scavo in subalveo o macchinari necessari alla realizzazione dell'attraversamento aereo sono certamente più gestibili rispetto a un guasto della macchina di perforazione in T.O.C. e, ancor peggio, in microtunnelling essendo quest'ultima inserita nello scavo in profondità.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Flessibilità nella gestione del ritardo	5	3	1	2

SICUREZZA

Rischi legati alla tecnica di costruzione- sicurezza del personale

Premettendo il fatto che qualsiasi tipologia d'attraversamento deve essere effettuata con le dovute misure che garantiscano la sicurezza del personale, ogni tecnologia prevede delle differenti lavorazioni che implicano differenti rischi.

Un'analisi dettagliata del rischio in cantiere dovrà essere fatta in uno specifico studio riguardante la sicurezza in cantiere. Le presenti considerazioni sono puramente di carattere qualitativo, per dare un primo peso a tale aspetto.

Ammettendo lo stesso tipo d'infortunio di un operatore, il rischio aumenta all'aumentare di:

- tempo di esposizione del personale al rischio;
- numero di persone esposte al rischio;
- probabilità che l'infortunio avvenga.

Le tecnologie No Dig hanno un vantaggio rispetto allo scavo in subalveo poiché non prevedono scavo a cielo aperto per la lunghezza dell'attraversamento. Il personale lavora dunque esclusivamente nei punti di partenza e di arrivo dell'attraversamento, riducendo così il rischio d'infortunio.

Senza dover entrare nel dettaglio delle singole lavorazioni, la classifica per il tempo di esposizione al rischio in ordine crescente è la seguente:

1. staffaggio su ponte esistente;
2. T.O.C.;
3. microtunnelling;
4. attraversamento aereo;
5. subalveo.

Il numero di persone esposte al rischio è ipotizzabile uguale per microtunnelling, T.O.C. e staffaggio su ponte esistente, e un numero maggiore di operatori nel caso di subalveo e di attraversamento aereo.

La probabilità che l'infortunio di un operatore si verifichi è legato alle singole attività di ogni tecnologia:

- per il Microtunnelling il rischio è legato alla fase di costruzione dei pozzi; l'utilizzo della macchina MTBM non comporta rischi per gli operatori in quanto essa è comandata dall'esterno;
- per il T.O.C. il rischio viene ridotto all'utilizzo della macchina perforatrice più lo scavo dei pozzetti d'ispezione sulle due sponde;
- per il subalveo il rischio si estende per tutto lo scavo della lunghezza dell'attraversamento più lo scavo dei pozzetti d'ispezione sulle due sponde.
- per lo staffaggio su ponte esistente il rischio è legato alla sola attività dell'operatore che monta gli ancoraggi al ponte e la condotta su tali ancoraggi;
- per l'attraversamento aereo su nuova struttura portante si sommano ai rischi dello staffaggio su ponte esistente i rischi legati alla costruzione della nuova struttura portante, se prevista.

A valle di queste considerazioni qualitative, si può affermare che la tecnica più sicura in base al tipo di attività svolta dal personale è la T.O.C., che non prevede né scavo a cielo aperto né realizzazione di opere accessorie, e coinvolge il minimo numero di operatori.

A secondo posto vi è lo staffaggio su ponte esistente, che non prevede alcuno scavo, e una veloce realizzazione dell'opera.

Seguono il microtunnelling e l'attraversamento aereo.

La tecnica più svantaggiata dal punto di vista della sicurezza del personale è il subalveo; esso comprende i rischi legati allo scavo a ciel aperto per tutta la lunghezza dell'attraversamento, oltre che i rischi legati alla realizzazione dei pozzetti d'ispezione, una lunga durata temporale all'esposizione al rischio e un numero di personale esposto al rischio maggiore rispetto alle altre opzioni.

3.4.4 CATEGORIA D: ASPETTI ECONOMICI

COSTI DI COSTRUZIONE

Microtunnelling

Il costo di realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling può essere suddiviso in costo di realizzazione dei pozzi di spinta e d'arrivo e il costo di realizzazione della perforazione.

Il pozzo di spinta si compone dei seguenti principali elementi:

- struttura permanente in cemento armato;
- muro di contropinta in cemento armato;
- micropali in acciaio riempiti di boiaccia cementizia;
- cordolo in cemento armato che lega insieme i micropali.

A questi elementi principali si aggiungono costi "accessori" comunque necessari, quali: perforazione per i pali, casseri per il getto della struttura permanente e per la copertura, membrana impermeabilizzante, getti in calcestruzzo C28/35, volume di scotico, volume di scavo, armature B450C, magrone, pali in acciaio DN 150 x4 mm, pompaggio dell'acqua di falda pervenuta durante lo scavo, spritz beton utilizzato per uniformare la superficie dei pali per l'altezza della struttura permanente.

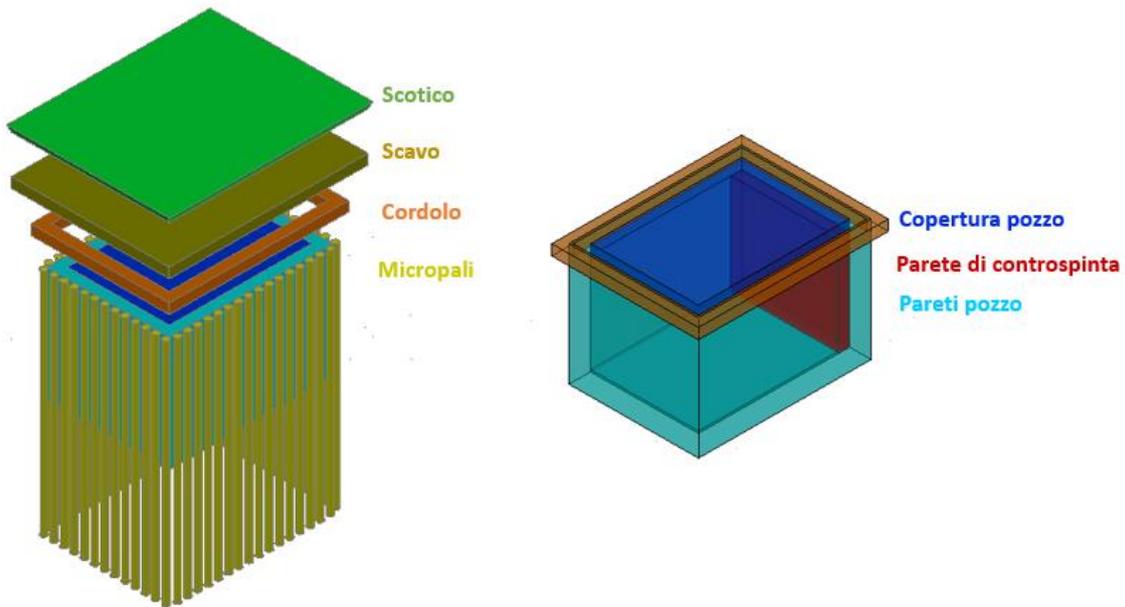


Figura 26: Schema costruttivo di un pozzo di spinta per microtunnelling

Subalveo

Il costo di realizzazione dell'attraversamento in subalveo può essere suddiviso in costo di realizzazione dei pozzetti d'ispezione e il costo di realizzazione dello scavo in alveo.

Il costo di realizzazione dei pozzetti d'ispezione è di molto inferiore rispetto al costo dei pozzi di spinta; essi infatti hanno dimensioni minori in quanto non devono contenere dei macchinari volti alla realizzazione dello scavo, e neppure un muro di controspinta adeguatamente dimensionato; questi servono soltanto a garantire l'accesso di una sonda per le video ispezioni o di un operatore che monitori e gestisca la presenza di eventuali problemi.

Il costo della realizzazione vera e propria dello scavo è ridotto, in quanto richiede la mobilitazione di macchine scavatrici molto comuni e poco costose.

T.O.C.

Anche in questo caso il costo di realizzazione dell'attraversamento include il costo di realizzazione dei pozzetti d'ispezione e quello della perforazione con macchina per T.O.C.. Questa tecnica risulta più economica rispetto alla perforazione in microtunnelling in quanto non richiede la costruzione di pozzi di spinta, ma più costosa dello scavo in trincea, poiché richiede la mobilitazione di macchinari e personale specializzato.

Aereo

L'attraversamento in staffaggio su ponte esistente rappresenta l'opzione più economica in assoluto; si devono solo predisporre degli ancoraggi alla struttura ponte capaci di reggere la condotta.

Nel caso di realizzazione dell'attraversamento aereo su una nuova struttura portante i costi includono i costi della struttura stessa.

Per analizzare l'impatto economico della costruzione con le diverse tecniche d'attraversamento, per ognuno dei 7 attraversamenti principali in progetto è stato stimato il costo di realizzazione per ogni tipologia costruttiva.

Per tener conto dell'impatto dei costi economici nella stessa analisi multicriteria è necessario convertire il costo di costruzione in un indice che esprima quanto costa un determinato attraversamento in relazione al costo dello stesso attraversamento con le altre alternative.

A partire dai costi per le diverse tecnologie:

C_{Aereo} = costo attraversamento aereo;

C_{sub} = Costo attraversamento in subalveo;

C_{MTBM} = Costo attraversamento in microtunnelling;

$C_{\text{T.O.C.}}$ = Costo dell'attraversamento in T.O.C.

Si calcola l'indice i_x come:

$$i_x = \frac{C_x \cdot 4}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}}$$

approssimato all'intero più vicino.

COSTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA

I costi di manutenzione ordinaria e straordinaria variano a seconda della tipologia di attraversamento, in funzione dell'accessibilità alla condotta e della frequenza di operazioni di manutenzione prevista.

Gli attraversamenti aerei sono avvantaggiati dal punto di vista dell'accessibilità, poiché rimangono fuori terra e sono facilmente raggiungibili, senza necessità di eseguire

scavi preliminari; sono invece svantaggiati per la loro vulnerabilità agli agenti esterni, si pensi ad esempio al problema del gelo e disgelo; infatti per un attraversamento aereo si presume una frequenza di manutenzione maggiore rispetto agli attraversamenti subacquei.

Nel caso di attraversamenti subacquei distinguiamo in attraversamenti che prevedono l'utilizzo di una camicia, (microtunnelling e il T.O.C.), e quelli che non ne prevedono l'utilizzo (subalveo).

Per il microtunnelling e il T.O.C. infatti gli interventi di manutenzione sono facilitati dalla presenza della camicia stessa, dentro la quale è alloggiata la condotta; nella peggiore delle ipotesi, caso di sostituzione di parte della condotta, essa può essere estratta dal tubo camicia senza effettuare operazioni di scavo. Inoltre, la camicia stessa conferisce maggiore protezione dagli agenti esterni, quindi si può presupporre per tali attraversamenti una minor frequenza di operazioni di manutenzione.

Per quanto riguarda la tecnologia in subalveo invece, essa è svantaggiata dall'assenza di camicia esterna, quindi risulta sia più vulnerabile ad agenti esterni che meno accessibile. La condotta in subalveo risulta infatti più esposta a degrado poiché essa può essere soggetta ad urti provenienti dal materiale coinvolto in trasporto solido di fondo.

	Aereo	Subalveo	MTBM	T.O.C.
Costi di manutenzione ordinaria e straordinaria	4	1	3	3

COSTI PER OCCUPAZIONI TEMPORANEE ED ESPROPRI

I costi di occupazioni temporanee ed espropri si differenziano per tipologia d'attraversamento, differendo per caso in subacqueo e caso aereo. I costi sono dettati dall'ente gestore del corso d'acqua, nel caso di attraversamento subacqueo, e dall'ente gestore dell'infrastruttura, nel caso di staffaggio su ponte esistente.

3.4.5 RISULTATI ANALISI MULTICRITERIA

I risultati dell'analisi multicriteria sono stati formulati per cinque diverse combinazioni di preferenze. Alla categoria verso la quale si esprime preferenza è stato

attribuito il 50% del peso decisionale finale, alle altre 3 categorie è stato assegnato il restante 50% del peso, uniformemente distribuito.

Tali risultati sono da combinare con i risultati dello studio delle alternative per escludere le modalità di scavo non realizzabili. Da notare che il vincitore dell'analisi multicriteria potrebbe anche essere una tecnologia non realizzabile per quello specifico attraversamento.

Le stesse deduzioni derivanti dall'analisi delle alternative devono essere integrate con le informazioni derivanti dai sondaggi geologici; in quest'analisi vengono riportati i risultati, senza escludere nessuna delle opzioni.

Il percorso decisionale è dunque il seguente:

1. l'analisi multicriteria restituisce una classifica delle tipologie d'attraversamento in base alle categorie considerate;
2. l'analisi delle alternative opera una scrematura delle tipologie d'attraversamento applicabili;
3. tra le tipologie applicabili si sceglie la vincitrice dell'analisi multicriteria, in base all'aspetto che si vuole privilegiare.

Di seguito sono riportate le classifiche delle tipologie d'attraversamento per ogni caso e per ogni preferenza.

Parità dei pesi					Preferenza agli aspetti tecnici				
	1°	2°	3°	4°		1°	2°	3°	4°
ID01	T.O.C.	Aereo	MTBM	Subalveo	ID01	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID03	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID03	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID05	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo	ID05	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID06	T.O.C.	Aereo	MTBM	Subalveo	ID06	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID10	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID10	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID14	T.O.C.	Aereo	MTBM	Subalveo	ID14	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID23	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID23	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo

Preferenza agli aspetti funzionali					Preferenza agli aspetti economici				
	1°	2°	3°	4°		1°	2°	3°	4°
ID01	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID01	Aereo	Subalveo	T.O.C.	MTBM
ID03	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID03	Subalveo	T.O.C.	Aereo	MTBM
ID05	T.O.C.	Aereo	MTBM	Subalveo	ID05	Aereo	T.O.C.	Subalveo	MTBM
ID06	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID06	T.O.C.	Subalveo	Aereo	MTBM
ID10	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID10	T.O.C.	Subalveo	Aereo	MTBM
ID14	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID14	Subalveo	T.O.C.	Aereo	MTBM
ID23	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo	ID23	T.O.C.	Subalveo	Aereo	MTBM

Preferenza agli aspetti sociali e ambientali				
	1°	2°	3°	4°
ID01	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo
ID03	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo
ID05	Aereo	T.O.C.	MTBM	Subalveo
ID06	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo
ID10	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo
ID14	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo
ID23	T.O.C.	MTBM	Aereo	Subalveo

Tabella 17: Classifica delle modalità d'attraversamento per i singoli casi, per ogni combinazione di preferenze.

Di seguito vengono riportati i risultati per l'attraversamento ID01. In allegato D i risultati dell'analisi per i 7 attraversamenti principali.

PARITÀ DEI PESI

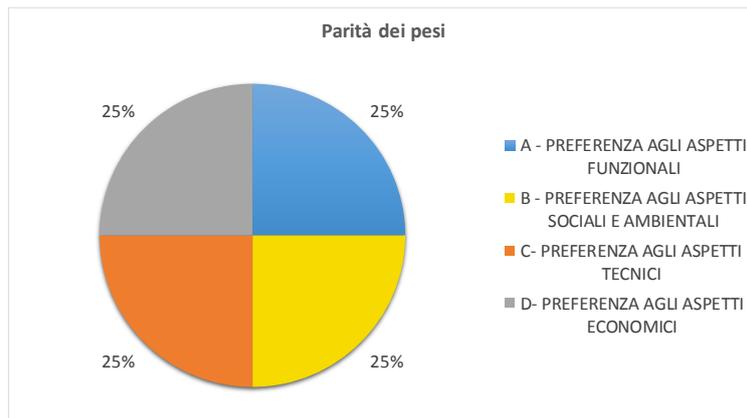


Grafico 1: Distribuzione dei pesi alle diverse categorie; parità dei pesi.

Il vincitore dell'analisi a parità di preferenze è il T.O.C, seguito dall'attraversamento aereo, il microtunnelling e lo scavo in subalveo. Da notare che molto probabilmente per l'attraversamento ID01 lo scavo in T.O.C. non potrà essere realizzato a causa delle condizioni geotecniche del sito.

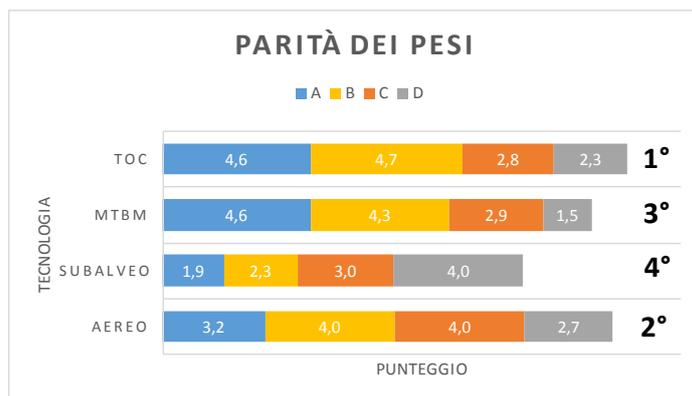


Grafico 2: Classifica delle modalità d'attraversamento; parità dei pesi.

PREFERENZA AGLI ASPETTI FUNZIONALI

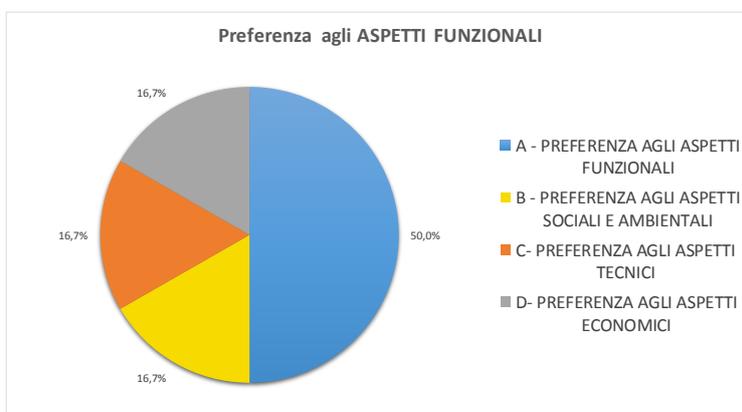


Grafico 3: Distribuzione dei pesi alle diverse categorie; preferenza agli aspetti funzionali.

Il vincitore dell'analisi con preferenza agli aspetti funzionali è il T.O.C, seguito dal microtunnelling, l'attraversamento aereo e per ultimo lo scavo in subalveo.

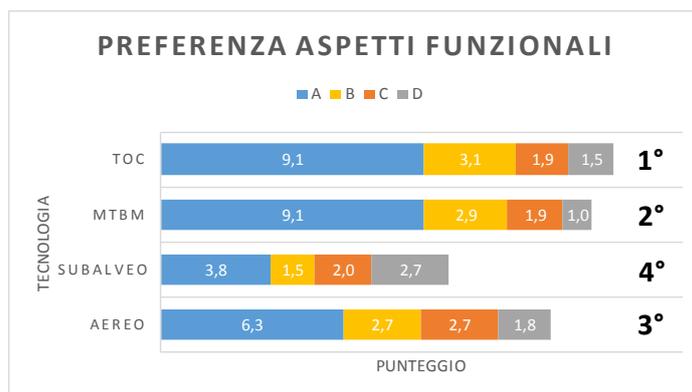


Grafico 4: Classifica delle modalità d'attraversamento; preferenza agli aspetti funzionali.

PREFERENZA AGLI ASPETTI SOCIALI E AMBIENTALI

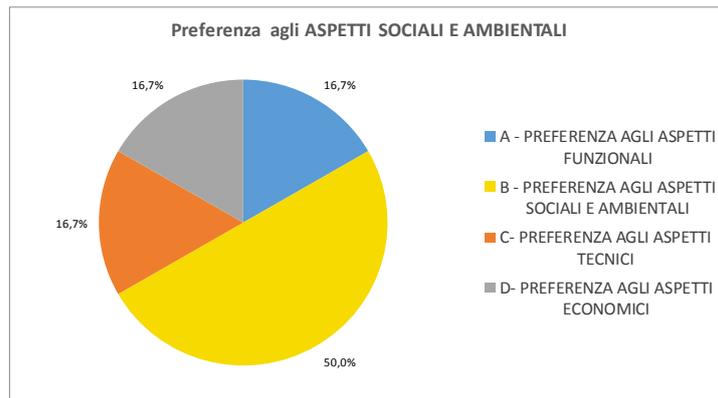


Grafico 5: Distribuzione dei pesi alle diverse categorie; preferenza agli aspetti sociali e ambientali

Il vincitore dell'analisi con preferenza agli aspetti sociali e ambientali è il T.O.C, seguito dal microtunnelling, l'attraversamento aereo quasi a pari meriti col microtunnelling, e per ultimo lo scavo in subalveo.

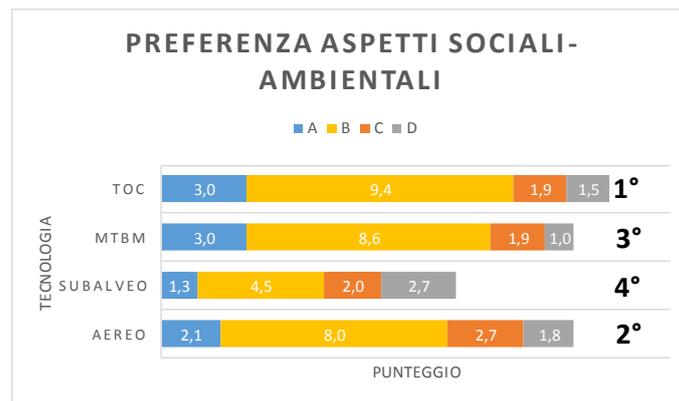


Figura 27: Classifica delle modalità d'attraversamento; preferenza agli aspetti sociali e ambientali

PREFERENZA AGLI ASPETTI TECNICI

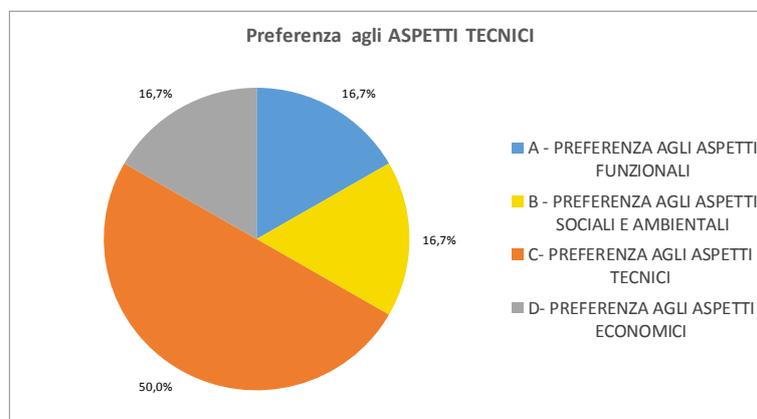


Grafico 6: Distribuzione dei pesi alle diverse categorie; preferenza agli aspetti tecnici

Il vincitore dell'analisi con preferenza agli aspetti tecnici è l'attraversamento aereo seguito dal T.O.C, dal microtunnelling, e per ultimo lo scavo in subalveo.

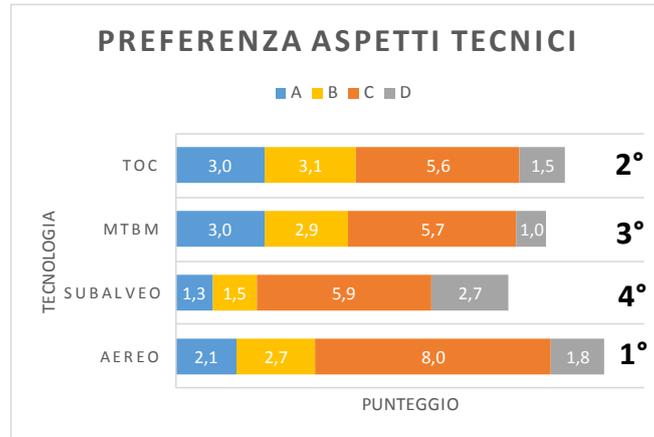


Grafico 7: Classifica delle modalità d'attraversamento; preferenza agli aspetti tecnici

PREFERENZA AGLI ASPETTI ECONOMICI

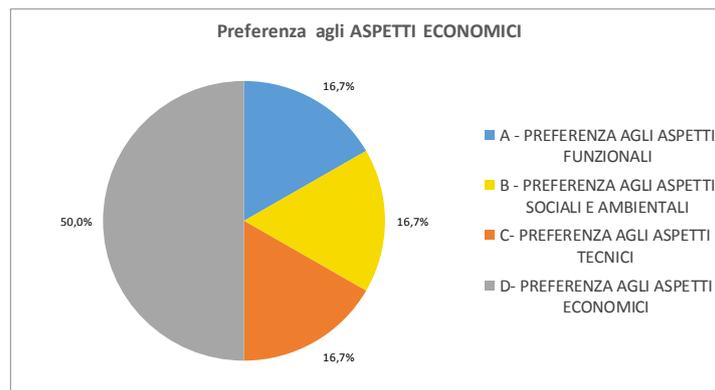


Grafico 8: Distribuzione dei pesi alle diverse categorie; preferenza agli aspetti economici

Il vincitore dell'analisi con preferenza agli aspetti economici è l'attraversamento aereo, seguito quasi a pari merito dal subalveo, T.O.C., e per ultimo il microtunnelling.

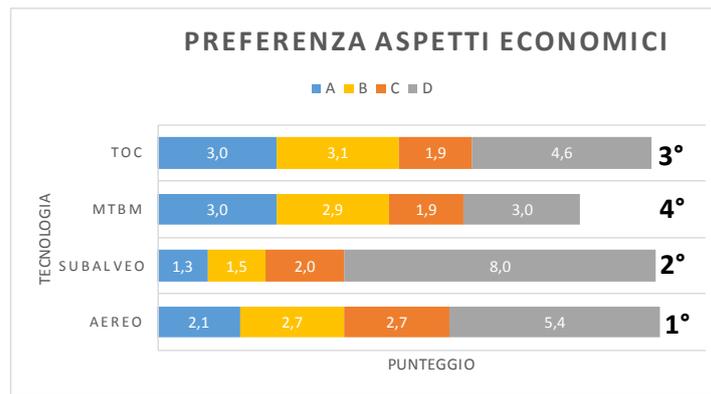


Grafico 9: Classifica delle modalità d'attraversamento; parità agli aspetti economici

Si noti che:

- lo scavo in subalveo è spesso svantaggiato rispetto alle altre tecnologie. L'analisi è stata condotta sui sette attraversamenti in progetto più complessi, che implicano grandi lunghezze, grandi portate o caratteristiche geomorfologiche particolari; ci si aspettava dunque un risultato che sfavorisse lo scavo tradizionale in trincea;
- lo scavo in T.O.C. è spesso avvantaggiato rispetto alle altre tecnologie, ma da prime ipotesi esso verrà spesso scartato per infattibilità a causa di condizioni geotecniche del sito.

3.5 ANALISI DELLE ALTERNATIVE

Tra gli attraversamenti da studiare nel dettaglio vi sono gli attraversamenti del Torrente Orco e quelli di altri torrenti che, o per dimensioni dell'alveo o per caratteristiche idro-geomorfologiche, richiedono uno studio approfondito.

Di seguito una descrizione dettagliata dei singoli attraversamenti studiati in dettaglio e una valutazione di prima approssimazione delle diverse opzioni di attraversamento.



Figura 28: Attraversamenti studiati nel dettaglio.

Lotto	N°	Corso d'acqua	Comune	Q-medie (m ³ /s)	DN	L. alveo	L. ATTRAV	Ipotesi da S.F.	Ipotesi attuale
1	ID01	Torrente Soana	Pont Canavese	7,7	800	20	60	Subalveo	Aereo
	ID03	Torrente Orco	Cuornè	24,4	250	85	230	Subalveo	Subalveo
	ID05	Torrente Orco	Cuornè	24,4	800	120	300	Subalveo	Microtunneling
	ID06	Torrente Orco	Cuornè/Valperga	24,4	800	50	135	TOC	Microtunneling
2	ID10	Torrente Chiusella	Strambinello	6,2	450	20	70	Subalveo	Microtunneling
	ID14	Rio Ribes	Samone/ Pavone Canavese	1,1	450	55	140	Subalveo	Subalveo
4	ID23	Torrente Orco	Castellamonte/Salassa	24,4	500	250	381	TOC	Microtunneling
	IR26	Canale di Rivarolo	Castellamonte	2,4	500	5	321	TOC	Subalveo

Tabella 18: Tabella riepilogativa degli attraversamenti studiati nel dettaglio.

3.5.1 ATTRAVERSAMENTO ID01

L'attraversamento ID01 coinvolge il Torrente Soana, uno dei maggiori affluenti del Torrente Orco; fa parte del lotto 1 e ricade nel comune di Pont Canavese. La condotta ha un diametro nominale di 800.

L'attraversamento si trova in un tratto prevalentemente rettilineo, circa 50 m a monte dalla confluenza in Orco. Qui il Torrente Soana ha una larghezza di circa 20 m ed è caratterizzato, in condizioni di portata media di circa $7,7 \text{ m}^3/\text{s}$, da un tirante al centro alveo dell'ordine di un metro e velocità elevate, tipiche di un torrente montano; le golene si estendono per circa 20 m a destra e 50 m a sinistra e presentano una vegetazione molto fitta. Quando il fiume è in piena l'area allagata si estende per una larghezza di circa 80 m (Figura 29).

La sponda destra presenta un versante piuttosto ripido con un corazzamento con massi tra i 50 cm e 1 m (Figura 30).

Nello studio di fattibilità la realizzazione dell'attraversamento era prevista in subalveo.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID01	1	Torrente Soana	Pont Canavese	800	Subalveo	Aereo

Tabella 19: Dati attraversamento ID01

SUBALVEO

L'opzione di realizzare l'attraversamento in subalveo sembra da scartare per diversi motivi. Il corazzamento presente nella sponda destra impedisce la realizzazione dello scavo tradizionale in trincea; la protezione rocciosa dovrebbe essere rimossa prima delle operazioni di scavo e poi ripristinata a lavori finiti. Il fondo dell'alveo è costituito da ammassi rocciosi, che rendono molto difficili le operazioni di scavo. Inoltre, deviare il corso d'acqua significherebbe interrompere la continuità della vegetazione golenale.

AEREO

La soluzione di realizzare l'attraversamento aereo è quella privilegiata. La sua realizzazione infatti risulta tecnicamente semplice poiché la lunghezza dell'attraversamento è molto ridotta. Questa soluzione costituisce inoltre un vantaggio

dal punto di vista ambientale, poiché non interferisce in nessun modo con la corrente e con la vegetazione.

Uno svantaggio di questa soluzione è costituito dal forte impatto visivo dell'opera; la condotta infatti qui presenta un diametro nominale di 800.

MICROTUNNELLING

L'opzione della realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling sembra, da una prima analisi, tecnicamente applicabile.

L'area circostante presenta in sinistra orografica uno spazio sufficiente ad accogliere il pozzo di spinta, e sulla sponda destra si potrebbe realizzare il pozzo d'arrivo.

Realizzando l'attraversamento in microtunnelling non si interferisce con il corso d'acqua, e si opera una rimozione della vegetazione golenale solo per l'area limitata dei pozzi. Il costo del microtunnelling in questo caso è eccessivamente elevato rispetto a quello delle altre tecnologie, poiché l'attraversamento è molto corto, quindi le spese della mobilitazione della MTBM non vengono ammortizzate.

T.O.C.

La perforazione in T.O.C. comporta numerosi vantaggi tra cui quelli ambientali, in quanto è una soluzione in sotterraneo e non necessita la realizzazione di un pozzo di spinta. Nel caso di realizzazione dell'attraversamento in T.O.C. sarà necessario posare una condotta in acciaio piuttosto che in ghisa, che si presta meglio a deviazioni altimetriche tipiche del T.O.C. La geologia del territorio, definita come “depositi alluvionali attuali: ciottoli poligenici, di taglia variabile dal cm³ al m³, arrotondati, in matrice sciolta prevalentemente sabbioso ghiaiosa con subordinati livelli poco potenti di sabbie e ghiaie” [28], ed il materiale scelto per la tubazione (ghisa sferoidale), rendono tale tecnologia non applicabile, secondo questa prima fase di studio. A valle delle indagini geologico-geotecnica, attualmente in corso, sarà possibile definire la stratificazione del terreno e verificare le ipotesi fatte.

SUBALVEO	✗	<ul style="list-style-type: none"> • Presenza del corazzamento su sponda destra; • Fondo roccioso.
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Pozzo di spinta in sponda sinistra; • Pozzo d'arrivo in sponda destra; • Costo elevato.

T.O.C.	i	<ul style="list-style-type: none"> • Verificare la qualità del sedimento con indagini.
AEREO	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza adeguata; • Basso costo.

Tabella 20: Riepilogo delle tecnologie applicabili – ID01.

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione è l'attraversamento aereo.

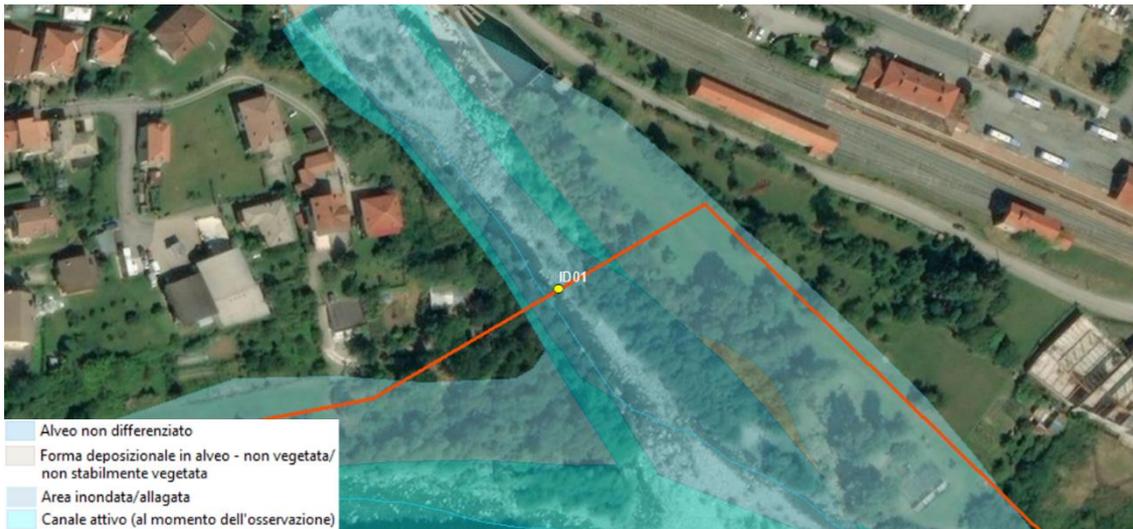


Figura 29: Torrente Soana; attraversamento ID01 Aree allagate derivanti dai dati della piena del 2000.



Figura 30: Torrente Soana; attraversamento ID01.

3.5.2 ATTRAVERSAMENTO ID03

L'attraversamento ID03 coinvolge il Torrente Orco; fa parte del lotto 1 e ricade nel comune di Cuorgnè. La condotta ha un diametro nominale di 250.

L'attraversamento si trova su un tratto pressoché rettilineo del torrente, compreso tra due curve alternate con grande raggio di curvatura; la sua collocazione non fa pensare alla possibilità di migrazione del torrente in quel punto.

Qui il Torrente Orco, in condizioni di portata media di circa 24,4 m³/s ha una larghezza di circa 85 m e un tirante al centro dell'alveo tra i 50 cm e un metro circa.

Quando il fiume è in piena l'area allagata si estende per una lunghezza di circa 230 m, fino a raggiungere la SP460 in sinistra orografica (Figura 31).

Lo studio di fattibilità prevedeva la realizzazione dell'attraversamento in subalveo, ipotesi che è stata confermata anche in questo studio.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID03	1	Torrente Orco	Cuorgnè	250	Subalveo	Subalveo

Tabella 21: Dati attraversamento ID03

SUBALVEO

Date le caratteristiche dell'alveo in questo tratto, con sezione di grandi dimensioni e bassi tiranti, è possibile effettuare una parzializzazione della sezione in fase di costruzione, attraverso la realizzazione di piccole ture o cofferdams.

La parzializzazione della sezione provoca una variazione delle normali condizioni di moto, pertanto dovranno essere effettuate delle verifiche idrauliche dell'onda di piena in fase di costruzione, al fine di verificare che il nuovo regime di moto non influisca con altre opere esistenti.

La realizzazione dello scavo in alveo comporta in fase di costruzione notevoli rischi tra cui quelli di inondazione, che potrà essere superato effettuando un sistema di allerta che permetterà di bloccare le lavorazioni durante i periodi di piena.

AEREO

In questo caso l'attraversamento ha una lunghezza notevole, più di 200 m, quindi la nuova struttura portante necessiterebbe di appoggi intermedi quali pile in alveo. La

presenza di pile in alveo però comporta una notevole interazione con la morfodinamica del fondo. Inoltre, tale soluzione comporta un forte impatto visivo. I costi derivanti dalla costruzione della struttura portante con pile in alveo sono maggiori dei costi di realizzazione con scavo in subalveo. Tutte queste considerazioni portano ad escludere l'opzione di attraversamento aereo.

MICROTUNNELLING

L'area circostante presenta sia sulla sponda sinistra che su quella destra spazio sufficiente ad accogliere il pozzo di spinta e pozzo d'arrivo.

Realizzando l'attraversamento in microtunnelling non si interferisce con il corso d'acqua, e si opera una rimozione della vegetazione golenale solo per l'area limitata dei pozzi, che si collocherebbero comunque a debita distanza dall'alveo attivo, sia per non edificare strutture permanenti in alveo, sia per non incorrere in problemi di allagamento in fase di costruzione del pozzo o in fase di perforazione.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID03.

SUBALVEO	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilità di parzializzare la sezione.
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Condizioni favorevoli alla realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling; • Costi elevati.
T.O.C.	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> • Verificare la qualità del sedimento con indagini.
AEREO	✗	<ul style="list-style-type: none"> • Attraversamento molto lungo; • Vulnerabilità agli eventi di piena; • Forte impatto visivo.

Tabella 22: Riepilogo delle tecnologie applicabili – ID03

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione l'attraversamento in subalveo.

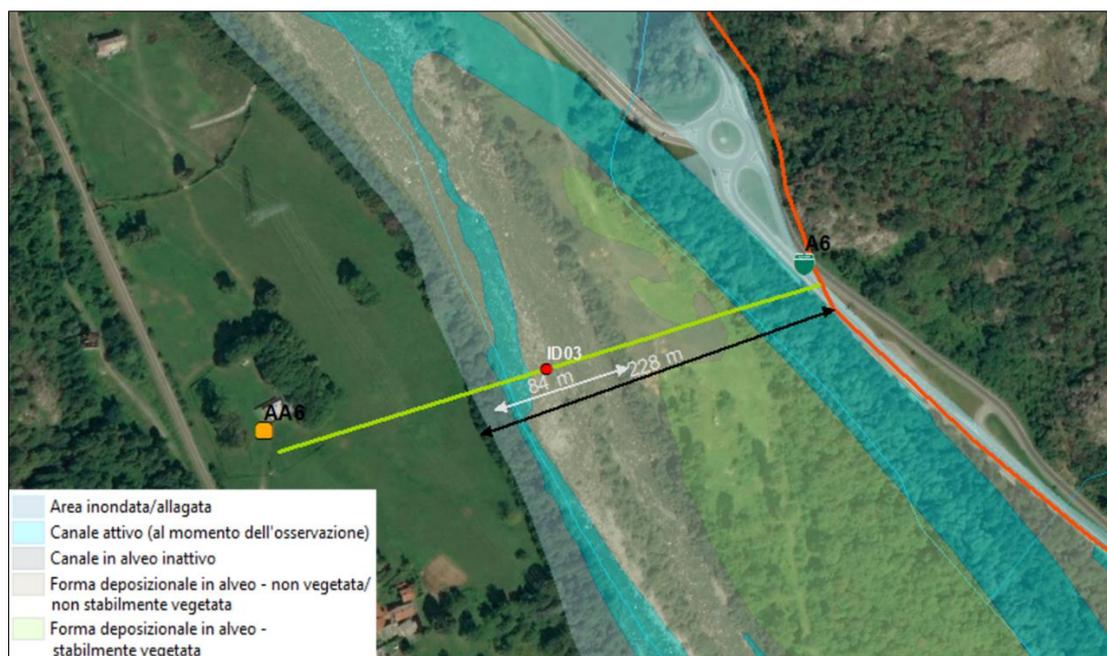


Figura 31: Attraversamento ID03, Torrente Orco. Aree allagate derivanti dai dati della piena del 2000.



Figura 32: Torrente Orco; attraversamento ID03

3.5.3 ATTRAVERSAMENTO ID05

L'attraversamento ID05 coinvolge il Torrente Orco; fa parte del lotto 1 e ricade nel comune di Cuorgnè, circa 60 m a valle del ponte della SP460. La condotta ha un diametro nominale di 800.

L'attraversamento si trova in un tratto in leggera curva. Qui il Torrente Orco ha una larghezza di circa 120 m per portate medie di circa 24,4 m³/s; la golena sinistra presenta una fitta vegetazione, che si estende per circa 70 m.

Quando il fiume è in piena l'area allagata si estende per una lunghezza di quasi 300 m (Figura 33).

Nello studio di fattibilità era prevista la realizzazione dell'attraversamento in subalveo.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID05	1	Torrente Orco	Cuornè	800	Subalveo	Microtunnelling

Tabella 23: Dati attraversamento ID05

SUBALVEO

L'opzione di realizzare l'attraversamento in subalveo sembra in una prima analisi da scartare, per diversi motivi.

Essendo in presenza di un tratto in curva, si prevedono migrazioni dell'alveo, dovute a fenomeni di scavo e deposito. La profondità di scavo in questo punto deve necessariamente essere più elevata per garantire un minimo spessore di ricoprimento alla condotta e scongiurare il rischio di scalzamento.

Inoltre, la portata elevata e la dimensione dell'alveo molto largo, soprattutto in eventi di piena, rendono la deviazione del corso d'acqua particolarmente difficile. Anche la presenza delle infrastrutture circostanti, quali il ponte della SP460 e la SP58 in sinistra orografica contribuisce a rendere le operazioni di deviazione del corso d'acqua molto complesse.

Neanche l'opzione di parzializzazione della sezione sembra in questo caso applicabile; dimezzare la sezione di deflusso significa aumentare il tirante e la velocità della corrente. Ciò comporta delle modifiche alla dinamica di fondo, che instaura un meccanismo di scavo/ deposito. Tale meccanismo è da evitare in presenza di ponti nelle vicinanze, come in questo caso.

STAFFAGGIO

La presenza del ponte della SP460 porta a considerare l'opzione di eseguire l'attraversamento in staffaggio su ponte esistente.

Il ponte si presenta, da considerazioni puramente estetiche, in buone condizioni (Figura 35).

L'opzione dello staffaggio sulla struttura di un ponte esistente implica necessariamente la verifica strutturale del ponte, col carico aggiuntivo costituito dalla condotta.

Il peso della condotta staffata è dato dalla somma del peso della condotta in ghisa più il peso dell'acqua che essa trasporta.

La condotta in questo tratto presenta però un diametro nominale di 800, in ghisa sferoidale. Il peso della condotta costituirebbe un carico permanente importante per la struttura del ponte (Tabella 24).

$$P_{TOT} = P_{Ghisa} + P_{Acqua}$$

DN 800		
Peso specifico ghisa sferoidale	7300	kg/m ³
Spessore	7,5	mm
D esterno	842,0	mm
D interno	834,5	mm
Peso condotta ghisa/m	72,1	kg/m
Peso acqua/m	546,9	kg/m
Peso TOT	619,0	kg/m

Tabella 24: Peso lineare di una condotta in ghisa sferoidale per un DN 800.

Per ridurre il peso della condotta staffata si potrebbe agire su una delle due componenti del peso:

1. ridurre il peso della condotta;
2. ridurre la massa d'acqua contenuta nella condotta.

Ridurre il peso della condotta vorrebbe dire sostituire la condotta con un materiale più leggero, oppure ridurre le dimensioni della condotta stessa, quindi il suo diametro e il suo spessore.

Ma, come si può notare dal Grafico 10 gran parte del peso della condotta piena è costituito dall'acqua, quindi agire sul peso della condotta, cambiando il materiale o agendo sullo spessore del tubo, non influisce in modo determinante sul peso finale.



Grafico 10: Percentuali del peso di una condotta in pressione.

Quindi, fermo restando che la condotta rimanga in pressione, mantenendo un riempimento della condotta del 100%, l'opzione di ridurre la massa d'acqua all'interno della condotta si riduce all'ipotesi di restringere il diametro localmente.

Il peso del volume d'acqua contenuto nella condotta decresce col diametro al quadrato; quindi, dimezzando il diametro, si riduce di quattro volte il peso al metro lineare della condotta.

Effettuando un calcolo con la condotta con DN 400 infatti, il peso della condotta piena si è ridotto di 3,6 volte rispetto a quello con DN 800. Da notare che riducendo il diametro nominale si riduce anche lo spessore della condotta, in modo non lineare; in questo caso il peso della condotta si è ridotto perché la condotta ha diametro minore, ma costituisce adesso il 18% del peso totale, ha un'influenza leggermente maggiore sul peso totale rispetto al caso precedente, ma l'acqua resta comunque l'elemento che influisce maggiormente sul peso totale.

DN 400		
Peso specifico ghisa sferoidale	7300	kg/m ³
Spessore	6,4	mm
D esterno	429,0	mm
D interno	422,6	mm
Peso condotta ghisa/m	31,2	kg/m

DN 400		
Peso acqua/m	140,3	kg/m
Peso totale	171,5	kg/m

Tabella 25: Peso lineare di una condotta in ghisa sferoidale per un DN 400.

Se si riducesse quindi il diametro sulla sola lunghezza dell'attraversamento, compensando le perdite di carico dovute al restringimento della condotta con un allargamento del diametro a monte e a valle dell'attraversamento, il soddisfacimento della verifica statica sarebbe più probabile poiché questa verrebbe eseguita con un carico molto minore (3,6 volte minore nel caso di condotta con DN 400 rispetto a DN 800), e si manterrebbero i vantaggi economici ed ambientali dell'effettuare l'attraversamento in staffaggio su una struttura preesistente.

Un'analisi idraulica sul funzionamento in pressione della condotta va effettuata nel dettaglio, per ipotizzare il set di diametri per il restringimento e gli allargamenti più conveniente dal punto di vista idraulico, statico ed economico.

Si potrebbe ipotizzare anche la costruzione di una nuova struttura portante, posta in prossimità del ponte esistente.

Anche in questo caso, analogamente all'attraversamento ID03, l'attraversamento ha una lunghezza notevole, se si includono anche parte delle aree golenali allagabili; perciò, una delle condizioni da verificare è la fattibilità di tale struttura portante in assenza di pile in alveo. Conseguono le stesse considerazioni sulla presenza delle pile in alveo fatta nel caso dell'attraversamento ID03.

In questo caso la vicinanza al ponte ridurrebbe drasticamente gli svantaggi derivanti dall'impatto visivo di una nuova struttura aerea; infatti collocandola il più possibile in prossimità della struttura ponte si minimizza la sua visibilità.

MICROTUNNELLING

L'area circostante presenta in destra orografica uno spazio sufficiente ad accogliere il pozzo di spinta; sulla sponda sinistra, la vegetazione golenale si estende maggiormente, per circa 70 m; resta comunque spazio a sufficienza per ospitare il pozzo d'arrivo.

Valgono considerazioni analoghe all'attraversamento ID03 in quanto ai vantaggi derivanti dalla realizzazione in microtunnelling di questo attraversamento.

Per le considerazioni fatte alla voce "subalveo" di tale paragrafo, sulla posizione in curva di tale attraversamento, il microtunnelling appare la scelta migliore in questa fase di progettazione.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID05.

SUBALVEO	✗	<ul style="list-style-type: none"> Attraversamento in curva, profondità di scavo elevate; Presenza di infrastrutture viarie in prossimità dell'attraversamento.
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none"> Condizioni favorevoli alla realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling.
T.O.C.	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> Verificare la qualità del sedimento con indagini.
AEREO	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> Valutare la possibilità di variazione del diametro per alleggerire il tratto in attraversamento; Verificare la fattibilità di una nuova struttura in assenza di pile in alveo.

Tabella 26: Riepilogo delle tecnologie applicabili - ID05

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione l'attraversamento in microtunnelling.

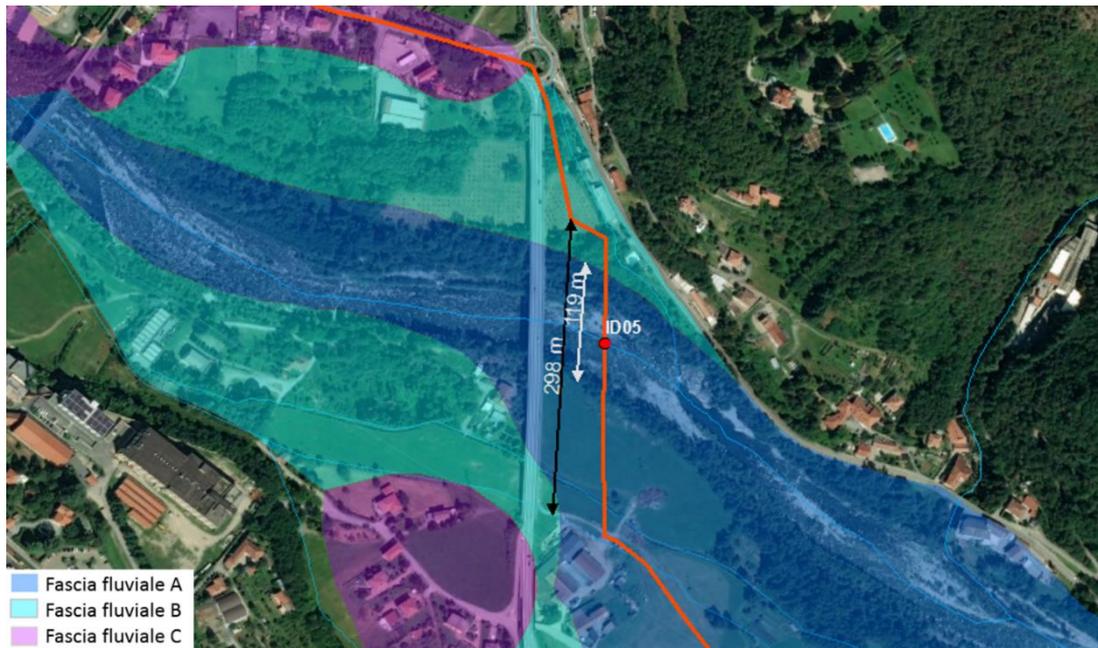


Figura 33: Attraversamento ID05, Torrente Orco.



Figura 34: Torrente Orco; attraversamento ID05.



Figura 35: Dettaglio del ponte della SP460.

3.5.4 ATTRAVERSAMENTO ID06

L'attraversamento ID06 coinvolge il Torrente Orco; fa parte del lotto 1 e ricade al confine tra il comune di Cuorgnè e Valperga. La condotta ha un diametro nominale di 800.

In questo tratto l'alveo del torrente risulta più stretto rispetto ai tratti a monte; La corrente è caratterizzata infatti da tiranti e velocità maggiori.

Qui il Torrente Orco ha una larghezza di circa 50 m per portate medie di circa 24,4 m³/s; entrambe le sponde presentano una fitta vegetazione; in particolare nella gola sinistra l'area vegetata si estende per circa 70 m.

Quando il fiume è in piena l'area allagata si estende per una larghezza di circa 135 m.

A monte dell'attraversamento si dirama il Canale dei Mulini, che porta acqua fino a Castellamonte. Inoltre, è presente anche un'opera di stabilizzazione del fondo. Si nota solo una leggera tendenza ad erodere in destra orografica e depositare in sinistra, ma comunque il punto in cui è posizionato l'attraversamento sembra non essere soggetto a migrazione, o almeno non in tempi confrontabili con la vita utile dell'acquedotto.

Nello studio di fattibilità era prevista la realizzazione dell'attraversamento in T.O.C.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID06	1	Torrente Orco	Cuorgnè	800	T.O.C.	Microtunnelling

Tabella 27: Dati attraversamento ID06.

SUBALVEO

L'opzione di realizzare l'attraversamento in subalveo sembra da scartare, poiché le caratteristiche della corrente rendono la deviazione del corso d'acqua molto difficile.

Nemmeno la parzializzazione della sezione risulta applicabile a causa della sezione già stretta e dei tiranti elevati.

AEREO

Le considerazioni fatte per l'attraversamento ID03 valgono anche per l'attraversamento ID06.

MICROTUNNELLING

La soluzione in microtunnelling sembra la più adeguata.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID03 valgono anche per l'attraversamento ID06.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID06.

SUBALVEO	✗	<ul style="list-style-type: none">• Portate, velocità e tiranti elevati.
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none">• Condizioni favorevoli alla realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling.
T.O.C.	ⓘ	<ul style="list-style-type: none">• Verificare la qualità del sedimento con indagini.
AEREO	✗	<ul style="list-style-type: none">• Condotta di grosse dimensioni;• Vulnerabilità agli eventi di piena;• Forte impatto visivo.

Tabella 28: Riepilogo delle tecnologie applicabili – ID06.

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione l'attraversamento in microtunnelling.



Figura 36: Attraversamento ID06, Torrente Orco.

3.5.5 ATTRAVERSAMENTO ID10

L'attraversamento ID10 coinvolge il Torrente Chiusella; fa parte del lotto 2 e ricade nel comune di Strambinello. La condotta ha un diametro nominale di 450.

In questo tratto l'alveo ha una larghezza di circa 17 m ed è molto inciso. L'attraversamento si trova subito a valle di un tratto curvilineo; in curva si generano fenomeni di erosione della sponda esterna e deposito sulla sponda interna. Nel valutare la lunghezza dell'attraversamento va tenuto conto quindi della possibilità di fenomeni di migrazione verso Nord-Est. Per tener conto di ciò sarebbe favorevole realizzare un attraversamento con tecnologia No Dig, giungendo a profondità adeguate e lunghezze tali da superare il problema dell'erosione spondale.

Il Torrente Chiusella presenta una portata media di 6,2 m³/s; in questo tratto il corso d'acqua ha velocità molto elevate e la portata defluente produce tiranti elevati.

Nello studio di fattibilità era prevista la realizzazione dell'attraversamento in subalveo.

Da notare la presenza dell'edificio sulla sponda destra, presumibilmente una centrale idroelettrica; di tale costruzione bisogna mappare i sottoservizi per evitare di intercettarli durante lo scavo.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID10	2	Torrente Chiusella	Strambinello	450	Subalveo	Microtunnelling

Tabella 29: Dati attraversamento ID10

SUBALVEO

L'opzione di realizzare l'attraversamento in subalveo viene scartata a causa delle caratteristiche idrodinamiche del corso d'acqua.

Le stesse considerazioni per l'attraversamento ID06 valgono per l'attraversamento ID10.

AEREO

Dato che l'attraversamento ha una lunghezza molto ristretta, costruire una nuova struttura portante non comporterebbe particolari difficoltà poiché sarebbe una struttura che non interferisce con il corso d'acqua in quanto non presenterebbe pile in alveo; inoltre

la condotta presenta un diametro nominale di 450, che è una dimensione ancora accettabile per valutare l'attraversamento aereo.

MICROTUNNELLING

La soluzione in microtunnelling sembra la più adeguata. Considerazioni analoghe all'attraversamento ID03 valgono anche per l'attraversamento ID10.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID10.

SUBALVEO	✗	<ul style="list-style-type: none"> Fondo roccioso; Mancanza di spazio per deviare il corso d'acqua; Portate, tiranti e velocità elevati.
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none"> Condizioni favorevoli alla realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling
T.O.C.	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> Verificare la qualità del sedimento con indagini
AEREO	✓	<ul style="list-style-type: none"> Diametro della condotta accettabile; Lunghezza dell'attraversamento accettabile per realizzare una struttura stabile senza interagire con l'aveo

Tabella 30: Riepilogo delle tecnologie applicabili – ID10

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione l'attraversamento in microtunnelling.



Figura 37: Attraversamento ID10, Torrente Chiusella.



Figura 38: Torrente Chiusella; attraversamento ID10.

3.5.6 ATTRAVERSAMENTO ID14

L'attraversamento ID14 coinvolge il Rio Ribes; fa parte del lotto 2 e ricade al confine tra Samone e Pavone Canavese. La condotta ha un diametro nominale di 450.

L'attraversamento si trova in un tratto perlopiù rettilineo, subito a monte del ponte della SS565. Qui il Rio Ribes ha una larghezza di circa 54 m; la golenza sinistra presenta una fitta vegetazione, che si estende per circa 80 m.

La corrente è caratterizzata da tiranti molto bassi e velocità modestissime. Il Rio Ribes presenta in tutto il suo sviluppo larghezza d'alveo molto più ristretta, e di conseguenza velocità e tiranti maggiori; ma proprio a monte del ponte l'alveo si allarga notevolmente.

Nello studio di fattibilità era prevista la realizzazione dell'attraversamento in subalveo.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID14	2	Rio Ribes	Samone/Pavone Canavese	450	Subalveo	Subalveo

Tabella 31: Dati attraversamento ID14.

SUBALVEO

Viste le caratteristiche della corrente, lo scavo in subalveo si ritiene una buona opzione. Infatti, la larghezza dell'alveo e la corrente molto lenta permettono di operare senza particolari problemi una parzializzazione della sezione mediante l'utilizzo di

palancole: si procede con lo scavo e la messa in posa della condotta nel primo tratto e, a lavoro ultimato, si sposta il cantiere sul secondo tratto, parzializzando la sezione sul lato opposto. La parzializzazione tramite palancole è un'ipotesi che dovrà essere verificata alla luce delle indagini geotecniche, che dovranno dare informazioni sulla stabilità offerta dal terreno per reggere tali palancole. Esse inoltre dovranno essere dimensionate per un'altezza corrispondente a una portata con un certo tempo di ritorno, calcolata sulla sezione ristretta.

STAFFAGGIO

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID05 valgono anche per l'attraversamento ID14. In questo caso si potrebbe pensare di ridurre localmente il diametro fino a un DN 200, per poter affrontare l'attraversamento con un peso minore.

MICROTUNNELLING

Le condizioni per effettuare l'attraversamento in microtunnelling sono adeguate, ma i costi sono nettamente maggiori a quelli dell'attraversamento in subalveo.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID14.

SUBALVEO	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilità di parzializzare la sezione
MTBM	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Condizioni favorevoli alla realizzazione dell'attraversamento in microtunnelling; • Costi elevati
T.O.C.	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> • Verificare la qualità del sedimento con indagini
AEREO	ⓘ	<ul style="list-style-type: none"> • Effettuare la verifica statica del ponte; • Valutare la possibilità di variazione del diametro per alleggerire il tratto in attraversamento; • Verificare la fattibilità di una nuova struttura in assenza di pile in alveo.

Tabella 32: Riepilogo delle tecnologie applicabili – ID14

L'ipotesi più accreditata nella presente fase di progettazione l'attraversamento in subalveo con parzializzazione della sezione tramite palancole.

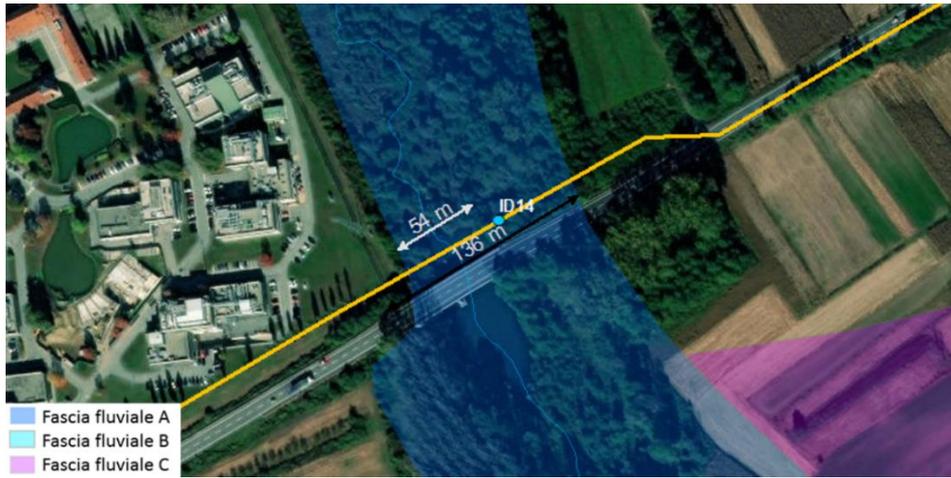


Figura 39: Attraversamento ID14, Rio Ribes.



Figura 40: Rio Ribes; attraversamento ID14.



Figura 41: Dettaglio dell'impalcato del ponte della SS565

3.5.7 ATTRAVERSAMENTI ID 22, ID23, ID24 E IR26

Gli attraversamenti ID22, ID23, ID24 e IR26 fanno parte del lotto 4, e si trovano a circa 100 m dal ponte della SS565 lato monte, all'altezza di Salassa. La condotta ha un diametro nominale di 500.

Nello studio di fattibilità era prevista la realizzazione dei due attraversamenti centrali in T.O.C. e di quelli di estremità in subalveo.

N°	Lotto	Corso d'acqua	Comune	DN	Ipotesi S.F.	Ipotesi attuale
ID22	2	Gora di Ozegna	Castellamonte	500	Subalveo	Microtunnelling
ID23	2	Torrente Orco	Castellamonte	500	T.O.C.	
ID24	2	Canale di restituzione	Castellamonte	500	T.O.C.	Subalveo
IR26	2	Canale di Rivarolo	Castellamonte	500	Subalveo	

Tabella 33: Dati attraversamenti ID22, ID23, ID24, IR26

La sezione dell'attraversamento presenta una geometria complessa, dovuta alla presenza di più attraversamenti ravvicinati, tra attraversamenti fluviali e attraversamenti di canali irrigui. Essa infatti comprende (partendo da destra orografica) il canale di Rivarolo (attraversamento IR26), un canale che restituisce acqua dal canale di Rivarolo nell'Orco (attraversamento ID24), il torrente Orco stesso (attraversamento ID23), la Gora di Ozegna, in sinistra orografica (attraversamento ID22).

Tra gli attraversamenti sul Torrente Orco questo è il più complesso da realizzare poiché in questo tratto, in prima approssimazione, l'alveo ha un'estensione di 220m; l'area golenale si presenta fittamente vegetata, con un'estensione di 80 m sulla destra e di 350 m sulla sinistra.

Il canale di restituzione

Un primo accorgimento per semplificare la realizzazione dell'attraversamento è quella di spostare il tracciato verso Sud, di circa 70 m; in questo modo si elimina l'intersezione con il canale di restituzione in Orco, quindi si elimina l'attraversamento ID24 (Figura 43)

Eliminare l'attraversamento ID24 costituisce un notevole vantaggio; il fondo di questo canale infatti è interamente rivestito con massi cementati. Realizzare l'attraversamento in subalveo, per questo canale, significherebbe smontare tutto il rivestimento in massi cementati, e poi ripristinarlo a posa ultimata.

La deviazione del corso d'acqua non sarebbe invece troppo complicata, in quanto basterebbe chiudere gli organi di regolazione che vi sono tra il Canale di Rivarolo e il canale di restituzione, e aprire un nuovo canale di restituzione temporaneo poco più a monte.

Il canale di Rivarolo

Il Canale di Rivarolo è un canale irriguo che preleva acqua dal Torrente Orco. All'altezza dell'attraversamento in esame, una parte della portata viene restituita all'Orco, e una parte, pari al massimo a $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ come indica la targa in Figura 42, viene lasciata defluire nel canale, verso il comune di Rivarolo Canavese.

Il canale presenta sponde protette da massi cementati (Figura 47).



Figura 42: Informazioni di portata in sito - Canale di Rivarolo; attraversamento IR26

Una delle possibilità implica la suddivisione della lunghezza dell'attraversamento in due tratti.

Tratto 1: microtunnelling

L'idea di base è realizzare l'attraversamento centrale del Torrente Orco (ID23) con tecnologia No Dig, probabilmente in Microtunnelling, per non interferire con la dinamica del fiume.

Poiché la Gora di Ozegna si trova molto in prossimità dell'alveo dell'Orco, si può pensare di sfruttare la perforazione in No Dig anche per la lunghezza che includa la Gora, posizionando il pozzo di spinta (o d'arrivo) a Est della Gora; quindi realizzare un unico attraversamento in microtunnelling di circa 380 m per gli attraversamenti ID23 e ID24 (Figura 44);

Tratto 2: subalveo

Effettuare lo scavo in subalveo per la lunghezza rimanente di 320 m, fino ad oltrepassare il Canale di Rivarolo.

Questa opzione però implica il posizionamento del pozzo d'arrivo (o di spinta) per la perforazione in microtunnelling all'interno della fascia fluviale A, che presenta peraltro una vegetazione molto fitta. Il pozzo di spinta costituisce un'opera permanente, e bisognerà verificare la possibilità di costruirlo in fascia A.

Come per i casi precedenti, si analizzano tutte le tecnologie d'attraversamento.

SUBALVEO

Il torrente Orco in questo punto presenta una portata troppo elevata per poter essere deviato. L'opzione di realizzare l'attraversamento ID23 in subalveo potrebbe realizzarsi soltanto tramite la parzializzazione della sezione con l'utilizzo di palancole.

L'attraversamento in subalveo rappresenta invece una buona opzione per l'attraversamento irriguo del Canale di Rivarolo; qui infatti la portata è modesta e viene regolata dagli organi di regolazione subito a monte dell'attraversamento. In fase di costruzione il canale può venir temporaneamente chiuso direttamente da quegli organi, oppure può essere deviato.

STAFFAGGIO

L'attraversamento si trova in prossimità del ponte della SS565 (Figura 48). L'utilizzo del ponte esistente per realizzare l'attraversamento in staffaggio viene però escluso per diversi motivi:

- il ponte da una prima considerazione visiva non si presenta in ottime condizioni; per tutta la sua lunghezza presenta infatti punti di criticità in corrispondenza dei tubi di drenaggio della piattaforma stradale, dove il calcestruzzo che costituiva il copriferro è stato interessato da fenomeni di dilavamento, lasciando i ferri scoperti

e soggetti a degrado (Figura 49). Sovraccaricare il ponte con l'ulteriore peso della condotta di diametro nominale 500 non costituisce una soluzione prudente.

- La forma dell'impalcato del ponte non è compatibile con lo staffaggio di una condotta di diametro nominale di 500. Dovrebbe quindi essere valutata l'opzione di restrizione del diametro localizzata alla lunghezza dell'attraversamento.

L'opzione di utilizzare il ponte esistente per staffare la condotta viene quindi esclusa.

Anche l'opzione della costruzione di una nuova struttura portante viene esclusa; infatti l'alveo è talmente largo che sicuramente la nuova struttura portante dovrebbe presentare delle pile in alveo, costituendo un'interazione permanente col fondo alveo e facendo aumentare notevolmente i costi dell'attraversamento.

T.O.C.

Considerazioni analoghe all'attraversamento ID01 valgono anche per l'attraversamento ID22 , ID23, ID24 e IR26.

SUBALVEO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✗ 	<ul style="list-style-type: none"> • Condizioni favorevoli per il IR26; • Condizioni non favorevoli per il ID23.
MTBM	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> • Condizioni favorevoli alla realizzazione del ID22 e ID23 in microtunnelling.
T.O.C.	<ul style="list-style-type: none"> ⓘ 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificare la qualità del sedimento con indagini.
AEREO	<ul style="list-style-type: none"> ✗ 	<ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza troppo elevata per realizzare l'attraversamento in aereo su una nuova struttura portante; • Condizioni del ponte esistente non adeguate allo staffaggio.

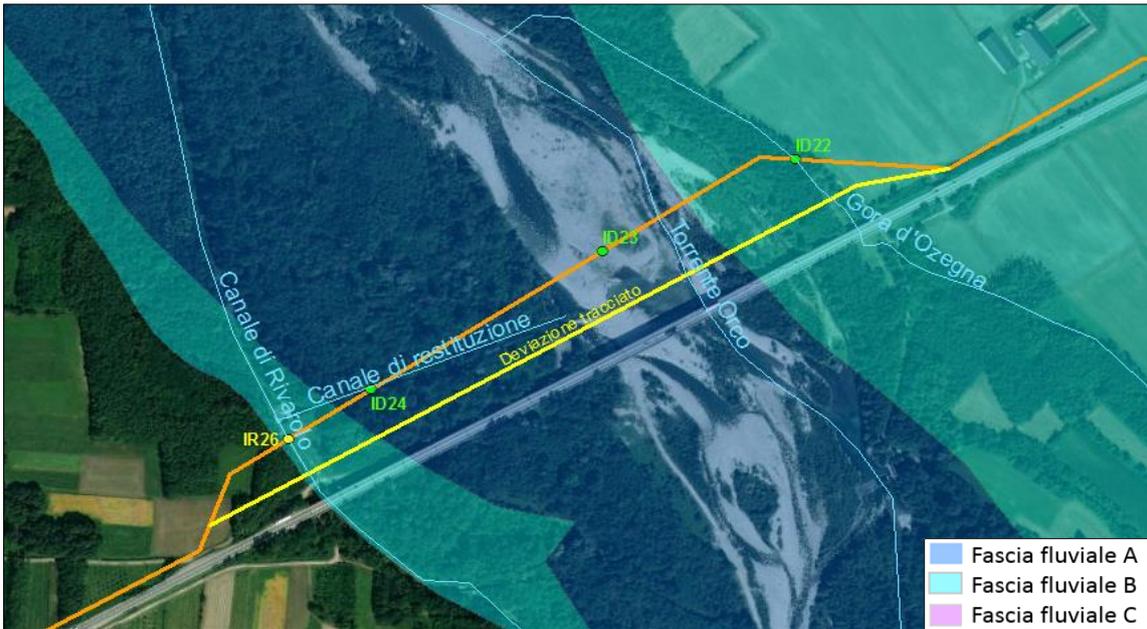


Figura 43: Attraversamenti ID22, ID23, ID24, IR26; Gora d'Ozegna, Torrente Orco, canale di restituzine, Canale di Rivarolo.

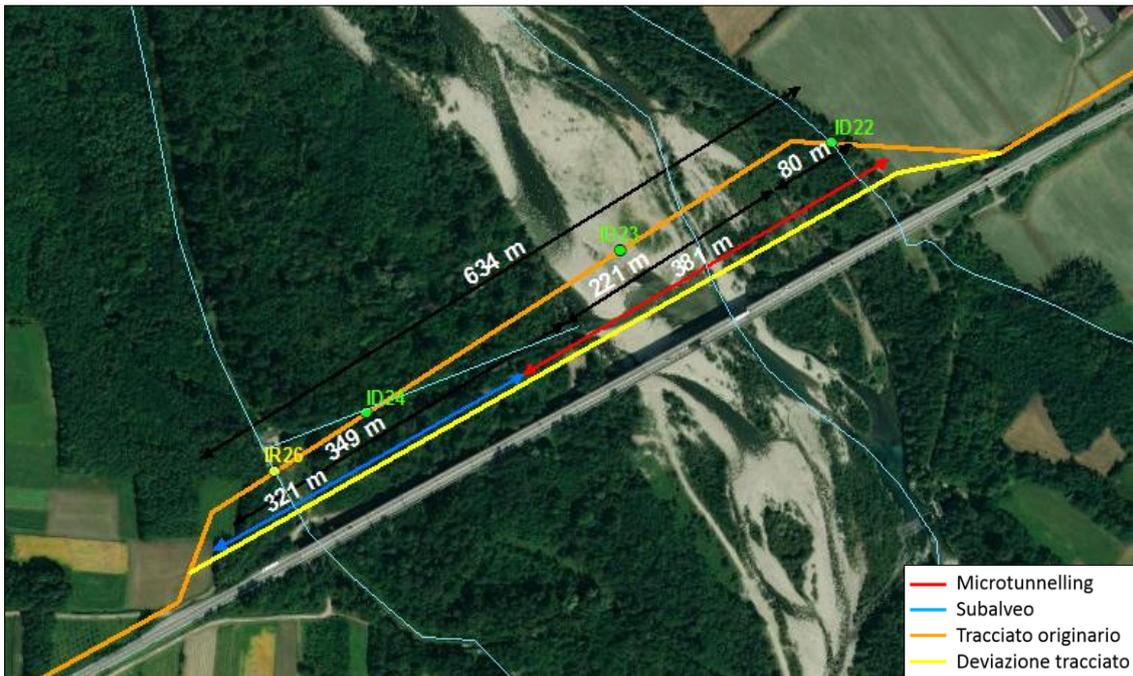


Figura 44: Possibile suddivisione dell'attraversamento in 2 tratti: microtunnelling e subalveo



Figura 45: Torrente Orco; attraversamento ID23.



Figura 46: Canale di restituzione, dal Canale di Rivarolo al Torrente Orco; attraversamento ID 24.



Figura 47: Canale di Rivarolo; attraversamento IR26; vista monte.



Figura 48: Ponte della SS565 in prossimità dell'attraversamento ID 23.



Figura 49: Dettaglio del ponte della SS565.

3.5.8 RIEPILOGO

Le ipotesi realizzative, in attesa delle indagini geologiche, sono:

- la realizzazione di un attraversamento aereo per l'attraversamento ID01;
- la realizzazione di un attraversamento in subalveo con parzializzazione della sezione tramite sistemi cofferdams per l'attraversamento ID03 e parzializzazione con palancole per l'ID14;
- la realizzazione di un attraversamento con tecnologia microtunnelling per gli attraversamenti ID05 e ID06 e ID10;
- la realizzazione di un unico attraversamento in microtunnelling per gli attraversamenti ID22 e ID 23, e di uno scavo in subalveo per gli attraversamenti ID24 e IR26.

4 ANALISI IDROLOGICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN STAFFAGGIO SU PONTE

Come riportato al paragrafo 3.2, il progetto prevede 6 attraversamenti aerei in staffaggio a ponti esistenti, ognuno dei quali sottende bacini di diversa dimensione.

Tra gli attraversamenti aerei di tale tipologia, osservando le dimensioni dei bacini, nell'ipotesi di dovere effettuare una verifica di compatibilità idraulica, è stata effettuata una prima analisi idrologica, basata su un modello afflussi-deflussi per definire la portata in corrispondenza dell'attraversamento sul torrente Viana (ID 30).

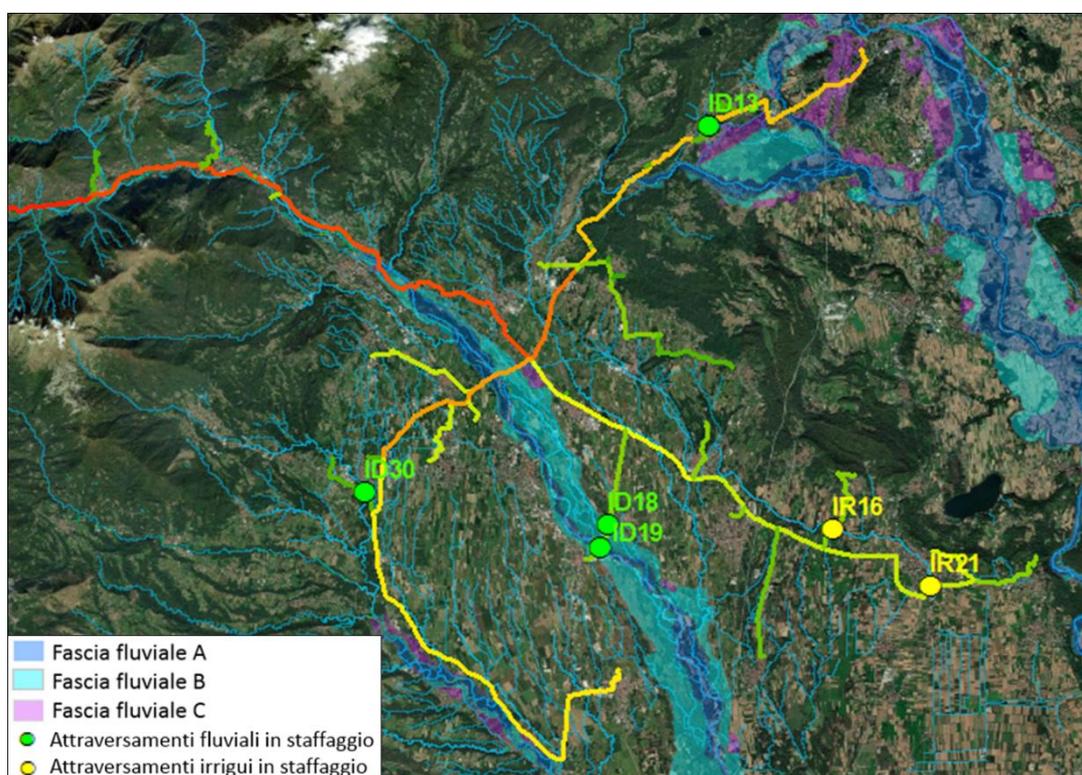


Figura 50: Attraversamenti in staffaggio su ponte esistente

Come indicato dal PAI, per i restanti attraversamenti che sottendono bacini di dimensioni minori, ad eccezione di quello sul Torrente Orco, essendo i bacini sottesi di piccole dimensioni, sarà possibile definire le portate con modelli semplificativi.

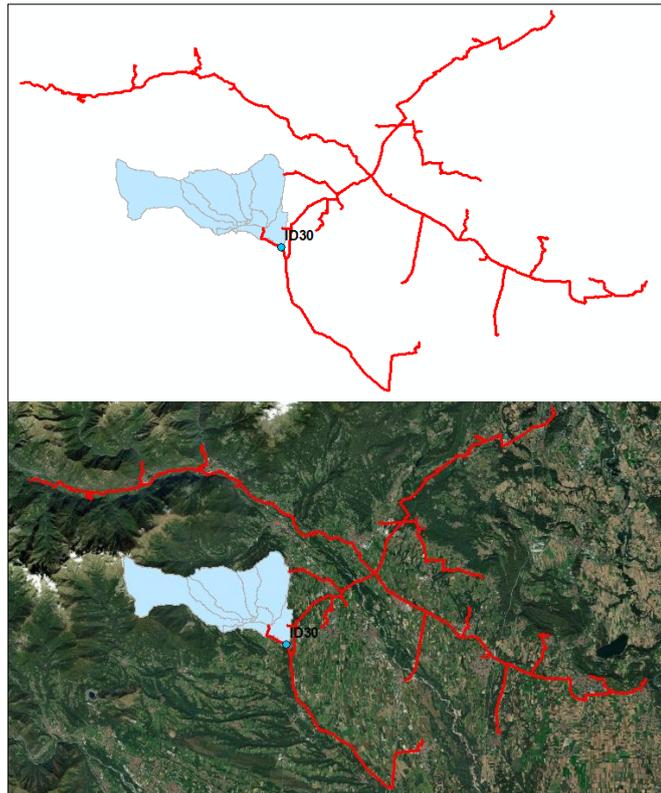


Figura 51: Collocazione dell'attraversamento ID30 del Torrente Viana nel tracciato.



Figura 52:Attraversamento ID30- Torrente Viana.

Al fine di definire la portata è stato redatto un modello afflussi deflussi utilizzando il software HEC – HMS “Hydrologic Modeling System” e HEC-GeoHMS “Geospatial Hydrologic Modeling”, quest’ultimo estensione di ArcGIS necessario per generare il modello a partire dal DTM.

4.1 BACINO DEL TORRENTE VIANA

4.1.1 ASSETTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

Il bacino del Torrente Viana si estende per circa 57 km² e costituisce un sottobacino del più ampio bacino del Torrente Malone; quest'ultimo si estende per 147 km² dal comune di Forno Canavese a Nord fino al comune di Brandizzo a Sud e si estende da Lanzo Canavese a Ovest fino a Rivarolo Canavese a Est (Figura 53).

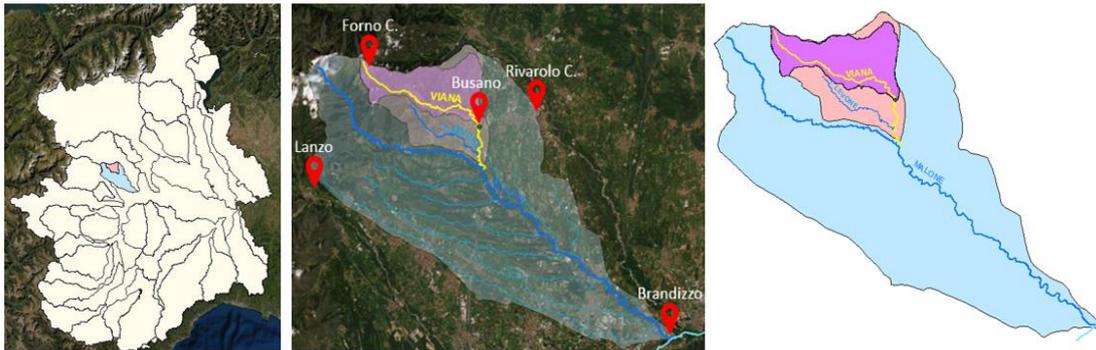


Figura 53: Da sinistra: collocazione dell'area di studio; comuni alle estremità del Bacino Malone e Posizione dell'attraversamento in esame; bacino del torrente Malone (in celeste), Bacino del torrente Viana (in rosa) e bacino del torrente Viana chiuso alla sezione dell'attraversamento in esame (in viola).

Il torrente Viana nasce dal Monte Soglio, nel comune di Forno Canavese, ad una quota di circa 1970 m s.l.m. [35]. Esso presenta in un primo tratto caratteristiche tipiche di un torrente montano, con pendenze ripide e velocità elevate andando da Nord-Ovest verso Sud-Est; in questo primo tratto attraversa i comuni di Forno e Rivara da dove piega leggermente verso Sud in direzione Busano. Poco più a valle dell'abitato di Cerutti riceve il suo maggiore affluente, il Torrente Levone; confluisce in Malone poco più a Sud, a monte del comune di Front.

L'asta principale si estende per circa 19,2 km; la lunghezza dell'asta chiusa alla sezione dell'attraversamento si estende invece per 14,1 km.

Gli affluenti principali sono in sinistra orografica; vi sono i Rii Roncaria, Rossetto, Massiane e Marugera; in destra orografica il principale affluente è il Torrente Levone, che convoglia in sé altri affluenti minori.

Come riportato nella [28], "la fascia pedemontana dell'Alto Canavese risulta di modesta estensione e si innesta bruscamente, dopo l'altura di Belmonte, con la Gioaiga del Monte Soglio (1970 m), Cima Mares (1654 m) e delle Rocche di San Martino (1431

m), già parte integrante del sistema alpino. Essa inoltre è separata dalle Alpi Graie meridionali dal profondo solco tettonico-glacio-alluvionale percorso dal Torrente Gallenca.

Sotto l'aspetto geologico generale il territorio in esame è costituito da formazioni superficiali di età quaternaria, molto estese nel settore pedemontano e di pianura, che costituiscono localmente la copertura di un substrato litoide costituito da rocce di varia natura, diffusamente affioranti lungo i versanti e nelle incisioni torrentizie”.

In particolare, l'attraversamento ID30 è ubicato nel Comune di Busano, in corrispondenza del Torrente Viana lungo la SP42, in un territorio pianeggiante; ricade nel lotto 4 e la condotta presenta un diametro nominale di 100.

Il bacino del Torrente Viana chiuso all'attraversamento ID30 presenta una quota massima a 1971 m, dove nasce il torrente, e la quota minima in corrispondenza dell'attraversamento, a 305 m s.l.m. per un dislivello totale di 1666 m.

Come si nota dalla Figura 54, il bacino presenta una zona fortemente pendente a Nord-Ovest, e una vasta zona pianeggiante a Sud-Est; come si può osservare dalla curva ipsometrica (Tabella 34) il 39 % del bacino si trova a quota inferiore a 444 m s.l.m.

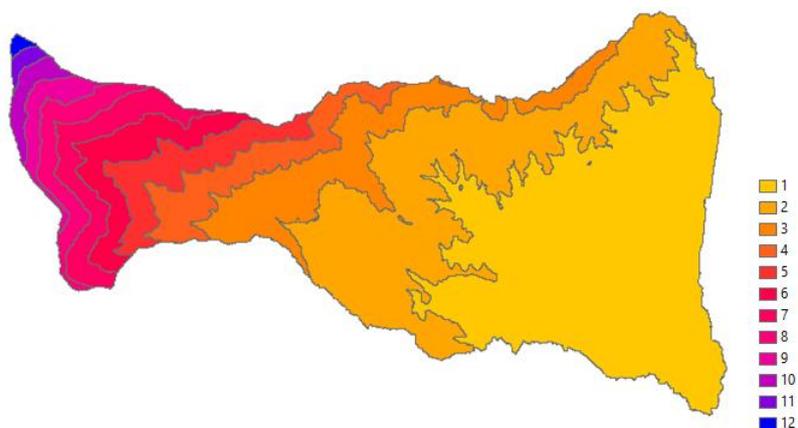


Figura 54: Suddivisione in fasce per quota per la costruzione della curva ipsometrica

N	Quote (m s.l.m.)			Aree (m ²)			
	Zmin	Zmax	Zmedia	Intervallo	Cumulata	%Cumulata	%Area
1	305,6	444,5	369,8	12624097	32068858	100	39,4
2	444,5	583,3	504,3	7835828	19444761	60,6	24,4

N	Quote (m s.l.m.)			Aree (m ²)			
	Zmin	Zmax	Zmedia	Intervallo	Cumulata	%Cumulata	%Area
3	583,3	722,2	645,7	3282673	11608933	36,2	10,2
4	722,2	861,0	786,8	1810270	8326260	26,0	5,6
5	861,0	999,8	928,6	1506189	6515990	20,3	4,7
6	999,8	1138,7	1070,6	1481901	5009801	15,6	4,6
7	1138,7	1277,5	1204,9	1422313	3527900	11,0	4,4
8	1277,5	1416,3	1340,1	961439	2105587	6,6	3,0
9	1416,3	1555,2	1475,5	570263	1144148	3,6	1,8
10	1555,2	1694,0	1618,3	380416	573885	1,8	1,2
11	1694,0	1832,8	1756,1	130887	193469	0,6	0,4
12	1832,9	1971,7	1883,9	62582	62582	0,2	0,2

Tabella 34: Dati delle fasce che definiscono la curva ipsometrica.

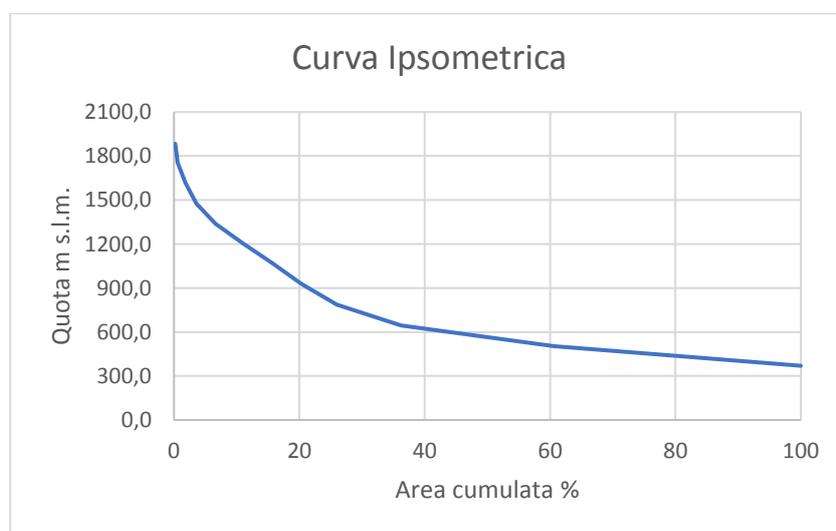


Grafico 11: Curva ipsometrica del bacino del Torrente Viana chiuso all'attraversamento ID30.

4.1.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il bacino in esame ricade nel territorio della Comunità Montana dell'Alto Canavese; le sue dimensioni sono tali da poterlo considerare interamente ricadente nella stessa fascia climatica. Essa si può definire di tipo “debolmente continentale con andamento

equinoziale della piovosità” [28] con massimi in primavera e autunno e minimi nei mesi estivi e invernali.

4.1.3 TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per il calcolo analitico del tempo di corrivazione del bacino sono state utilizzate due formule classiche della letteratura:

- Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{z}}$$

dove A è l’area del bacino espressa in km², L è la lunghezza dell’asta principale (in km) e z è l’altitudine media del bacino riferita alla quota della sezione di chiusura (in m).

- Puglisi

$$t_c = 6L^{2/3} \cdot d^{-1/3}$$

dove d è il dislivello tra la quota massima e la sezione di chiusura del bacino.

A	km²	32,07
d	m	1419,8
z	m	640
L asta principale	km	14,11

Tc Giandotti	h	2,17
Tc Puglisi	h	3,13
Tc MEDIO	h	2,65

Tabella 35: Tempo di corrivazione del bacino

4.2 IL MODELLO HEC-HMS

Il metodo utilizzato per stimare la portata defluente nel corso d’acqua è il metodo afflussi deflussi, computato tramite il software HEC-HMS. Esso tiene conto delle perdite nel bacino tramite il modello Soil Conservation Service – Curve Number (S.C.S - C.N.). Tramite l’inserimento della carta del Curve Number, il software calcola la quantità di pioggia persa e restituisce la pioggia netta e l’idrogramma di piena nei punti di chiusura dei sottobacini.

L'obiettivo è quello di ottenere l'idrogramma di piena alla sezione di chiusura del bacino, in corrispondenza dell'attraversamento in progetto.

Il modello in HEC-HMS è stato generato tramite HEC-GeoHMS che crea un modello di bacino strutturato come una rete di deflusso che riduce i corsi d'acqua a connettori tra un sottobacino e un altro, questi ultimi visti come serbatoi; il software definisce i confini dei bacini idrografici a partire dal DTM in un ambiente GIS e aiuta l'utente a visualizzare informazioni spaziali, attribuire caratteristiche ai bacini, elaborare analisi spaziali.

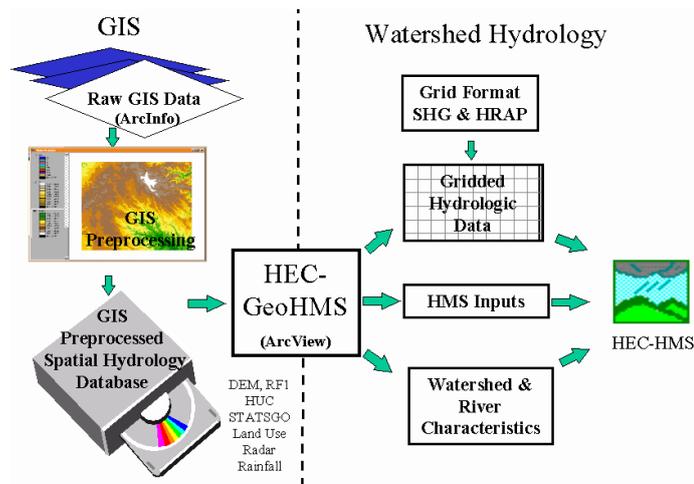


Figura 55: Interazione tra i software HEC-GeoHMS e HEC-HMS [26]

Le principali componenti del modello in HEC-HMS sono:

- “subbasins” serbatoi in cui è accumulata la pioggia caduta nei sottobacini;
- “rivers”, che rappresentano i corsi d'acqua che connettono i diversi serbatoi;
- “junctions” che costituiscono i punti di confluenza di più corsi d'acqua;
- “sink” che rappresenta la sezione di chiusura del bacino.

I principali input da dare al modello in HEC-HMS sono:

- la schematizzazione del bacino come sopra definita, elaborata da HEC GeoHMS;
- lo ietogramma di precipitazione per ogni sottobacino;
- le condizioni di impermeabilità iniziali (se il terreno è già bagnato o no);
- il coefficiente di Manning per la scabrezza del fondo del fiume.

4.3 COSTRUZIONE DELLA CARTA DEL CURVE NUMBER

Il metodo del Curve Number stima la precipitazione netta come precipitazione totale meno le perdite idriche che vi sono lungo il bacino per diverse caratteristiche dell'area esaminata, condizioni metereologiche al momento della precipitazione, uso del suolo e permeabilità del tipo di suolo.

Il metodo si basa su due equazioni fondamentali:

1. equazione di bilancio:

$$h = F + I_A + h_N$$

2. equazione empirica:

$$\frac{h_N}{h - I_A} = \frac{F}{S}$$

dove

- h è l'altezza di pioggia totale misurata in mm;
- I_A sta per "initial abstraction", misurato in mm, che rappresenta le perdite iniziali cioè la quantità d'acqua che non arriva al suolo poiché viene trattenuta dalle foglie degli alberi, o perché si accumula sui tetti di edifici o in altre depressioni superficiali;
- h_N è per altezza di precipitazione netta cioè quella che genera il deflusso superficiale per ruscellamento, in mm;
- F è l'infiltrazione nel terreno cumulata durante l'evento, in mm.
- S sta per "storage", che rappresenta la capacità di intercettazione del suolo, cioè la quantità d'acqua che quello specifico suolo è capace di immagazzinare: S sarà quindi uguale a zero per suoli impermeabili e assumerà valori grandi per suoli molto permeabili; anch'esso misurato in mm.

Il sistema tra l'equazione di bilancio e l'equazione empirica fornisce h_N :

$$h_N = \frac{(h - I_A)^2}{(h - I_A + S)}$$

Il valore di I_A è per sua definizione difficile da stimare, poiché tiene conto di fattori climatici, antropici e urbanistici; spesso si approssima infatti con la forma empirica:

$$I_A = 0,2 \cdot S$$

e si ottiene dunque

$$h_N = \frac{(h - 0,2 S)^2}{h + 0,8 S} \quad \text{per } h > 0,2 S$$

$$h_N = 0 \quad \text{per } h < 0,2 S$$

L'unico parametro da calcolare resta dunque lo storage S che viene calcolato come:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove CN sta per Curve Number, e si determina dalla sovrapposizione di due carte:

1. carta d'uso del suolo;
2. carta del tipo idrologico di suolo.

Il metodo del CN si riduce quindi a un modello monoparametrico, funzione soltanto del CN.

Tale metodo provvede anche agli eventi in cui, al momento dell'inizio della precipitazione, il suolo è già bagnato, considerando se nei 5 gironi precedenti all'evento in esame ha piovuto; in questa eventualità il Curve Number sarà maggiore rispetto al caso di suolo asciutto. Nella presente trattazione si è considerato il caso di suolo asciutto all'inizio dell'evento di precipitazione.

Il CN è un numero compreso tra 0 e 100:

- per CN = 100 il deflusso superficiale corrisponde alla pioggia totale cumulata, cioè l'infiltrazione è nulla, quindi si ha una superficie completamente impermeabile;
- per CN = 0 il non si ha deflusso superficiale, cioè tutta l'acqua che giunge al suolo viene assorbita dal suolo; si ha quindi una superficie completamente permeabile;

Si può quindi riassumere che:

CN alto → suolo poco permeabile → debole infiltrazione → grande deflusso;

CN basso → suolo molto permeabile → grande infiltrazione → piccolo deflusso.

Il software HEC GeoHMS calcola anche il tempo di ritardo del bacino, o time lag con la formula di Mockus:

$$t_{lag} = 0,342 \cdot \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

dove

- L rappresenta la lunghezza dell'asta principale in km;
- s rappresenta la pendenza del bacino in percentuale;
- CN è il Curve Number medio del bacino.

Il time lag rappresenta la distanza temporale tra il centroide del bacino e la sua sezione di chiusura.

La carta del tipo idrologico di suolo indica la capacità del suolo di produrre deflusso; si suddivide tale capacità in 4 categorie, A, B, C e D, da molto permeabile a impermeabile; a seconda del tipo di suolo presente si attribuisce una delle 4 classi, assegnando dei valori percentuali nel caso di permeabilità intermedia tra due classi.

Nella zona in esame si riscontano principalmente tre tipi di suolo, come mostrato in Figura 56. Tali informazioni sono state reperite dal Geoportale dell'Arpa Piemonte; la geometria della carta del tipo di suolo è stata ricavata dallo shapefile scaricato sempre dal Geoportale dell'Arpa Piemonte, denominato "suoliweb".

Come si può vedere dalla Tabella 36, siamo in presenza di un suolo prevalentemente molto permeabile (classe A) in tutta la parte pianeggiante del bacino e la parte centrale; la zona montuosa invece presenta rocce metamorfiche vulcaniche o plutoniche, a cui è stata attribuita una classe di permeabilità C, quindi meno permeabile.

	% A	% B	% C	% D
Rocce metamorfiche, vulcaniche e plutoniche	0	0	100	0
Depositi fluviali antichi e villafranchiani	100	0	0	0
Depositi fluviali medi	80	20	0	0

Tabella 36: Permeabilità del tipo di suolo in percentuale; A corrisponde a un suolo molto permeabile e D ad un poco permeabile

Le informazioni sul tipo di uso del suolo sono state ricavate dal servizio di monitoraggio del territorio di Copernicus, dal quale è stato scaricato lo shapefile riportato in Figura 57.

Il Curve Number è riportato per vari tipi di uso del suolo, sotto forma tabellare (Tabella 37).

Uso del suolo	A	B	C	D
Discontinuous urban fabric	57	72	81	86
Industrial or commercial units	81	88	91	93
Non-irrigated arable land	72	81	88	91
Pastures	39	61	74	80
Complex cultivation patterns	61	71	78	81
Land principally occupied by agriculture	72	81	88	91
Broad-leaved forest	25	55	70	77
Natural grasslands	39	61	74	80
Transitional woodland-shrub	45	66	77	83
Sparsely vegetated areas	68	79	86	89

Tabella 37: Valori del Curve Number in funzione del tipo di suolo e della sua permeabilità.

Sovrapponendo le due carte tramite l'ausilio di HEC-GeoHMS si ottiene la carta del Curve Number, che restituisce per ogni area il valore del CN corrispondente (Figura 58).

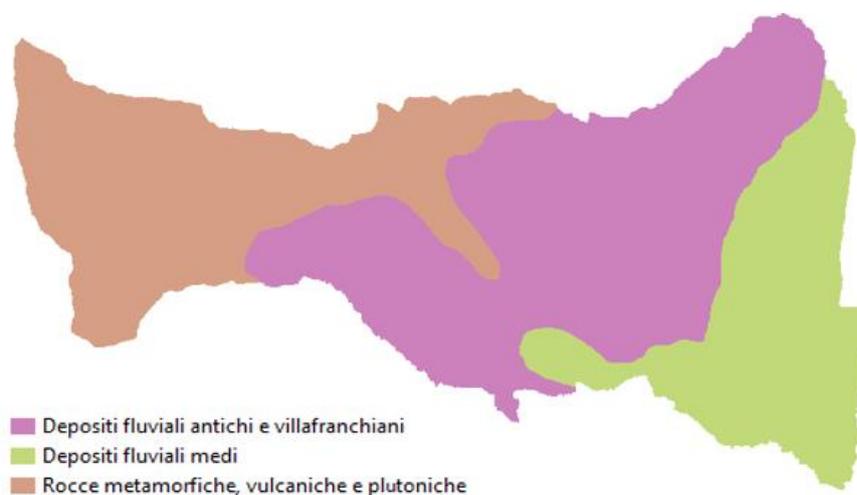


Figura 56: Carta del tipo di suolo.

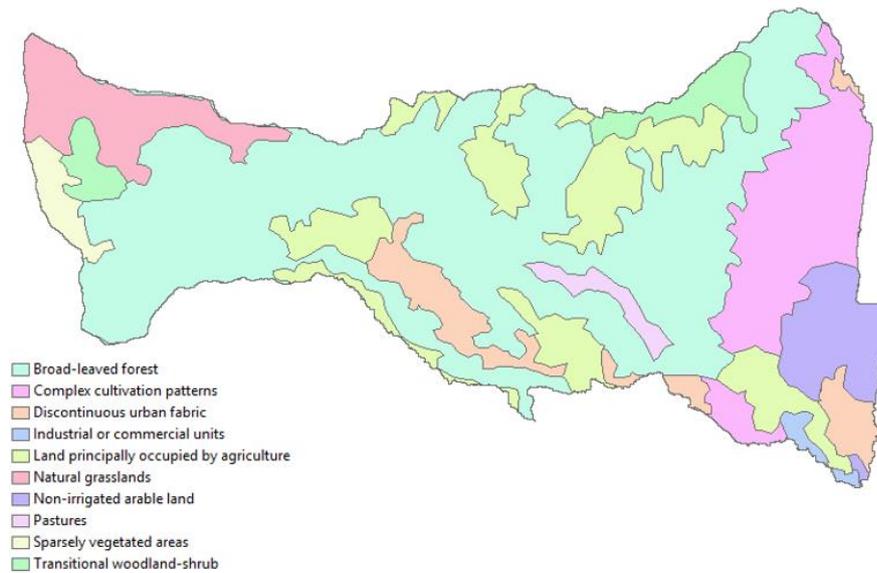


Figura 57: Carta d'uso del suolo.

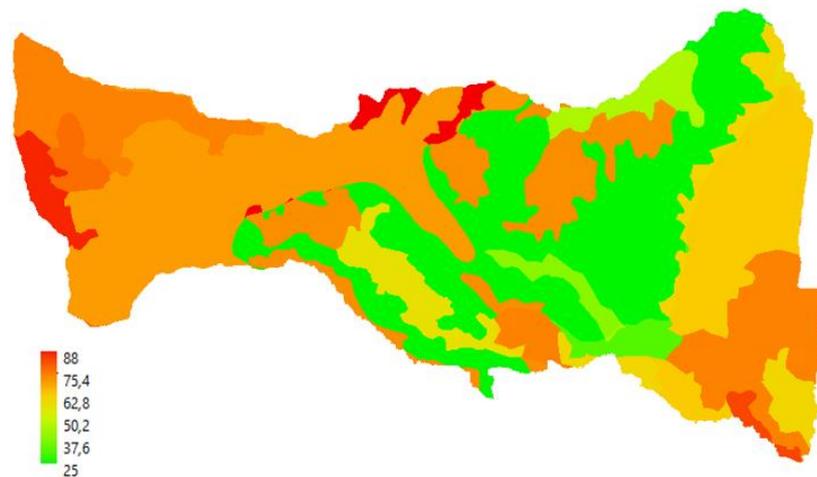


Figura 58: Carta del Curve Number.

Dai risultati della carta del Curve Number si nota a Nord Ovest la presenza di una zona con CN maggiore (area arancione in Figura 58), dove il suolo è prevalentemente costituito da rocce metamorfiche a cui è stato attribuito un valore di permeabilità basso (classe C) e dove la carta d'uso del suolo dà indicazioni di presenza di vegetazione spontanea o aree boschive, con valori del Curve Number elevati, per arrivare a un massimo di CN pari a 88.

Si nota invece una zona maggiormente permeabile nel centro del bacino (area verde in Figura 58) dove il suolo presenta prevalentemente depositi fluviali antichi e villafranchiani, ai quali è stata attribuita una classe idrologica di tipo A (Tabella 36); l'uso

del suolo è prevalentemente caratterizzato da campi agricoli e aree boschive; in questa zona si raggiunge il minimo valore del CN a 25.

4.4 INPUT PRECIPITAZIONI

Fissata una durata di precipitazione e un tempo di ritorno per tale evento, la distribuzione di precipitazione è data dallo ietogramma di progetto, che indica come si ripartisce l'intero volume d'acqua precipitato nel tempo.

La distribuzione scelta è lo ietogramma Chicago, un tipo di ietogramma coerente con la curva di possibilità pluviometrica in ogni istante; esso è costruito in modo che l'intensità media della precipitazione sia corrispondente a quella descritta dalla curva di possibilità pluviometrica.

Lo ietogramma Chicago rispecchia al meglio gli eventi di precipitazione reali; infatti, gli eventi di pioggia non si presentano mai con una distribuzione costante dall'inizio alla fine dell'evento, ma presentano un'intensità crescente per un primo periodo, poi un picco e poi un'intensità decrescente.

Lo ietogramma si ricava a partire dai coefficienti della curva di possibilità pluviometrica, definita come:

$$i_T(d) = K_T \cdot a \cdot d^{n-1} \quad \text{con } i \text{ in mm/h}$$

per l'intensità di pioggia e

$$h(d) = K_T \cdot a \cdot d^n \quad \text{con } h \text{ in mm}$$

per l'altezza di pioggia, dove:

- a ed n sono parametri funzione del bacino;
- K_T è il fattore di crescita con il periodo di ritorno.

Poiché l'area del bacino in esame non è molto estesa, si è considerata la stessa C.P.P. per tutto il bacino; i dati delle C.P.P. utilizzati sono quelli riferiti al centroide del bacino, e sono riportati in Tabella 38, reperiti dall'Atlante delle Piogge Intense del GeoPortale dell'Arpa Piemonte[27].

La simulazione è stata effettuata per 3 tempi di ritorno: 10, 50 e 200 anni.

a	32,61		
n	0,37		
TR	10	50	200
K_T	1,5	2,1	2,6

Tabella 38: Parametri della Curva di Possibilità Pluviometrica per il centroide del bacino[27]

Di seguito si riportano le curve di possibilità pluviometriche per il centroide del bacino.

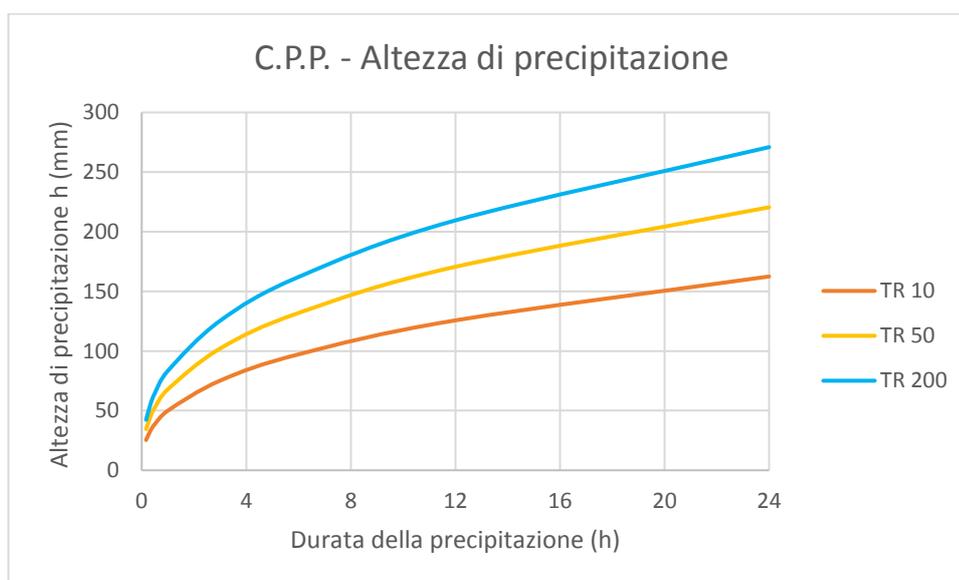


Grafico 12: Curve di possibilità pluviometrica per le altezze di pioggia

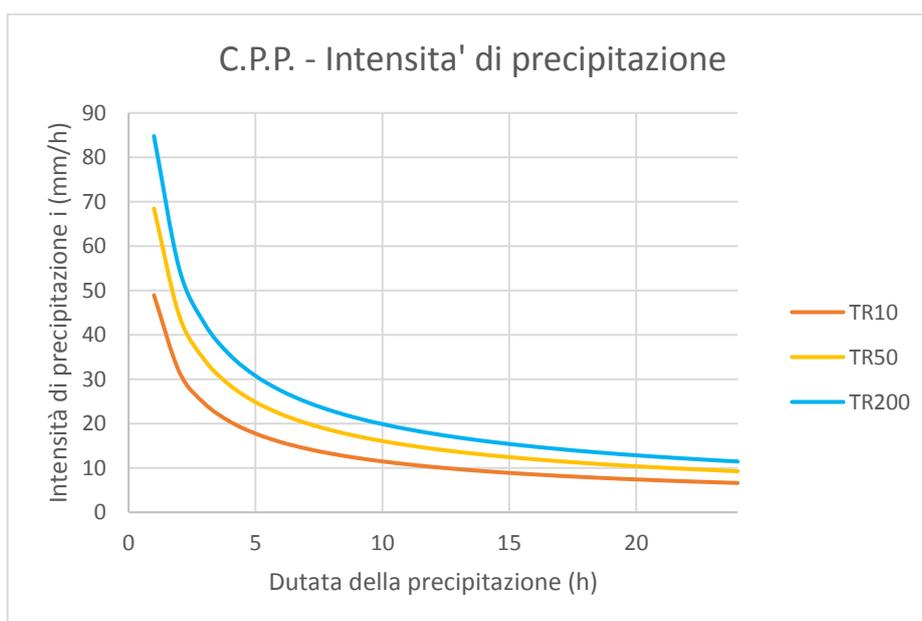


Grafico 13: Curve di possibilità pluviometrica per le intensità di pioggia

Per la costruzione dello ietogramma Chicago è necessario scegliere:

- la durata di pioggia t_P ;
- l'intervallo di tempo Δt ;
- il tempo di ritorno relativo all'evento di pioggia, cui consegue la determinazione del fattore di crescita K_T delle C.P.P.

Il processo di costruzione dello ietogramma è il seguente:

1. Detto j l'indice dell'intervallo di tempo, si calcola l'intensità di pioggia corrispondente a una durata di pioggia $j\Delta t$

$$\begin{aligned}
 i_1 &= K_T \cdot a \cdot (\Delta t)^{n-1} \\
 i'_2 &= K_T \cdot a \cdot (2\Delta t)^{n-1} \\
 &\vdots \\
 i'_j &= K_T \cdot a \cdot (j\Delta t)^{n-1} \quad \text{per } 1 < j < k \quad (1)
 \end{aligned}$$

dove $k = \frac{t_P}{\Delta t}$

2. Si calcolano gli i'_j come media delle intensità di pioggia corrispondenti a un $t_p = j\Delta t$:

$$\begin{aligned}
 i'_1 &= i_1 \\
 i'_2 &= \frac{i_1 + i_2}{2} \\
 &\vdots \\
 i'_j &= \frac{\sum_{i=1}^j i_i}{j} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Eguagliando gli i'_j della (1) con quelli della (2), si ottiene i_j

$$i_j = j \cdot (K_T \cdot a \cdot (j\Delta t)^{n-1}) - \sum_{i=1}^{j-1} i_i$$

Per avere una distribuzione con picco centrale si dispone i_1 (intensità massima) al centro dello ietogramma, e si procede mettendo gli altri valori alternatamente a destra e a sinistra rispetto al valore centrale, formando così i classici rami crescenti e decrescenti dello ietogramma Chicago.

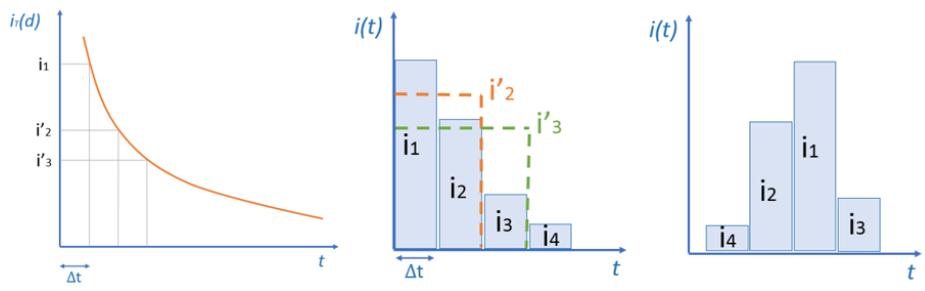


Figura 59: Schema del procedimento per ricavare le intensità di pioggia per lo ietogramma Chicago.

La simulazione è stata effettuata per due durate di pioggia, una di 6 ore e una di 24 ore.

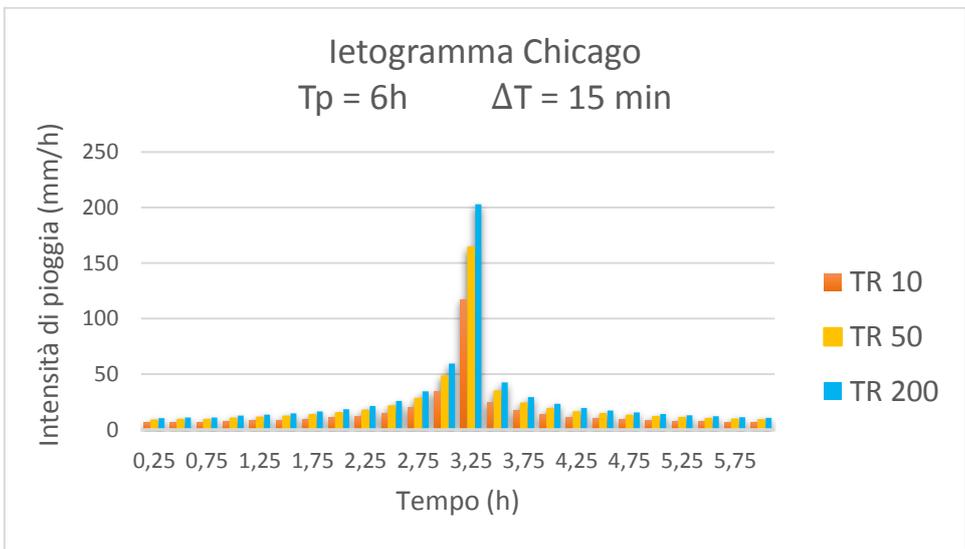


Grafico 14: Ietogramma Chicago per i tempi di ritorno considerati; durata dell'evento di pioggia 6 ore.

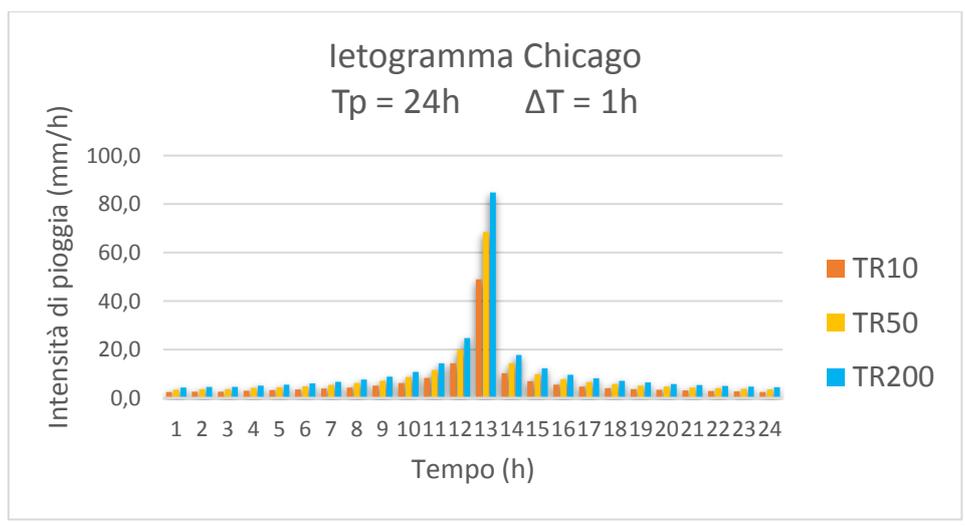


Grafico 15: Ietogramma Chicago per i tempi di ritorno considerati; durata dell'evento di pioggia 24 ore.

In Tabella 39 vengono riportati i valori del picco di precipitazione e l'altezza di pioggia totale per gli ietogrammi corrispondenti ai 3 tempi di ritorno considerati.

	TR	10	50	200
t_p 24h	h (mm)	159	222	275
	i_{picco} (mm/h)	49	68	85
t_p 6h	h (mm)	94,82	132,7	164,4
	i_{picco} (mm/h)	117,15	164,01	203,06

Tabella 39: Valori significativi per gli ietogrammi utilizzati.

4.5 PARAMETRI PER LA TARATURA

La taratura del modello si esegue facendo variare gli input inseriti dall'utente, che vengono in primo luogo approssimati con valori derivanti dalla letteratura o da studi bibliografici.

In questo modello tali input sono:

- il coefficiente di Manning per la scabrezza del fondo dei fiumi; in questo caso è stato posto pari a 0.033[28].
- l'assegnazione delle percentuali delle classi A, B, C, D determinanti il tipo idrologico di suolo, che influenza il calcolo del Curve Number;
- la suddivisione in sottobacini variando il numero di celle minimo per generare un sottobacino (operazione "stream definition" nei passaggi del "terrain processing" in HEC GeoHMS);
- l'impermeabilità iniziale di ogni sottobacino, in questo modello posta allo 0%.
- la portata di base dei corsi d'acqua, che in questo modello è posta pari a zero.

Nel presente studio non è stato possibile effettuare una vera e propria taratura del modello idrologico con dati di portate registrate in quanto non sono disponibili i valori idrometrici in corrispondenza del corso d'acqua interessato. Tuttavia, è stata testata la bontà del modello, confrontando i risultati con quelli ottenuti mediante metodi empirici e con valori di riferimento provenienti da altri studi.

Il punto più prossimo di reperimento dei dati di portata è la stazione di Front Malone, che si trova poco dopo la confluenza del Torrente Viana in Malone.

Da questa stazione sono stati estrapolati i seguenti dati:

Stazione	Data	t_p (h)	TR (anni)	h (mm)	Q_{picco} (m ³ /s)
Front Malone	25/11/2016	24	10	121,1	195

Tabella 40: Dati reperiti dalla stazione di Front Malone

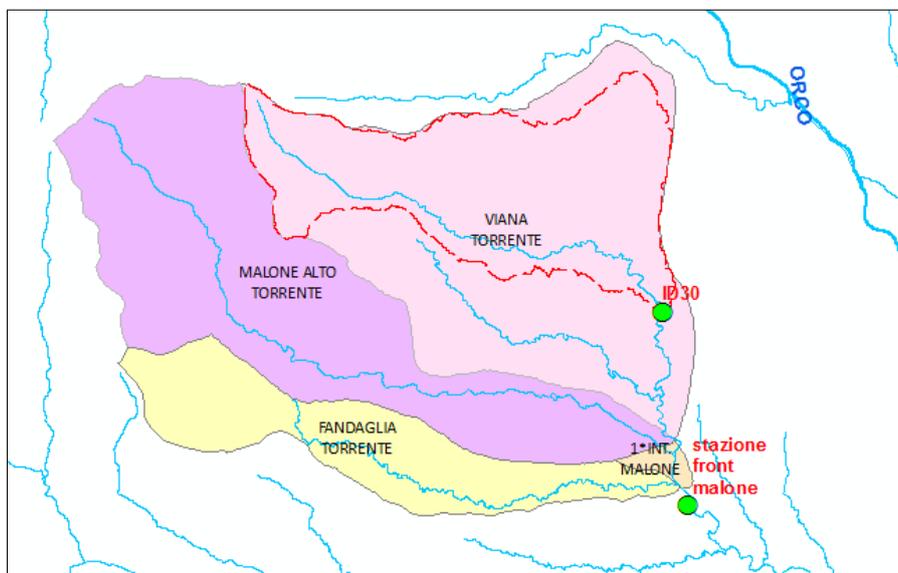


Figura 60: Confronto tra il punto in cui si sono ottenuti gli idrogrammi di piena e il punto in cui si hanno dati disponibili.

Si nota che per tempi di pioggia di 24 ore e tempi di ritorno di 10 anni il modello da una portata di 86 m³/s in corrispondenza dell'attraversamento ID30. I valori in Tabella 40 restituiscono per lo stesso tempo di pioggia e tempo di ritorno una portata di 195 m³/s in corrispondenza della stazione idrometrica di Front Malone, poco a valle della confluenza del Torrente Viana in Malone. Questo punto sottende un bacino con estensione maggiore, poiché include le acque provenienti dal torrente Levone e quelle provenienti dall'alto Malone. La portata ricavata dal modello è poco meno della metà della portata ricavata in corrispondenza della stazione idrometrica; il dato ricavato dal modello ha dunque una certa affidabilità, ma a rigore dovrebbe essere confrontato con misure sul Torrente Viana stesso.

4.6 RISULTATI

Il bacino è stato suddiviso in 8 sottobacini e 4 tratti di fiumi; lo schema è mostrato in Figura 61.

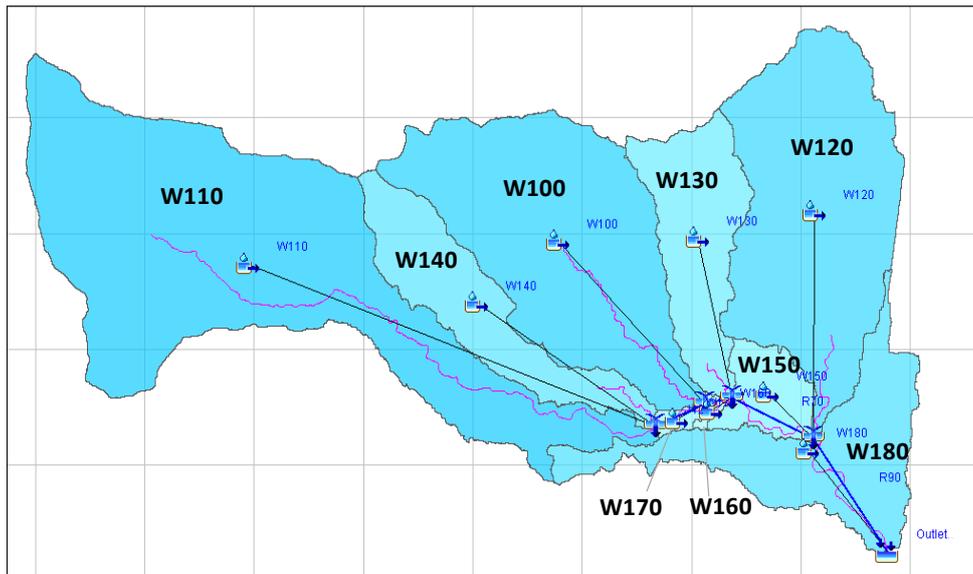


Figura 61: Suddivisione in sottobacini del bacino in esame; modello generato da HEC GeoHMS

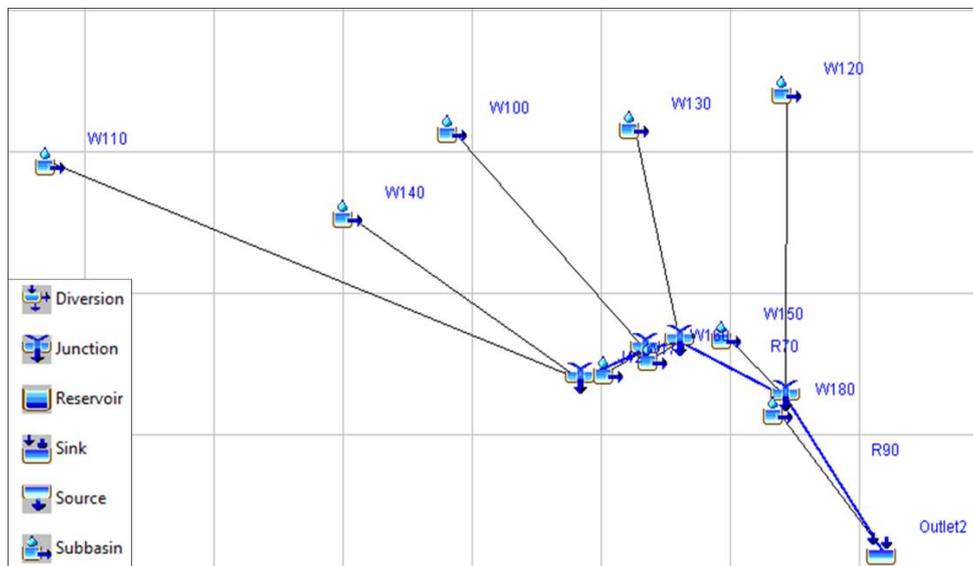


Figura 62: Schematizzazione del bacino in HEC-HMS

Nome bacino	Area km ²	Basin Slope	CN	Basin lag (h)
W100	6,31	45,0	49,64	1,20
W110	11,04	51,0	65,76	1,13
W120	6,12	22,4	50,91	1,69
W130	2,44	42,1	38,71	1,22
W140	2,50	37,6	49,74	1,23
W150	0,89	10,7	56,68	0,99

Nome bacino	Area km ²	Basin Slope	CN	Basin lag (h)
W160	0,07	19,1	30,85	0,65
W170	0,13	29,6	32,43	0,52
W180	3,31	7,9	69,27395	1,57
	32,81			

Tabella 41: Caratteristiche dei sottobacini

Come si nota dalla Figura 63 e Figura 64 l'idrogramma di piena per la sezione di chiusura è dato dalla somma di due contributi: quello derivante dal River 90, che convoglia in se tutti i sottobacini escluso l'ultimo a monte della chiusura, e quello del sottobacino W180, subito a monte della sezione di chiusura; logicamente il contributo del solo bacino W180 è molto più piccolo rispetto al contributo di tutti gli altri sottobacini messi insieme. Si nota che per precipitazioni di intensità minore i picchi di portata arrivano più in ritardo.

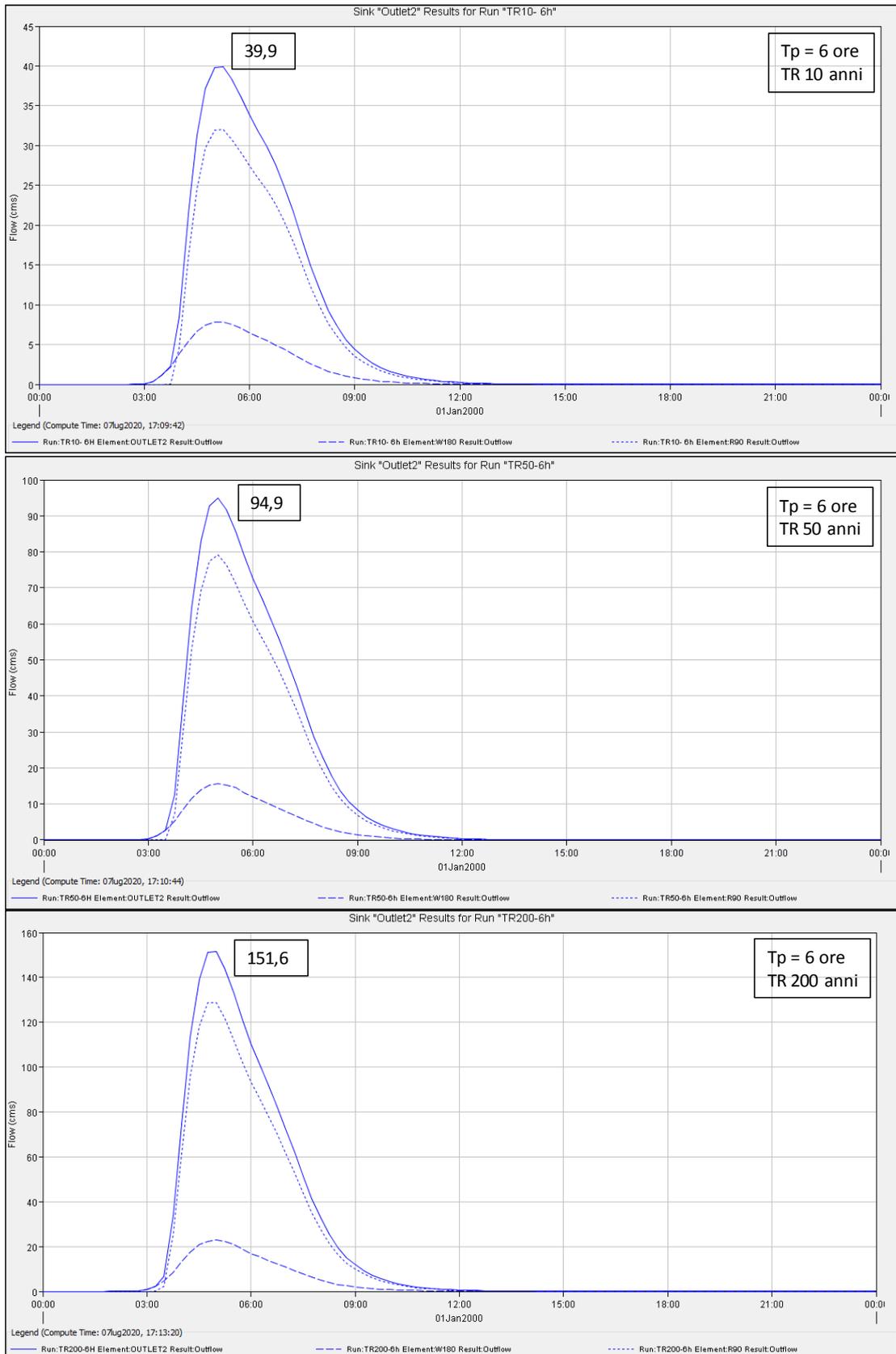


Figura 63: Idrogrammi di piena per tempi di pioggia di 6 ore

Tp 6 h		TR 10 anni			TR 50 anni			TR 200 anni		
Hydrologic element	Drainage Area (km ²)	Peak Discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (mm)	Peak Discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (mm)	Peak Discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (mm)
W180	3,31	7,9	01gen2000, 05:15	28,26	15,6	01gen2000, 05:00	54,49	22,9	01gen2000, 05:00	79,03
W170	0,13	0	01gen2000, 00:00	0	0	01gen2000, 06:00	1,3	0,1	01gen2000, 05:15	5,82
W160	0,07	0	01gen2000, 00:00	0	0	01gen2000, 06:15	0,61	0	01gen2000, 06:00	4,11
W150	0,89	1,1	01gen2000, 04:30	12,54	2,9	01gen2000, 04:30	30,62	4,8	01gen2000, 04:15	49,29
W140	2,50	1,3	01gen2000, 05:30	6,3	4,3	01gen2000, 05:00	19,6	8	01gen2000, 04:45	34,55
W130	2,44	0,2	01gen2000, 06:45	0,5	1,3	01gen2000, 06:00	6,01	3	01gen2000, 05:15	14,48
W120	6,12	3,4	01gen2000, 06:00	7,23	10,1	01gen2000, 05:30	21,34	17,9	01gen2000, 05:30	36,94
W110	11,04	25,5	01gen2000, 04:30	23,31	54,7	01gen2000, 04:30	47,36	82,7	01gen2000, 04:30	70,4
W100	6,31	3,3	01gen2000, 05:30	6,23	10,9	01gen2000, 04:45	19,46	20,5	01gen2000, 04:45	34,36
Outlet	32,81	39,9	01gen2000, 05:15	14,08	94,9	01gen2000, 05:00	31,89	151,6	01gen2000, 05:00	50,19
J33	19,98	29,4	01gen2000, 04:45	15,65	68,6	01gen2000, 04:30	34,81	110	01gen2000, 04:30	54,16
J36	22,49	29,2	01gen2000, 04:45	13,98	69,2	01gen2000, 04:45	31,61	111,7	01gen2000, 04:30	49,74
J39	29,50	32,3	01gen2000, 05:00	12,51	79,9	01gen2000, 04:45	29,43	130,9	01gen2000, 04:45	47,07
J42	13,54	26,5	01gen2000, 04:45	20,17	58,7	01gen2000, 04:30	42,24	90,5	01gen2000, 04:30	63,79
R30	19,98	29,2	01gen2000, 04:45	15,67	68,3	01gen2000, 04:45	34,85	109,3	01gen2000, 04:30	54,21
R50	13,54	26,5	01gen2000, 04:45	20,19	58,3	01gen2000, 04:30	42,28	90	01gen2000, 04:30	63,85
R70	22,49	28,7	01gen2000, 05:00	13,95	69	01gen2000, 04:45	31,59	111,1	01gen2000, 04:45	49,74
R90	29,50	32	01gen2000, 05:15	12,49	79,3	01gen2000, 05:00	29,36	128,7	01gen2000, 05:00	46,96

Tabella 42: Risultati per la simulazione con tempo di pioggia di 6 ore

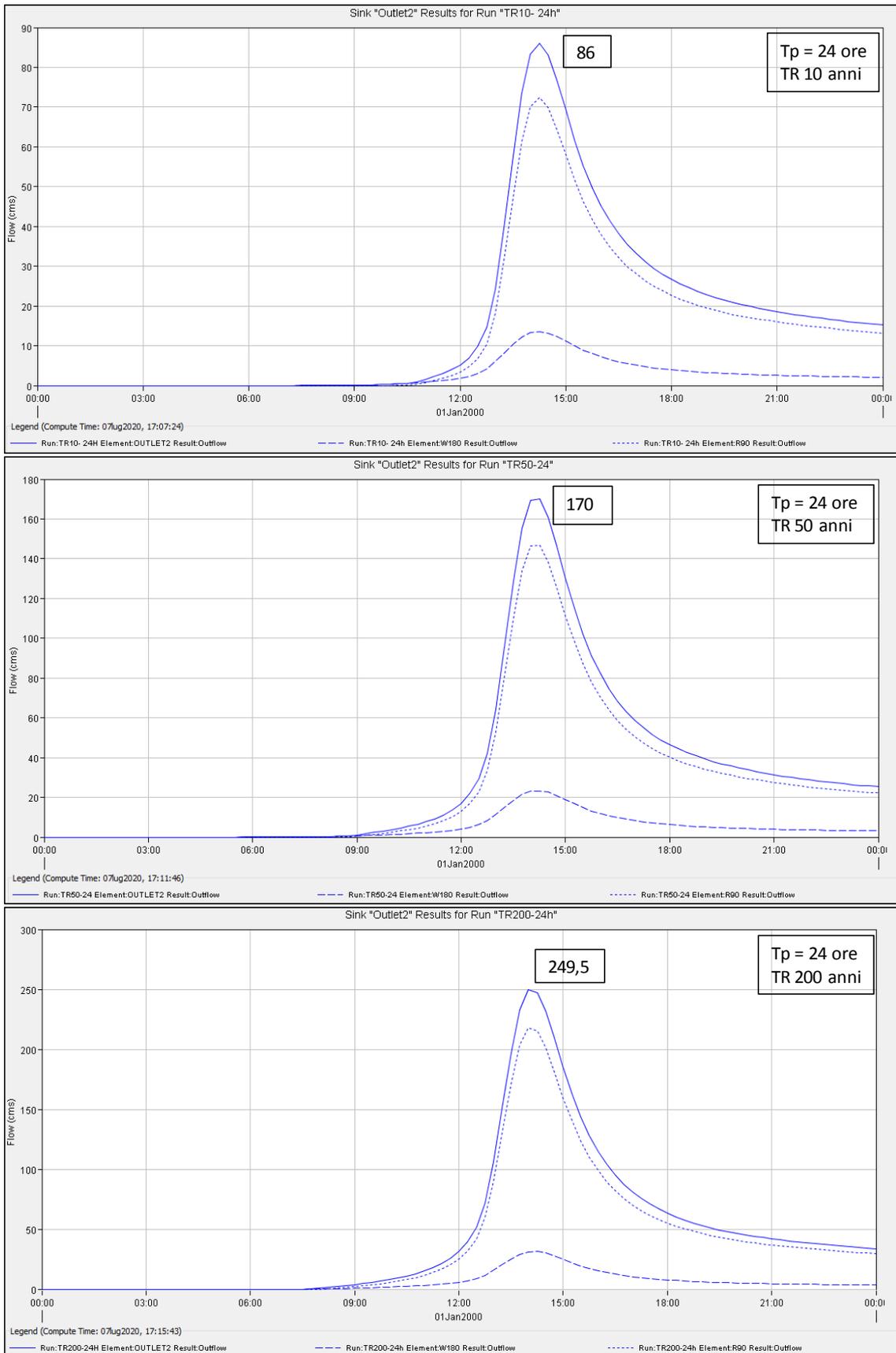


Figura 64: Idrogrammi di piena per tempi di pioggia di 24 ore

Tp 24 h			TR 10 anni			TR 50 anni			TR 200 anni		
Hydrologic element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge (m3/s)	Time of peak	Volume (mm)	Peak Discharge (m3/s)	Time of peak	Volume (mm)	Peak Discharge (m3/s)	Time of peak	Volume (mm)	
W180	3,31	13,6	01gen2000, 14:15	69,83	23,3	01gen2000, 14:15	120,43	31,8	01gen2000, 14:15	165,4	
W170	0,13	0	01gen2000, 17:15	4,43	0,1	01gen2000, 13:30	19,98	0,4	01gen2000, 13:15	39,44	
W160	0,07	0	01gen2000, 22:15	2,92	0,1	01gen2000, 13:45	16,25	0,2	01gen2000, 13:30	33,83	
W150	0,89	2,7	01gen2000, 13:45	43,43	5,5	01gen2000, 13:45	85,16	8,1	01gen2000, 13:30	124,5	
W140	2,50	4,2	01gen2000, 14:00	29,36	10,3	01gen2000, 14:00	64,13	16,1	01gen2000, 14:00	98,5	
W130	2,44	1,1	01gen2000, 14:30	11,4	4,5	01gen2000, 14:15	34,05	8,8	01gen2000, 14:00	59,19	
W120	6,12	9,5	01gen2000, 14:45	30,66	22,1	01gen2000, 14:30	65,93	34,4	01gen2000, 14:30	100,54	
W110	11,04	48	01gen2000, 13:45	62,92	85,8	01gen2000, 13:45	111,77	119	01gen2000, 13:45	155,79	
W100	6,31	10,8	01gen2000, 14:00	29,24	26,2	01gen2000, 14:00	63,98	41	01gen2000, 13:45	98,32	
Outlet	32,81	86	01gen2000, 14:15	43,02	170	01gen2000, 14:15	83	249,5	01gen2000, 14:00	120,8	
J33	19,98	61,7	01gen2000, 14:00	47,62	121	01gen2000, 13:45	90	175,4	01gen2000, 13:45	129,58	
J36	22,49	62,6	01gen2000, 14:00	43,47	124,3	01gen2000, 13:45	83,58	182,8	01gen2000, 13:45	121,5	
J39	29,50	72,9	01gen2000, 14:00	40,58	149,2	01gen2000, 14:00	79,64	220,6	01gen2000, 14:00	116,83	
J42	13,54	51,9	01gen2000, 13:45	56,73	95,8	01gen2000, 13:45	102,98	134,9	01gen2000, 13:45	145,23	
R30	19,98	61,7	01gen2000, 14:00	47,53	120,1	01gen2000, 13:45	89,87	174,3	01gen2000, 13:45	129,42	
R50	13,54	51,4	01gen2000, 13:45	56,59	95,1	01gen2000, 13:45	102,79	134,1	01gen2000, 13:45	145	
R70	22,49	62,3	01gen2000, 14:00	43,17	124	01gen2000, 14:00	83,15	181,1	01gen2000, 14:00	120,97	
R90	29,50	72,5	01gen2000, 14:15	40,01	146,7	01gen2000, 14:15	78,81	218	01gen2000, 14:00	115,8	

Tabella 43: Risultati per la simulazione con tempo di pioggia di 24 ore

Dal confronto dei singoli sottobacini possiamo notare come influisca il CN sulla pioggia persa.

Confrontando il bacino W130 che presenta un CN basso (39) con il bacino W180 che presenta un CN alto (69) notiamo che la pioggia persa (area rossa in Figura 65) è molto maggiore nel bacino W130, più permeabile; il bacino più permeabile assorbe il 74% di pioggia precipitata, mentre il bacino meno permeabile ne assorbe solo il 37%.

Bacino	CN	h tot (mm)	h _N (mm)	h _{loss}	% di pioggia persa
W130	39	247,50	63,15	184,35	74,5
W180	69	274,50	174,12	100,38	36,6

Tabella 44: Confronto tra il sottobacino più permeabile e quello meno permeabile, per TR200 e t_p 24 ore.

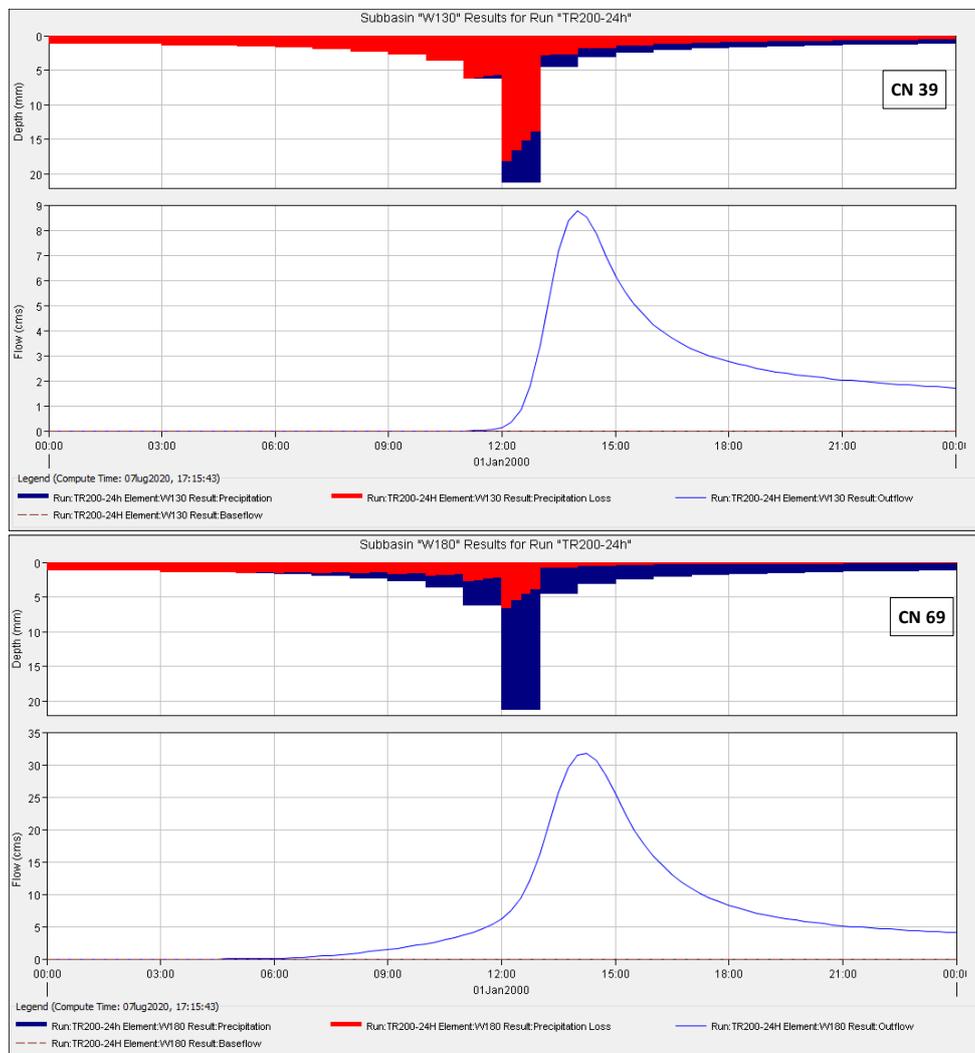


Figura 65: Idrogramma di piena del bacino W130 (in alto) e W180 (in basso); grafico di pioggia persa. Risultati relativi alla simulazione con TR200 e T_p 24 ore.

Il modello restituisce inoltre una prima stima della velocità della corrente nella sezione finale dei corsi d'acqua. Si riporta nel Grafico 16 la velocità per un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni e tempo di pioggia di 24 ore.

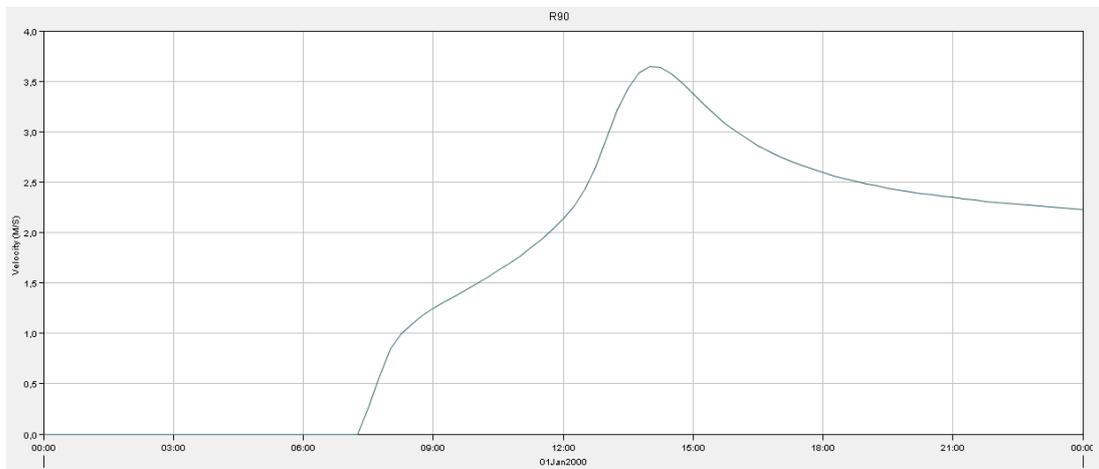


Grafico 16: Andamento della velocità per il River 90; TR200, tp 24h.

Ai fini della stima del tirante generato a monte del ponte dell'attraversamento ID30 non ci si accontenta però di tale stima per la velocità, ma si ritiene necessaria una modellazione idraulica più nel dettaglio mediante l'utilizzo di HEC-RAS, inserendo come input le portate di picco ricavate dalla presente analisi idrologica.

5 UTILIZZO DEL GIS NELLA PROGETTAZIONE

L'utilizzo dei GIS si rivela oggi indispensabile poiché un'innovazione nel modo di progettare è in corso nel campo delle infrastrutture; infatti se prima la progettazione in GIS era utilizzata solamente come un appoggio per georeferenziare i dati, oggi è uno strumento fondamentale per la condivisione di dati di qualsiasi natura, da informazioni sul territorio a informazioni geografiche, sismiche, infrastrutturali.

Il progetto dell'acquedotto di Valle Orco è stato realizzato con l'ausilio di GIS, che permette di costruire un geodatabase contenente tutti i dati necessari alla progettazione. Si realizza così un archivio di dati fruibile a tutti gli utenti coinvolti nel progetto ed utilizzabile dalla committenza per futuri progetti infrastrutturali sviluppati nella stessa zona.

5.1 ARCGIS

ArcGIS è un software commerciale della ESRI che costituisce una raccolta integrata di software per la creazione di un Sistema Informativo Geografico.

Esso comprende una serie di prodotti GIS volti alla progettazione, integrazione, distribuzione e gestione di qualsiasi tipo di dato geografico georeferenziato, indirizzato e accessibile a qualsiasi tipo di utente finale, quali progettisti, committenti e sviluppatori[29].

L'utilizzo di ArcGIS nella progettazione rivoluziona il metodo di lavoro e permette ai singoli utenti di modificare un particolare campo di un progetto, migliorando il metodo di aggregazione e scambio di dati.

ArcGIS è un programma ad oggetti e tutti i prodotti software della famiglia ArcGIS sono progettati sugli stessi concetti operativi. Ciò costituisce un punto di forza di ArcGIS, poiché una volta imparato ad utilizzare uno dei software della sua famiglia, è immediato saper utilizzare tutti gli altri, che si basano su stessi processi e stessa interfaccia.

ArcGIS costituisce anche una base per caricare diverse estensioni che consentono di produrre progetti utilizzabili in altri software, principalmente si interfaccia con Autodesk e i software HEC della US Army Corps of Engineers.

5.2 INTERAZIONE TRA GIS E BIM

Da tempo i maggiori produttori di software GIS e BIM, rispettivamente ESRI e Autodesk collaborano per fornire un'ambiente di lavoro che permetta lo scambio di dati e l'interazione tra diverse discipline, riducendo i tempi di lavoro e gli errori.

Civil 3D ed Infracore sono i software in ambiente BIM più utilizzati di Autodesk nel campo delle infrastrutture. In essi è presente l'opzione per stabilire una connessione con i progetti in ArcGIS. Le modifiche fatte sul progetto in ArcGIS sono automaticamente riportate su Civil 3D ed Infracore, in modo da lavorare su un'unica piattaforma di dati, disponendo dei vantaggi e degli strumenti dei due sistemi, GIS e BIM.

Il BIM costituisce un contenitore digitale di informazioni su un'infrastruttura mentre il GIS è il sistema informativo geografico che permette di rappresentare gli eventi che si verificano in un determinato territorio[30]. Insieme forniscono un nuovo modo di pianificare, progettare, costruire e gestire le nuove infrastrutture.

Con l'interazione tra GIS e BIM si valorizza il pacchetto di informazioni su un determinato elemento, che verranno utilizzate sia dall'ambiente GIS che da quello BIM, interrogando un database comune.

La cooperazione BIM-GIS[30] si rivela utile per riunire in un unico "luogo informatico" le numerose informazioni raccolte e prodotte, tanto in termini di grafica quanto in termini di database collegati all'interfaccia grafica.

I software Autodesk BIM consentono la modellazione 3D dell'infrastruttura, mentre i software GIS consentono di raccogliere informazioni sulle aree di progetto di vario genere.

Il vantaggio è inoltre una chiara comunicazione col committente, che interagisce con il progetto durante il suo avanzamento e ricava un database aggiornato delle infrastrutture esistenti, utile per progetti futuri.

L'importanza dell'interazione tra ambiente GIS e BIM è tanto maggiore quanto più il progetto è esteso.

5.3 GOOGLE EARTH

Il software GIS freeware più comune è Google Earth. Google è stata la prima azienda a creare un software in grado di sfruttare immagini satellitari, fotografie e dati topografici tramite un ambiente GIS, realizzando una sorta di mappamondo virtuale[29].

Ad oggi il sistema di Google Earth fornisce diversi servizi; restituisce coordinate geografiche, quote altimetriche, altezza del punto di osservazione (o altezza della telecamera), per la visualizzazione 3D, e un sistema di bussola.

Una delle utilità dell'interazione tra ArcGIS e Google Earth è l'esportazione dei dati provenienti da shapefile e la trasformazione in progetti .kml utilizzabili su Google Earth. Ciò facilita le operazioni di reperimento della località in sede di sopralluogo, e migliora la fruibilità del dato; Google Earth infatti dispone di app per smartphone gratuite, su cui è possibile caricare il file e visualizzare tutte le informazioni derivanti dagli attributi dello shapefile molto velocemente.

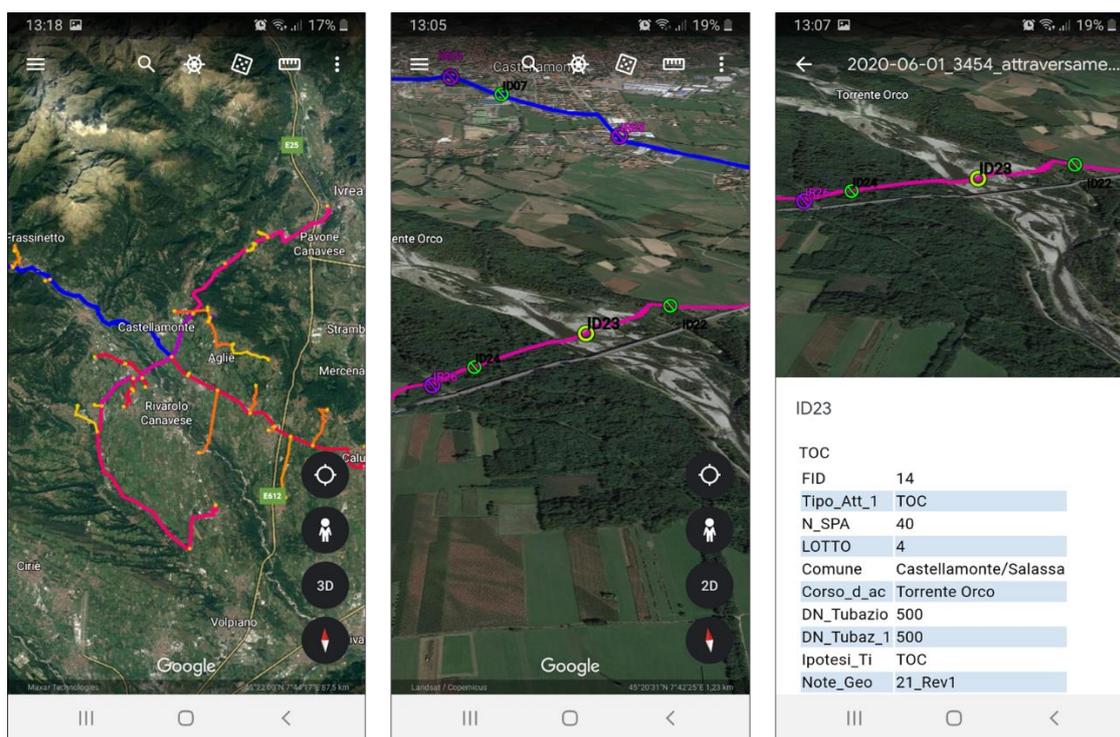


Figura 66: Utilizzo di Google Earth durante il sopralluogo

Google Earth deve il suo successo alla sua semplicità d'utilizzo e alla fruibilità gratuita del suo software, ad oggi disponibile anche come app su smartphone.

Il software occupa pochissimo spazio e si scarica in pochi minuti. È possibile disporre di dati condivisi da milioni di utenti, in diversi formati. La community composta da milioni di utenti aiuta a far crescere rapidamente il sistema.

La qualità dell'immagine è molto elevata e permette di inserire segnaposti in modo rapido; nella versione mobile restituisce anche la geolocalizzazione da GPS. Tutte queste caratteristiche lo rendono lo strumento GIS più utilizzato da qualsiasi categoria d'utente.

Tuttavia, non mancano i difetti: innanzitutto è utilizzabile solo tramite connessione internet; dato il grado di dettaglio delle immagini, se impostata la visualizzazione 3D può richiedere molto tempo per elaborare l'immagine, a seconda della sua risoluzione e della qualità di connessione di cui dispone l'utente; il grado di dettaglio della restituzione delle quote resta ancora relativamente basso, il che lo rende un buon software dal punto di vista didattico o esplorativo, ma non lascia ampio spazio alla progettazione di dettaglio.

Con la sua continua crescita e i suoi frequenti aggiornamenti, Google Earth punta a una maggiore precisione dei dati e delle immagini; ad oggi però ci sono ancora delle zone del globo che non possiedono immagini di dettaglio. Il più alto grado di dettaglio si raggiunge nelle grandi città degli Stati Uniti, mentre in Europa le immagini sono in fase di aggiornamento, ma la maggior parte delle immagini risale ancora al 2002 [29].

5.4 IL GEODATABASE

Un geodatabase in ArcGIS è una collezione di dati geografici di vario tipo tenuti insieme in un sistema di cartelle comune o in un database Microsoft Access [31]; esso può avere diverse dimensioni, diverso numero di utenti e può andare da una piccola scala di singolo utente fino a una larga scala di grandi gruppi di lavoro, come i geodatabase aziendali a cui accedono molti utenti.

Ma un Geodatabase è più di una semplice raccolta di dati; il termine ha molteplici significati in ArcGIS [31]:

- Il geodatabase è la struttura di dati nativa per ArcGIS ed è il formato di dati primario utilizzato per la modifica e la gestione dei dati. ArcGIS lavora con informazioni geografiche in numerosi formati di file GIS (Geographic Information System) ed è progettato per funzionare e sfruttare le capacità del geodatabase.

- Il geodatabase è un archivio fisico d'informazioni geografiche che utilizza principalmente un sistema di gestione di database (database management system o DBMS). È possibile accedere e lavorare al database tramite ArcGIS o un sistema di gestione del database tramite SQL.
- I database geografici hanno un modello informativo completo per la rappresentazione e la gestione delle informazioni geografiche. Questo modello informativo completo è implementato come una serie di tabelle contenenti classi di caratteristiche, set di dati raster e attributi.
- La logica del software Geodatabase fornisce la logica applicativa comune utilizzata in ArcGIS per accedere e lavorare con tutti i dati geografici in una varietà di file e formati. Ciò supporta la collaborazione con il geodatabase e include l'utilizzo di shapefile, file di disegno CAD, file TIN (triangulated irregular networks), griglie, immagini, file GML (Geography Markup Language) e numerose altre fonti di dati GIS.
- I Geodatabase hanno un modello di transazione per la gestione dei processi dei dati GIS.

5.4.1 IL GEODATABASE DEL PROGETTO DELL'ACQUEDOTTO DI VALLE ORCO

Il geodatabase del progetto è stato suddiviso in 13 sezioni, per permettere all'utente di accedere all'informazione desiderata in modo rapido e consentire una corretta catalogazione dei dati.

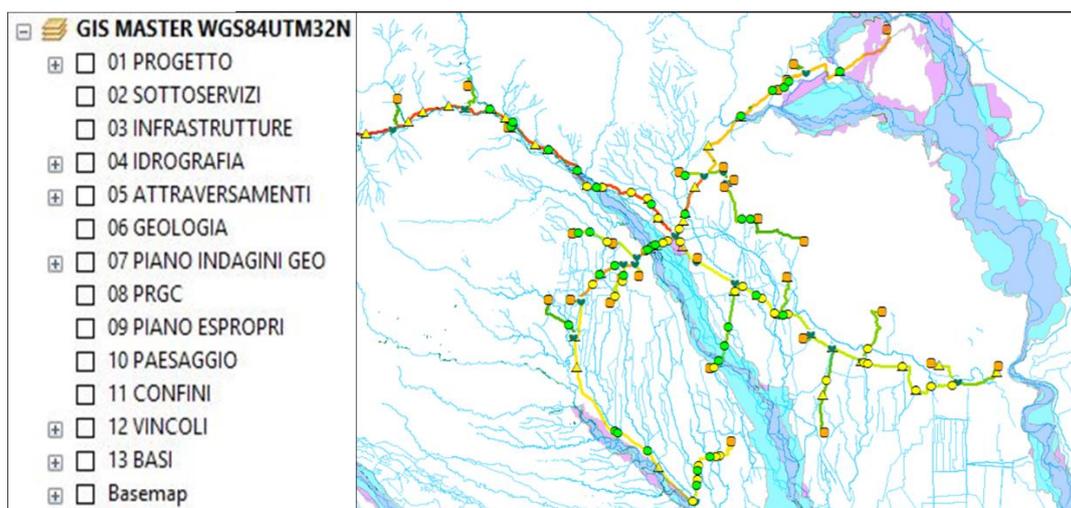


Figura 67: Database del progetto dell'acquedotto di Valle Orco.

PROGETTO

Nella sezione progetto sono contenute tutte le informazioni riguardo gli elementi costruttivi del nuovo acquedotto quali:

- tracciato: contiene il DN della condotta, la denominazione dello specifico tratto, la sua lunghezza, il lotto di cui fa parte Figura 68;
- punti di consegna: sono contenute informazioni sul tipo di punto di consegna, diametro della condotta che giunge al punto di consegna, comune, ente gestore del punto di consegna (Figura 70);
- il file camera di manovra contiene informazioni sui diametri in ingresso e in uscita e il comune in cui si trova (Figura 71).

asse_con_nodi					
FID	Shape *	Layer	lotto	LUNGHEZZA	
0	Polyline ZM	GD_HID_1000	0	433	
1	Polyline ZM	GD_HID_1000	0	456	
2	Polyline ZM	GD_HID_100	0	4568	
3	Polyline ZM	GD_HID_100	0	2004	
4	Polyline ZM	GD_HID_100	4	2769	
5	Polyline ZM	GD_HID_100	4	572	
6	Polyline ZM	GD_HID_100	3	171	
7	Polyline ZM	GD_HID_100	2	1062	
8	Polyline ZM	GD_HID_100	2	138	
9	Polyline ZM	GD_HID_1000	0	1778	
10	Polyline ZM	GD_HID_200	3	2747	

Figura 68: Estratto della tabella degli attributi del tracciato.

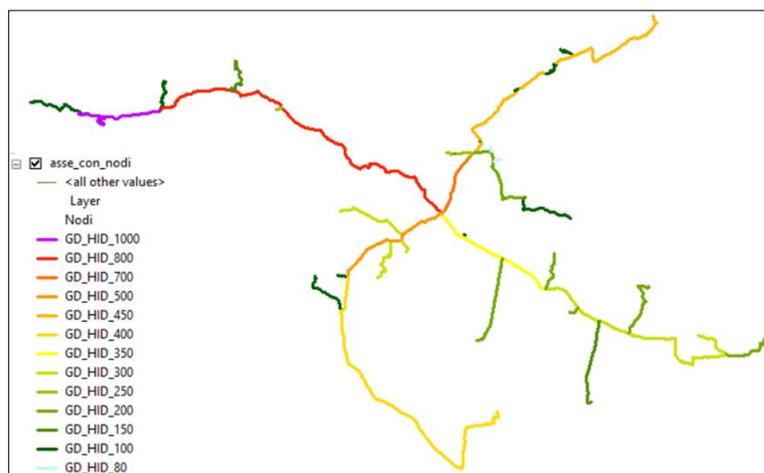


Figura 69: Tracciato dell'acquedotto, differenziazione per diametro nominale.

SOTTOSERVIZI

Nella sezione sottoservizi è presente la mappatura dei sottoservizi; l'operazione di mappatura dei sottoservizi è importante per la progettazione su scala di dettaglio, poiché determina la posizione finale della condotta acquedottistica in progetto e la risoluzione di eventuali interferenze.

I sottoservizi individuati sono:

- l'acquedotto esistente;
- la fognatura esistente;
- la rete gas;
- la rete elettrica;
- la rete illuminazione/semaforica;
- la rete telefonica;
- l'oleodotto.

INFRASTRUTTURE

Nella voce infrastrutture è presente la mappatura delle infrastrutture presenti, quali ferrovie, autostrade, strade:

- autostrade: la Torino Aosta, gestita da A.T.I.V.A. S.p.A., viene intercettata in due punti, presso Samone/Banchette e presso San Giorgio Canavese;
- ferrovie: vengono mappate sia le ferrovie attualmente in uso che le ferrovie abbandonate o riconvertite;
- strade: sono mappate tutte le strade provinciali e statali appartenenti all'area in progetto.

IDROGRAFIA

Nella sezione idrografia è presente il reticolo idrografico diviso in reticolo idraulico principale e reticolo irriguo; per ogni corso d'acqua vengono riportati il nome e la portata media del corso d'acqua; sono presenti inoltre, non solo gli shapefile contenenti l'asse dell'alveo, ma anche altri file contenenti altre informazioni quali:

- informazioni sulla geometria delle sponde, canali attivi e inattivi e sulla morfologia dell'area dell'alveo, quali natura dei depositi in alveo;
- Eventi di piena notevoli quali la piena del 2000 [32] che contiene i dati del livello dell'acqua in diversi punti, le aree allagate, la velocità dell'acqua in diversi punti, le zone in cui l'alluvione ha generato dissesto o danni a infrastrutture esistenti o a protezioni spondali (Figura 73);
- bacini idrografici e i sottobacini [33].
- informazioni sulla presenza di protezioni spondali, pozzi o opere di derivazione, di protezione del fondo quali briglie e soglie [34];

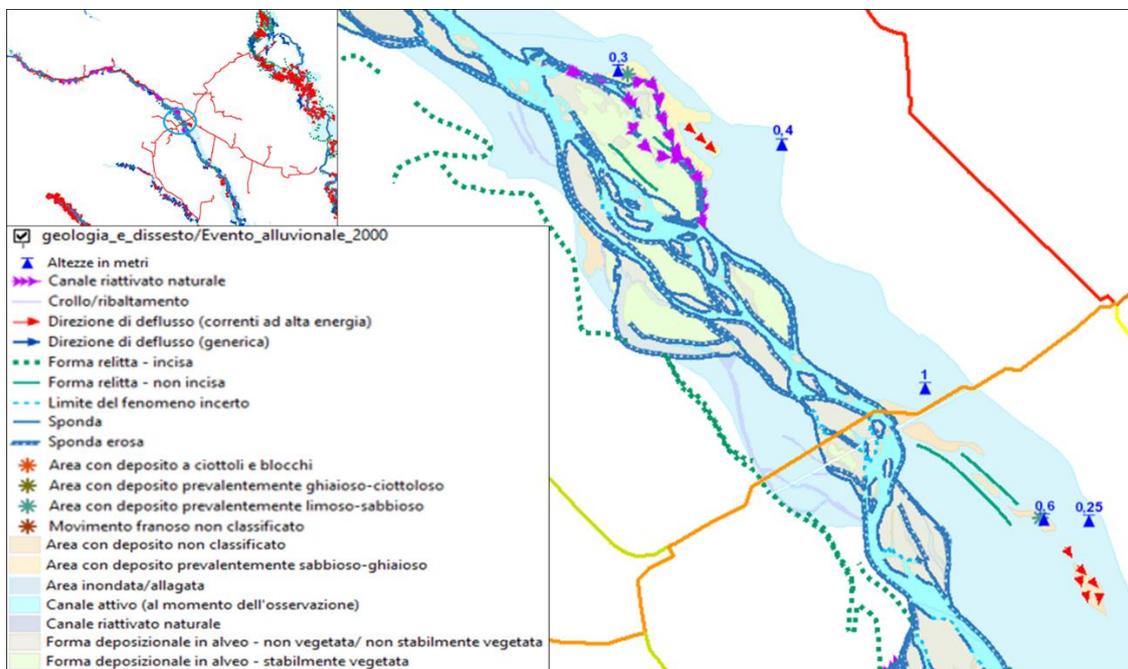


Figura 73: Geologia e dissesto; evento alluvionale del 2000

ATTRAVERSAMENTI

Nella sezione attraversamenti si trovano informazioni sugli attraversamenti idrici, ferroviari, autostradali e stradali. Lo shapefile degli attraversamenti idrici comprende tutte le informazioni riportate nei precedenti capitoli, schematizzate come riportato nel paragrafo 3.2. Le informazioni fondamentali sono l'ipotesi di attraversamento fatta dallo Studio di Fattibilità e quella fatta nel Progetto Definitivo, il dato del diametro della condotta, la larghezza dell'alveo e la larghezza delle golene.

GEOLOGIA

La sezione geologia comprende:

- da Copernicus: uso del suolo (Corine Land Cover 2000), aggiornato a Settembre 2016;
- da Arpa Piemonte: Carta Geologica rieditata, conoidi alluvionali in Piemonte, aree inondabili, aree instabili, danni a centri abitati, danni alla rete viaria, frane, morfologia dei corsi d'acqua in Piemonte, Sistema informativo frane Piemonte;
- da GeoPortale Piemonte: PGRA-Piano Gestione Rischio Alluvioni (Scenari di Pericolosità 2015; Scenari di Rischio 2015);

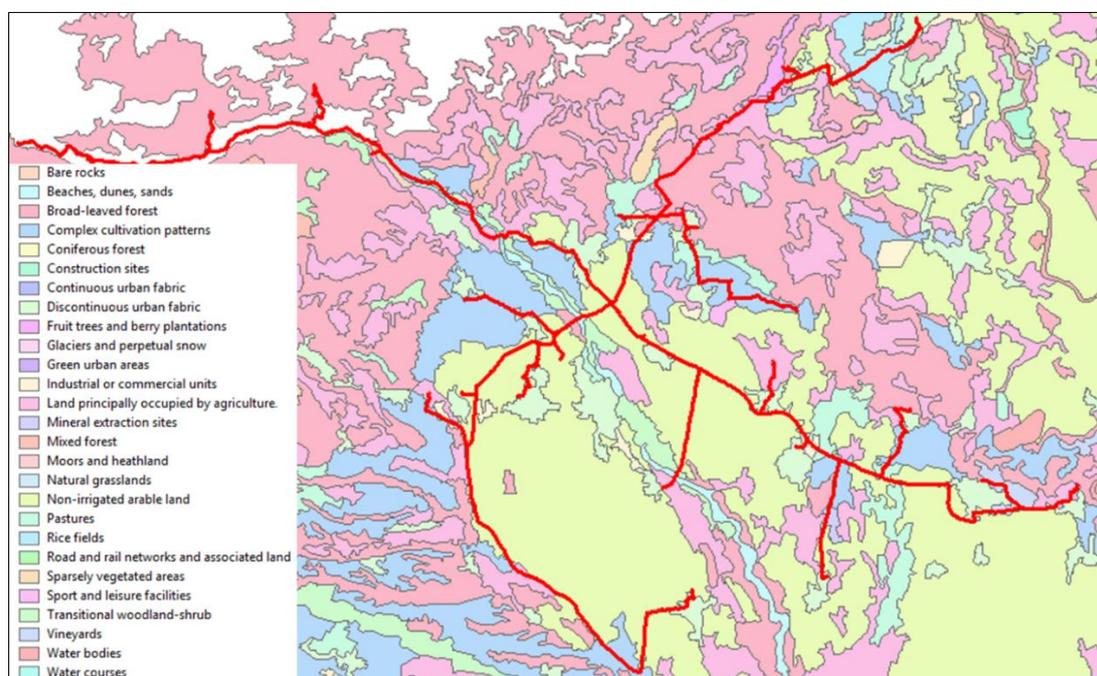


Figura 74: Carta d'uso del suolo.

PIANO INDAGINI GEOLOGICHE

Il piano di indagini geologiche comprende i sondaggi e le indagini geofisiche che vengono predisposte nei punti di maggiore criticità quali attraversamenti e camere di manovra di rilevante importanza.

PRGC

La sezione PRGC contiene il piano regolatore generale comunale per ogni comune coinvolto nel progetto (41 comuni).

PIANO ESPROPRI

Nel piano d'espropri si trovano informazioni sulle proprietà da espropriare, temporaneamente o definitivamente, a causa di intersezione col tracciato o con zone di cantiere.

PAESAGGIO

La voce paesaggio contiene informazioni sulla presenza di aree di interesse ambientale, storico o culturale, come la presenza di aree boschive denominate patrimonio naturale, o aree di centro storico non intaccabili o intaccabili con determinati accorgimenti.

CONFINI

Nella sezione confini si trovano informazioni sui confini comunali, per determinare in che comune ricade la parte di progetto.

VINCOLI

Della sezione vincoli fanno parte tutte le interferenze descritte nel capitolo 2; inoltre sono presenti i vincoli determinati dalle fasce fluviali PAI A, B, B di progetto e C che determinano prescrizioni riguardanti gli attraversamenti fluviali, pozzetti d'ispezione e pozzi di spinta che ricadono all'interno di fasce fluviali.

BASI

Nella sezione basi si trovano informazioni sulla cartografia provenienti dal BDTRE (Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti Piemontesi):

- ambiti amministrativi;
- aree di pertinenza;
- località significative e scritte cartografiche;
- informazioni geodetiche e fotogrammetriche;
- reti di sottoservizi;
- immobili e antropizzazioni;
- orografia;
- vegetazione;
- viabilità e indirizzi.

CONCLUSIONI

Il progetto dell'acquedotto di Valle Orco si rivela fortemente influenzato dai vincoli di natura idrografica, rappresentati dal reticolo idraulico principale e dal reticolo irriguo. Le intersezioni del tracciato con tali vincoli determinano gli attraversamenti idrici, che sono stati distinti per reticolo di appartenenza e a cui sono state attribuite caratteristiche proprie, necessarie alla valutazione della tecnica di attraversamento.

Lo studio condotto sulle diverse tecnologie d'attraversamento esistenti ha permesso di capirne le potenzialità e gli aspetti critici e di definirne i campi di applicabilità.

In particolare, la modalità d'attraversamento in subalveo è applicabile per attraversamenti dov'è possibile deviare il corso d'acqua o parzializzarne la sezione e costituisce una tecnica di semplice applicabilità ed economica, per scavi che non raggiungono profondità elevate.

Le tecnologie No Dig rappresentano la migliore scelta dal punto di vista ambientale poiché non interagiscono con la morfodinamica dei corsi d'acqua e con il loro ecosistema. La loro applicabilità è limitata dai costi elevati, che le rendono tecnologie competitive solo per attraversamenti complessi.

L'attraversamento in microtunnelling costituisce la tecnica No Dig più versatile per la sua applicabilità in qualsiasi condizione idro-geologico/geotecnica; essa costituisce però una tecnica molto dispendiosa, che risulta conveniente applicare per perforazioni molto profonde, per attraversamenti molto lunghi o nei casi in cui non si voglia interagire con il corso d'acqua.

La perforazione in T.O.C. riscontra dei limiti di applicabilità in presenza di sedimenti a granulometria grossa, poiché il foro scavato dall'alesatore rischia di crollare. Rappresenta però un'ottima alternativa in presenza di sedimenti argillosi.

Gli attraversamenti aerei costituiscono una buona soluzione in presenza di un ponte su cui effettuare lo staffaggio, compatibilmente con le dimensioni della condotta. Tale soluzione rappresenta la tecnica più economica, ma è applicabile solo se la verifica statica del ponte è soddisfatta.

La realizzazione dell'attraversamento con ponte-tubo o su struttura portante costituisce una buona alternativa nel caso di attraversamenti brevi, ma presenta lo svantaggio del forte impatto visivo.

Le considerazioni derivanti dai sopralluoghi hanno portato ad escludere alcune delle ipotesi che inizialmente erano state fatte in base allo studio di fattibilità e ad osservazioni delle immagini fotogrammetriche, e ad ipotizzarne di nuove.

L'analisi multicriteria condotta sui principali attraversamenti ha permesso di stilare una classifica delle migliori tecnologie d'attraversamento secondo diversi scenari di preferenza; a valle delle indagini geologiche sarà possibile escludere le tipologie d'attraversamento tecnicamente non applicabili per i singoli casi e, tra le rimanenti, la scelta verrà presa insieme al committente in base agli aspetti che intende privilegiare.

Per ogni attraversamento è stata proposta una soluzione che, al punto di progettazione giunti e in assenza dei risultati delle indagini geologiche, appare la migliore. In particolare per il Torrente Soana (ID01) viene proposto un attraversamento aereo; per il Torrente Orco nell'ID03 si propone un attraversamento in subalveo, nell'ID05 e ID06 in microtunnelling; per il Torrente Chiusella (ID10) viene proposto un attraversamento in microtunnelling; per il Rio Ribes viene proposto un attraversamento in subalveo; per il Torrente Orco in corrispondenza degli attraversamenti ID22 e ID23 si propone un'unica perforazione in microtunnelling, e per il restante tratto di attraversamento, ID24 e IR26, si propone un attraversamento in subalveo.

Per gli attraversamenti in staffaggio su ponte, in previsione di una futura verifica di compatibilità idraulica, sono stati studiati i bacini sottesi dagli attraversamenti; in particolare è stato modellato il bacino del Torrente Viana chiuso nella sezione dell'attraversamento ID30. Il modello elaborato in HEC-HMS, generato tramite HEC-GeoHMS, restituisce l'idrogramma di piena nel punto corrispondente all'attraversamento, per tempi di ritorno di 10, 50 e 200 anni e tempi di pioggia di 6 ore e di 24 ore. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati della stazione idrometrica di Front Malone, la più prossima al punto in esame, e si rivelano accettabili. Tuttavia, una taratura del modello tramite dati di portata reperiti sul torrente Viana stesso darebbe maggiore robustezza al modello.

L'utilizzo del GIS nella progettazione si rivela uno strumento prezioso, data la dimensione del progetto dell'acquedotto di Valle Orco e la sua interdisciplinarietà. Esso

ha garantito la corretta interazione tra le discipline coinvolte; ogni specialista aggiunge dati e informazioni in merito alla propria disciplina, rendendo fruibile il dato agli altri utenti e contribuendo ad arricchire il Geodatabase di progetto, che contiene la totalità delle informazioni necessarie alla progettazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wikipedia, *Centrale idroelettrica di Bardonetto*
- [2] Wikipedia, *Centrale idroelettrica di Villa*
- [3] SMAT, *Verifica di assoggettabilità a VIA- Studio preliminare ambientale, Progetto Acquedotto Valle Orco*, 2018
- [4] Autorità di bacino del fiume Po, *Da Cuorgnè alla confluenza nel fiume Po Osservazioni allo Schema di Variante*, 2019
- [5] Wikipedia, *Torrente Soana*
- [6] Wikipedia, *Torrente Malesina*
- [7] Wikipedia, *Torrente Chiusella*
- [8] Autorità di bacino del fiume Po, *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Interventi sulla rete idrografica e sui versanti*, 2001
- [9] SMAT, *Premesse Principali interferenze- studio di fattibilità, Progetto Acquedotto Valle Orco*, 2019
- [10] Milano V, *Acquedotti*, 2ed. HOLEPI, 2012
- [11] SMAT, *Relazione illustrativa condotte- Studio di Fattibilità, Progetto Acquedotto Valle Orco*, 2019
- [12] SMAT, *tavola 'Sezioni attraversamenti tipo'- Studio di Fattibilità, Progetto Acquedotto Valle Orco*, 2019
- [13] IATT website, *Tecnologie No Dig*
- [14] Pipe Jacking Association, *An introduction to pipe jacking and microtunnelling*, 2017
- [15] Giffinoleggi website, *Spingitubo e tecniche di perforazioni orizzontali, cosa sono e come funzionano*
- [16] Wikipedia, *Spingitubo*
- [17] Anese s.r.l. website
- [18] mtsPERFORATOR website

- [19] ISTT- International Society for Trenchless Technology website;
- [20] Firmtech website
- [21] Herrenknecht website
- [22] Pipe Jacking Association, *PJA Health & Safety Briefing and common control measures PJA Health & Safety Briefing.*, 2017
- [23] Oppo website
- [24] Arboretti Giancristofaro R., Bonnini S, *La Conjoint Analysis*
- [25] Cimmaghi E., Mondini G., *Le analisi multicriteria (AMC)*, 2016.
- [26] Fleming M. J., Dian J. H., USACE, *HEC-GeoHMS Geopatial Hydrologic Modeling Extention*, Version 4.2, 2009
- [27] Arpa Piemonte, *Atlante piogge intense*
- [28] SRIA s.r.l., *Intervento 33 - Difese spondali sul torrente levona lungo Via Barbania a valle della frazione Marietta*, 2018.
- [29] Azzaro M., *Studio ed analisi di sistemi GIS e loro applicazioni*, 2007
- [30] Ingenio website, *Integrazione tra BIM e GIS- i vantaggi per la progettazione delle infrastrutture*
- [31] ArcGIS for Desktop website, *What is it a Geodatabase*
- [32] Arpa Piemonte, *Geologia e dissesto/Evento alluvionale 2000*
- [33] Arpa Piemonte, *Bacini idrografici*
- [34] Regione Piemonte-SIRI, *SIT_RISORSE_IDRICHE_REG_PIEMONTE*
- [35] Wikipedia, *Torrente Viana*