

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE
DENOMINATA “SCICLI”
E OPERE DI CONNESSIONE
POTENZA INSTALLATA: 750 MW**

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D.lgs.152/2006
Domanda di Autorizzazione Unica ex D.lgs. 387/ 2003
Domanda di Concessione Demaniale Marittima ex R.D. 327/1942

PROPONENTE



NINFEA RINNOVABILI srl

Largo agosto n. 3 20122
MILANO
P:IVA 11920550966

PROGETTAZIONE



TECNOCONSULT
ENGINEERING CONSTRUCTION SRL

Via Einaudi, 20C
60032 FANO (PU) IT –



ELABORATO

N. TITOLO
ELABORATO

**RELAZIONE IDROLOGICA E
IDRAULICA**

DATA	REVISIONE	EMISSIONE	VERIFICATO	APPROVATO
LUGLIO 2024	00	TECNOCONSULT	NINFEA RINNOVABILI	NINFEA RINNOVABILI

CODICE COMMESA	SCICLI	CODICE ELABORATO	REL.32
----------------	--------	------------------	--------



INDICE DELLA RELAZIONE

1	PREMESSA	3
1.1	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
3.1	PREMESSA	7
3.2	RAPPORTI DEL PROGETTO CON I CONTENUTI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	11
4	INTERFERENZA TRA PROGETTATO E CORSI D'ACQUA	13
5	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	23
5.1	PREMESSA	23
5.2	MODELLO TCEV SICILIA	23
5.3	DATI GEOMETRICI DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE.....	27
5.4	METODO DI CALCOLO DELLE PORTATE RIFERIBILI ALLE SEZIONI DI INTERESSE.....	29
5.5	VALORI CALCOLATI.....	30
6	VALUTAZIONI IDRAULICHE.....	31
6.1	PREMESSA	31
6.2	CONDIZIONI DI VERIFICA	33
6.3	MODELLAZIONE GEOMETRICA DELL'ALVEO	33
6.4	RISULTATI VERIFICHE IDRAULICHE.....	35
7	VALUTAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITA' DI EROSIONE DI FONDO ALVEO	39
7.1	PREMESSA	39
7.2	STIMA DEGLI APPROFONDIMENTI ATTESI	40
8	VALUTAZIONI PER IL PERSEGUIMENTO DELL'INVARIANZA IDRAULICA	42
8.1	PREMESSA	42
8.2	MODALITÀ DI CALCOLO DEL VOLUME MINIMO DI INVASO.....	42
8.3	ANALISI DEI DATI DI PROGETTO.....	44
8.4	MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DEI VOLUMI DI INVARIANZA.....	47
9	CONCLUSIONI	51



1 PREMESSA

L'energia eolica è una delle fonti energetiche rinnovabili fondamentali per la transizione ecologica.

Nel 2023 in Europa, l'installazione di impianti eolici ha registrato un aumento significativo di +17 GW, un record storico, ma, nonostante questa evoluzione, la capacità eolica installata sembra essere ancora insufficiente per soddisfare gli obiettivi della Unione Europea al 2030.

Infatti, la Direttiva 2023/2413 di promozione dell'energia da fonti rinnovabili (c. d. RED III), pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Europea del 31 ottobre 2023, ha aumentato dal 32 % al 42,5 % l'obiettivo dell'Unione relativo alla quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo lordo di energia entro il 2030, con l'ambizione di raggiungere il 45 %.

In Italia, la potenza eolica installata annuale non segue l'andamento richiesto per raggiungere gli obiettivi 2030 e nel 2023 i nuovi impianti, secondo dati Terna-Gaudì, ammontano a circa 488 MW, in leggera diminuzione sul 2022 (-7%).

Con la sempre minore disponibilità di siti da destinare all'installazione di parchi eolici onshore, l'eolico offshore rappresenta una possibilità per incrementare le energie rinnovabili in Italia e raggiungere sia gli obiettivi energetici posti dalle istituzioni europee per il 2030 sia gli obiettivi intermedio al 2025 e quello del 2030 indicati dal nuovo PNIEC in via di approvazione.

L'Italia è contraddistinta da mari profondi e l'eolico galleggiante presenta le caratteristiche idonee per lo sviluppo di questa specifica tecnologia. Infatti, le strutture flottanti possono essere posizionate anche dove i fondali hanno notevoli profondità, rimanendo anche molto distanti dalla costa. Questo consente la riduzione dell'impatto visivo percepito dalla terraferma e consente lo sfruttamento di aree con disponibilità più elevata della risorsa vento.

1.1 Breve descrizione del progetto

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili volti alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, NINFEA RINNOVABILI S.r.l. si propone di avviare un progetto per la realizzazione di un nuovo impianto eolico offshore denominato "Scicli", di potenza pari a 750 MW, in uno specchio d'acqua nello Stretto di Sicilia a circa 27km dalla costa Siciliana tra Marina di Modica e Marina di Ragusa.

Il progetto prevede l'installazione offshore di:

- 50 aerogeneratori di potenza nominale di 15 MW cadauno, per una potenza nominale complessiva pari a 750 MW, localizzati ad una distanza minima di 27 km e massima di 40 km dalla costa Siciliana;
- 2 sottostazioni elettriche offshore su fondazione fissa (jacket) per l'innalzamento della tensione da 66 kV a 220 kV, ubicate ad una distanza minima di 33 km da costa;



- Cavi di campo (inter-array) per il collegamento delle turbine alle sottostazioni elettriche offshore;
- 4 cavidotti di export a 220 kV per il trasporto dell'energia dalle stazioni elettriche offshore al punto di giunzione a terra.

Il progetto prevede l'installazione onshore di:

- Buca giunti e gruppo di compensazione a terra;
- Cavidotto terrestre per il trasporto di energia dalla stazione di compensazione a terra alla stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente) ubicata nei pressi della futura Stazione Terna;
- Stazione di trasformazione da 220kV a 380kV (stazione utente);
- Cavidotto di collegamento a 380kV dalla stazione utente alla futura stazione Terna.

Per la connessione del Parco Eolico off-shore di Scicli sono previste delle opere di connessione che consistono in nuove opere della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), in particolare una nuova Stazione Elettrica (SE) a 380 kV da inserire in entra – esci alla esistente linea 380 kV della RTN “Chiaromonte Gulfi – Priolo. Per la nuova SE RTN è in fase di approvazione, da parte di Terna, la localizzazione.

Lo schema di connessione alla RTN è individuato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), con codice pratica 202203856, rilasciata da Terna S.p.A. allegata al preventivo di connessione.



Figura 1-1 – Layout di impianto



2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Oggetto del presente studio è l'analisi delle interferenze tra quanto progettato, cavidotti di terra, stazione di compensazione, stazione utente, ed i corsi d'acqua naturali presenti nella zona di intervento.

Nel seguito sono individuati i bacini idrografici in cui ricade il tracciato del cavidotto, i punti di interferenza tra il cavidotto ed i corsi d'acqua, e sono state analizzate le possibili interferenze con le perimetrazioni di rischio e pericolosità individuate nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Sicilia.

E' stata inoltre verificato il mantenimento dell'invarianza idraulica di quanto progettato alla luce della normativa della Regione Sicilia (D.D.G. n102/2021).

Lo studio è stato sviluppato sulla base di studi cartografici e rilievi eseguiti in sito. Ai fini della presente relazione è considerata come area vasta la zona dei bacini idrografici dei Fiumi Irminio e zona intermedia Torrente di Modica, Tellaro e Anapo e dei loro affluenti sino alle sezioni di chiusura degli attraversamenti dell'elettrodotta. Le aree di sito sono invece le zone in cui il cavidotto attraversa i corsi d'acqua.

Il presente lavoro è stato articolato sviluppando le seguenti fasi:

- rilievo di dettaglio delle aree interessate dal tracciato del cavidotto;
- inquadramento territoriale generale della zona dove sono previsti gli attraversamenti e descrizione dell'area in cui è prevista l'opera;
- definizione delle caratteristiche geometriche del bacino sotteso alle sezioni di interesse;
- determinazione delle portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza delle sezioni di interesse;
- conclusioni e valutazioni circa la compatibilità di quanto previsto in progetto con la dinamica idraulica dei corsi d'acqua interessati.

Sono stati svolti specifici approfondimenti:

- Esame dei dati progettuali.
- Analisi delle caratteristiche dei luoghi: idrografiche e idrologiche della rete idraulica di riferimento, geomorfologiche e geologiche.
- Individuazione dei bacini idrografici, delle loro caratteristiche geometriche, geologiche e geomorfologiche.
- Analisi idrologica sviluppata sulla base delle serie storiche di piovosità.
- Analisi afflussi – deflussi.
- Creazione di modelli idraulici del reticolo idraulico di riferimento.
- Verifiche idrauliche eseguite con il programma Hec-Ras.



Per lo sviluppo del lavoro sono stati consultati i seguenti documenti:

- Cartografia Tecnica Regionale e cartografie storiche.
- Riprese fotografiche aeree.
- Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Sicilia.
- S.I.T.R. della Regione Sicilia.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 Premessa

L'area interessata dalla progettazione ed esecuzione delle opere a terra rientra nell'area territoriale compresa tra i Bacini Idrografici dei Fiumi Irminio e Torrente di Modica-Scicli, Tellaro e Anapo.

Nella figura seguente si rappresenta il perimetro dei bacini ed i reticoli idrografici.

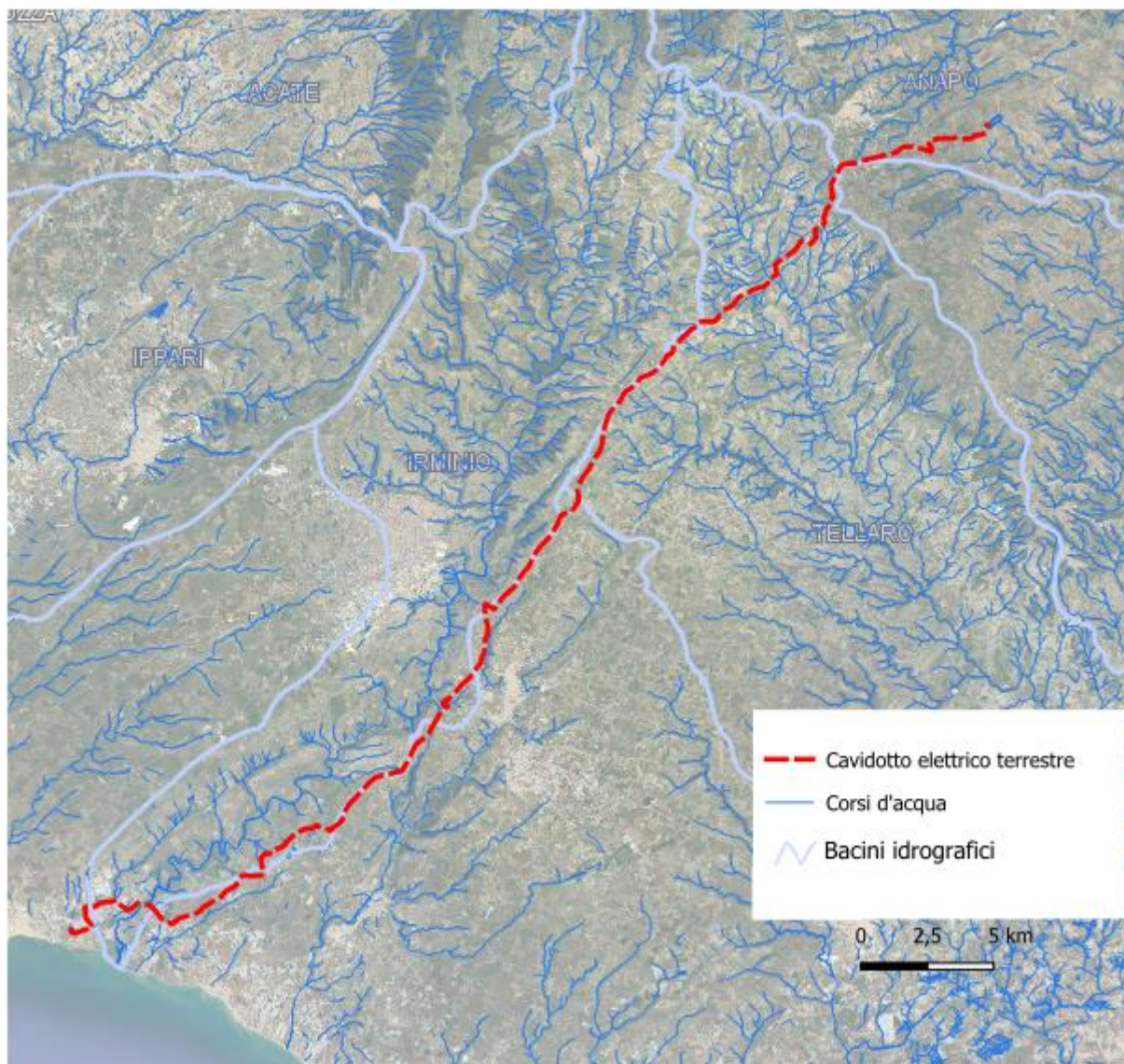


Figura 3-1 –Bacini e reticoli idrografici di interesse.

Nel seguito per una maggiore conoscenza delle aree si espongono schematicamente le caratteristiche generali dei bacini idrografici dei Fiumi intersecati dal tracciato dal cavidotto.

Fiume Irminio:

Il bacino idrografico del fiume è localizzato nel versante meridionale della Sicilia ed occupa una superficie complessiva di circa 255 km², confina ad ovest con il bacino del f. Ippari e con alcuni bacini minori, a nord con il bacino del f. Acate a nord-est con il bacino del f. Anapo, a sud-est con il bacino del torrente di Modica-Scicli e ad est con quello del f. Tellaro.

Il fiume Irminio nasce a Monte Lauro (986 m s.l.m.), si sviluppa per circa 57 Km e sfocia nel mare Mediterraneo ad est di Marina di Ragusa. Lungo il suo percorso riceve le acque di molti affluenti tra i quali: torrente Leonardo, torrente Ciaramite, torrente Mastratto, torrente Miele, torrente Volpe come affluenti di destra idraulica; torrente Gria e torrente Valle delle Monache come affluenti di sinistra idraulica. A nord del centro abitato di Ragusa è stato realizzato il serbatoio S. Rosalia il cui sbarramento sottende un bacino di circa 98 Km².

Il reticolo idrografico non si presenta molto ramificato e, in linea generale, si distingue una zona settentrionale in cui i vari rami tendono a confluire in un unico corpo, ed una zona meridionale caratterizzata esclusivamente dall'asta principale. Il bacino in esame ha una forma allungata in direzione NE – SO.



Figura 3-2 –Vista di un tratto in prossimità della foce del f. Irminio.

Geologicamente il bacino risulta impostato essenzialmente su calcari organogeni e biodetritici e calcareniti di facies neritica e di piattaforma del Miocene medio-inferiore, con l'eccezione di alcuni modesti affioramenti argillosi e di limitati depositi alluvionali (Piana di Giarratana). Nella parte meridionale del bacino adiacente alla zona costiera si riscontra la presenza di accumuli detritici ed alluvionali e fluviolacustri (databili all'Olocene).

Sotto il profilo strutturale, il reticolo idrografico del fiume Irminio è caratterizzato da horst e graben, rispettivamente spartiacque e valli di sprofondamento per aste fluviali incassate come forre; il motivo dominante è dato da una blanda anticlinale con asse NNE – SSO, culminante nel centro abitato di Ragusa ed interrotta verso est da un sistema di faglie dirette che determinano il graben della valle principale e gli horst ed i graben del reticolo secondario. Attualmente il F. Irminio si presenta a regime semitorrenziario.

Fiume Tellaro:

Il bacino del fiume Tellaro ricade nel versante meridionale della Sicilia e si estende per circa 384 km² interessando il territorio delle provincie di Ragusa e Siracusa. Il corso d'acqua, che si sviluppa per circa 49 km, trae origine da Poggio del Lupo e M. Loi in territorio del Comune di Palazzolo Acreide, sino a sfociare nel mar Ionio. Il bacino del fiume Tellaro confina ad ovest con il bacino del torrente di Modica-Scicli e con quello del fiume Irminio, a sud con alcuni bacini minori e a nord con i bacini dei fiumi Anapo, Cassibile e Noto.



Figura 3-3 –Vista di un tratto del corso del fiume Tellaro a sud del toponimo Casa Monteseno.



Il corso del fiume Tellaro ha orientazione NO-SE e il suo reticolo idrografico si sviluppa prevalentemente sul fianco sinistro della valle. Il bacino del fiume Tellaro è diviso in due zone con caratteristiche idrografiche differenti. Infatti, poiché l'asse del fiume è spostato verso il limite sinistro del bacino, i principali affluenti provengono dalla destra; questi sono procedendo da monte a valle: la Cava Prainito, la Cava Palombieri o torrente Scalarangio e la Cava Granati, i quali dopo un corso piuttosto lungo e subparallelo a quello del fiume raggiungono il Tellaro nel suo tratto inferiore. Gli affluenti di sinistra, invece, sono più brevi ed il loro corso è sub-ortogonale a quello del Tellaro. Ne deriva che la parte sinistra del bacino presenta un normale reticolo idrografico dendritico, mentre la parte destra ha un reticolo subparallelo, probabilmente in funzione della tettonica della regione. Gli apporti idrici degli affluenti succitati sono piuttosto esigui, avendo essi un regime a carattere torrentizio con deflussi superficiali di una certa entità solo in coincidenza di intensi eventi piovosi. Ne deriva che il fiume Tellaro presenta deflussi ordinari e di magra piuttosto limitati.

Geologicamente i terreni affioranti nel bacino del Tellaro sono, in massima parte, costituiti da calcareniti marnose del Miocene.

Fiume Anapo:

Il bacino del fiume Anapo ricade nel versante orientale della Sicilia e si estende per circa 454 km² interessando il territorio della provincia di Siracusa.

Il bacino confina con il bacino del fiume Ciane a sud, con quello del fiume Irminio ad ovest, con il bacino del fiume S. Leonardo a nord-ovest e con alcuni bacini minori a nord.

Il corso d'acqua si origina in corrispondenza di monte Lauro, a quota 968 m s.l.m.; l'asta del corso d'acqua ha uno sviluppo lineare complessivo di circa 60 Km e sfocia nel mare Ionio, nel porto grande di Siracusa. Uno dei suoi affluenti principali è il V.ne Cicalino, che confluisce nell'asta principale nell'area medio-terminale del bacino. Il bacino interessa il tavolato calcareo-marnoso della formazione Miocenica della Valle di Noto, costituita da grossi banchi di calcari teneri che si trasformano, verso il basso, in depositi di calcari marnosi e di marne calcaree stratificati con giacitura sub-orizzontale o debolmente inclinata. Questa serie calcarea giace sui terreni del substrato marnoso, formato dalle marne del F. Tellaro riferiti al Miocene Inferiore, che affiorano nel fondovalle e nelle sponde dell'alto corso del fiume Anapo. In corrispondenza della dorsale di Monte Lauro e dei versanti prossimi del centro abitato di Palazzolo Acreide si trovano in affioramento estese colate di lave basaltiche e banchi di tufi vulcanici.

Morfologicamente, il territorio si presenta suddiviso in due zone principali: la prima di tipo collinare, in cui l'altipiano ibleo presenta una altitudine media di 500 m s.l.m. profondamente incisa dai corsi d'acqua che creano un paesaggio accidentato; la seconda è rappresentata dalla parte pedemontana, dalla fascia costiera e dal suo immediato entroterra, con un andamento morfologico sub-pianeggiante che si raccorda più o meno all'altipiano s.s.; essa è costituita da depositi alluvionali recenti e da sedimenti plio-pleistocenici.

L'idrografia del bacino è rappresentata da una serie di corsi d'acqua che presentano un regime tipicamente torrentizio, con deflussi superficiali solamente nella stagione invernale e soprattutto in occasione di precipitazioni intense e di una certa durata, e che si presentano completamente asciutti nel periodo estivo, per la scarsa piovosità e l'alta temperatura che favorisce l'evaporazione.



Il bacino idrografico dell'Anapo, può essere classificato di tipo subdendritico, cioè a forma arborescente o quasi, con un canale principale ed altri secondari che presentano andamento parallelo al corso principale. Questo tipo di configurazione indica che lo sviluppo idrografico del bacino dell'Anapo è influenzato da una serie di fratture più o meno parallele che seguono importanti direttrici tettoniche regionali.

Dal punto di vista morfologico il bacino presenta a nord un altopiano, dove le acque torrentizie hanno inciso profonde gole (cave), mentre a sud-est vi è una vasta pianura costiera. Negli altopiani, che corrispondono agli horsts, le forme morfologiche sono rappresentate da superfici terrazzate, solchi, grotte, solchi di battente e altre forme di erosione marina, nei pianori, che corrispondono ai graben, si ha la netta prevalenza dei terrazzi marini.

3.2 Rapporti del progetto con i contenuti del Piano di Assetto Idrogeologico

Il cavidotto e le stazioni di compensazione ed utente non interferiscono con nessuna perimetrazione di pericolosità idraulica indicata nel P.A.I. come possibile verificare nella figura riportata nel seguito e nella tavola di progetto n°26 “tracciato cavidotto interrato su planimetrie P.A.I.

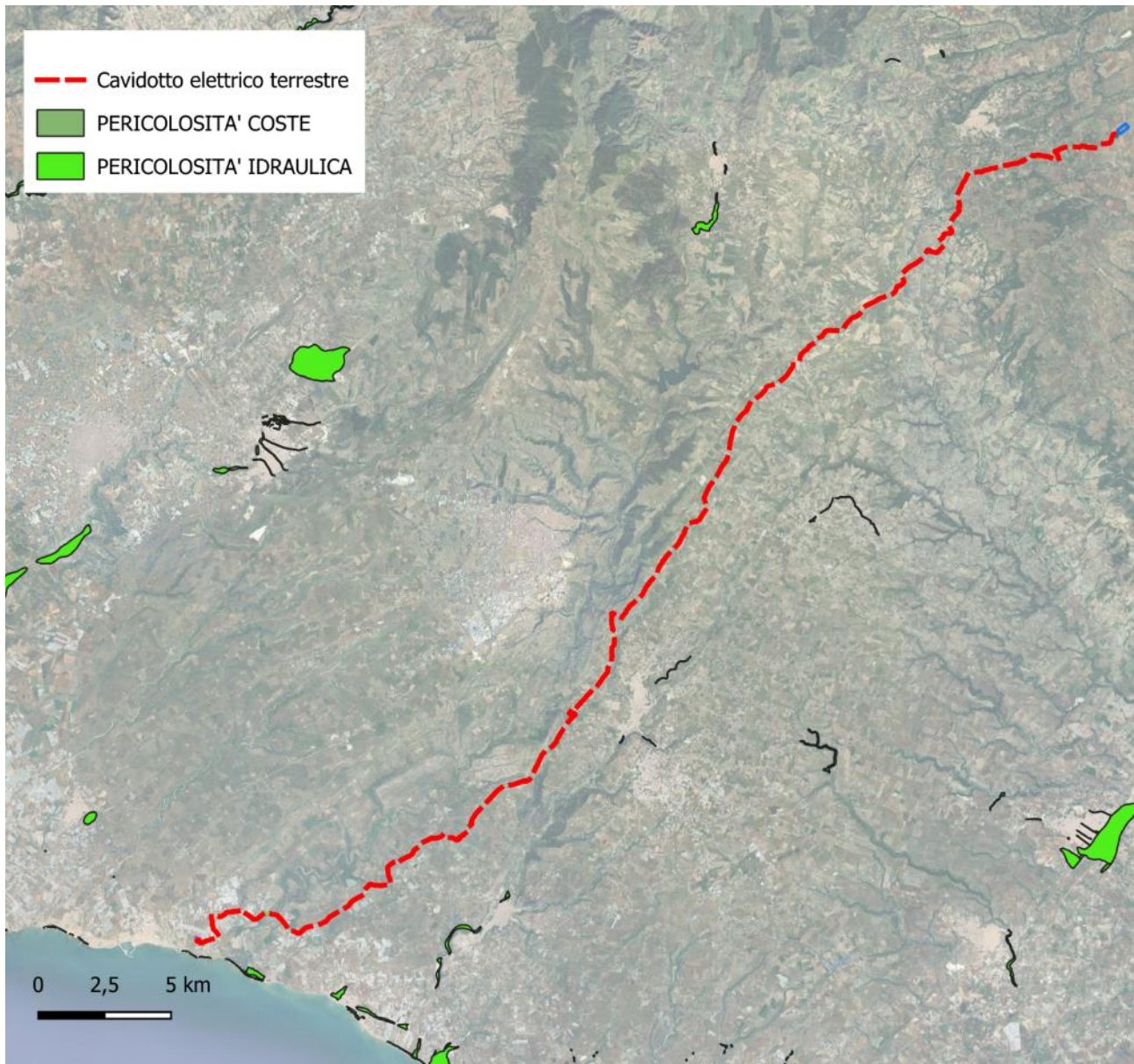


Figura 3-4 –Posizione delle perimetrazioni di pericolosità idraulica indicate nel P.A.I.



4 INTERFERENZA TRA PROGETTATO E CORSI D'ACQUA

Nonostante la lunghezza notevole dello sviluppo del cavidotto a terra, il percorso progettato minimizza la necessità di attraversamento dei corsi d'acqua. In effetti l'interferenza del tracciato del cavidotto con i corsi d'acqua indicati nella Cartografia Tecnica Regionale è limitato al superamento di cinque punti di cui nel seguito si riportano coordinate, posizione cartografica e descrizione.

Le coordinate indicative dei punti di interferenza tra cavidotto e corsi d'acqua sono riportate nella tabella seguente:

	Coordinate rif EPSG: 32633 – WGS84/UTM zona 33N	
Punto	Longitudine	Latitudine
A	463840	4072089
B	464831	4071949
C	470234	4074180
D	476359	4079465
E	488467	4095489

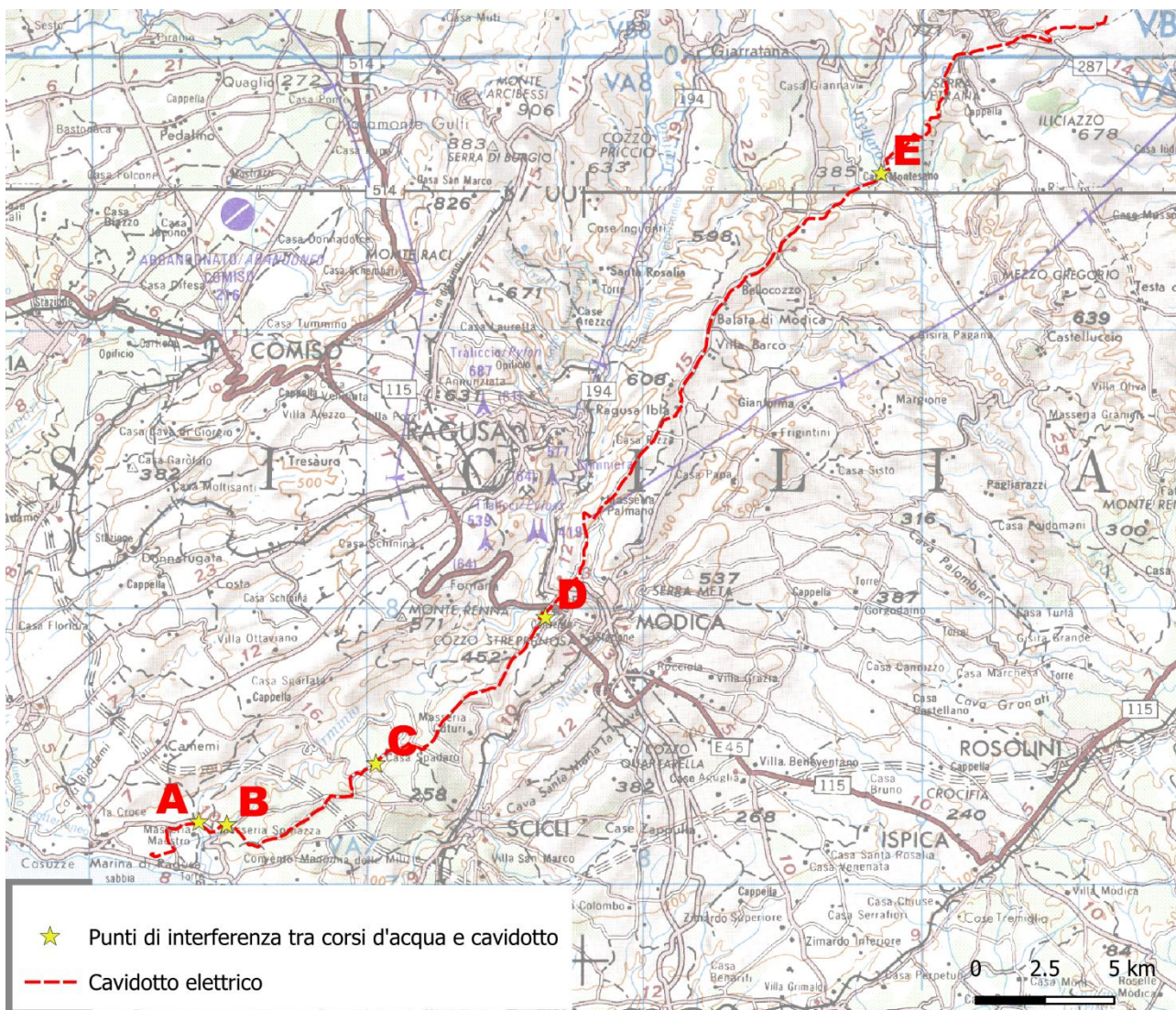


Figura 4-1 –Posizione dei punti di interferenza tra corsi d’acqua e cavidotto su base cartografica IGM scala 1:250.000

PUNTO A – è l’attraversamento di un affluente in dx idraulica del f.Irminio chiamato Cava Tadarita; il passaggio del corso d’acqua avverrà sfruttando l’impalcato del ponte e quindi senza interferire con l’alveo che presenta un corso leggermente inciso in una valle ampia a fondo piatto. Durante il sopralluogo (luglio 2024), il corso appariva completamente asciutto, come visibile dalla foto riportata nella figura 4-2.



Figura 4-2 –Posizione del punto di interferenza tra cavidotto e Cava Tadarita.



Figura 4-3 – Ponte di attraversamento della Cava Tadarita visto da monte.

PUNTO B – è l'attraversamento del Fiume Irminio, il cui corso verrà superato dal cavidotto mediante la realizzazione di una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) che verrà realizzata circa 600 metri a monte del ponte sulla S.P. 89. In Questa zona il fiume presenta una valle ampia oltre 100 metri, a fondo piatto, nella quale l'alveo è incassato.

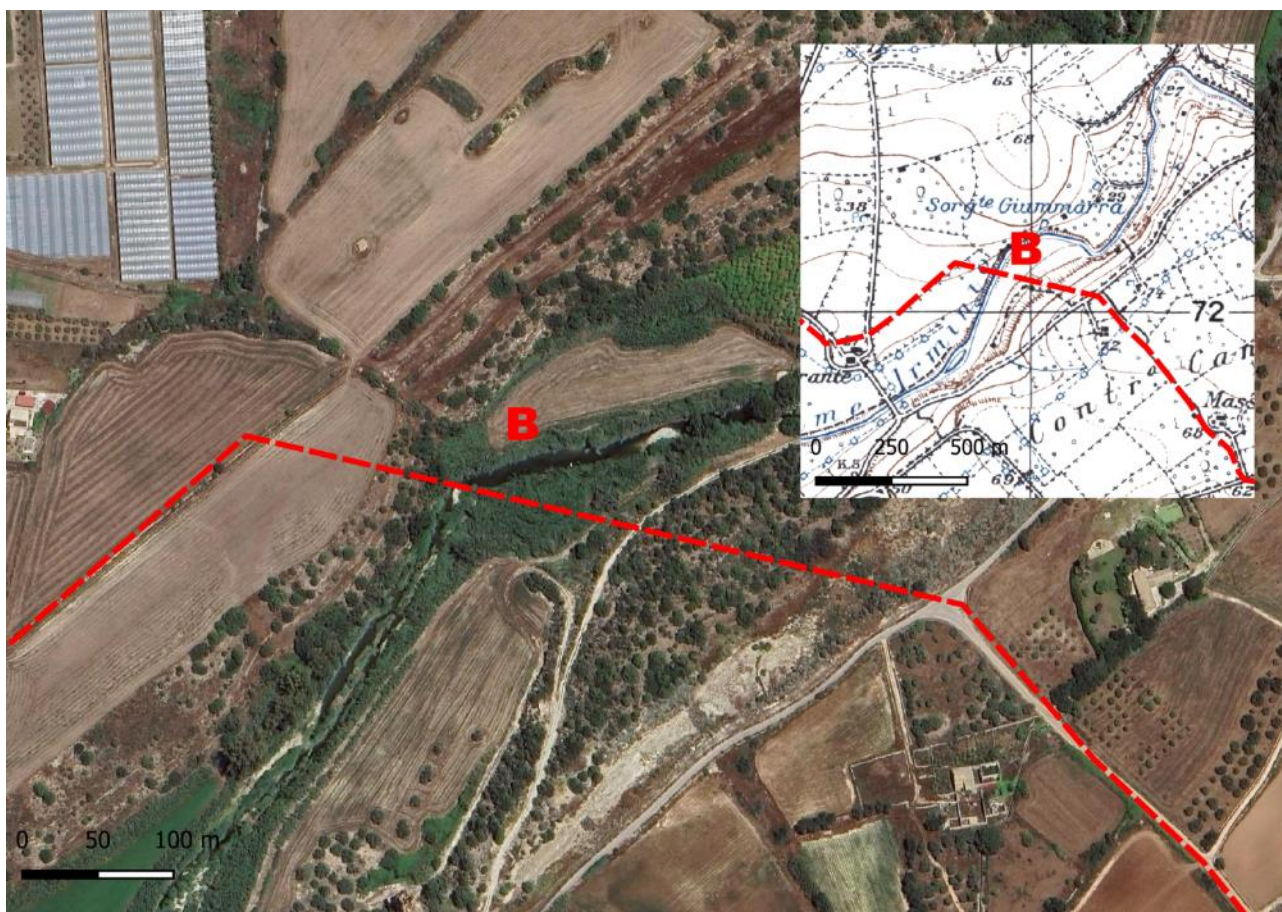


Figura 4-4 -Posizione del punto di interferenza tra cavidotto e Fiume Irminio.



Figura 4-5 –Vista del Corso del fiume Irminio in prossimità della zona di realizzazione della TOC (ripresa fotografica da valle verso monte).

PUNTO C – è l’attraversamento di un piccolo corso d’acqua che drena un piccolo sottobacino afferente al F.Irminio; l’attraversamento avverrà in TOC a valle del ponte in pietra esistente, si tratta di un alveo che viene alimentato in maniera intermittente solo in occasione di piogge consistenti.

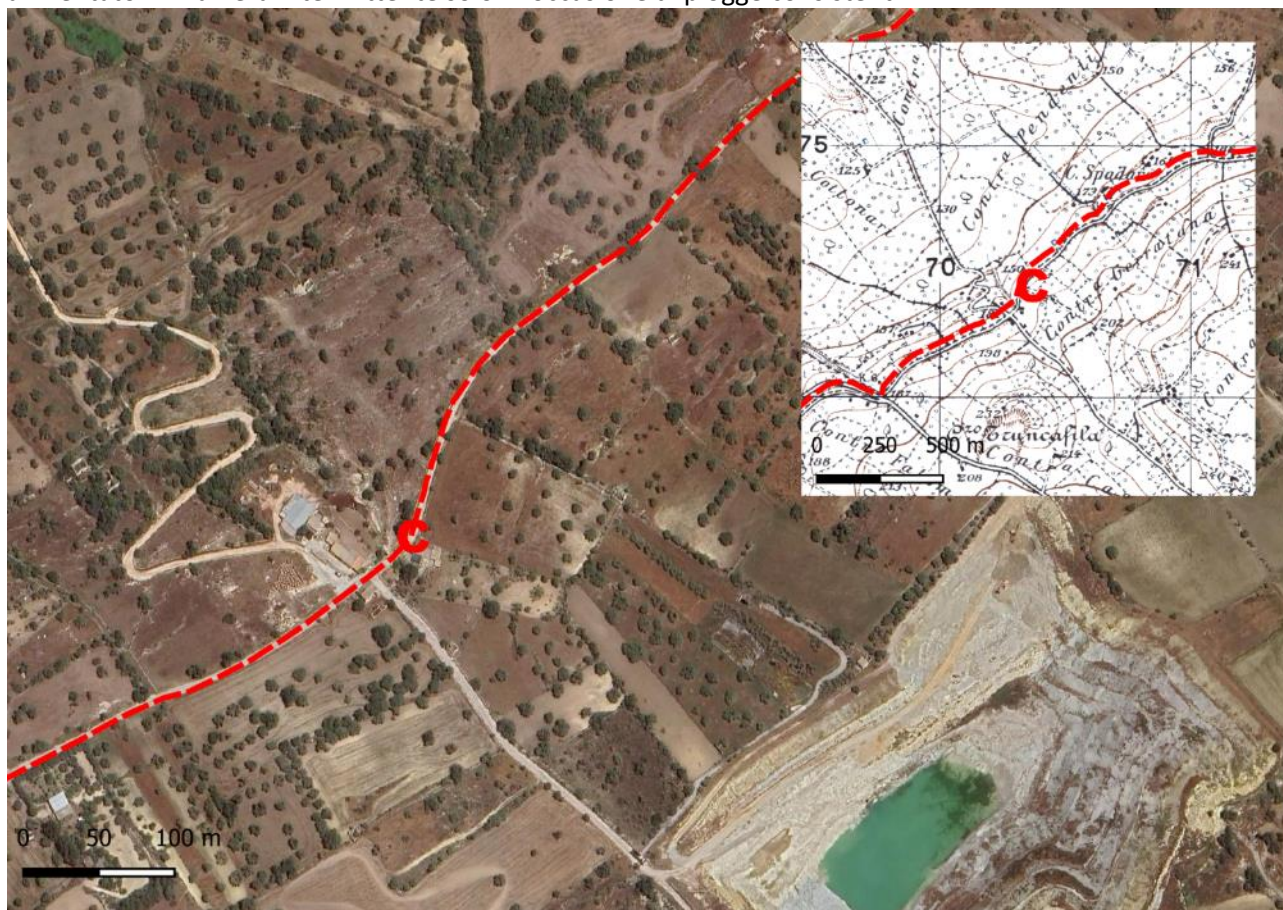


Figura 4-6 –Posizione del punto di interferenza tra cavidotto ed un corso d’acqua minore in contrada Gerratana (Bacino idrografico fiume Irminio).



Figura 4-7 –Vista del ponte in roccia che supera il piccolo corso d’acqua intermittente.

PUNTO D – è l’attraversamento di un piccolo corso d’acqua affluente in sx del F.Irminio, l’attraversamento avverrà sfruttando l’impalcato del ponte esistente e quindi senza turbare il regime del corso d’acqua la cui attività erosiva ha determinato una valle stretta e particolarmente incisa le cui pendici sono interessate da fenomeni gravitativi.

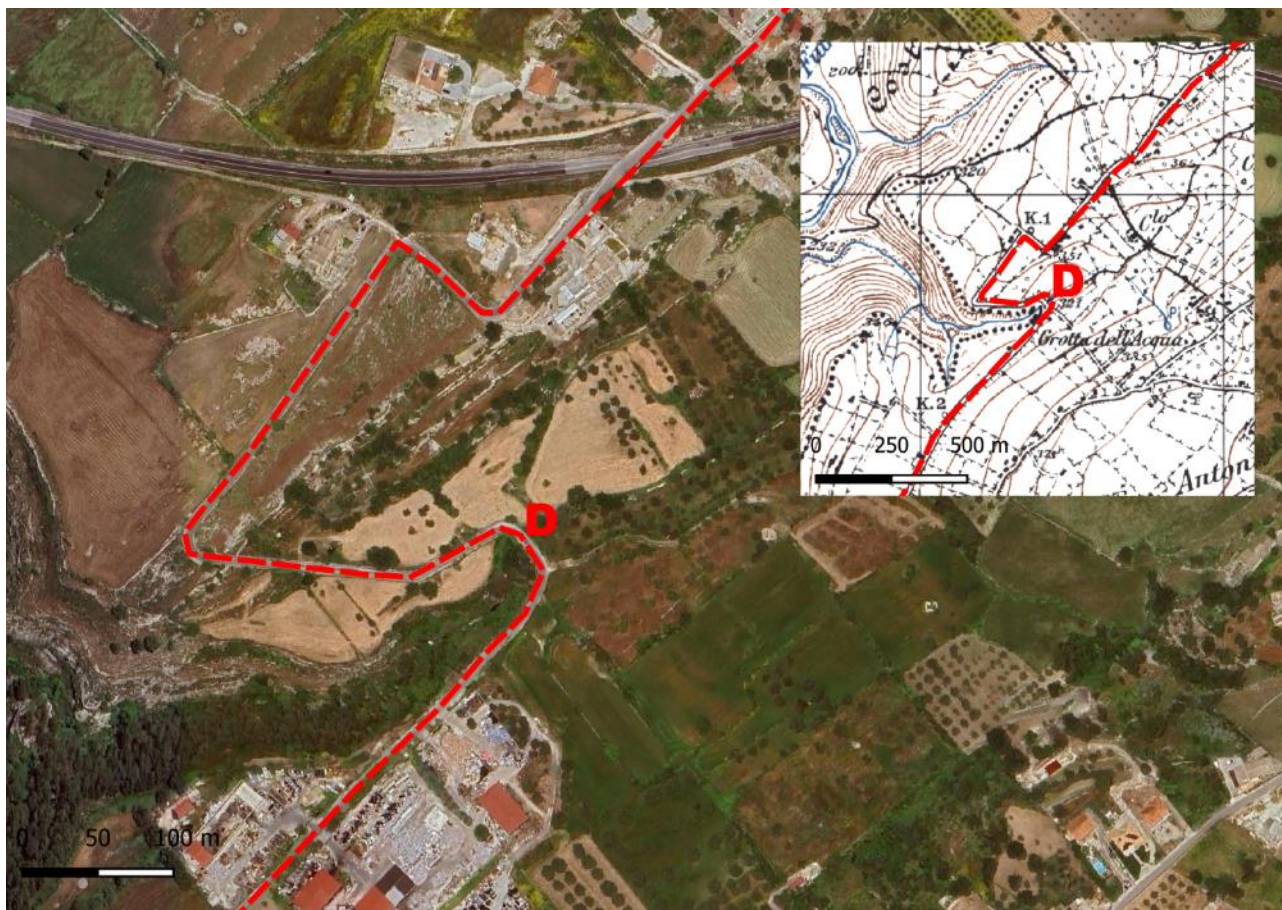


Figura 4-8 –Posizione del punto di interferenza tra cavidotto ed un corso d’acqua minore a circa 2 km ad ovest dell’abitato di Modica.



Figura 4-9 – Vista della valle incisa del fosso e sullo sfondo il ponte stradale (vista da valle verso monte).



Figura 4-11 – Particolare dell'alveo del fiume Tellaro nel punto di attraversamento.

5 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

5.1 Premessa

La determinazione delle portate al colmo di piena rappresenta un dato di input imprescindibile per qualsiasi verifica idraulica che riguardi un corso fluviale, sia che si tratti di stimare il livello raggiungibile dal pelo libero dell'acqua che di valutare la possibile erosione di fondo dell'alveo.

Lo studio idrologico assolve questa funzione e può essere sviluppato seguendo diverse metodologie a seconda dei dati disponibili, della precisione necessaria e della possibilità di taratura dei risultati ottenuti dal modello considerato.

In generale è possibile pervenire alla stima di una portata di riferimento per un corso d'acqua nei seguenti modi:

- a) utilizzando i dati di portata misurati in stazioni idrografiche presenti nel corso d'acqua di riferimento; il numero degli eventi estremi registrati nella serie disponibile deve essere tale da permettere l'elaborazione statistica con sufficiente confidenza dei risultati ottenuti;
- b) quando non sono disponibili dati di deflussi fluviali osservati per il corso d'acqua applicabili alla sezione di interesse è possibile applicare metodi che si propongono di utilizzare dati di deflusso fluviale osservati in località limitrofe, per le quali si perviene alla stima della portata al colmo di piena che viene successivamente ragguagliata alla sezione di interesse utilizzando criteri di similarità (metodo della similitudine idrologica);
- c) utilizzando metodi di regionalizzazione nei quali la stima delle portate al colmo viene ricavata riferendosi a parametri caratteristici del bacino idrografico in oggetto;
- d) ricorrendo al metodo indiretto (afflussi-deflussi) che stima la portata del corso d'acqua sulla base dei dati pluviometrici delle stazioni prese come riferimento, ricorrendo a diversi modelli di trasformazione che consentono di determinare la risposta idrologica del bacino (deflussi superficiali), attraverso la simulazione dei processi che intervengono nella trasformazione tra gli afflussi e i deflussi.

5.2 Modello TCEV Sicilia

Il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) permette di determinare le altezze di pioggia h e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI (VALutazione Plene). La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni.



La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (componente straordinaria) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia metereologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sicilia (Ferro e Cannarozzo, 1993) utilizzando la modellazione introdotta da Conti et al., 2007. La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico G_t delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri $\Theta^* = 2.24$ e $\Lambda^* = 0.71$ sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il secondo livello di regionalizzazione riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: Z_0-Z_5 , Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 . A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro Λ_1 , parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base che risulta indipendente dalla durata. Le sottozone Z_0 e Z_5 , possono anche essere "unite" e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro Λ_1 .

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h'_{t,T} = h_t / \mu$ valore dell'altezza di pioggia di fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media μ , della legge TCEV assume la seguente espressione:

$$h'_{t,T} = k_T = a \cdot \ln(T) + b$$

In tale relazione i coefficienti a e b sono stati tarati in funzione della particolare sottozona.

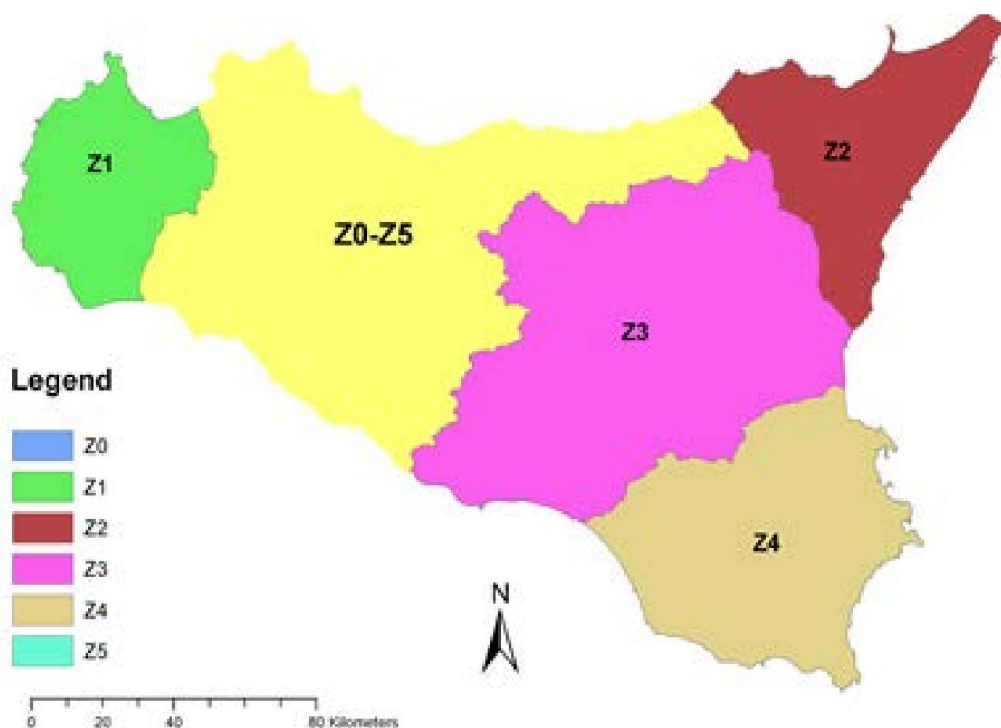


Figura 5-1 – Sottozone pluviometriche omogenee della Regione Sicilia (Lo Conti e altri, 2007).

KT è definito fattore di crescita e misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso è dunque indipendente dalla durata della precipitazione mentre è funzione della collocazione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia (utilizzando i coefficienti a e b) e del tempo di ritorno T dell'evento meteorico.

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Λ_1	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Figura 5-2 – Valori del Parametro Λ_1 per ogni zona in cui è stata suddivisa la Regione Sicilia (Lo Conti e altri, 2007).

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
<i>a</i>	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
<i>b</i>	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Figura 5-3 – Valori dei coefficienti a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità μ e le grandezze - prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico) - relative al sito di misura. Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$h_{t,T} = K_T \cdot \mu(t)$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T . Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica μ risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno 10 anni di funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata t :

$$\mu(t) = a \cdot t^n$$

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti a ed n sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a ed n possono essere stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n (Cannarozzo et al, 1995). Nelle figure seguenti vengono riportate le variazioni sul territorio regionale dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

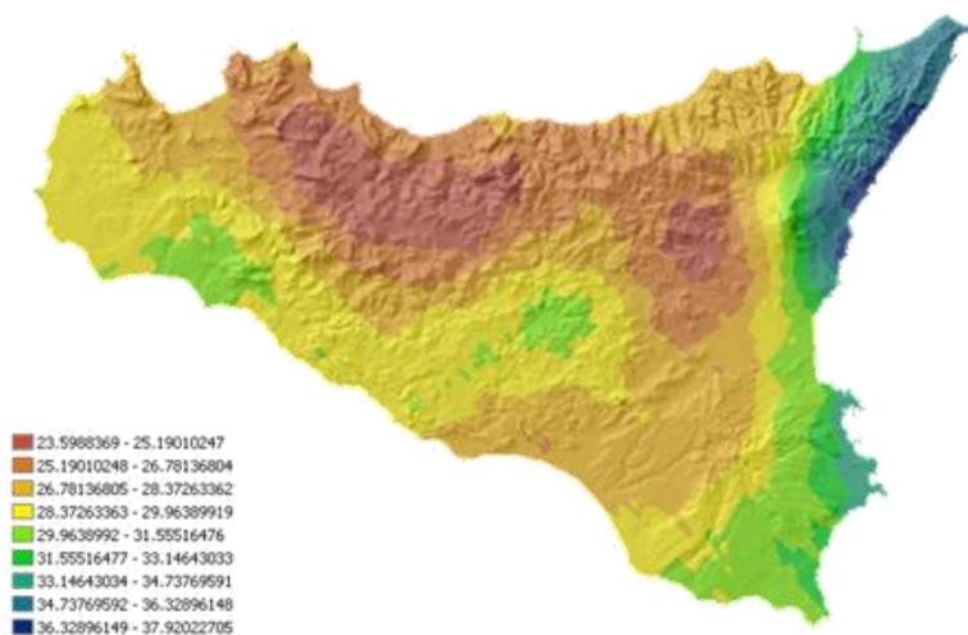


Figura 5-4 – Valori del coefficiente “a” per la Regione Sicilia (Lo Conti et al., 2007).

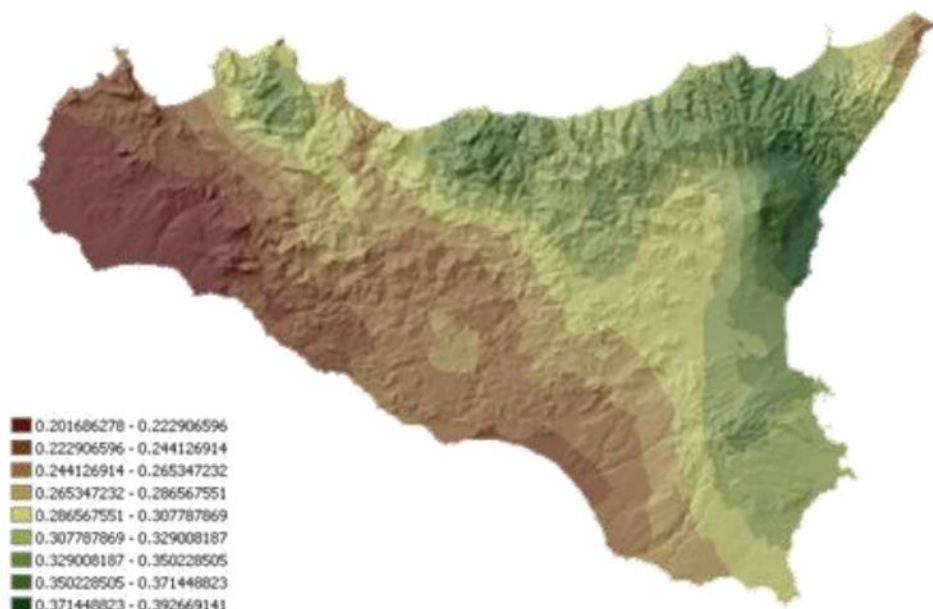


Figura 5-5 – Valori del coefficiente “n” per la Regione Sicilia (Lo Conti et al., 2007).

5.3 Dati geometrici dei bacini idrografici di interesse

Come detto in precedenza la posa dell’elettrodotta con tecnologia T.O.C. interferisce planimetricamente in tre punti con i corsi d’acqua presenti, che con riferimento a quanto indicato nel capitolo precedente sono:

Punto B – Attraversamento fiume Irminio

Punto C – Attraversamento affluente in sx idrografica fiume Irminio

Punto E – Attraversamento fiume Tellaro

La figura seguente visualizza l’estensione dei tre bacini idrografici alle sezioni di chiusura rappresentate dai punti della realizzazione delle T.O.C. Come possibile osservare si tratta di 3 bacini con dimensioni molto differenti.

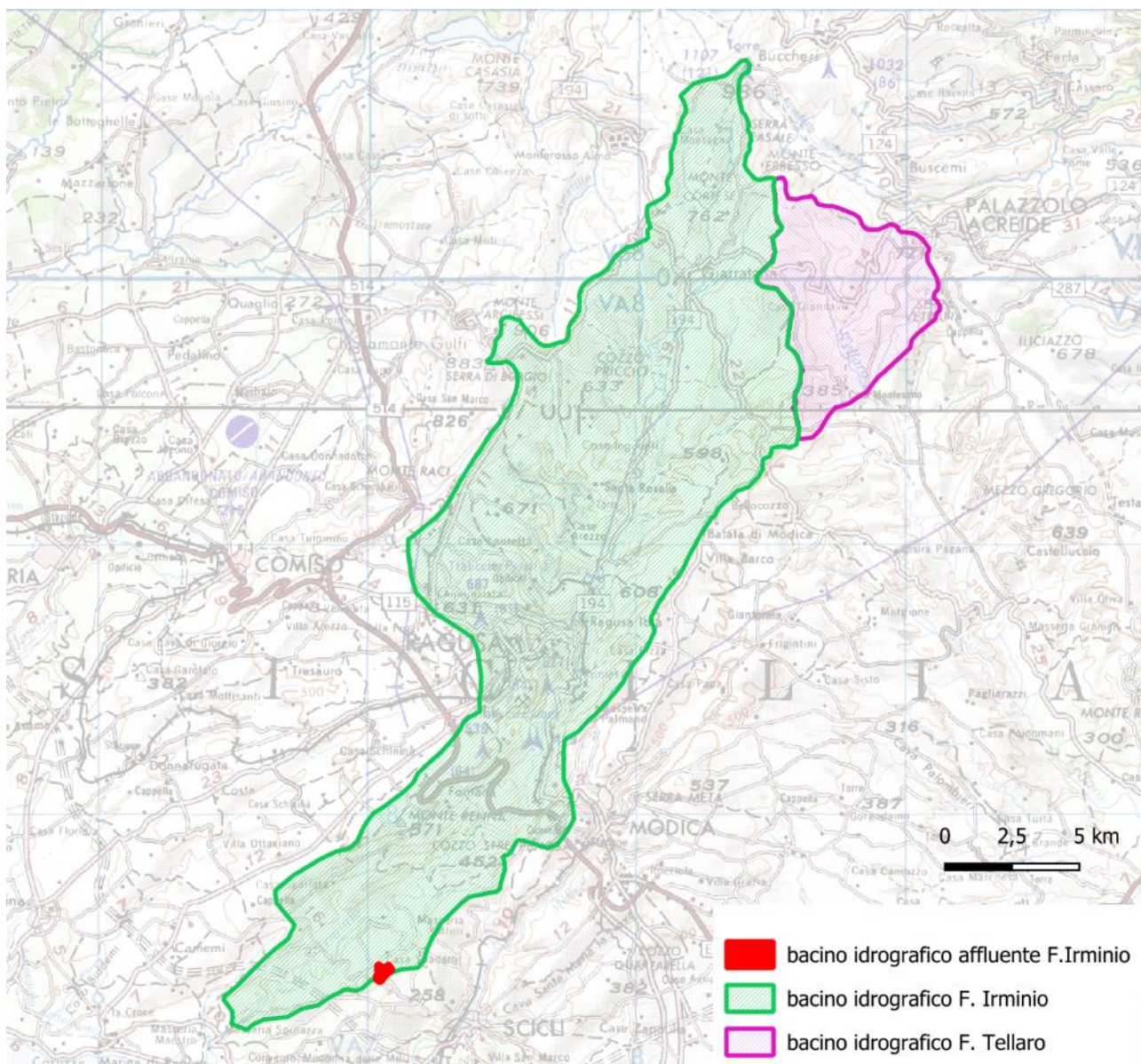


Figura 5-6 – Bacini idrografici di interesse alle sezioni di chiusura delle T.O.C..

Nella tabella seguente vengono riassunti i dati geometrici principali dei bacini di interesse che sono stati calcolati anche utilizzando il Modello Digitale del Terreno (maglia di 2 mt di lato) reso disponibile nel sito cartografico della regione Sicilia.

Bacino	Superficie (km ²)	Alitudine sezione di chiusura (mslm)	Alitudine media bacino (km)	Lunghezza asta fluviale (km)	Perimetro Spartiacque (km)
Fiume Tellaro	36	294	507	10	28.6
Fiume Irminio	241	14	489	48	104.3
Affluente f.Irminio	0.29	179	193.6	0.3	2.1



5.4 Metodo di calcolo delle portate riferibili alle sezioni di interesse

I valori di portata generabili dai bacini alle sezioni di chiusura ai punti in cui è previsto l'interramento del cavo tramite T.O.C. sono ricavabili attraverso metodi indiretti, che consentono la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che cadono sui diversi bacini. Nello specifico, le portate di piena sono valutabili con la formula razionale.

La formula razionale consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno (T) mediante la seguente relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi \cdot i_T \cdot S}{3,6}$$

dove:

Q_T è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m^3/s ;

φ è il coefficiente di afflusso, adimensionale;

i_T è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in mm/h;

S è la superficie del bacino espressa in km^2

3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

Dalle relazioni di intensità-durata-frequenza è necessario individuare l'intensità critica della precipitazione cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T. In definitiva la pioggia critica è quella di intensità pari al tempo di corrivazione o di concentrazione, definito come quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Il calcolo del tempo di corrivazione può essere calcolato tramite diverse formule; nel di piccoli bacini (aventi estensione inferiore a $10 km^2$), può essere utilizzata la formula di Kirpich, per bacini con superfici maggiori è di largo uso quella di Giandotti.

Formula di Kirpich

$$t_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove

t_c = tempo di corrivazione, è espresso in minuti

L = lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, è espressa in metri

i = pendenza media del percorso (m/m).

Formula di Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S_b} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_m}}$$

Dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore)



S_b =superficie del bacino (km²)

L_p = lunghezza asta fluviale (km)

H_m = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Il coefficiente di afflusso è il rapporto tra il volume totale di deflusso e il volume totale di pioggia caduto sull'area sottesa ad una data sezione; l'infiltrazione generalmente è il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso.

In considerazione dell'utilizzo del suolo che vede una prevalenza di terreni a vocazione agricola od incolti rispetto alle zone urbanizzate nelle valutazioni sulle portate generabili dai bacini è stato considerato un valore del coefficiente di afflusso pari a 0.5 che a parere degli scriventi, per il tipo di verifiche eseguite, appare sufficientemente cautelativo.

5.5 Valori calcolati

Sulla base di quanto indicato nelle pagine precedenti è possibile verificare che tutti i bacini idrografici di interesse si trovano nella sottozona pluviometrica Z_4 ; ed è stato possibile calcolare i valori delle altezze di precipitazioni legate al tempo di ritorno dell'evento pluviometrico riportati nella tabella seguente.

Tempo di ritorno (anni)	DURATA PIOGGE (Ore)					
	1	2	3	6	12	24
2	21.7	25.9	28.7	34.3	40.9	48.8
5	33.9	40.5	44.9	53.6	64.0	76.3
25	55.4	66.1	73.3	87.5	104.5	124.7
50	64.7	77.2	85.6	102.2	121.9	145.5
100	73.9	88.2	97.8	116.8	139.4	166.3
200	83.2	99.3	110.1	131.4	156.8	187.1

Nella tabella che segue sono indicati i valori di portata sviluppabili dal bacino idrografico alla sezione di interesse, considerando eventi con tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni. Non essendo presenti stazioni di misurazione di portata nei corsi d'acqua di interesse non risulta possibile un controllo ed eventualmente una taratura del modello utilizzato.

		Tr 25 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni
Bacino	Tc (minuti)	Portata al colmo di piena (m ³ /s)			
f.Irminio	461	405	472	539	609
Affluente f.Irminio	51	2.5	3.0	3.5	3.9
f. Tellaro	200	114	132	152	171

6 VALUTAZIONI IDRAULICHE

6.1 Premessa

Per l'elaborazione delle verifiche idrauliche è stato utilizzato il Software HEC-RAS (River Analysis System), sviluppato ed implementato dal U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Il software è impiegato per la modellazione del profilo delle correnti a pelo libero. Di seguito vengono brevemente elencate le ipotesi di calcolo, le equazioni di base, i criteri di suddivisione delle sezioni per il calcolo della distribuzione delle portate e delle velocità, le formule adottate per il calcolo delle perdite di carico e la metodologia iterativa di risoluzione del problema. Il profilo del pelo libero è calcolato da una sezione trasversale alla successiva, risolvendo l'equazione del bilancio energetico con un processo iterativo chiamato Standard Step Method che tiene conto della profondità dell'acqua nelle sezioni, della quota del fondo alveo, della velocità media dell'acqua e della perdita di carico totale. Tale perdita di carico totale è calcolata tra due sezioni trasversali successive e tiene conto delle perdite per attrito e di quelle per contrazione o espansione del flusso. La determinazione del deflusso complessivo e del coefficiente di velocità per una data sezione trasversale richiede che il flusso sia suddiviso in ambiti nei quali la velocità sia uniformemente distribuita. Il metodo in tal senso utilizzato dal software HEC-RAS consiste nel suddividere il flusso complessivo in contributi dovuti al flusso all'interno rispettivamente dell'alveo principale e delle golene, utilizzando come base per la suddivisione i punti che definiscono le variazioni del valore delle scabrezze (n-value break point) all'interno della sezione trasversale. La capacità di deflusso di ciascun ambito è calcolata con l'equazione di Manning tenendo conto della capacità di deflusso, della scabrezza di alveo e golene e della sezione liquida di ciascun ambito considerato. L'equazione ha la forma seguente:

$$Q = k S_f^{1/2}$$

dove S_f è la pendenza d'attrito media e genericamente mediata, come le altre grandezze, tra due sezioni.

$$k = A R^{2/3} / n$$

dove:

K = capacità di deflusso di un ambito omogeneo;

n = coefficiente di scabrezza di Manning di un ambito omogeneo;

A = sezione liquida di un ambito omogeneo;

R = raggio idraulico (area / perimetro bagnato) di un ambito omogeneo.

Il programma, per default, somma tutti i contributi al deflusso dei vari ambiti omogenei esterni al letto per ottenere la capacità di deflusso delle golene sinistra e destra, mentre la capacità di deflusso dell'alveo principale è normalmente calcolata con riferimento ad un singolo ambito. In questo caso il deflusso totale della sezione trasversale è ottenuto come somma delle tre capacità di deflusso (sinistra, alveo e destra). Il programma infine permette di inserire la presenza degli argini (levees) dell'alveo in qualsiasi punto della sezione; in questo modo si definisce che il flusso dell'acqua non può andare ad occupare la parte dell'alveo oltre l'argine fintantoché il suo livello si mantiene inferiore alla quota massima dell'argine stesso.

La scelta del coefficiente di scabrezza più appropriato è particolarmente significativa per la affidabilità del calcolo del profilo liquido. Il valore della scabrezza è fortemente variabile e dipende da vari fattori tra cui:

– la ruvidità delle superfici;



- la presenza di vegetazione;
- l'irregolarità dell'alveo;
- la presenza di zone di erosione e deposito;
- la presenza di ostruzioni ed ostacoli;
- le dimensioni e la forma dell'alveo;

In generale i coefficienti di scabrezza dovrebbero essere calibrati ogni volta che sono disponibili informazioni su un profilo liquido osservato; se non esistono dati misurati, per scegliere il coefficiente di scabrezza occorre riferirsi a valori stimati in corsi d'acqua con caratteristiche simili o a valori ottenuti da prove di laboratorio. Per l'elaborazione in oggetto, ci si è riferiti ai valori del coefficiente di Manning "n" relativi a corsi d'acqua naturali, disponibile nel Manuale di Chow (1959). Chow presenta numerose tipologie di canali e fotografie di corsi d'acqua nei quali è stato calibrato il coefficiente "n", in ogni caso, il riferimento per le tipologie più comuni di alveo naturale si trova sintetizzato nella tabella seguente.

Descrizione del tipo di alveo naturale	Coefficiente di Manning		
	Minimo	Normale	Massimo
Canale principale			
Alveo pulito, rettilineo e senza forme di fondo	0.025	0.030	0.033
Come sopra, con ciottoli ed erbacce	0.030	0.035	0.040
Alveo pulito, sinuoso, con forme di fondo longitudinali	0.033	0.040	0.045
Come sopra con ciottoli ed erbacce	0.035	0.045	0.050
Come sopra, con forme di fondo più pronunciate	0.040	0.048	0.055
Come sopra ma con più ciottoli al fondo	0.045	0.050	0.060
Alveo stagnante, con zone profonde ed erbacce	0.050	0.070	0.080
Alveo pieno di erbacce, zone profonde e canali ostruiti da cespugli e legname	0.070	0.100	0.150
Golene e piani di scorrimento			
Pascoli privi di cespugli con erba bassa	0.025	0.030	0.035
Pascoli privi di cespugli con erba alta	0.030	0.035	0.050
Terreni coltivati senza coltivazioni	0.020	0.030	0.040
Terreni coltivati con coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
Terreni coltivati con coltivazioni distribuite	0.030	0.040	0.050
Cespugli sporadici, con molte erbacce	0.035	0.050	0.070
Pochi cespugli e arbusti, in inverno	0.035	0.050	0.060
Pochi cespugli e arbusti, in estate	0.040	0.060	0.080
Molti cespugli e arbusti, in inverno	0.045	0.070	0.110
Molti cespugli e arbusti, in estate	0.070	0.100	0.160
Pianori puliti con ceppi d'albero	0.030	0.040	0.050
Come sopra, con numerosi alberelli	0.050	0.060	0.080
Numerosi tronchi d'albero, flusso al di sotto dei rami	0.080	0.100	0.120
Come sopra ma con flusso attraverso i rami	0.100	0.120	0.160
Salici folti in estate	0.110	0.150	0.200

Essendo HEC-RAS un software sviluppato per la valutazione dei profili del pelo libero nell'ipotesi di moto a carattere monodimensionale, per ciascuna sezione trasversale esso determina un solo livello orizzontale del pelo libero e dunque una sola energia media. Per una data quota del pelo libero quindi, l'energia cinetica media è determinata attraverso una media pesata delle energie cinetiche calcolate sulle tre componenti di deflusso presenti nella golena sinistra, nell'alveo principale e nella golena destra.



Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa. Il programma provvede automaticamente al riconoscimento, per tratti, del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e se la corrente, ad esempio nel primo tratto di monte è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte, viceversa se la corrente del tratto finale è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri. Nei casi in cui il regime di corrente passa da condizioni di corrente veloce a corrente lenta e/o viceversa, il programma (quando la modalità impostata è la "mixed flow" come nel caso in studio) esegue i calcoli in modalità mista: il calcolo del profilo di corrente viene condotto da valle verso monte (come in una corrente lenta) seguito da un riscontro di calcolo da monte verso valle (correnti veloci), in modo da localizzare tutti i risalti idraulici.

6.2 Condizioni di verifica

Come detto, l'installazione del cavo elettrico sotto i corsi d'acqua dei Fiume Irminio e Tellaro avverrà ricorrendo a tecnologia che non modificherà l'alveo ne in fase di installazione ne tantomeno a lavoro concluso.

Lo studio idraulico è stato quindi realizzato non tanto per la perimetrazione delle aree di rischio ma piuttosto per la determinazione delle caratteristiche di deflusso del corso d'acqua (velocità media della corrente, il numero di Froude ed i carichi) nelle zone dove planimetricamente sono previste l'interazione tra cavidotto e corsi d'acqua; tali caratteristiche sono infatti servite per stimare i fenomeni erosivi di fondo alveo e per verificare la compatibilità della dinamica fluviale con le quote di attraversamento previste.

Le verifiche sono state eseguite in regime di moto permanente utilizzando il software HEC-RAS ver. 6.1.0. ed imponendo portate pari a quelle correlate ad eventi con tempi di ritorno di 200 anni e calcolate per ogni corso d'acqua come indicato nel capitolo precedente. Le condizioni al contorno, imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio, sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte ed a valle, in considerazione delle pendenze al fondo individuate per i tratti immediatamente esterni all'estremità del tronco. Per il coefficiente d'attrito si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning "n", i cui valori caratteristici, assunti costanti per l'intero tratto considerato, sono:

- 0,045 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,035 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

6.3 Modellazione geometrica dell'alveo

Non essendo stati ancora eseguiti rilievi topografici di dettaglio delle zone interessate dalla realizzazione delle T.O.C., l'andamento altimetrico degli alvei e delle parti di territorio circostanti è stata desunta dal modello digitale del terreno reso disponibile nel portale cartografico della Regione Sicilia; in considerazione della finalità dello studio, che è volto a definire la fattibilità dell'intervento scelto piuttosto che il suo

dimensionamento esecutivo, sono state ricavate due sezioni circa ortogonali alla direzione del corso d'acqua per ciascun attraversamento considerato.

Le figure seguenti riportano la posizione delle sezioni utilizzate per modellare nel software HEC-RAS la geometria dei fiumi Tellaro ed Irminio.

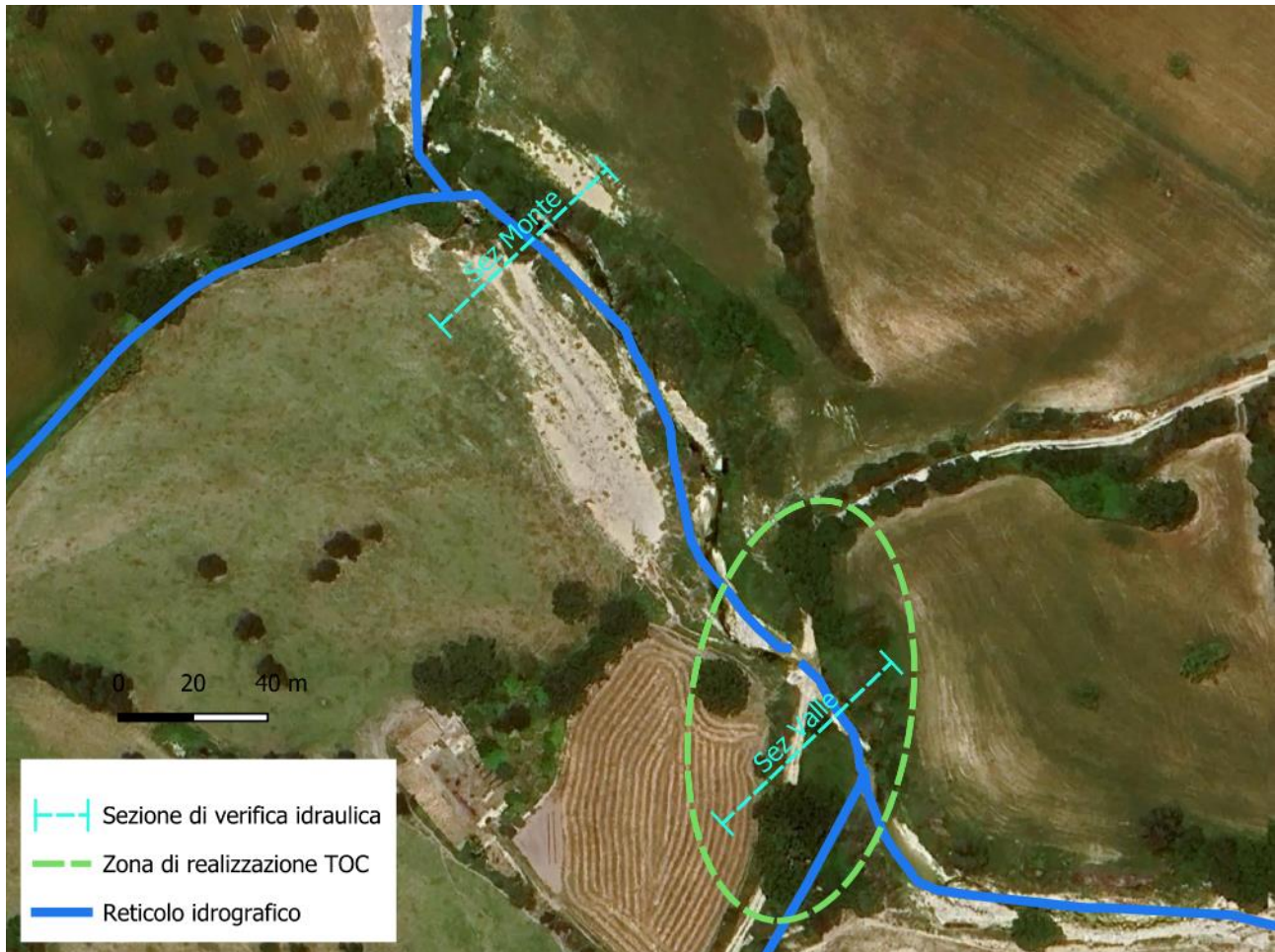


Fig. 6-1 – Posizione delle sezioni utilizzate nel modello idraulico del fiume Tellaro.

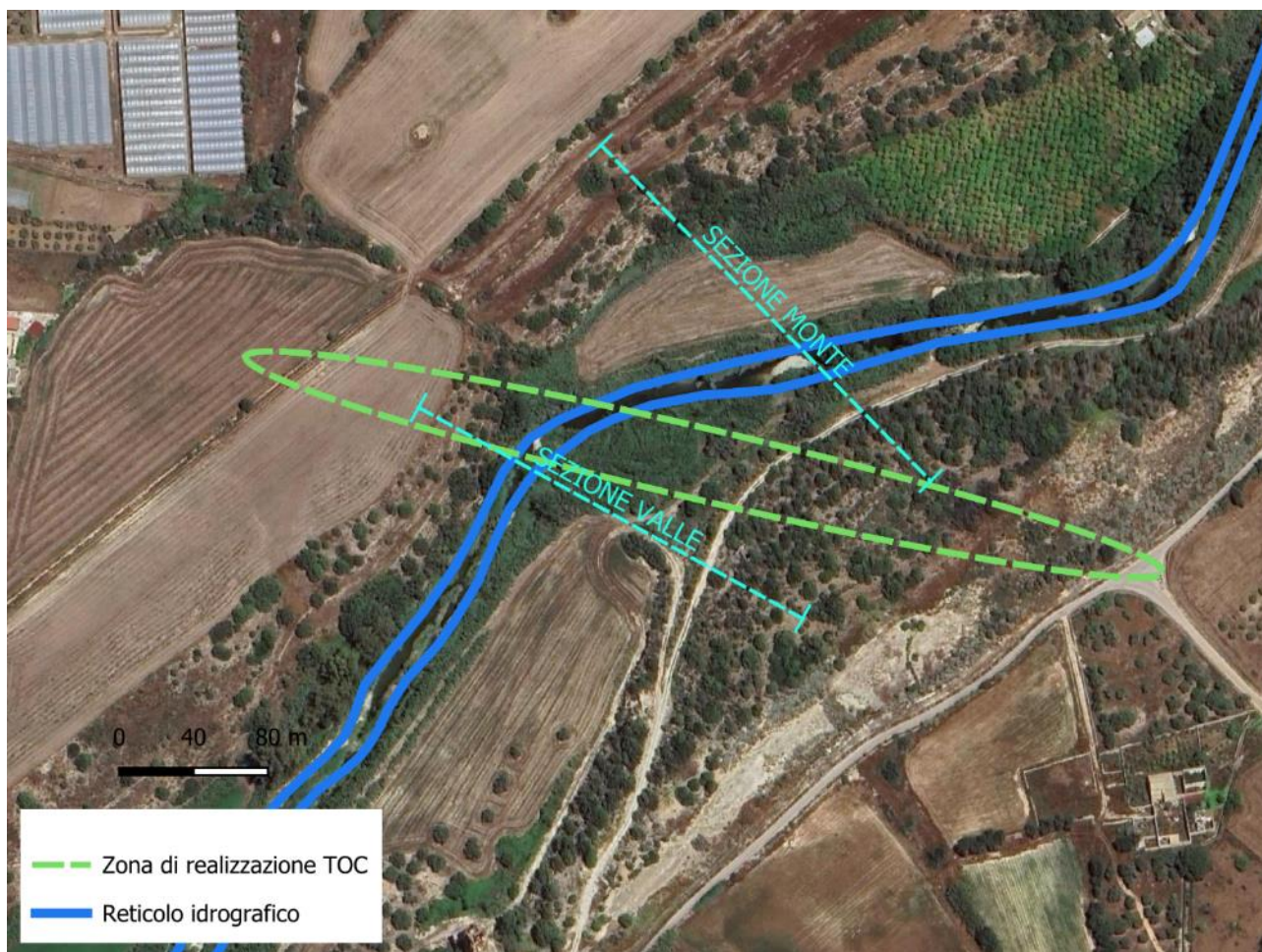


Fig. 6-2 – Posizione delle sezioni utilizzate nel modello idraulico del fiume Irminio.

6.4 Risultati verifiche idrauliche

Le figure e tabelle seguenti rappresentano i risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche eseguite relativamente ai valori di portata correlati all'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Nelle figure seguenti sono riportate le sezioni utilizzate nel modello idraulico con il livello calcolato nelle verifiche.

Si sottolinea che le verifiche idrauliche non sono state svolte per valutare la pericolosità derivante dalle eventuali esondazioni dei corsi d'acqua o per il dimensionamento di opere idrauliche in alveo, per le quali le approssimazioni derivanti dall'utilizzo di un modello geometrico ottenuto da un DTM e la modellazione di un tratto di corso d'acqua di limitata lunghezza non permettono di valutare in maniera adeguata i fenomeni ma unicamente per una stima delle possibili erosioni di fondo alveo che vengono trattate nel seguito della relazione.

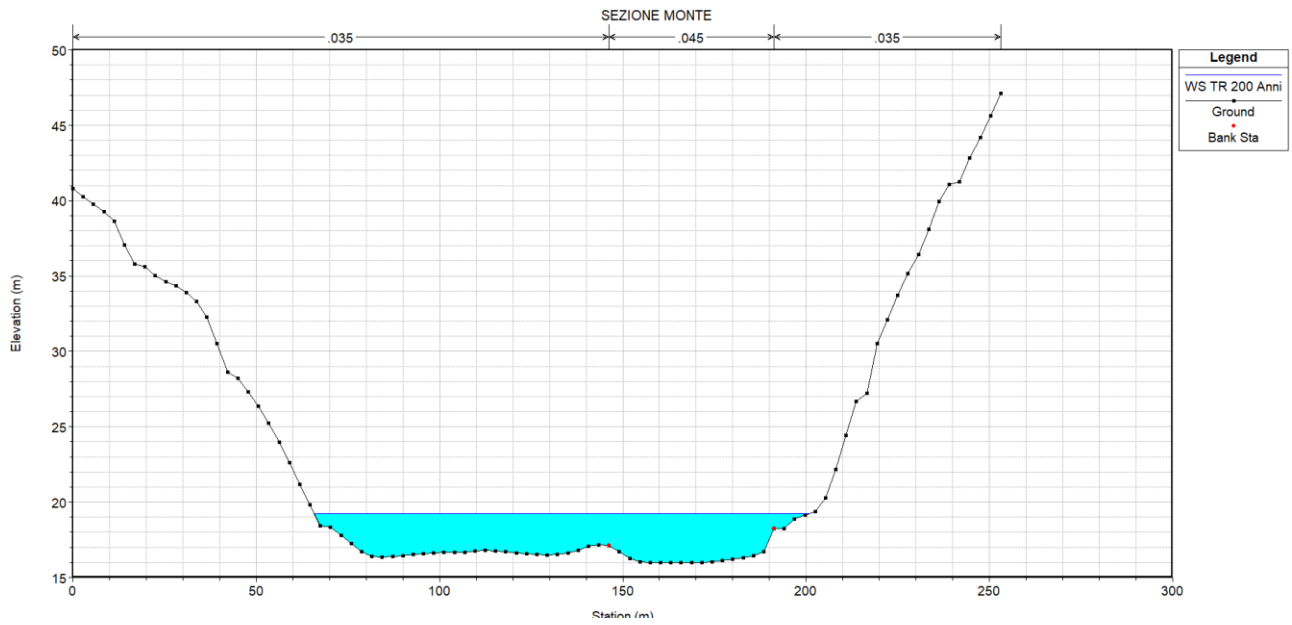


Fig. 6-3 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione di monte del F.Irminio.

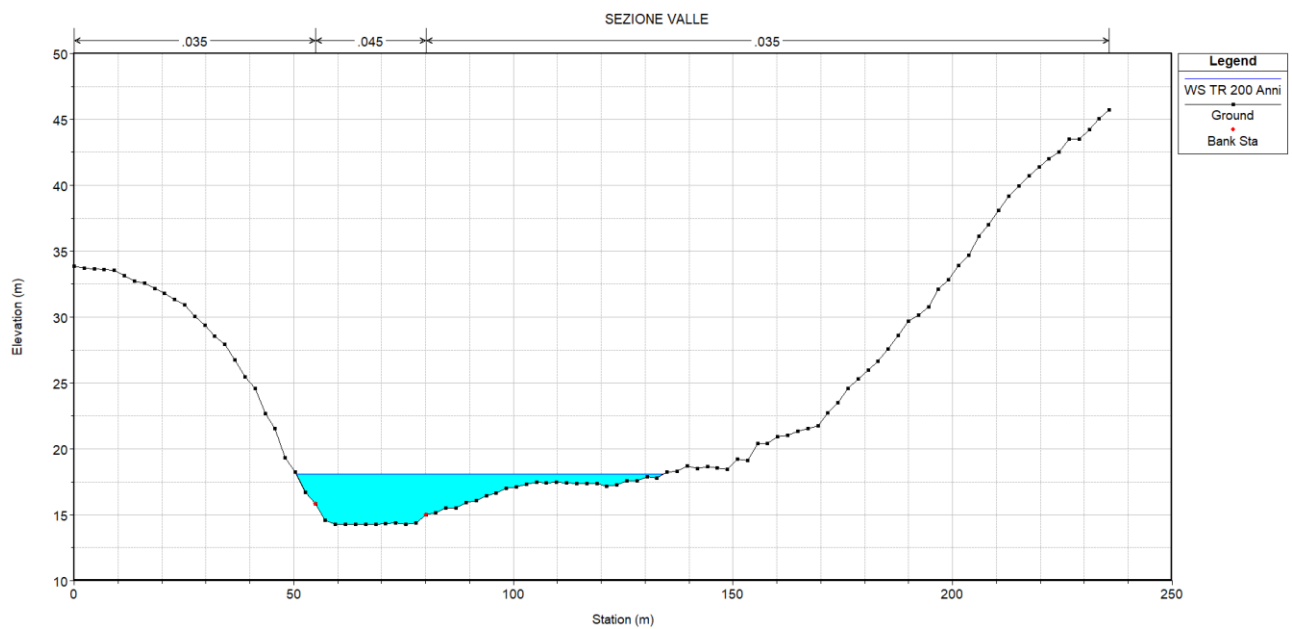


Fig. 6-4 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione di valle del F.Irminio.

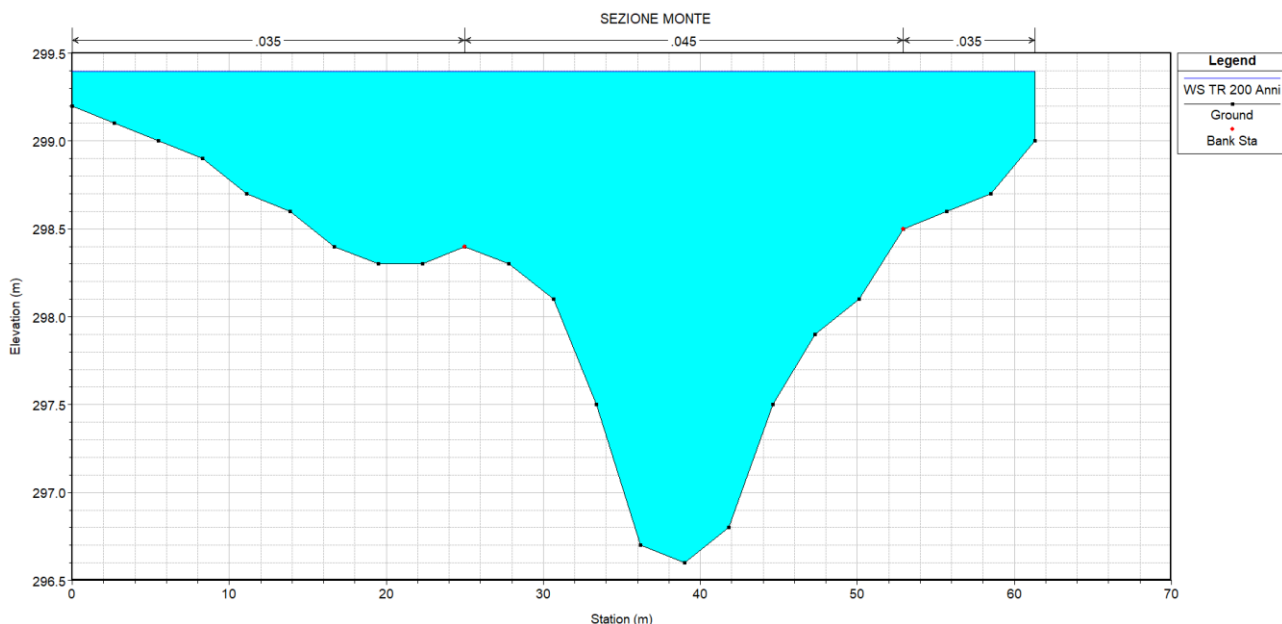


Fig. 6-5 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione di monte del F. Tellaro.

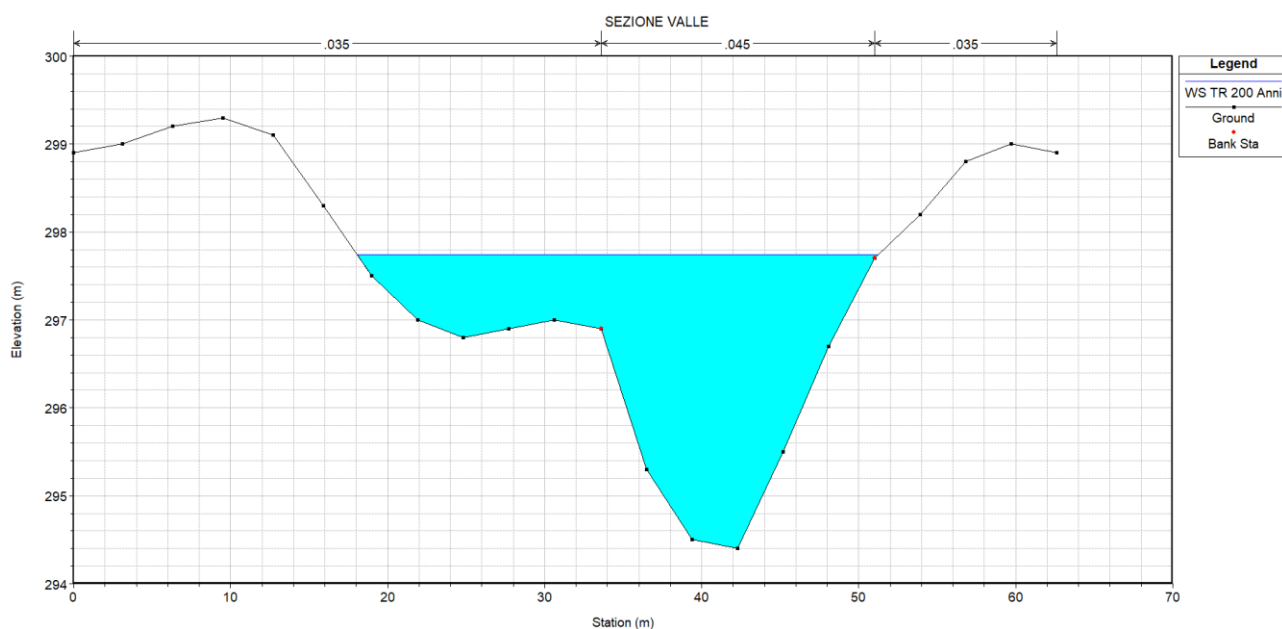


Fig. 6-6 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione di valle del F. Tellaro.

Nelle tabelle seguenti viene riassunto quanto ottenuto dal software HEC-RAS.

FIUME IRMINIO

SEZIONE	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Hydr depth C (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
MONTE	609	16.00	19.26	17.93	19.43	0.001427	1.72	2.97	333.0	135.24	0.32
VALLE	609	14.29	18.07	18.07	18.94	0.007856	3.11	3.66	159.2	83.48	0.77

FIUME TELLARO



SEZIONE	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Hydr depth C (m)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
MONTE	171	296.60	299.40	299.14	299.69	0.006160	2.56	1.80	74.15	61.30	0.61
VALLE	171	294.40	297.74	297.74	298.43	0.012062	3.87	2.12	48.15	33.16	0.85

Dove:

River Sta = Numero progressivo sezione

Q Total = Portata defluente attraverso la sezione

Min Ch El = Quota minima di fondo alveo

W.S. Elev = Quota raggiunta dall'acqua

Crit W.S. = Quota critica del pelo libero

E.G. Elev = Quota della linea di energia per il profilo liquido calcolato

E.G. Slope = Pendenza della linea di energia

Vel Chnel = Velocità media corrente in alveo

Hydr depth C = Altezza liquida media nel canale principale

Flow Area = Area della sezione interessata dal flusso

Top Width = Larghezza superficiale della sezione interessata dal flusso

Froude Chn = Numero di Froude



7 VALUTAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITA' DI EROSIONE DI FONDO ALVEO

7.1 Premessa

Ai fini della progettazione del passaggio del cavo elettrico al disotto degli alvei del F. Irminio e del F. Tellaro¹ occorre, come detto, verificare la possibilità dell'erosione massima generabile dal corso d'acqua al fine di considerare una adeguata profondità di ricoprimento. Per la stima delle eventuali erosioni localizzate del letto e dei potenziali fenomeni di escavazione in alveo si ricorre a formulazioni estremamente cautelative, in modo che un eventuale approfondimento, rispetto alla quota minima iniziale del fondo, non possa interessare il cavidotto.

Per la valutazione si fa riferimento agli studi di Yalin (1964), Nordin (1965) ed altri che hanno proposto di assegnare alle possibili escavazioni un valore cautelativo, pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena determinata (in particolare, venne dimostrato che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica).

Una generalizzazione prudentiale, proposta in Italia, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena. Pertanto, una stima della profondità delle potenziali escavazioni del fondo (Z) è data, in corrispondenza di una assegnata sezione, in ragione del 50% del battente idrometrico di piena (ho):

$$Z = 0,5 \cdot h_o$$

Per quanto attiene alla formazione di buche ed approfondimenti locali, le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso. In questi casi e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono inferiori a 5 cm, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5 cm, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione. In termini "qualitativi", per determinare un valore cautelativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo, indipendentemente dal diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, tra i modelli disponibili (Schoklitsch, Eggemberger, Adami), la formula di Schoklitsch è quella che presenta minori difficoltà nella

¹ Non si ritiene necessario valutare l'erosione del piccolo corso d'acqua che drena il bacino indicato come "affluente fiume Irminio" sia per la limitata portata generabile dal bacino e dall'assenza di un vero e proprio alveo inciso a valle del ponte in pietra.



determinazione dei parametri caratteristici e determina un valore medio rappresentativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo:

$$S = 0,378 \cdot H^{1/2} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a$$

Dove:

S è la profondità massima degli approfondimenti rispetto alla quota media del fondo, nella sezione d'alveo considerata,

H = $h_0 + v^2/2 \cdot g$ rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;

q = Q_{Max} / L è la portata specifica per unità di larghezza L della corrente di piena in alveo;

a è dato dal dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca ed è assunto in funzione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, sulla base del dislivello locale del fondo alveo, in corrispondenza della massima incisione, relativo ad una lunghezza pari all'altezza idrica massima ivi determinata.

7.2 Stima degli approfondimenti attesi

La valutazione dei fenomeni erosivi in alveo è stata eseguita considerando la portata al colmo correlata al tempo di ritorno di 200 anni ed utilizzando i dati caratteristici della corrente ricavati con la modellazione idraulica riportata al capitolo precedente.

Nella tabella seguente si riportano i valori calcolati per le arature di fondo e per gli approfondimenti localizzati così come dettagliato al paragrafo precedente.

F. Irminio

Sezione	Q Total	Vel	Spessore lama acqua	Top Width	Portata specifica	Carico totale	Approfondimenti localizzati	Arature di fondo
	(m3/s)	(m/s)	(m)	(m)	(m3/sec m)	(m)	(m)	(m)
Monte	609	1.72	3.26	83.48	7.29	3.41	1.82	1.63
Valle	609	3.11	3.78	135.24	4.50	4.27	1.75	1.89

F. Tellaro

Sezione	Q Total	Vel	Spessore lama acqua	Top Width	Portata specifica	Carico totale	Approfondimenti localizzati	Arature di fondo
	(m3/s)	(m/s)	(m)	(m)	(m3/sec m)	(m)	(m)	(m)
Monte	171	2.56	2.80	61.30	2.78	3.13	1.38	1.40
Valle	171	3.87	3.34	33.16	5.15	4.10	1.78	1.67

Come si evince dalla tabella precedente, per entrambi i corsi d'acqua sono ipotizzabili approfondimenti massimi dell'alveo inferiori a 2 metri; va però tenuto in conto che i valori indicati sono da considerare solo come una stima essendo molte le variabili che influenzano la reale dinamica dei corsi d'acqua e che le formule



utilizzate si basano per la maggior parte su dati ottenuti da prove eseguite in laboratorio su modelli a scala ridotta e che non riescono a replicare precisamente le variabili condizioni degli alvei in natura.

Per quanto detto, un atteggiamento di cautela si rende necessario e quindi il franco tra la base del corso d'acqua e la parte superiore del cavidotto andrà aumentato ad almeno 3 mt.

8 VALUTAZIONI PER IL PERSEGUIMENTO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

8.1 Premessa

Uno dei maggiori effetti delle trasformazioni urbanistiche dal punto di vista idrologico è l'aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli e la contestuale diminuzione complessiva di tutti i volumi che le precipitazioni vanno a colmare prima della formazione dei deflussi.

Il concetto di invarianza idraulica presuppone la realizzazione, nell'area che subisce una perdita di permeabilità per effetto della trasformazione urbanistica, di interventi il cui scopo è quello di mantenere invariata la portata superficiale defluente verso l'esterno. Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso rispetto alle condizioni pre-trasformazione o laminando le portate. In quest'ultimo caso si opera realizzando aree di accumulo temporaneo che possano trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici per rilasciarla nel tempo con una portata prestabilita non superiore a quella caratteristica dell'area precedente alla trasformazione.

8.2 Modalità di calcolo del volume minimo di invaso

Il calcolo dei volumi necessari all'ottenimento dell'invarianza idraulica sono stati eseguiti secondo quanto indicato nella D.D.G. n°102/2021 facendo particolare riferimento a quanto contenuto nell'allegato 2 "indirizzi tecnici per la progettazione di misure di invarianza idraulica e idrologica".

Per il calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque meteoriche si è considerato il *metodo semplificato delle piogge* che si basa sul confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti, ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi, considerando costante la portata uscente ed andando a massimizzare il volume accumulato.

La portata media entrante viene calcolata come segue:

$$Q_e = 2,78 \cdot a \cdot \varphi_m \cdot D^{n-1} \cdot A$$

Dove

Q_e = portata media entrante (l/s)

φ_m = coefficiente d'afflusso medio ponderale

A = area totale interessata dall'intervento (ha)

a = parametro della linea segnalatrice di pioggia

D = durata della precipitazione

Il volume entrante W_e (m³) risulta definito dalla formula

$$W_e = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D^n \cdot A$$

Il volume uscente W_u (m³), essendo ipotizzata costante la portata uscente pari alla massima $Q_{u\max}$ (l/sec) viene calcolato con

$$W_u = 3,6 \cdot Q_{u\max} \cdot D$$



Da cui deriva che il volume invasato in dipendenza della durata (D) è descritto dalla formula

$$\Delta W = W_e - W_u = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D^n \cdot A - 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D$$

Derivando l'equazione indicata sopra si ottiene il valore della durata critica della precipitazione (D_w) ed il conseguente volume critico dell'invaso (W₀).

$$D_w = \left(\frac{Q_{umax}}{2,78 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot n \cdot A} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D_w^n \cdot A - 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D_w$$

Con

D_w = durata critica d'invaso (ore)

Q_{umax} = portata uscente massima (l/s)

W₀ = volume di laminazione (m3)

a = parametro della linea segnalatrice di pioggia

n = coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia

A = area totale intervento (ha)

φ_m = coefficiente d'afflusso medio ponderale

Per quanto attiene le massime scaricabili, Q_{umax}, si fa riferimento all'allegato 2 del D.D.G. n. 102 del Dipartimento Regionale dell'Urbanistica del Dipartimento Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia, che prevede una portata ammissibile allo scarico nel ricettore non superiore a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabile dell'intervento.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderale φ_m si sono utilizzati i seguenti coefficienti per ciascuna delle diverse finiture superficiali delle superfici di progetto:

	Coefficiente di deflusso
Superfici impermeabili	1.0
Pavimentazioni drenanti o semipermeabili	0.7
Aree permeabili	0.3
Incolto e uso agricolo	0.0

Per quanto riguarda invece i parametri e coefficienti della linea segnalatrice di pioggia si è fatto riferimento ai dati resi disponibili dal Dipartimento Regionale della Protezione Sicilia per le Stazioni di Palazzolo Acreide e di Modica.

Stazione di Palazzolo Acreide					
TR30 anni		TR40 anni		TR50 anni	
a	n	a	n	a	n
52.5	0.37	55.1	0.37	57.0	037



Stazione di Modica					
TR30 anni		TR40 anni		TR50 anni	
a	n	a	n	a	n
49.1	0.29	51.4	0.29	53.1	0.29

8.3 Analisi dei dati di progetto

Il progetto prevede la variazione della permeabilità e micromorfologia superficiale in unicamente due zone dove sorgeranno la stazione di compensazione (in prossimità della costa) e la stazione utente (in prossimità della stazione elettrica).

Nella tabella seguente vengono riportate le coordinate dei punti centrali dei due interventi utilizzando il sistema di riferimento WGS84/UTM zona 33N (EPSG 32633)

	Latitudine	Longitudine
Stazione di compensazione	4071025	462100
Stazione utente	4101250	496750

In entrambe le aree di intervento sono previste una fascia perimetrale a verde, zone pavimentate, platee di fondazione, zone asfaltate e parti permeabili con finitura superficiale in ghiaia.

Nelle figure seguenti vengono riportate le planimetrie della due aree.

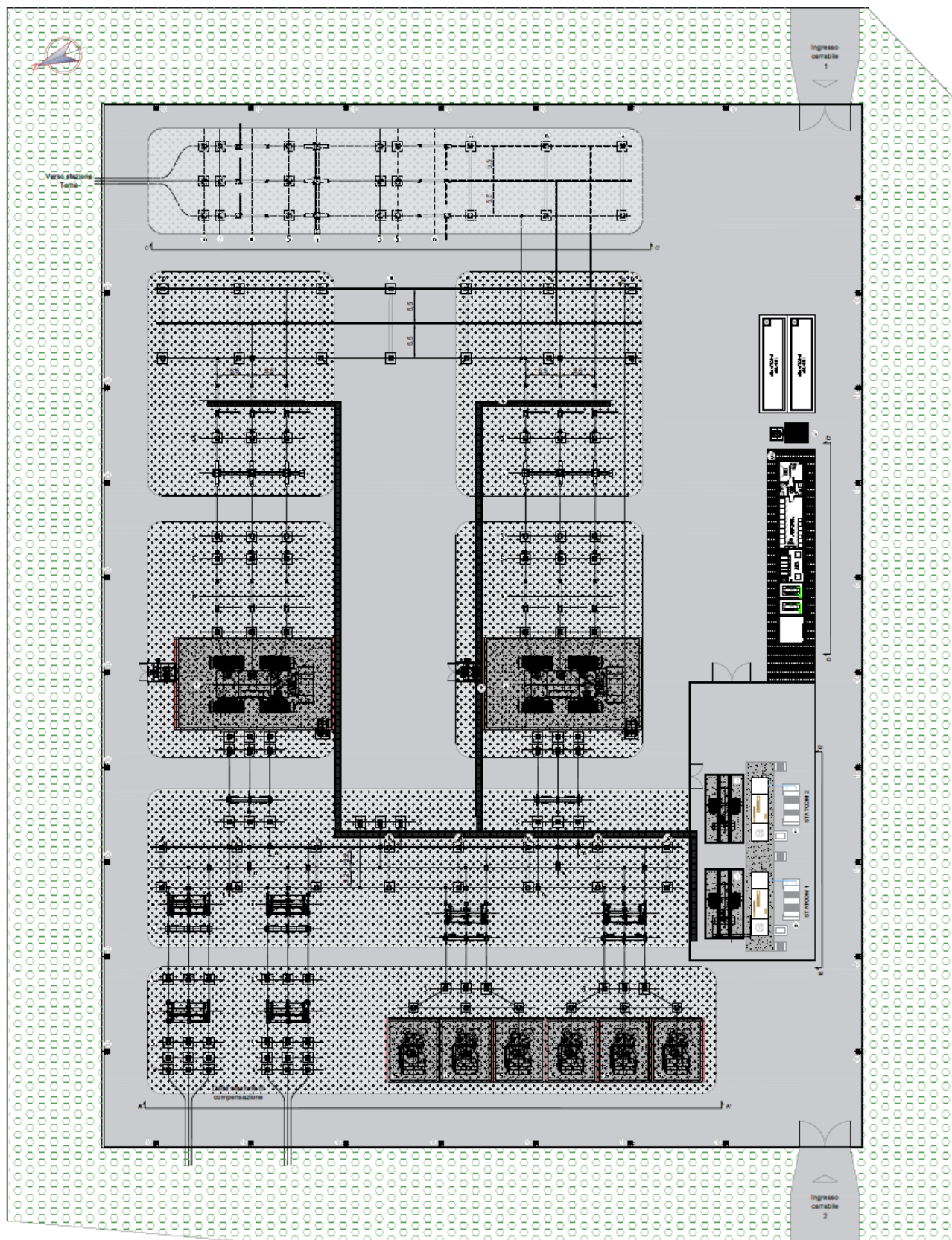
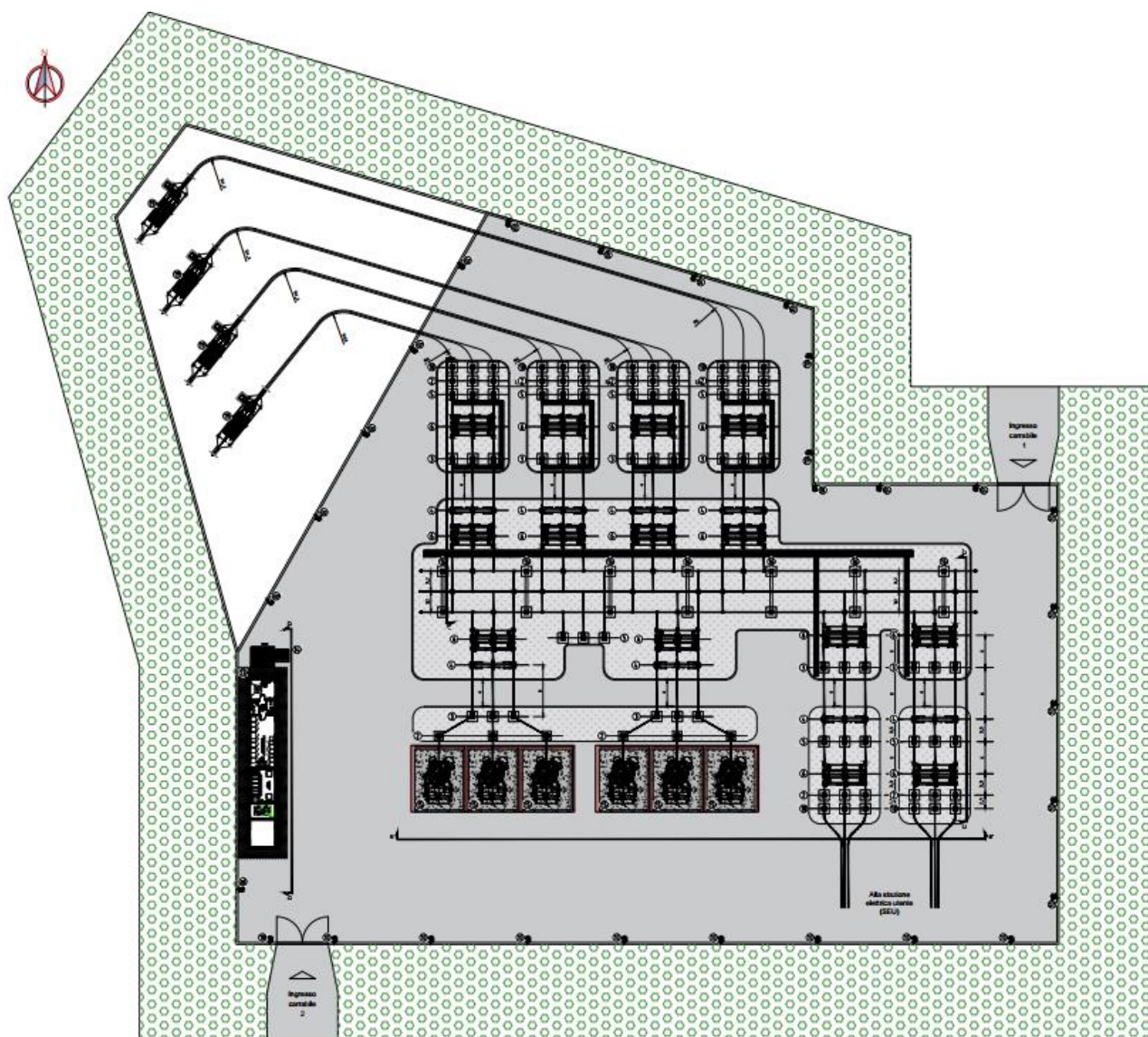


Fig. 8-1 – Planimetria area della stazione utente (fuori scala).



LEGENDA SUPERFICI

	Asfalto
	Ghiaia
	Vegetazione
	Fondazione in calcestruzzo
	Marciapiede
	Muro paraflamma

Fig. 8-2 – Planimetria area della stazione di compensazione (fuori scala) e legenda delle superfici.

Nella tabella seguente sono riassunte le superfici di progetto di entrambe le aree di progetto.



STAZIONE UTENTE		
	Superficie (m ²)	Coefficiente afflusso parziale
Superficie a verde	8977	0
Superficie finita a ghiaia	10177	0.3
Fondazioni+marciapiedi+asfalto	10031	1

STAZIONE DI COMPENSAZIONE		
	Superficie (m ²)	Coefficiente afflusso parziale
Superficie a verde e terreno nudo	10424	0
Superficie finita a ghiaia	3450	0.3
Fondazioni+marciapiedi+asfalto	8065	1

Dalle tabelle sopra riportate è possibile calcolare per i due interventi i coefficienti di deflusso medio ponderali φ_m che risultano pari a 0.44 per la stazione utente e 0.41 per la stazione di compensazione.

Da quanto riportato ai paragrafi precedenti (utilizzando un tempo di ritorno di 30 anni) è stato possibile calcolare quanto indicato nelle tabelle che seguono.

STAZIONE UTENTE			
DURATA CRITICA	D_w	7.3	Ore
VOLUME INVASO MINIMO	W_o	906	m³

STAZIONE DI COMPENSAZIONE			
DURATA CRITICA	D_w	3.1	Ore
VOLUME INVASO MINIMO	W_o	441	m³

8.4 Modalità di realizzazione dei volumi di invarianza

I volumi necessari al mantenimento dell'invarianza idraulica calcolati al paragrafo precedente verranno realizzati eseguendo delle depressioni scavate in terra nelle zone a verde presenti perimetralmente sia nella stazione di compensazione che in quella utente. Le depressioni avranno una profondità tale da limitare lo spessore massimo della lama d'acqua ad un metro. Non verranno stesi sul fondo dello scavo teli impermeabili o strati di argilla in modo tale da favorire anche la dispersione dell'acqua per infiltrazione (che contribuirà così al mantenimento dell'invarianza). Le pendenze delle sponde degli scavi verranno limitate a circa 30° per evitare problematiche di stabilità dello scavo. Tutte le acque provenienti dalle parti impermeabili delle stazioni verranno raccolte (tramite caditoie e/o canaline perimetrali) e guidate tramite tubazioni e pozzetti verso la depressione. La vasca verrà svuotata tramite un tubo sul fondo che porterà l'acqua ad un manufatto di regolazione, dove una bocca tarata permetterà lo svuotamento con portata massima non superiore al valore calcolato considerando il coefficiente idrometrico di 20 l/sec per ha di superficie impermeabile

(portata max Stazione utente 20 l/sec, Stazione di compensazione 16 l/s). Il manufatto di regolazione sarà inoltre dotato di una paratia interna con funzione di troppo pieno. In questa fase di progettazione si prevede lo scarico a gravità dei bacini di invarianza, qualora i rilievi topografici di dettaglio, che verranno eseguiti per la fase di progettazione successiva, evidenziassero l'impossibilità di tale soluzione, il manufatto di regolazione verrà sostituito con una pompa sommersa con portata adeguata.

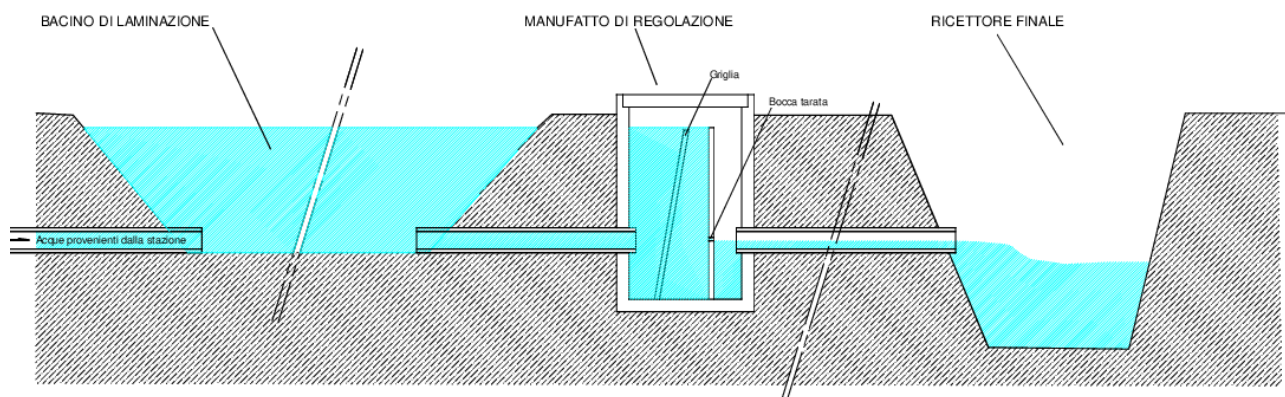


Fig. 8-3 – Schema esemplificativo bacini di invarianza idraulica.

I ricettori finali sono rappresentati:

- per la Stazione di compensazione dal corso d'acqua, indicato nella cartografia catastale (<https://wms.cartografia.agenziaentrate.gov.it/inspire/wms/ows01.php>), che passa poco a sud dell'area di progetto;
- per la Stazione utente dal corso d'acqua presente ad est della zona d'intervento, la cui incisione si individua sia dalla Cartografia Tecnica Regionale, sia consultando il DTM regionale e che dirige le acque verso il Vallone Cavadonna.

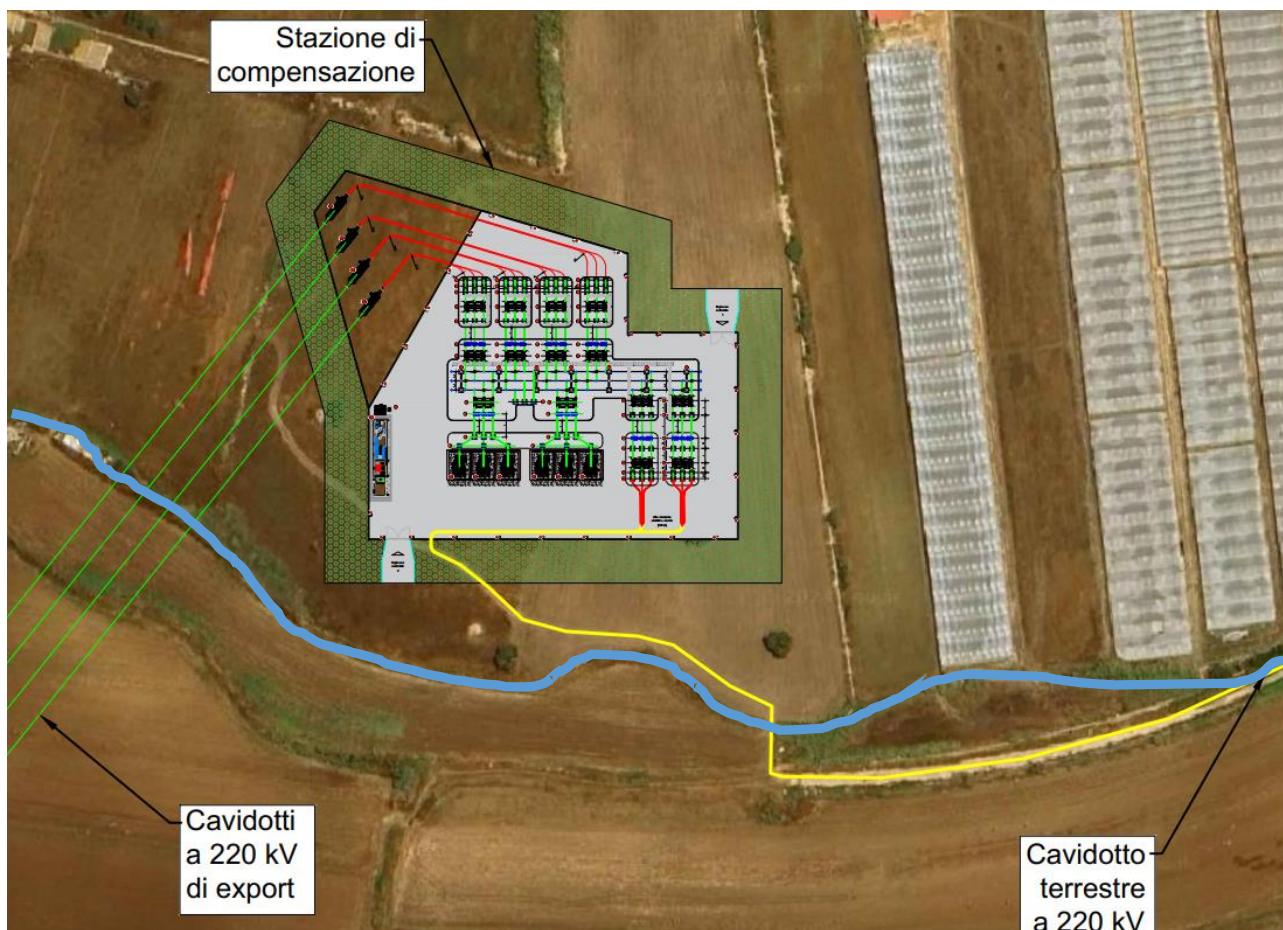


Fig. 8-4 – Planimetria della stazione di compensazione, in azzurro il corso d'acqua indicato nella planimetria catastale.

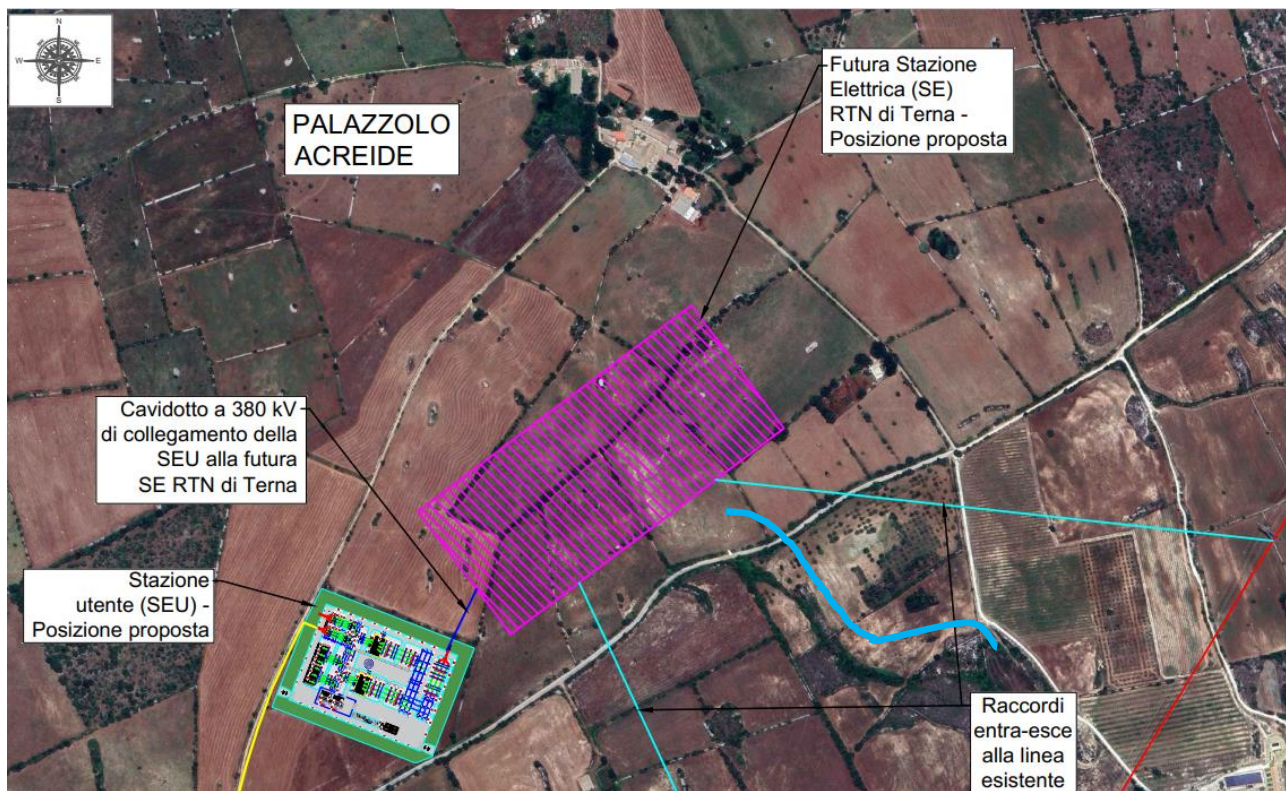


Fig. 8-5 – Posizione della stazione elettrica di utenza, della futura stazione Terna e in azzurro la posizione del corso d’acqua così come individuato nella Carta Tecnica Regionale.

9 CONCLUSIONI

L'area in oggetto ricade nei bacini dei fiumi Irminio, Tellaro ed Anapo; il reticolo idrografico in generale è definibile come dendritico-parallelo. Il regime dei corsi d'acqua secondari assume carattere torrentizio con deflussi superficiali solo in occasione eventi piovosi intensi e ciò determina portate di magra e morbida limitate anche per i corsi principali.

Quanto previsto in progetto non interferisce con aree di pericolosità idraulica perimetrate dal Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Il cavidotto si svilupperà prevalentemente lungo i tracciati stradali esistenti e solamente in due punti sarà necessario superare elementi del reticolo idrografico principale (Irminio e Tellaro) utilizzando la tecnologia della Trivellazione Orizzontale Controllata e senza quindi determinare alterazioni né dell'alveo né delle zone adiacenti.

Le verifiche idrauliche hanno permesso anche di stimare gli approfondimenti massimi del fondo alveo derivanti dalla dinamica fluviale per i tratti di corsi d'acqua di interesse. Le quote di progetto permettono il mantenimento di un sufficiente margine di sicurezza tra fondo del corso d'acqua ed il cavidotto anche in condizioni idrodinamiche particolarmente severe (TR 200 anni).

Per quanto detto si ritiene che **la realizzazione delle opere di attraversamento** non determinino mutamenti significativi delle condizioni morfologiche, idrauliche né idrogeologiche dell'ambito fluviale in cui si inseriscono e che quindi **risultino del tutto compatibili con la dinamica dei corsi d'acqua**.

Nello studio sono stati inoltre verificati i volumi necessari per il mantenimento dell'invarianza idraulica a seguito della impermeabilizzazione di parte delle superfici che saranno occupate dalla stazione di compensazione e della stazione utente; si è verificata la fattibilità dell'intervento, si rimanda alla successiva fase progettuale la definizione puntuale di tutti gli aspetti inerenti tali opere.