

Progetto Definitivo

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA



TYRRHENIAN WIND ENERGY

Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica

Ministero della Cultura

Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti

*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*

Relazione tecnica
**STUDIO DI COMPATIBILITA'
IDROGEOLOGICA E IDRAULICA**

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**



COMIDR

C0123CR00COMIDR00a



00	Luglio 2023	Emesso per approvazione		
Rev. Est.	Data emissione	Descrizione		Cod. Ela.

Cod.:

C	0	1	2	3	C	R	0	0	C	O	M	I	D	R	0	0	a
Tipo	Num. Com.	Anno	Cod. Set.	Tip. Ela.	Prog. Ela.	Descrizione elaborato									Rev. Est.	Rev. Int.	

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA		
PROGETTO DEFINITIVO		
Studio di compatibilità idrogeologica e idraulica		
Codice documento: C0123CR00COMIDR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina I di IV

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	4
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E TETTONICO	5
3.1. Inquadramento geologico.....	5
3.2. Inquadramento geomorfologico.....	7
4. ASPETTI IDRAULICI DELL'AREA D'INTERVENTO	10
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	11
5.1. Inquadramento generale	11
5.2. Acquifero dei terrazzi marini Pleistocenici.....	12
5.3. Pozzi censiti dall'Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984).....	12
6. COMPATIBILITÀ IDROLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO VERIFICA AL PAI.....	17
7. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	22
8. UTILIZZO DELLA DISTRIBUZIONE TCEV	23
8.1. Stima regionale dei parametri della TCEV	24
8.1.1. Primo livello di regionalizzazione	25
8.1.2. Secondo livello di regionalizzazione.....	26
8.1.3. Terzo livello di regionalizzazione.....	26
8.2. Piogge di massima intensità e breve durata.....	27
9. RISULTATI.....	33
10. PORTATE DI PROGETTO.....	34
10.1. Modellazione afflussi-deflussi.....	34
10.1.1. Ietogrammi sintetici	34
10.1.2. Tempo di corrivazione	34
10.1.3. Intensità di pioggia	36
10.1.4. Coefficiente di deflusso di piena.....	37
10.2. Portate di progetto	40
11. MODALITA' DI RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE INDIVIDUATE.....	41
12. ATTRAVERSAMENTI DEL CAVIDOTTO INTERNO ED ESTERNO CON TOC.....	42
13. CONCLUSIONI.....	43

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Stralcio su Tavoleta IGM dell'area di intervento con cerchiati in azzurro i punti di intersezione cavidotto – corsi d'acqua.	2
Figura 1.2 – Intersezione dell'elettrodotto interrato e il reticolo idrografico.....	3
Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.	4
Figura 3.1 – Stralcio Carta Geologica d'Italia 142 "Civitavecchia".	6
Figura 3.2 – Stralcio cartografia IGM con individuati i punti di intersezione tra cavo interrato e corsi d'acqua.	8
Figura 5.1 – Unità idrogeologica dei depositi terrazzati costieri settentrionali.....	12
Figura 5.2 – Perforazioni utilizzate e contenute nell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984). .	13
Figura 6.1– Ubicazione opere a terra rispetto rischio frana (PAI).	18
Figura 6.2 – Ubicazione opere a terra rispetto le perimetrazioni PAI.	20
Figura 6.3 – Rappresentazione schematica di una TOC.....	21
Figura 7.1 – Bacini idrografici calcolati sullo stralcio corografico nei pressi dell'area di interesse.....	22
Figura 8.1 – Le tre regioni omogenee.....	26
Figura 8.2 – APO (Aree Pluviometriche Omogenee) del III livello di regionalizzazione.....	31
Figura 10.1 – Stralcio Carta Geologica Lazio: strato informativo del SIT.	38

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Studio di compatibilità idrogeologica e idraulica		
Codice documento: C0123CR00COMIDR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina III di IV

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 5.1 – Caratteristiche pozzo 159348.	13
Tabella 5.2 – Caratteristiche pozzo 155686.	14
Tabella 5.3 – Scheda pozzo 159359.....	15
Tabella 8.1 – Parametri del primo livello di regionalizzazione.	25
Tabella 8.2 – Parametri al secondo livello di regionalizzazione.	26
Tabella 8.3 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita kT per le piogge giornaliere, per alcuni Tr.....	27
Tabella 8.4 – Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF.	30
Tabella 8.5 – Il livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota.	32
Tabella 9.1 – Parametri relativi alla zona omogenea di appartenenza e quindi la relativa sottozona.....	33
Tabella 9.2 – Parametri bacino Fosso della Vite.....	33
Tabella 9.3 – Parametri bacino Fosso delle Cave di Gesso.	33
Tabella 9.4 – Parametri bacino impluvio privo di denominazione.	33
Tabella 10.1 – valori di a(T) (m/h) per il bacino del F. Mignone.....	37
Tabella 10.2 – valori di intensità di pioggia per i diversi bacini per diversi tempi di ritorno.	37
Tabella 10.3 - Classi geologiche.....	39
Tabella 10.4 – valori di af e bf calcolati.....	40
Tabella 10.5 – Valori di coefficiente di deflusso per diversi tempi di ritorno in relazione al tipo geologico prevalente.....	40
Tabella 10.6 – Portate critiche per il Fosso della Vite per diversi tempi di ritorno.	40
Tabella 10.7 – Portate critiche per il Fosso delle Cave di Gesso per diversi tempi di ritorno.....	40
Tabella 10.8 – Portate critiche per l'impluvio privo di denominazione per diversi tempi di ritorno.....	40
Tabella 11.1 - modalità di risoluzione che si propongono per le diverse interferenze, in funzione anche delle specificità dei singoli punti attraversati.....	41

INDICE DELLE VOCI

PAI	Piano Stralcio Assetto Idrogeologico
P.P.R.	Piano Paesaggistico Regionale
TOC	Trivellazione Orizzontale Controllata
PGRA	Piano di Gestione Rischi Alluvioni
VAPI	Valutazione delle Piene in Italia
CPP	Curva di Possibilità Pluviometrica
TCEV	Two Component Extreme Value
APO	Aree Pluviometriche Omogenee
WTG	Wind Turbine Generator
IAC	Inter-Array Cable
OFEC	Offshore Export Cable
TJB	Transition Junction Bay
ONEC	Onshore Export Cable

1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritte le caratteristiche geologiche-idrogeologiche e idrauliche delle aree a terra dove saranno posizionate le opere costituenti il parco eolico offshore di tipo floating da realizzarsi nel mare Tirreno orientale.

L'analisi effettuata illustra e caratterizza gli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici dei territori in esame, fornendo un quadro completo delle aree oggetto di indagine caratterizzandole secondo la normativa vigente.

A tali obiettivi si è giunti tramite questo primo lavoro di rilevamento geologico-geomorfologico-idrogeologico esteso ad un intorno significativo del sito al quale seguirà una campagna più dettagliata di indagini dirette e indirette del sottosuolo.

Le opere previste interessano, per la quasi totalità, il comune di Civitavecchia e, soltanto per un breve tratto di cavidotto e per la Sottostazione di Misura e Consegna, il territorio del comune di Tarquinia.

Il territorio dei predetti comuni risulta in parte perimetrato sia a rischio idraulico che a rischio frana dal Piano di Bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con delibera del Consiglio Regionale n.17 del 04/04/2012.

Nello specifico, gli interventi in progetto non intersecano aree perimetrare secondo il vigente PAI. L'elettrodotto interrato ricade però in un'area di attenzione per pericolo d'inondazione lungo i corsi d'acqua principali (elenco delle acque di cui T.U. 1775/33, D.G.R. n° 452 del 01/04/05)

Il presente studio mira, pertanto, a verificare la compatibilità degli interventi in oggetto con l'articolo 27 ("Disciplina delle aree d'attenzione idraulica") comma 4 del PAI Lazio secondo il quale ogni determinazione relativa ad eventuali interventi è subordinata alla redazione di un adeguato studio idraulico rispondente ai requisiti minimi stabiliti dal Piano medesimo, sulla cui base l'Autorità accerta il livello di pericolosità sussistente nell'area interessata dall'intervento ed aggiorna conseguentemente la perimetrazione delle aree a pericolo d'inondazione.

Dall'analisi della cartografia ufficiale I.G.M., il sito d'intervento ricade nelle Tavole n.142 Il N.O. "Civitavecchia" della Carta d'Italia in scala 1:25000 (Figura 1.1).

Dal punto di vista cartografico, si evince che il reticolo idrografico risulta discretamente sviluppato, con due aste principali costituite a nord dal "Fosso della vite" e dal "Fosso della Cava di Gesso", affluenti di sinistra del F. Mignone e da un terzo impluvio privo di denominazione ufficiale. Si tratta di un piccolo impluvio, lungo poco più di un chilometro che sfocia nel Tirreno e interseca il cavidotto a pochi metri dalla costa (Figura 1.2).

Il "Fosso della vite" e il "Fosso della Cava di Gesso" attraversano la porzione di territorio in esame con andamento da SE-NO. Il terzo impluvio attraversa il territorio con andamento NE-SW.

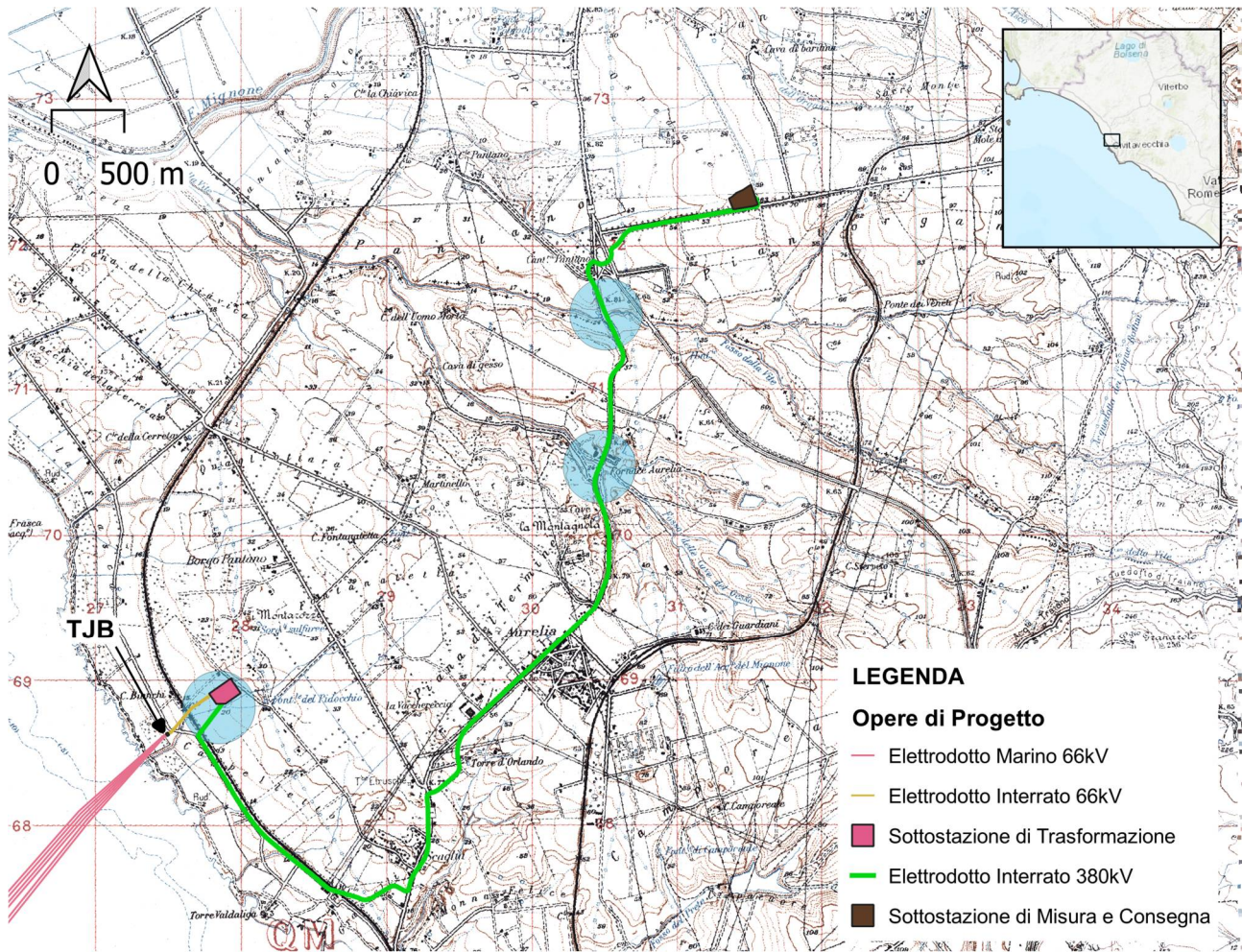


Figura 1.1 – Stralcio su Tavoleta IGM dell'area di intervento con cerchiati in azzurro i punti di intersezione cavidotto – corsi d'acqua.

Elaborazione iLStudio.

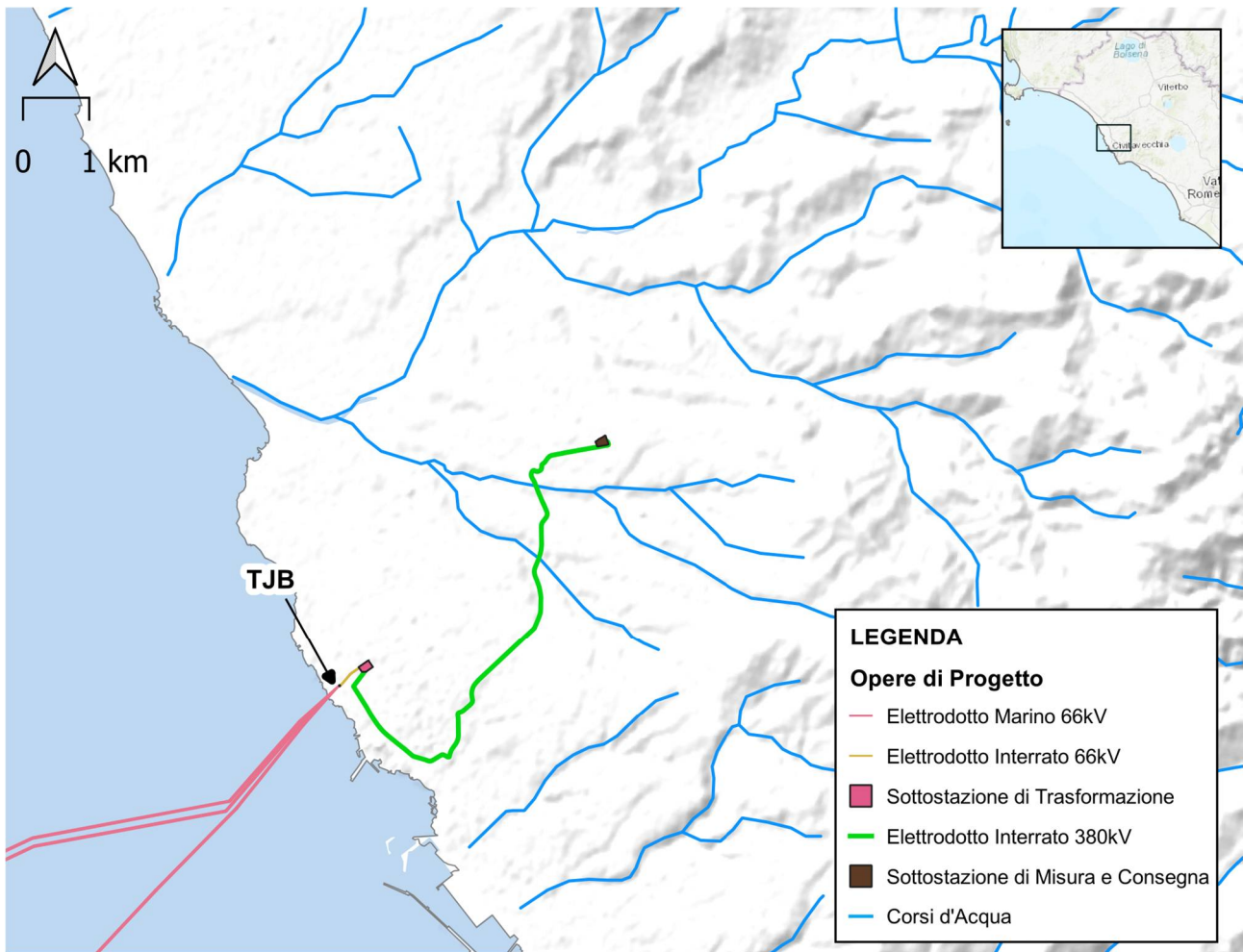


Figura 1.2 – Intersezione dell'elettrodotto interrato e il reticolo idrografico.
Elaborazione iLStudio.

2. BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel Mar Tirreno nel settore geografico sud-ovest delle coste di Civitavecchia, a oltre 20 km dalle più vicine coste laziali, garantirà una potenza nominale massima pari a 504 MW attraverso l'utilizzo di 28 aerogeneratori sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

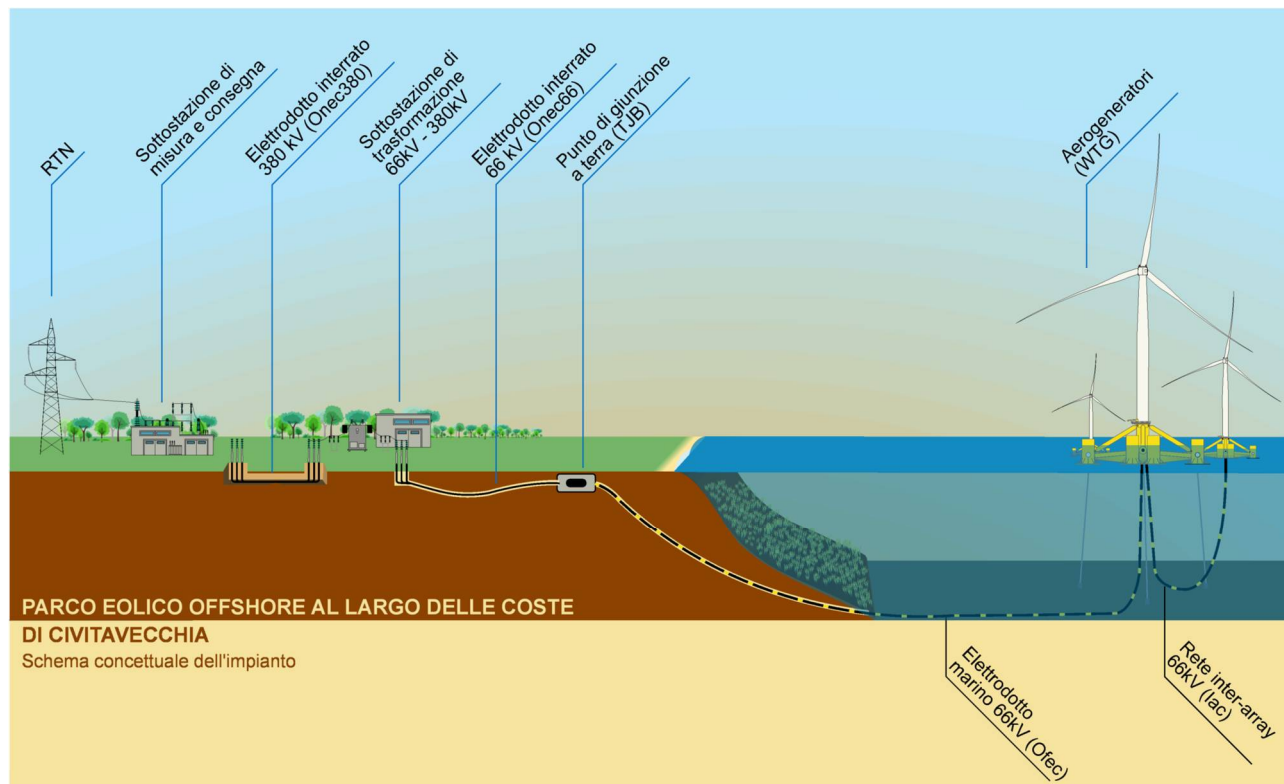


Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iStudio.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle coste. La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 165 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - Iac*) e convogliata verso la terraferma attraverso un sistema di 6 cavi marini tripolari di esportazione (*Offshore export cable - Ofec*) a 66 kV, con approdo in TOC a circa 200 m oltre la linea di costa in un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). Da qui, previo collegamento a 66 kV (*Onshore export cable – Onec66*), l'energia sarà trasportata presso una sottostazione elettrica di trasformazione prossima al punto di giunzione, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 66 kV a 380 kV. Un nuovo elettrodotto interrato di esportazione a 380 kV (*Onshore export cable – Onec380*), permetterà quindi il collegamento alla nuova sottostazione di misure e consegna in prossimità della esistente stazione elettrica RTN TERNA "Aurelia" per la definitiva connessione alla Rete Nazionale.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E TETTONICO

3.1. Inquadramento geologico

I territori di Civitavecchia e Tarquinia sono rappresentati nella Cartografia Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 redatta dal Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA al foglio n. 142 (Figura 3.1).

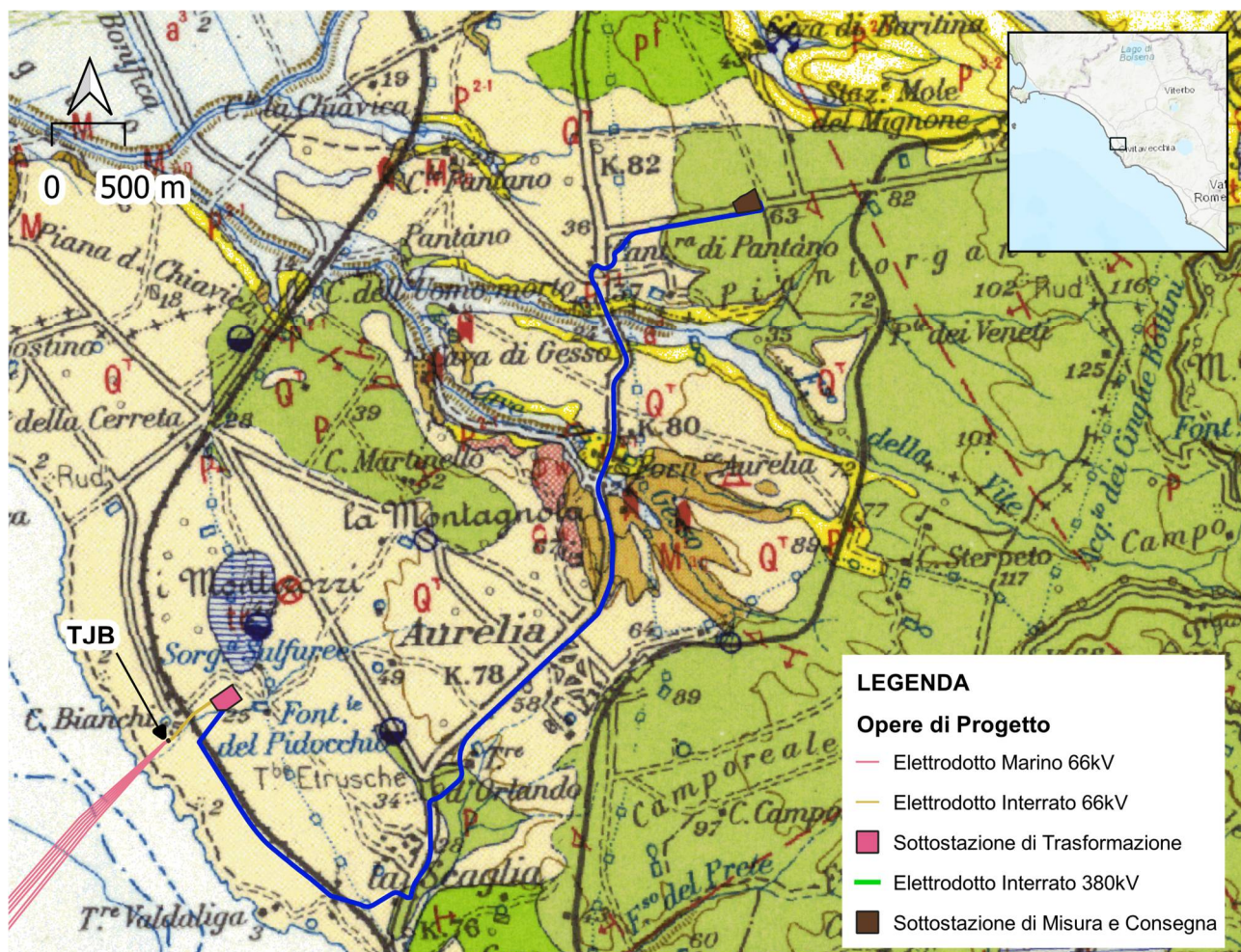
Buona parte del territorio dei due comuni, che comprende anche la zona oggetto dell'intervento, è costituita dalle propaggini costiere del complesso geologico dei Monti della Tolfa.

Questo è costituito da un'alternanza argillo-marnosa-calcareea di spessore notevole (500-600 m) di età tardo Cretacea-Oligocenica, intensamente tettonizzato e caratterizzato da pieghe rovesciate e coricate.

Una fase tettonica distensiva ha dato luogo alla formazione di bacini neogenici, sede di accumulo dei depositi plio-pleistocenici.

La forte discordanza angolare tra i depositi pliocenici e le sottostanti formazioni sedimentarie testimonia come l'ingressione del mare pliocenico sia avvenuta su di un substrato già fortemente dislocato.

Sul basamento sedimentario si sono accumulati i depositi quaternari costituiti da sabbie, arenarie, conglomerati e calcari organogeni della Panchina Tirreniana.



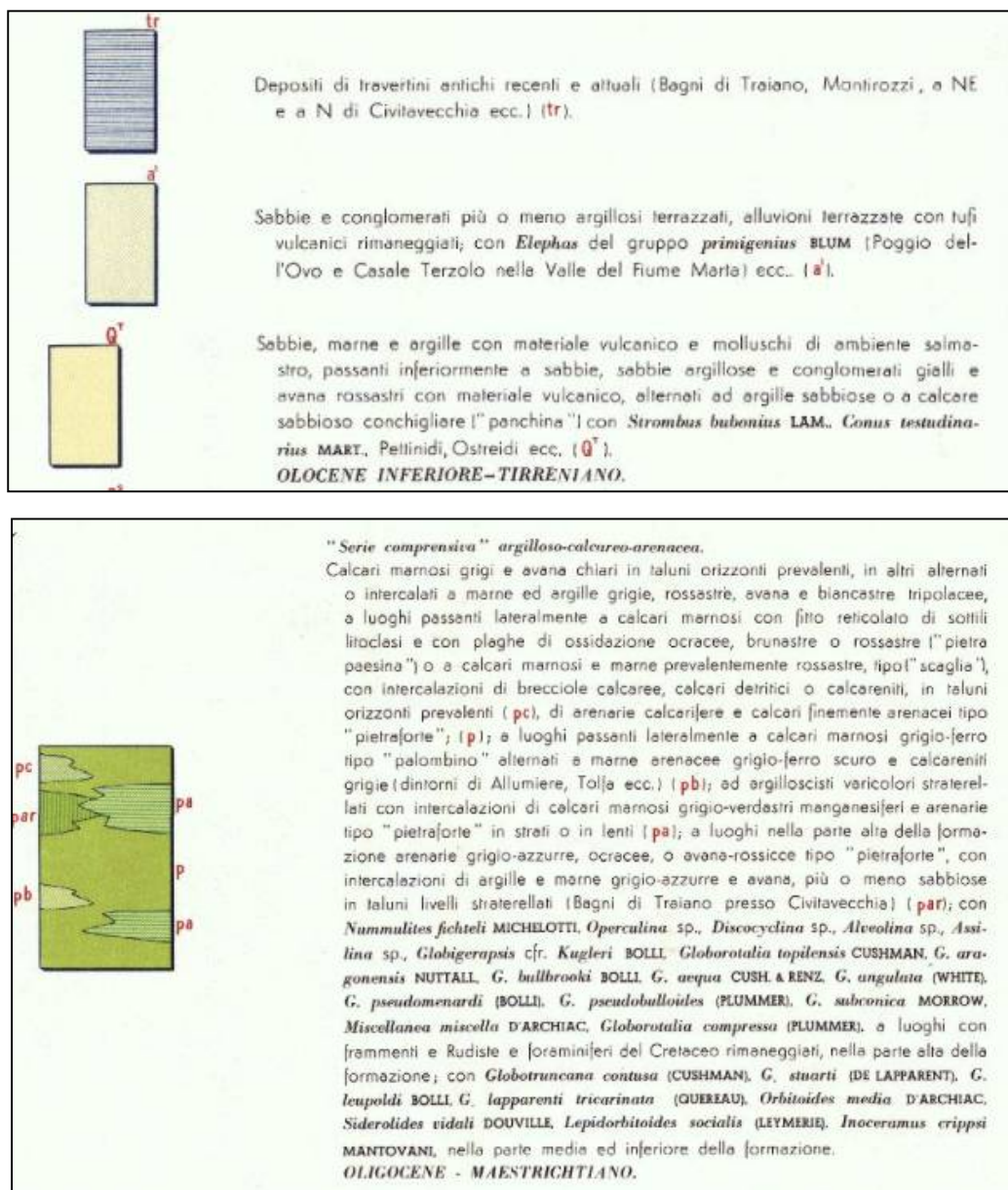


Figura 3.1 – Stralcio Carta Geologica d'Italia 142 "Civitavecchia".

L'area in esame è ubicata in una porzione di territorio che si estende dalla costa fino alle pendici del M. Locopane, caratterizzata da una marcata eterogeneità litologica delle formazioni affioranti che ne condiziona fortemente anche la morfologia.

Le aree contraddistinte da un'orografia più marcata ed aspra sono quelle dei rilievi e dei domi vulcanici, principalmente localizzati nelle aree più interne, e quelle delle strutture vulcaniche laviche isolate, rappresentate dal gruppo de "la Tolfaccia" e dagli affioramenti de "la Montagnola". Queste strutture, con pareti spesso sub-verticali e meno erodibili, sono morfologicamente ben riconoscibili e staccano nettamente dalle morfologie collinari circostanti che sono invece sovente caratterizzate da versanti poco acclivi, spesso privi di incisioni profonde per l'assenza di un vero e proprio sistema idrografico.

Il territorio collinare è costituito in gran parte dai più antichi e differenziati complessi alloctoni calcareo marnosi ed argilloso arenacei in facies di flysch e dai depositi neautoctoni argilloso conglomeratici.

L'insieme di questi complessi risulta stratigraficamente sovrastante ad un complesso basale carbonatico presente in questa regione geologica solo in affioramenti di modeste dimensioni molto distanti dal sito in

esame.

Relativamente all'area oggetto di intervento, essa risulta impostata all'interno delle seguenti formazioni geologiche in affioramento:

- a³: alluvioni recenti ed attuali (Olocene) - depositi alluvionali lacustri, fluvio-palustri recenti, più o meno terrazzati, ed attuali, ed eluviali: conglomerati e sabbie più o meno argillose.
- Q^T: sabbie, conglomerati e argille (Pleistocene) – sabbie più o meno argillose, conglomerati gialli e rossastri ed argille, con materiale vulcanico nella parte alta del complesso.
- P²⁻¹: marne e argille prevalenti, conglomerati e calcari arenacei (Pliocene) – marne ed argille grigio azzurre o gialline, a luoghi con qualche intercalazione di conglomerati e sabbie specialmente verso l'alto della formazione; talora passanti verso il basso a conglomerati, calcareniti e calcari arenacei.
- M⁵_{ag}: Marne e argille con gessi, conglomerati e sabbie (Miocene) – marne e argille prevalenti, grigie, varicolori straterellate talora con frustuli carboniosi, a luoghi con gesso in cristalli sciolti o in banchi o in ammassi concrezionari; intercalazioni o alternanze di sabbie poco cementate o di arenarie avana o gialle, nella parte alta del complesso, conglomerati per lo più cementati, in strati e banchi, oppure sciolti misti a sabbie, o con cemento argilloso sabbioso.
- P: Flysch calcareo-argilloso-arenaceo (Serie comprensiva) (Oligocene) – tale serie risulta costituita da un'alternanza di calcari marnosi in strati in genere poco spessi, talora con zonature di calcarenite finissima in veli o straterelli più o meno sottili, a frattura concoide, grigi biancastri, grigio-azzurri o grigio-verdi, avana o giallini, a luoghi molto fratturati e con colorazione ocrea o rossastra (pietra paesina) o rosso del tipo "a scaglia"; brecciole calcaree e calcareniti a grana media e fine, passanti ad arenaria calcarea grigia ed avana; arenarie calcareo-quarzose grigie o avana del tipo "pietraforte" poco frequenti, in strati e banchi; marne ed argille talora siltose, avana, grigie, rosate o biancastre tripolacee; argilloscisti varicolori, a luoghi con intercalazioni di calcari marnosi verdastrati o di arenaria tipo "pietraforte".

3.2. Inquadramento geomorfologico

La successione degli eventi che hanno modellato il paesaggio di questa area è il risultato degli episodi glacio-eustatici lungo la costa e solo marginalmente dell'attività esplosiva dei vicini distretti vulcanici.

Le unità relative al Pleistocene medio e superiore presentano, al contrario di quelle più antiche, una buona continuità lungo la costa.

Nel settore in studio della costa tirrenica laziale si estende una successione di cinque ordini di terrazzi marini più o meno marcati con la presenza di morfologie di superfici relitte pianeggianti a bassa pendenza verso il mare e via via profondamente incise dal reticolo fluviale.

I tre ordini di terrazzi più bassi sono costituiti dai depositi delle unità costiere plio-pleistoceniche. La morfologia della superficie superiore dei due ordini più bassi in quota è ben conservata, ad esclusione di rimodellamenti minori subiti in ambiente subaereo e testimoniati dai depositi continentali dell'unità di Casale Palombini (Pmb).

La morfologia della superficie superiore del terzo ordine di terrazzi è invece mal conservata.

I corpi sedimentari di questi tre ordini terrazzati sono caratterizzati da depositi di facies costiera ricchi in sedimenti e prodotti di origine vulcanica, e si sviluppano fino a quote di circa 60 m s.l.m.

Seguono verso l'alto due ordini di terrazzi costieri, caratterizzati da depositi simili ai precedenti, ma privi di apporti vulcanici.

Verso la costa i terrazzi fluviali sono rappresentati, solo localmente dove è presente un ordine alla quota tra 15 e 20 m s.l.m.

Nell'area di progetto il reticolo idrografico è dominato dalla presenza dei fiumi Fosso delle Cave di Gesso, Fosso della Vite e un altro piccolo corso d'acqua privo di denominazione ufficiale, tutti con deflusso ortogonale

al tracciato del cavo interrato.

Nella Figura 3.2 sono riportati, su base cartografica IGM, i punti di intersezione tra cavo interrato e corsi d'acqua.

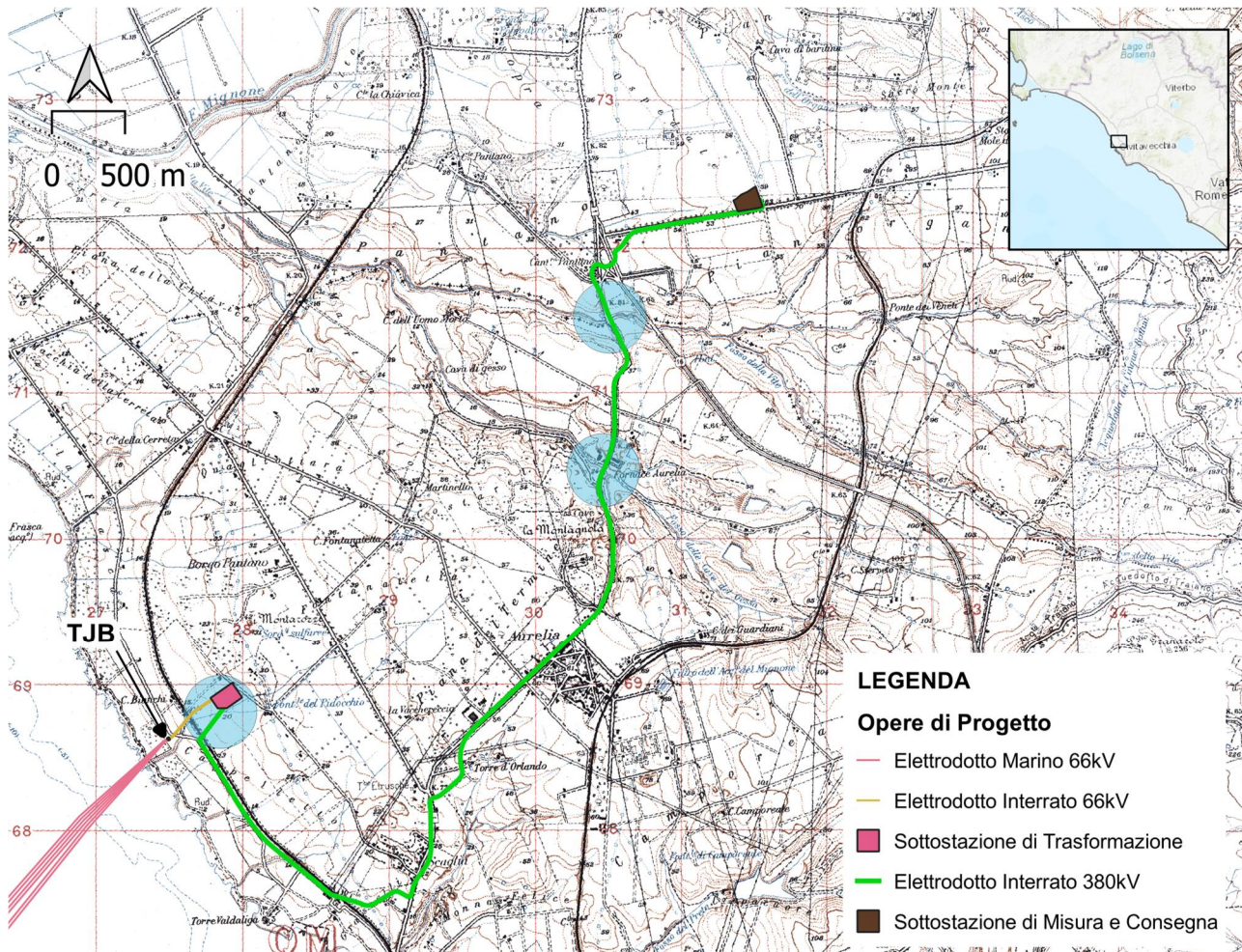


Figura 3.2 – Stralcio cartografia IGM con individuati i punti di intersezione tra cavo interrato e corsi d'acqua.

Elaborazione iLStudio.

Inoltre, i processi che hanno determinato il modellamento e l'evoluzione del territorio posso essere classificati in base all'agente morfologico dominante. Nella zona studiata sono state riconosciute:

- 1) forme e depositi legate a processi fluvio-denudazionali;
- 2) forme e depositi legate a processi legati alla gravità;
- 3) forme antropiche.

Le forme fluvio-deposizionali e fluvio-denudazionali sono riconducibili ai piccoli corsi d'acqua, caratterizzati da depositi alluvionali di potenza inferiore a 1,50-2,00 m. I depositi fluviali si presentano con granulometria fine (argille e limi, localmente torbose), con una tendenza al passaggio a orizzonti medio-grossolani (sabbie e ghiaie) nella porzione basale. Sono caratteristiche forme erosionali riconducibili alle vallecole con fondo a V, gli alvei in approfondimento, gli orli di scarpata e le forme di dilavamento diffuso. Tutta la zona è inoltre caratterizzata da estese aree con copertura colluviale.

Le forme gravitative sono poco presenti nell'area in studio. La zona risulta infatti scarsamente caratterizzata da tale morfogenesi a meno di alcuni orli di scarpata, in origine forme di scarpata fluviale che poi, con il tempo, sono evolute in forme di versante dovute alla gravità.

I processi antropici sono quelli dai quali derivano le trasformazioni del paesaggio naturale a seguito dell'attività

umana, storica e recente. Appaiono numerose, in particolare si fa riferimento ai seguenti elementi:

- Cave: alcune piccole cave dismesse, legate all'estrazione di materiale sabbioso;
- Scarpate antropiche: tali forme sono riconducibili all'attività estrattiva delle cave e ai tagli stradali.

4. ASPETTI IDRAULICI DELL'AREA D'INTERVENTO

Il Lazio è caratterizzato dalla presenza di importanti risorse idriche il cui deflusso complessivo verso il mare si aggira intorno ai 12 miliardi di m³ l'anno comprendenti l'apporto dei corsi d'acqua che nascono nella regione, quelli che vi transitano e le sorgenti. Circa ¼ di queste acque proviene da altre regioni (fiumi Tevere e Fiora), al contrario una certa aliquota delle acque originatesi nel territorio laziale defluiscono verso altre regioni (fiumi Velino, Corno, Tronto, Volturno).

Il reticolo idrografico è rappresentato da diversi ambienti idrici come i bacini lacustri, per lo più di origine vulcanica, e fiumi di grande rilievo come l'Aniene ma soprattutto il Tevere che ha il secondo bacino più esteso d'Italia, inferiore per estensione solo a quello del fiume Po. I corsi d'acqua regionali più importanti sono:

- il Fiora, il Marta, il Mignone, l'Arrone, l'Astura, il Ninfa Sisto, l'Amaseno, il Liri-Garigliano, che sfociano direttamente al mare;
- il Salto, il Turano, il Velino, l'Aniene, il Treja, il Farfa tutti confluenti nel Tevere;
- il Sacco, il Cosa, il Melfa, il Fibreno, il Gari tutti confluenti nel Liri-Garigliano.

I comuni di Civitavecchia e Tarquinia non sono direttamente attraversati dai corsi d'acqua su citati ma a nord dell'abitato di Civitavecchia e a sud di Tarquinia è ubicato il Fiume Mignone che sfocia nel mare Tirreno tra Lido di Tarquinia a nord e i Bagni Sant'Agostino a sud. Il percorso iniziale del fiume è a carattere torrentizio e il suo corso ha scavato nel tempo profonde gole difficilmente accessibili che conservano specie vegetali e animali altrove scomparse. Il tratto finale del fiume ha invece un carattere più fluviale che si presta anche per lo sfruttamento da parte dell'uomo.

Nel settore a pendenza più elevata il reticolo idrografico è costituito da poche linee di deflusso rettilinee dove prevalgono essenzialmente fenomeni di erosione, in quanto l'alveo incide le coperture superficiali mettendo a nudo, frequentemente, il substrato Pliocenico.

Il reticolo idrografico aumenta di densità nella seconda zona morfologica in relazione soprattutto alla progressiva estensione del bacino di drenaggio superficiale. In questa porzione, le linee di deflusso incassate di qualche metro nei depositi ghiaioso-sabbiosomarnosi mostrano essenzialmente fenomeni di trasporto, più che di erosione o deposizione.

Nella parte pianeggiante costiera il reticolo idrografico ha forma e densità sostanzialmente diversa dalla restante parte del bacino. Alla rete naturale di deflusso si affianca una rete di drenaggio artificiale costituita da canali di bonifica dalla forma tipicamente rettilinea. Nell'insieme le linee di drenaggio naturali e artificiali assolvono ad una duplice funzione di recapito delle acque superficiali nella porzione più alta del bacino, e di drenaggio di quelle stagnanti in superficie dopo gli eventi meteorici e di quelle della falda posta a breve profondità nella porzione più bassa (Cardinale, 2002-2003)

Il corso d'acqua raccoglie tutti i tributari della parte alta del bacino. Il suo corso è in parte incassato e in parte arginato; l'alveo presenta un sensibile accumulo di depositi limoso-argillosi testimoni dei fenomeni di deposizione che interrano questa porzione del reticolo principale. Il restante reticolo fluviale è rappresentato da impluvi generalmente asciutti, che permettono il deflusso in occasione di eventi piovosi particolarmente abbondanti (Cardinale, 2002-2003).

Affluenti di sinistra del F. Mignone sono il "Fosso della vite" e il "Fosso della Cava di Gesso". Si tratta di piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio nella parte iniziale e con andamento più dolce nel tratto finale prima di confluire nel Fiume Mignone. I due impluvi intersecano il percorso dell'elettrodotta interrato sulla via Aurelia Nord (S.S.1). L'elettrodotta sarà posizionata sulla viabilità esistente e l'attraversamento dei due corsi d'acqua verrà effettuato sfruttando i ponti e cavalcavia esistenti. L'elettrodotta interseca un terzo impluvio privo di denominazione ufficiale. Si tratta di un piccolo impluvio, lungo poco più di un chilometro, sfocia anch'esso nel Tirreno e interseca il cavodotto a pochi metri dalla costa. Diversamente dai primi due casi, nei quali l'elettrodotta sarà posizionata sulla viabilità esistente, in questo caso l'attraversamento dell'impluvio sarà effettuato con la realizzazione di un piccolo tratto di TOC (trivellazione orizzontale controllata).

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

5.1. Inquadramento generale

Nella zona di studio, la circolazione idrica delle acque sotterranee risulta strettamente connessa alla geometria delle unità litostratigrafiche individuate, secondo quanto descritto di seguito.

- Sedimenti prevalentemente granulari, misti e conglomeratici (appartenenti ai terrazzi marini plio-pleistocenici) sono sovrapposti a depositi meno permeabili, costituiti da argille messiniane, plioceniche e pleistoceniche, e dalle coltri alloctone marnoso-argilloso-calcarenitiche. Il tetto del substrato rappresenta quindi un limite fisico alle potenzialità di circolazione e sfruttamento delle acque, contenute principalmente nelle unità pleistoceniche superficiali.
- Le valli fluviali dei corsi d'acqua presenti nell'area in studio, le cui conformazioni derivano in parte da motivi strutturali, interessano maggiormente litotipi argillosi; i bacini alluvionali interrompono quindi la continuità laterale della circolazione idrica all'interno delle unità acquifere terrazzate.
- L'importanza delle serie flyschoidi cretacico-oligocenica e di quella argillosa pliocenica sull'idrogeologia dell'area è legata alle caratteristiche di bassissima permeabilità d'insieme, che impedisce un drenaggio delle acque verso gli strati più profondi. Bisogna però segnalare la presenza, all'interno delle stesse formazioni, di strati e lenti di materiale più grossolano. Tali intervalli permeabili non rivestono grande importanza nell'assetto idrogeologico dell'area, in quanto risultano tra loro idraulicamente separati, ma possono essere sede di sacche di acqua in pressione anche con elevata energia potenziale. Inoltre, gli scambi ionici tra le acque fossili e la roccia incassante, specialmente nel caso delle argille gessifere messiniane, possono generare delle matrici liquide caratterizzate da elevati valori di salinità.

Le falde di maggiore interesse sono ospitate dalle unità costituenti i terrazzi marini pleistocenici, che rappresentano quindi il principale acquifero della zona di studio; le unità più antiche, normalmente sono di limitata estensione e scarsamente ricaricate (Figura 5.1).

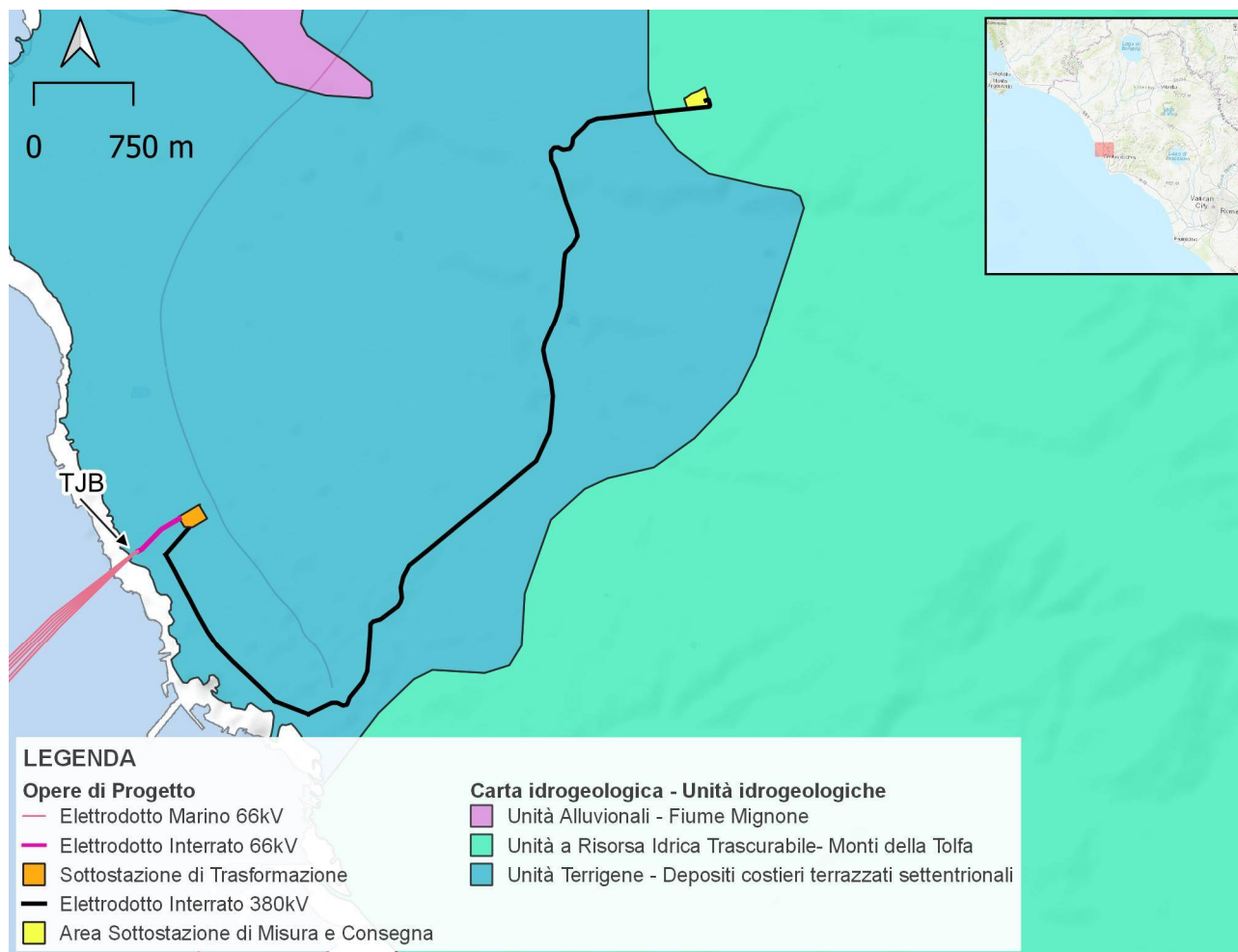


Figura 5.1 – Unità idrogeologica dei depositi terrazzati costieri settentrionali.

Elaborazione iLStudio.

5.2. Acquifero dei terrazzi marini Pleistocenici

L'andamento delle isofreatiche è con linee di flusso ortogonali alla costa; nel complesso, il contributo che le acque sotterranee forniscono al flusso di base dei principali corsi d'acqua risulta essere modesto.

La ricarica di questo acquifero è legata principalmente agli apporti meteorici, essendo molto limitata la possibilità di scambio con le idrostrutture dell'entroterra;

Tutto il tratto in studio si presenta quindi particolarmente scarso di risorse essendo esiguo lo spessore dei sedimenti permeabili che poggiano sul substrato a bassa permeabilità.

5.3. Pozzi censiti dall'Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)

La caratterizzazione idrogeologica dell'area relativa al percorso del cavo interrato è stata indagata mediante l'analisi delle perforazioni effettuate dall'ISPRA e contenute nell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984). A seguire si riportano le schede delle perforazioni individuate nell'intorno del percorso del cavo, indicative sia della successione stratigrafica dell'intera area che delle quote piezometriche delle falde intercettate (Figura 5.2) (Tabella 5.1, Tabella 5.2, Tabella 5.3).

ISPRA-Servizio Geologico d'Italia



Figura 5.2 – Perforazioni utilizzate e contenute nell’Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984).

Elaborazione iLStudio.

Da quanto riportato nelle schede di seguito sintetizzate (Tabella 5.1, Tabella 5.2, Tabella 5.3), nel sottosuolo di Civitavecchia sono presenti più falde sovrapposte.

Considerando singolarmente ogni perforazione risulta che:

nel primo pozzo è stata intercettata una falda che si sviluppa per circa 42,00 m a partire dai 14,00 m al di sopra del livello del mare fino ad una quota di -28,00 m al di sotto del livello del mare.

Nel secondo pozzo sono state intercettate 2 falde: la prima si sviluppa per circa 10 m a partire da 90,00 m s.l.m. fino a 80,00 m sl.m.; la seconda, invece, si sviluppa per circa 25 m a partire da 75,00 m s.l.m. fino a 50,00 m sl.m.

Nel terzo pozzo è stata intercettata una sola falda che si sviluppa per circa 18,00 m a partire dai 76,00 m s.l.m. fino ad una quota di -58,00 m al di sotto del livello del mare.

Probabilmente si tratta di piccole falde, poco estese, confinate nei terreni permeabili cretatico-oligocenici.

In relazione al tipo di intervento previsto, è possibile escludere qualsiasi tipo di interferenza tra opera da realizzare e falde idriche.

Tabella 5.1 – Caratteristiche pozzo 159348.

Dati generali	
Codice:	159348
Regione:	LAZIO
Provincia:	ROMA
Comune:	CIVITAVECCHIA

Dati generali	
Tipologia:	PERFORAZIONE
Opera:	POZZO PER ACQUA
Profondità (m):	50,00
Quota pc slm (m):	22,00
Anno realizzazione:	1997
Numero diametri:	1
Presenza acqua:	SI
Portata massima (l/s):	1,000
Portata esercizio (l/s):	0,500
Numero falde:	1
Numero filtri:	1
Numero piezometrie:	1
Stratigrafia:	SI
Numero strati:	3
Longitudine WGS84 (dd):	11,804900
Latitudine WGS84 (dd):	42,107881
Longitudine WGS84 (dms):	11° 48' 17.64" E
Latitudine WGS84 (dms):	42° 06' 28.38" N

Diametri perforazione

Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	50,00	50,00	260

Falde acquifere.

Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	8,00	50,00	42,00

Misure piezometriche

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
feb/1997	3,50	11,50	8,00	0,50

Stratigrafia.

Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00	ATTUALE	DETRITO DI RIPORTO
2	2,00	5,00	3,00	ATTUALE	ALLUVIONI
3	5,00	50,00	45,00	CRETACICO-OLIGOCENE	MARNE CALCAREE CON SCARSEINTERCALAZIONI PELITICHE. FLYSCHARGILLOSO-CALCAREO

Tabella 5.2 – Caratteristiche pozzo 155686.

Dati generali	
Codice:	155686
Regione:	LAZIO
Provincia:	ROMA
Comune:	CIVITAVECCHIA
Tipologia:	PERFORAZIONE
Opera:	POZZO PER ACQUA

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Studio di compatibilità idrogeologica e idraulica		
Codice documento: C0123CR00COMIDR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 15 di 45

Dati generali	
Profondità (m):	63,00
Quota pc slm (m):	105,00
Anno realizzazione:	2003
Numero diametri:	2
Presenza acqua:	SI
Portata massima (l/s):	2,000
Portata esercizio (l/s):	1,200
Numero falde:	2
Numero filtri:	1
Numero piezometrie:	1
Stratigrafia:	SI
Numero strati:	2
Longitudine WGS84 (dd):	11,813519
Latitudine WGS84 (dd):	42,116489
Longitudine WGS84 (dms):	11° 48' 48.68" E
Latitudine WGS84 (dms):	42° 06' 59.36" N

Diametri perforazione.				
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	63,00	63,00	225

Falde acquifere.			
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	15,00	25,00	10,00
2	30,00	55,00	25,00

Misure piezometriche.				
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
lug/2003	25,00	35,00	10,00	1,600

Stratigrafia.					
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	63,00	62,00		ARGILLE MARNOSE CON STRUTTURASCAGLIOSAALTERNATA IN MODOD RITMICO A LIVELLILITOIDI MARNO-CALCAREI

Tabella 5.3 – Scheda pozzo 159359.

Dati generali	
Codice:	159359
Regione:	LAZIO
Provincia:	ROMA
Comune:	CIVITAVECCHIA
Tipologia:	PERFORAZIONE
Opera:	POZZO PER ACQUA
Profondità (m):	70,00
Quota pc slm (m):	128,00
Anno realizzazione:	1998

Dati generali	
Numero diametri:	1
Presenza acqua:	SI
Portata massima (l/s):	1,500
Portata esercizio (l/s):	1,000
Numero falde:	1
Numero filtri:	1
Numero piezometrie:	1
Stratigrafia:	SI
Numero strati:	3
Longitudine WGS84 (dd):	11,819631
Latitudine WGS84 (dd):	42,127600
Longitudine WGS84 (dms):	11° 49' 10.67" E
Latitudine WGS84 (dms):	42° 07' 39.37" N

Diametri perforazione				
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	70,00	70,00	250

Falde acquifere.			
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	52,00	70,00	18,00

Misure piezometriche.				
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
mar/1998	45,00	50,00	5,00	1,500

Stratigrafia.					
Progr.	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00	ATTUALE	TERRENO ELUVIALE ADAGGREGAZIONE GRUMOSA
2	1,00	8,00	6,00	CRETACEO/OLIGOCENE	FLYSCH ARGILLO-MARNOSO DICOLORE GIALLO OCRA CON LIVELLILITOIDI
3	8,00	70,00	62,00	CRETACEO/OLIGOCENE	FLYSCH MARNOSO CALCAREO GRIGIONOCCIOLA CON LIVELLIPAESINITIZZATI

6. COMPATIBILITÀ IDROLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO VERIFICA AL PAI

Relativamente agli aspetti connessi alla difesa del suolo, l'area interessata dalle opere in progetto ricade nell'ambito territoriale di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - Sede Lazio.

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - Sede Lazio comprende i bacini idrografici di rilievo regionale: in pratica, quasi tutta la fascia costiera del Lazio (esclusi i bacini Tevere e Fiora), i bacini dei Laghi di Bolsena e Bracciano nella parte Nord, la bonifica Pontina nella parte Sud.

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) è lo strumento attraverso il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso che regolamentano la conservazione, la difesa e la valorizzazione del suolo e la prevenzione del rischio idrogeologico, a seconda delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Il Piano è stato approvato con delibera del Consiglio Regionale n.17 del 04/04/2012.

Il documento ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate alla tutela e alla difesa delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture, del suolo e del sottosuolo, nell'ambito del territorio di propria competenza.

Per la parte geomorfologica, il PAI riporta le situazioni di pericolo connesse alla presenza di frane sulla base delle caratteristiche d'intensità dei fenomeni rilevati (volumi e velocità), disciplinando l'uso del territorio nelle aree in frana in relazione a tre classi di pericolo:

- aree a pericolo A: aree a pericolo di frana molto elevato;
- aree a pericolo B: aree a pericolo di frana elevato;
- aree a pericolo C: aree a pericolo di frana lieve.

Con riferimento al progetto presentato, le opere previste dal presente progetto non ricadono in nessuna area a rischio frana (Figura 6.1).

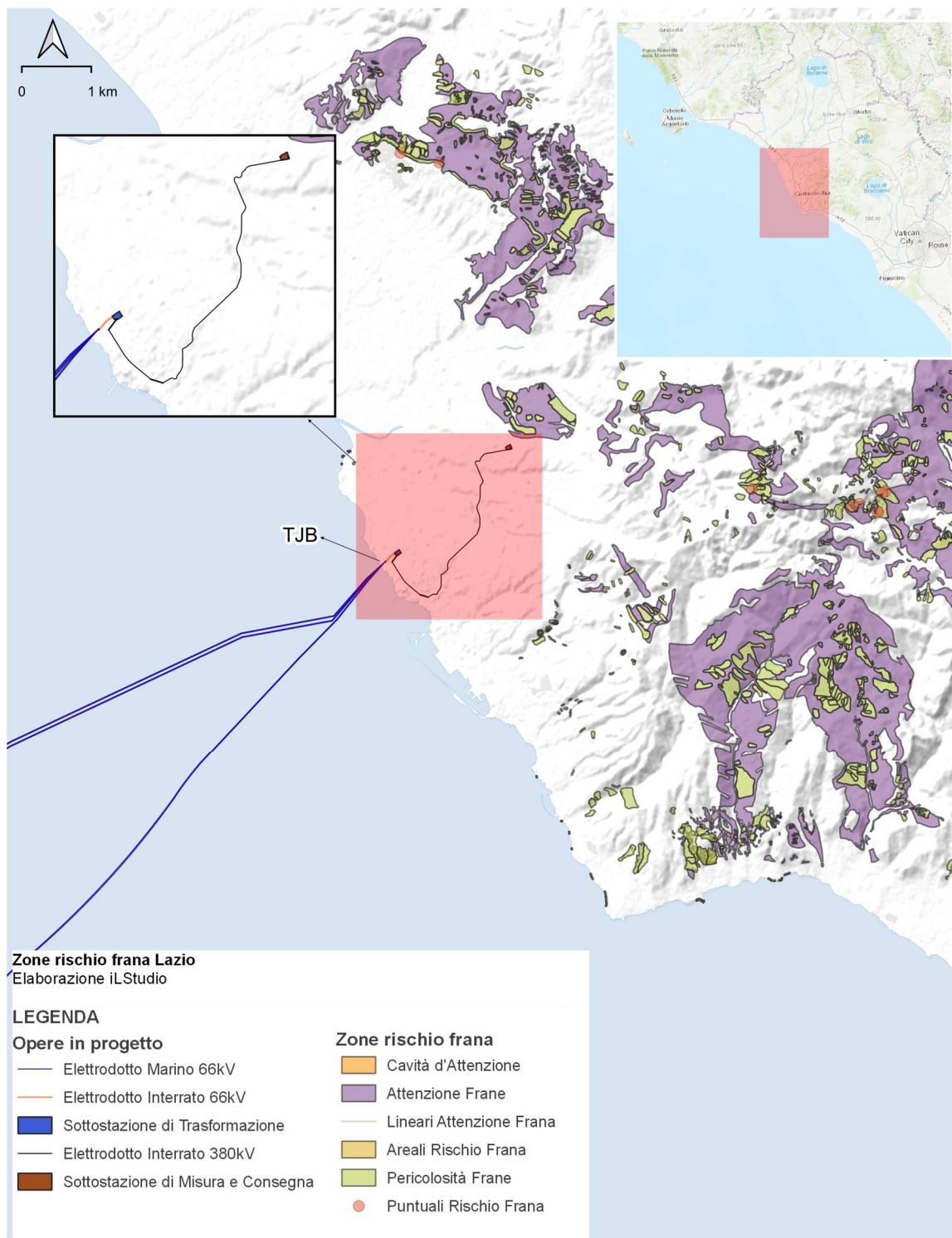


Figura 6.1– Ubicazione opere a terra rispetto rischio frana (PAI).

Elaborazione iLStudio.

Analogamente, per le situazioni di pericolo di inondazione, sulla base dei fenomeni rilevati o attesi, il PAI individua tre classi di pericolosità:

- fasce a pericolosità A: aree ad alta probabilità d'inondazione, a loro volta suddivise in due sub-fasce, quali
 - sub-fasce a pericolosità A1, aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali con dinamiche intense e alti livelli idrici;

- sub-fasce a pericolosità A2, aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite dagli eventi alluvionali con dinamiche graduali e con bassi livelli idrici;
- fasce a pericolosità B: aree a moderata probabilità di inondazione, a loro volta suddivisibili in due sub-fasce, quali
 - sub-fasce a pericolosità B1, aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali con dinamiche intense e alti livelli idrici;
 - sub-fasce a pericolosità B2, aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite dagli eventi alluvionali con dinamiche graduali e con bassi livelli idrici;
- fasce a pericolosità C: aree a bassa probabilità di inondazione.

Le opere previste dal presente progetto non ricadono in nessuna area a rischio inondazione (Figura 6.2).

Il rischio idrogeologico viene definito dall'entità attesa di perdite di vite umane, feriti, danni a proprietà, interruzione di attività economiche, in conseguenza del verificarsi di frane o inondazioni. Le situazioni di rischio vengono raggruppate in due categorie: rischio di frana e rischio d'inondazione, e per ciascuna categoria di rischio sono definiti tre livelli:

- *rischio molto elevato (R4), quando esistono condizioni che determinano la possibilità di perdita di vite umane o lesioni gravi alle persone, danni gravi e collasso di edifici o infrastrutture, danni gravi ad attività socio-economiche;*
- *rischio elevato (R3), quando esiste la possibilità di danni a persone o beni, di danni funzionali ad edifici ed infrastrutture che ne comportino l'inagibilità, di interruzione di attività socio-economiche;*
- *rischio lieve (R2), quando esistono condizioni che determinano la possibilità di danni agli edifici e alle infrastrutture senza pregiudizio diretto per l'incolumità delle persone e senza comprometterne l'agibilità.*

Con riguardo al progetto presentato, non vi sono opere che ricadono in area a rischio idrogeologico (Figura 6.2).

Le aree di attenzione sono quelle porzioni del territorio in cui i dati disponibili indicano la presenza di potenziali condizioni di pericolo, la cui effettiva sussistenza e gravità potrà essere quantificata a seguito di studi, rilievi ed indagini di dettaglio. Sono individuate:

- aree d'attenzione geomorfologica;
- aree d'attenzione per pericolo d'inondazione.

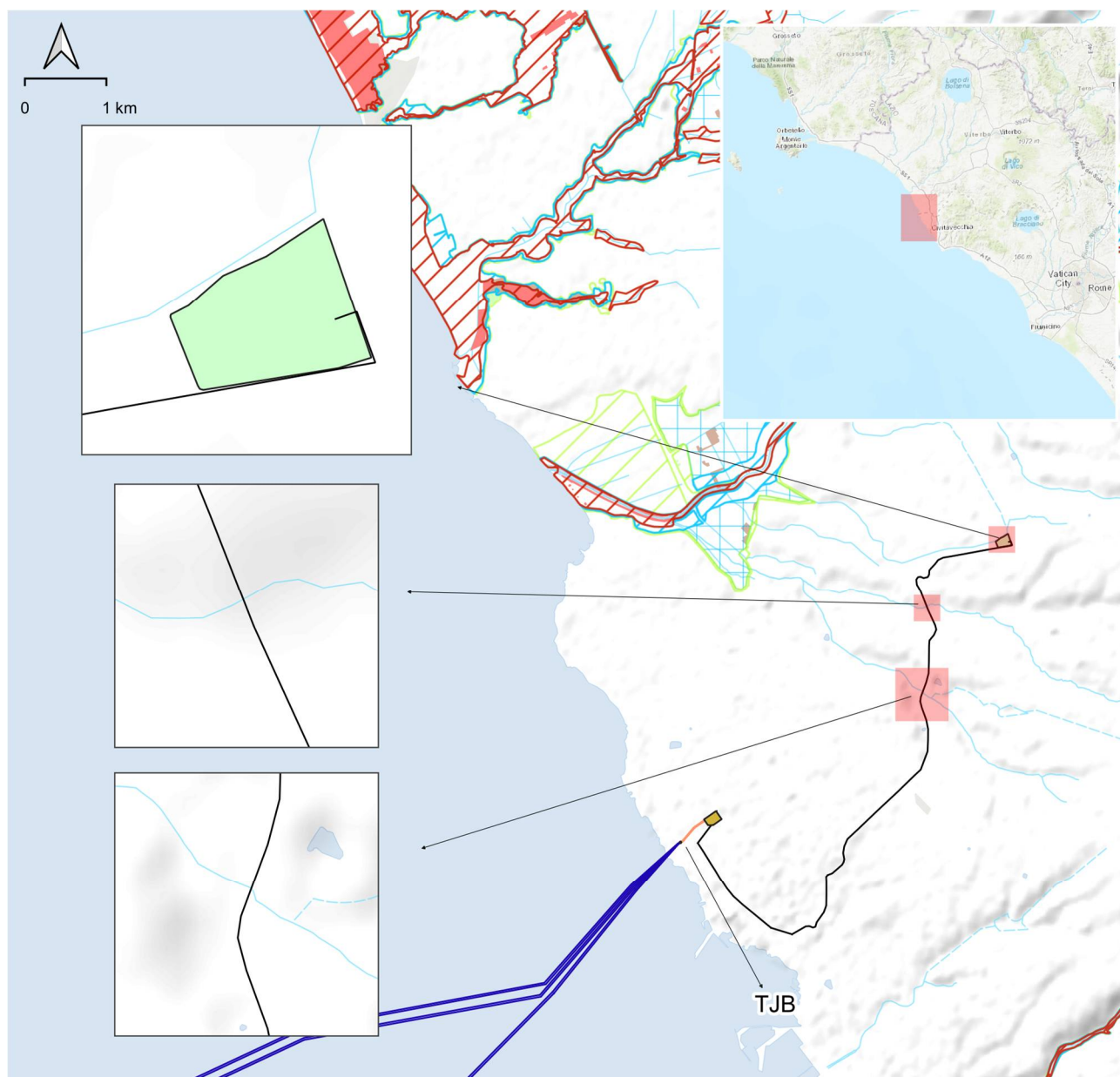
L'elettrodotta interrata ricade in due aree di attenzione per pericolo d'inondazione lungo i corsi d'acqua principali (elenco delle acque di cui T.U. 1775/33, D.G.R. n° 452 del 01/04/05), i quali, secondo l'art. 9 lett. b) del PAI (Figura 6.2), sono delimitati dall'intersezione tra il terreno e una retta orizzontale tracciata normalmente all'asse dell'alveo ordinario a una quota superiore di 10 metri dal livello di magra, a una distanza comunque non superiore a 150 metri dalle sponde dell'alveo ordinario.

Le restanti opere non ricadono in nessun vincolo per rischio/pericolo inondazione.

Le aree d'attenzione idraulica per pericolo d'inondazione sono regolamentate dall'art. 27 comma 4 (*"Disciplina delle aree d'attenzione idraulica"*) del PAI, secondo il quale *"ogni determinazione relativa ad eventuali interventi è subordinata alla redazione di un adeguato studio idraulico rispondente ai requisiti minimi stabiliti dal Piano medesimo, sulla cui base l'Autorità accerta il livello di pericolosità sussistente nell'area interessata dall'intervento ed aggiorna conseguentemente la perimetrazione delle aree a pericolo d'inondazione. Saranno, quindi, ammissibili i soli interventi consentiti in relazione all'accertato livello di pericolosità dell'area, secondo quanto disciplinato dagli articoli 23, 23bis, 24, 25 e 26"*.

La procedura per effettuare uno studio idraulico rispondente ai requisiti minimi stabiliti dal PAI è riportata

nell'allegato 8 del PAI "Procedura per l'individuazione, la delimitazione e la valutazione della pericolosità per inondazione".



PAI Lazio
Elaborazione iLStudio

LEGENDA

Opere in progetto

- Elettrodotto Marino 66kV
- Elettrodotto Interrato 66kV
- Sottostazione di Trasformazione
- Elettrodotto Interrato 380kV
- Sottostazione di Misura e Consegna

Aree d'attenzione idraulica

- Corsi d'acqua principali classificati pubblici (artt. 9 e 27)
- Altri corsi d'acqua principali (artt. 9 e 27)

Aree pericolo d'inondazione

- ▨ A1
- ▨ B1
- ▨ B2
- ▨ C

Aree a rischio idrogeologico

- R4
- R3
- R2

Figura 6.2 – Ubicazione opere a terra rispetto le perimetrazioni PAI.

Elaborazione iLStudio.

Pertanto, come si evince dalle relazioni tecniche di progetto, per le interferenze sia con gli impluvi cartografati, sia gli impluvi non cartografati che con le aree sottoposte a perimetrazione idraulica si potrebbe prevedere la realizzazione di una Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) dove non sarà possibile realizzare lo scavo in maniera classica o agganciarsi alle infrastrutture esistenti (ponti, cavalcavia, ecc.).

La trivellazione orizzontale controllata (TOC) è una tecnica di trivellazione con controllo attivo della traiettoria, per la posa di infrastrutture sotterranee senza scavo che permette la posa di tubazioni flessibili al di sotto di strade, ferrovie, fiumi etc. (Figura 6.3).

Si rimanda al Capitolo 12 per maggiori dettagli sulle modalità di esecuzione della TOC.

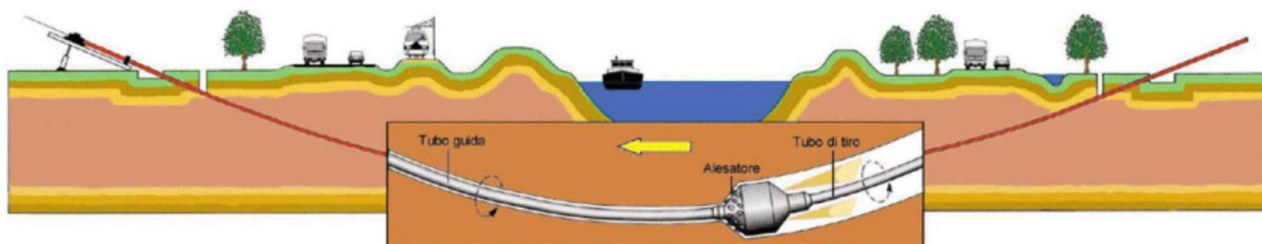


Figura 6.3 – Rappresentazione schematica di una TOC.

7. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area oggetto del presente studio riguarda una porzione dei territori dei comuni di Civitavecchia e Tarquinia. Idrograficamente, il sito è ubicato a cavallo di tre bacini idrografici relativi a due immissari del fiume Mignone, a nord il "Fosso della vite" e il "Fosso della Cava di Gesso", e da un terzo impluvio privo di denominazione ufficiale. Si tratta di un piccolo impluvio, lungo poco più di un chilometro che sfocia nel Tirreno e interseca il cavidotto a pochi metri dalla costa. Dallo stralcio corografico si è determinato ciascun bacino idrografico (Figura 7.1), che sono risultati essere pari rispettivamente a:

- bacino sotteso dal Fosso della vite: 12,52 km² ;
- bacino sotteso dal Fosso della Cava di Gesso: 6,25 km²;
- bacino sotteso dal corso d'acqua privo di denominazione: 0,47 km².

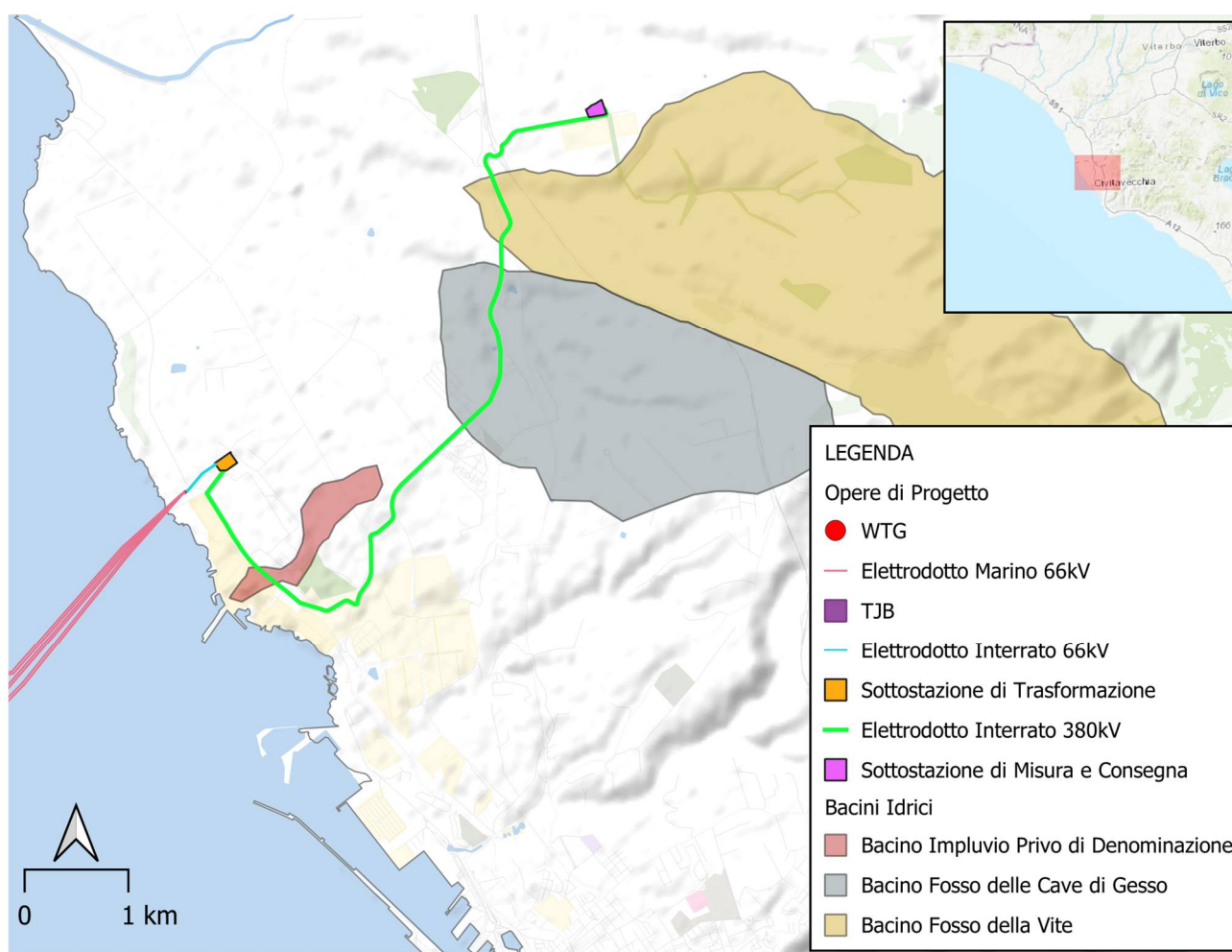


Figura 7.1 – Bacini idrografici calcolati sullo stralcio corografico nei pressi dell'area di interesse.

Elaborazione iLStudio.

Al fine di stimare la precipitazione media locale è possibile ricavare degli ietogrammi di pioggia, applicando un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato che, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, consente di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia.

In questa sezione vengono definite le caratteristiche pluviometriche di ingresso per la definizione della relativa portata. Lo studio delle precipitazioni è utile per la definizione della curva di probabilità pluviometrica di progetto, allo scopo si è utilizzata la regionalizzazione VAPI condotta sull'Italia centrale dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, che fa riferimento alla distribuzione di probabilità TCEV.

8. UTILIZZO DELLA DISTRIBUZIONE TCEV

L'adozione della legge TCEV è stata introdotta a seguito della constatazione del fatto che in numerosi pluviometri si sono registrati alcuni eventi assolutamente straordinari, la cui intensità supera di gran lunga le intensità inferiori di pari durata. Tali eventi sono indicati nella letteratura anglosassone come outliers.

La distribuzione TCEV definisce la probabilità di non superamento di una mistura di due popolazioni di eventi definite come componente bassa, che include gli eventi che potremmo chiamare ordinari, e componente alta che include gli eventi che potremmo considerare straordinari, di cui fanno parte gli eventuali outliers.

La distribuzione TCEV si esprime:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}} \quad (2.1.01)$$

Dove:

- X è la variabile, x è un generico valore di X e i parametri indicano:
- Λ_1 e Λ_2 il valore atteso del numero degli eventi che nell'intervallo di tempo unitario, in questo caso l'anno, che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta;
- Θ_1 e Θ_2 il valore atteso dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta, in cui è ovviamente: $\Theta_1 > \Theta_2$

La TCEV può essere messa nella forma:

$$P_X(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} - e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)}} \quad (2.1.02)$$

avendo posto:

$$\alpha_1 = \frac{\Lambda_1}{\Theta_1}, \quad \alpha_2 = \frac{\Lambda_2}{\Theta_2}, \quad \varepsilon_1 = \frac{\ln \Lambda_1}{\alpha_1} = \Theta_1 \ln \Lambda_1, \quad \varepsilon_2 = \frac{\ln \Lambda_2}{\alpha_2} = \Theta_2 \ln \Lambda_2 \quad (2.1.03)$$

Derivando la (2.1.01) rispetto a x si ottiene la densità di probabilità della TCEV:

$$p_X(x) = \left(\frac{\Lambda_1}{\Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_1}} + \frac{\Lambda_2}{\Theta_2} e^{-\frac{x}{\Theta_2}} \right) \cdot e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}} \quad (2.1.04)$$

Sostituzione dei parametri Θ_2 e Λ_2

Ponendo:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad (2.1.06)$$

$$\Lambda^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}} \quad (2.1.07)$$

la (2.1.01) diventa:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}}} - \Lambda_2 \Lambda_1^{\Lambda_2 / \Theta_2} e^{-\frac{x}{\Theta_2 \Theta_1}} \quad (2.1.08)$$

Si osservi che è sempre: per la (2.1.02): $\Theta^* > 1$ poiché è $\Lambda_1 > 0$ e $\Lambda_2 > 0$: $\Lambda^* > 0$

8.1. Stima regionale dei parametri della TCEV

Nel caso delle piogge intense il numero degli eventi straordinari registrati da un singolo pluviometro è molto basso, e ciò rende impossibile una stima efficace dei parametri della componente alta facendo riferimento alle singole serie di osservazioni. È necessario quindi far ricorso a metodi regionali, in modo da utilizzare per la stima dei parametri tutte le osservazioni di una regione pluviometricamente omogenea. Il concetto di omogeneità pluviometrica risulterà definito dal modo in cui si sviluppa la procedura di regionalizzazione.

Con regionalizzazione delle variabili X_i ($i = 1 \dots n$) s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Nel caso di variabili distribuite sul territorio, come le piogge, si richiede generalmente che tali raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici.

Secondo la procedura proposta da Versace e al. (1989) vengono considerati tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello regioni omogenee rispetto ai parametri Λ^* e Θ^* , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al coefficiente di asimmetria;
- al secondo livello zone omogenee anche rispetto al parametro Λ_1 , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al coefficiente di variazione;
- al terzo livello sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro Θ_1 – e quindi della media - da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti).

Si procede come segue:

a) al primo livello di regionalizzazione:

- 1) in base ai valori dei coefficienti di asimmetria empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle regioni omogenee;
- 2) in ciascuna regione viene eseguita la stima dei parametri Λ^* e Θ^* con il metodo proposto da Fiorentino e Gabriele (1985), applicando il criterio della massima verosimiglianza a tutte le variabili che ricadono in essa;
- 3) con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività α , del coefficiente di asimmetria, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le regioni individuate;
- 4) se tale condizione non è soddisfatta, si modificano le regioni e si riprende la procedura.

b) al secondo livello di regionalizzazione, avendo fissato i valori di Λ^* e Θ^* determinati al primo livello:

- 1) in base ai valori dei coefficienti di variazione empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle zone omogenee;
- 2) si stimano con il criterio della massima verosimiglianza i parametri Λ_1 , relativi a ciascuna stazione;
- 3) si determinano i coefficienti di variazione della componente base di ciascuna stazione tramite la:

$$\gamma_{1,i} = \frac{1,2825}{\ln \Lambda_{1,i} + 0,57722} \quad (2.1.13)$$

- 4) in ciascuna zona omogenea si calcola il coefficiente di variazione della zona γ_1 come media dei $\gamma_{1,i}$ relativi a quella zona;
- 5) per ciascuna zona omogenea si calcola la stima di Θ_1 introducendo γ_1 nella (2.1.13);
- 6) con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività α ,

- del coefficiente di variazione, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le zone individuate;
- 7) se questa condizione non è soddisfatta, si modificano le zone e si riprende la procedura.
- c) al terzo livello di regionalizzazione, avendo fissato i valori di Λ^* , Θ^* e Λ_1 determinati ai precedenti livelli, per cui risulta fissato il parametro β :
- 1) s'individuano, in prima approssimazione, in base all'andamento della media con la quota z , le sottozone omogenee;
 - 2) s'interpolano gli andamenti di $\mu(z)$ con la legge prescelta, e si verifica l'adattamento;
 - 3) se l'adattamento non risulta soddisfacente, si modificano le sottozone e si riprende la procedura.

In questa relazione si fa riferimento alla regionalizzazione delle piogge intense svolta nell'ambito del progetto VAPI su un'ampia fascia dell'Italia Centrale, comprendente tra l'altro, tutti i bacini del Compartimento di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, ossia il bacino del Tevere e i bacini minori con foce lungo il litorale del Lazio (Guido Calenda, 1996).

Per la regionalizzazione si è utilizzato un criterio geografico, ed è sempre stato possibile conservare la continuità territoriale delle aree omogenee.

Ricordando la (1.04) la distribuzione di probabilità del massimo giornaliero si scrive:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1 e^{-\left(\frac{h_d}{\mu h_d}\right)^\beta}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\left(\frac{h_d}{\Theta_* \mu h_d}\right)^\beta} \quad (2.1.14)$$

dove con μ_{hd} si è indicata il valore medio delle massime altezze giornaliere.

8.1.1. Primo livello di regionalizzazione

Al primo livello di regionalizzazione si è dovuta respingere l'ipotesi di un'unica regione omogenea rispetto al coefficiente d'asimmetria, che non è risultata accettabile. Il territorio è stato quindi suddiviso in tre regioni omogenee, che si potrebbero definire: regione tirrenica (regione A, con 154 stazioni), regione appenninica (regione B, con 353 stazioni) e regione adriatica (regione C, con 120 stazioni).

I valori regionali dei parametri Λ^* e Θ^* sono riportati nella Tabella 8.1.

Tabella 8.1 – Parametri del primo livello di regionalizzazione.

regione	Λ^*	Θ^*
A	0,174	3,490
B	0,762	1,241
C	0,795	2,402

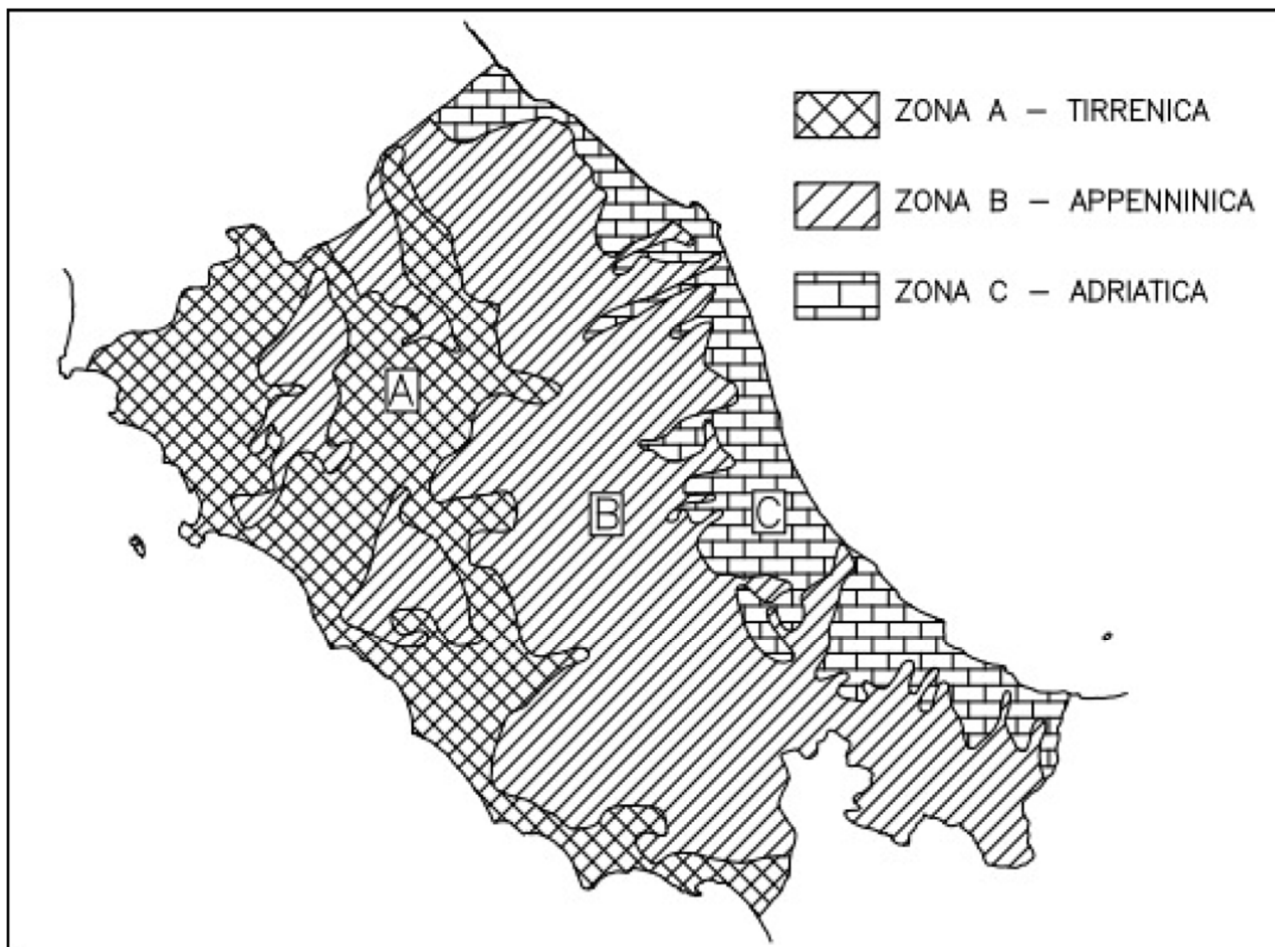


Figura 8.1 – Le tre regioni omogenee.

8.1.2. Secondo livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione sono state considerate le stesse tre regioni individuate al primo livello. L'ipotesi che ciascuna fosse omogenea anche rispetto al coefficiente di variazione è risultata accettabile.

I valori regionali dei parametri Λ_1 e β sono riportati nella Tabella 8.2.

Tabella 8.2 – Parametri al secondo livello di regionalizzazione.

regione = zona	A	B	C
Λ_1	29,314	22,017	27,806
β	5,056	4,359	5,301

8.1.3. Terzo livello di regionalizzazione

Al terzo livello di regionalizzazione si è ipotizzato che la media dell'altezza giornaliera μ_{hd} dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

$$\mu_{hd} = cz + d \quad (2.1.15)$$

Sono state individuate 78 sottozone in cui i parametri della regressione e il coefficiente di correlazione assumono i valori indicati nella Tabella 8.3.

Tabella 8.3 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita kT per le piogge giornaliere, per alcuni Tr.

Tr (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	300	500	1000
KT (SZO A)	0.89	1.22	1.49	1.84	1.97	2.29	2.45	2.98	3.52	3.84	4.23	4.77
KT (SZO B)	0.96	1.25	1.45	1.64	1.70	1.83	1.89	2.07	2.26	2.39	2.51	2.70
KT (SZO C)	0.90	1.29	1.59	1.90	2.01	2.22	2.32	2.64	2.96	3.14	3.38	3.70

8.2. Piogge di massima intensità e breve durata

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata si è adottata quindi la legge intensità-durata-frequenza a tre parametri:

$$i_t(T) = \frac{\alpha(T)}{(b+t)^m} \quad (2.1.16)$$

Dove:

- T è il tempo di ritorno,
- b è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t, sia dal tempo di ritorno T,
- m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno,
- $\alpha(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La (2.1.16) può essere messa nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (2.1.17)$$

dove $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T. La media di i_t risulta allora:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (2.1.18)$$

Dove:

- μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Sono state assunte le seguenti ipotesi:

- a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} :

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \mu_{id} \quad (2.1.19)$$

dove il coefficiente di proporzionalità, costante su tutta l'area esaminata, vale $\delta = 1,15$;

- b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di Roma (Macao):

$$r = \frac{\mu_{45'}}{\mu_{41}} = \left(\frac{b+1}{b+0,0833} \right)^m = 3,36$$

Ricavando b:

$$b = \frac{1 - 0,0833r^{1/m}}{r^{1/m} - 1} \quad (2.1.20)$$

- c) l'esponente m e il parametro di trasformazione temporale b sono indipendenti dal tempo di ritorno T, in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno;
d) l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}} \quad (2.1.21)$$

L'ipotesi a) è confermata con buona approssimazione dall'esame dei rapporti δ di tutte le stazioni della area studiata. Da essa discende che anche per μ_{i24} vale una relazione lineare con la quota:

$$\mu_{i24} = \delta \frac{cz + d}{24} \quad (2.1.22)$$

L'ipotesi b) è suffragata da ricerche condotte su scala mondiale da diversi autori (Calenda & et alii, 1992). Da essa si può ricavare il valore del parametro di trasformazione temporale b per ciascuna stazione.

L'ipotesi c) è confermata con buona approssimazione dall'analisi delle curve di caso critico empiriche.

L'ipotesi d) è stata dedotta dai dati, anche se il numero molto ridotto delle stazioni pluviografiche presenti in ciascuna sottozona non autorizza conclusioni definitive.

Dalla (2.1.21), tenuto conto della (2.1.22), si ricava:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{i24}(z)}{\bar{\mu}_{i24}} = \frac{\delta(cz + d)}{24\bar{\mu}_{i24}} \quad (2.1.23)$$

da cui:

$$\mu_{i0}(z) = \frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}} \delta \frac{(cz + d)}{24} \quad (2.1.24)$$

Dalla (2.04') si ottiene:

$$\mu_{i0}(z) = \mu_{i24}(z) \left(\frac{b + 24}{b} \right)^m \quad (2.1.25)$$

Per cui, uguagliando la (2.1.24) alla (2.1.25), ricavando m e ricordando la (2.1.22) si ottiene:

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}}\right)}{\ln\left(\frac{b + 24}{b}\right)}$$

che sostituendo secondo la (2.1.24) diventa:

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}}\right)}{\ln\left[1 + \frac{24(r^{1/m} - 1)}{1 - 0,0833r^{1/m}}\right]} \quad (2.1.26)$$

che costituisce un'equazione implicita, la cui soluzione fornisce il valore di m. Sostituendo a sua volta questo nella (2.1.20) si ottiene b.

I valori regionali dei parametri b, m e μ_{i0}/μ_{i24} che compaiono nella (2.12) sono riportati nella Tabella 8.4. È ovviamente:

$$\frac{h_d}{\mu_{hd}} = \frac{\delta h_{24}}{\delta \mu_{h24}} = \frac{i_0 \left(\frac{b}{b+24}\right)^m 24}{\mu_{i0} \left(\frac{b}{b+24}\right)^m 24} = \frac{i_0}{\mu_{i0}} \quad (2.1.27)$$

che sostituito nella (2.01) dà la distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia istantanea:

$$P(i_0) = e^{-\Lambda_1} e^{-\left(\frac{i_0}{\mu_{i0}}\right)^\beta} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{-\left(\frac{i_0}{\Theta^* \mu_{i0}}\right)^\beta} \quad (2.1.28)$$

Sostituendo ancora nella (2.14) i_0 secondo la (2.04) si ottiene la distribuzione di probabilità dell'intensità it relativa alla durata t generica:

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_1} e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta^* \mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]} \quad (2.15)$$

dove z è la quota del punto, $\mu_{i0}(z)$ è dato dalla (2.1.25), m si ricava dalla (2.1.26), b dalla (2.1.20), e i parametri Λ^* , Θ^* , Λ_1 e β sono dati dalla procedura TCEV.

Tabella 8.4 – Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF.

Sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{10}/μ_{24}	sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{10}/μ_{24}
A1	0,1660	0,7810	4,890	B19	0,1135	0,6951	4,148
A2	0,1528	0,7597	4,683	B20	0,1170	0,7010	4,190
A3	0,1454	0,7478	4,574	B21	0,1585	0,7690	4,772
A4	0,1705	0,7881	4,962	B22	0,1101	0,6895	4,108
A5	0,1621	0,7748	4,828	B23	0,1398	0,7387	4,494
A6	0,1137	0,6955	4,150	B24	0,1040	0,6792	4,038
A7	0,1054	0,6816	4,054	B25	0,0986	0,6700	3,980
A8	0,1323	0,7263	4,389	B26	0,0908	0,6565	3,902
A9	0,1502	0,7555	4,645	B27	0,1366	0,7335	4,449
A10	0,1415	0,7415	4,518	B28	0,1168	0,7007	4,188
A11	0,1744	0,7943	5,026	B29	0,0895	0,6542	3,889
A12	0,1251	0,7145	4,293	B30	0,1222	0,7097	4,256
A13	0,1484	0,7526	4,618	B31	0,0902	0,6555	3,896
A14	0,1521	0,7586	4,673	B32	0,1071	0,6844	4,073
A15	0,1326	0,7269	4,393	B33	0,0806	0,6389	3,813
A16	0,1427	0,7434	4,535	B34	0,0940	0,6620	3,933
A17	0,1728	0,7917	5,000	B35	0,0977	0,6684	3,971
A18	0,1498	0,7549	4,639	B36	0,1434	0,7446	4,545
A19	0,1729	0,7919	5,002	B37	0,1141	0,6962	4,156
A20	0,1456	0,7482	4,577	B38	0,1670	0,7826	4,906
A21	0,1437	0,7450	4,549	B39	0,0971	0,6674	3,965
B1	0,1168	0,7006	4,188	B40	0,1136	0,6953	4,149
B2	0,1603	0,7718	4,799	B41	0,1673	0,7830	4,911
B3	0,1252	0,7146	4,294	B42	0,1279	0,7190	4,329
B4	0,1015	0,6748	4,010	C1	0,1408	0,7403	4,508
B5	0,1302	0,7230	4,361	C2	0,1107	0,6905	4,115
B6	0,1354	0,7314	4,431	C3	0,1156	0,6986	4,173
B7	0,1275	0,7185	4,325	C4	0,1123	0,6932	4,134
B8	0,1768	0,7981	5,066	C5	0,1281	0,7195	4,333
B9	0,1455	0,7479	4,575	C6	0,0957	0,6650	3,950
B10	0,1136	0,6953	4,149	C7	0,1129	0,6942	4,141
B11	0,1035	0,6782	4,032	C8	0,1001	0,6725	3,996
B12	0,1097	0,6887	4,102	C9	0,1076	0,6852	4,079
B13	0,0685	0,6173	3,730	C10	0,1034	0,6781	4,031
B14	0,1380	0,7357	4,468	C11	0,1101	0,6895	4,108
B15	0,1048	0,6804	4,047	C12	0,1100	0,6894	4,107
B16	0,1051	0,6811	4,051	C13	0,0821	0,6414	3,825
B17	0,0889	0,6532	3,884	C14	0,0897	0,6547	3,892
B18	0,1167	0,7005	4,187	C15	0,0863	0,6488	3,861

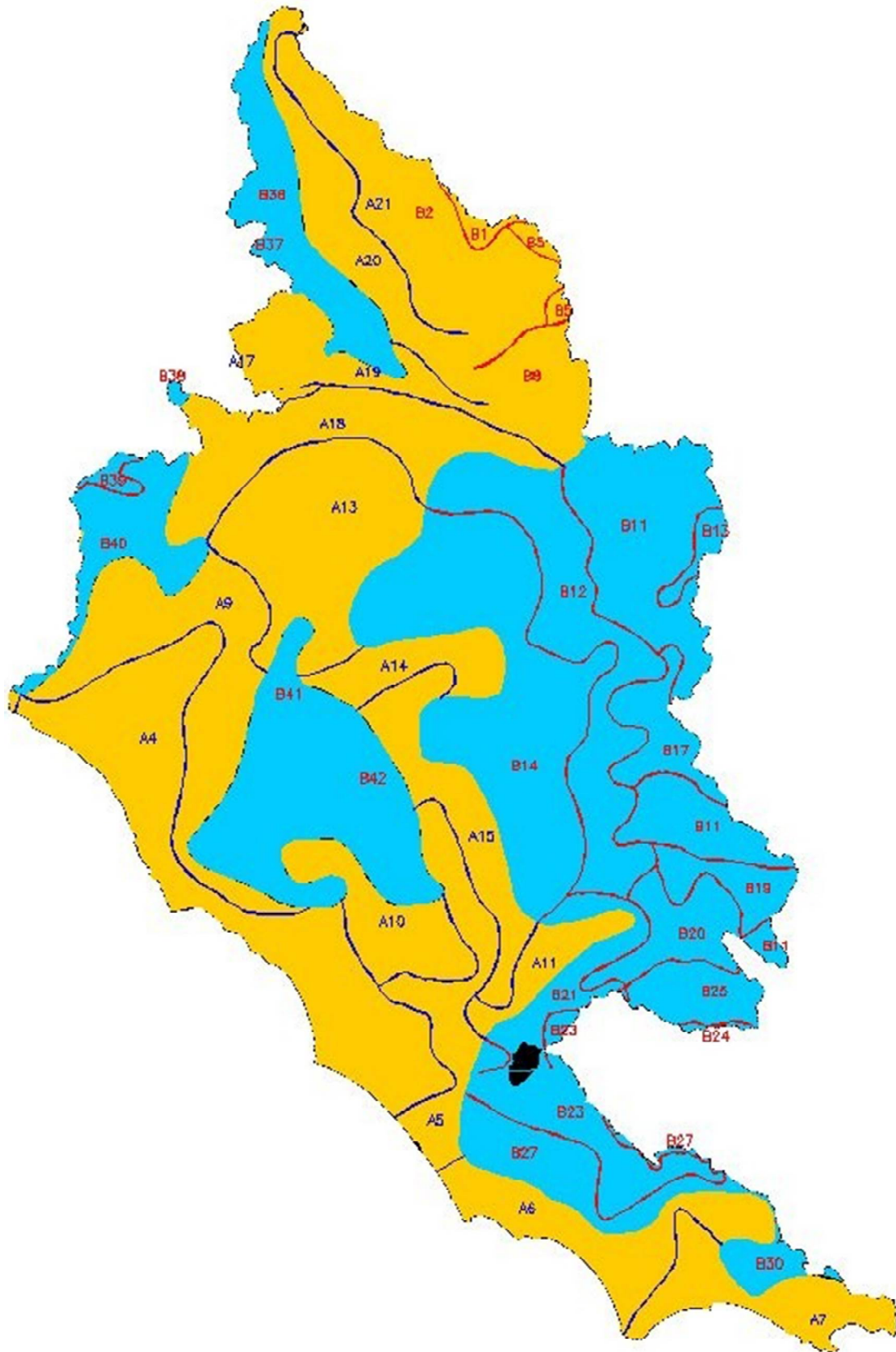


Figura 8.2 – APO (Aree Pluviometriche Omogenee) del III livello di regionalizzazione.

Studio di compatibilità idrogeologica e idraulica

Sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)	Sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)
A1	10	0.01892	55.64	B19	6	0.01418	36.02
A2	8	0.02785	59.22	B20	5	0.01098	57.23
A3	9	0.02738	64.43	B21	6	0.15691	16.83
A4	13	0.03390	67.67	B22	7	0.01890	76.65
A5	7	0.03031	60.09	B23	5	0.04972	60.54
A6	8	0.13518	66.15	B24	7	0.07960	30.38
A7	7	0.03582	67.72	B25	10	0.02089	64.28
A8	16	0.01680	62.79	B26	9	0.13532	-48.29
A9	7	0.02671	61.61	B27	5	0.05786	67.35
A10	5	0.06301	67.83	B28	12	0.03599	63.48
A11	3	0.07624	41.70	B29	5	0.03152	87.30
A12	6	0.01510	72.77	B30	4	0.05066	68.93
A13	9	0.02714	50.42	B31	11	0.00116	60.07
A14	4	0.02517	62.33	B32	7	0.04004	27.64
A15	4	0.03647	68.78	B33	6	0.01264	54.93
A16	4	0.02592	52.00	B34	4	0.25615	-85.09
A17	7	0.10165	15.14	B35	5	0.07432	15.64
A18	11	0.02208	58.80	B36	7	0.05270	40.46
A19	5	0.03408	41.11	B37	2	0.03513	33.42
A20	7	0.03637	49.62	B38	10	0.01874	40.79
A21	4	0.02854	43.38	B39	4	0.04514	38.13
B1	13	0.03028	43.52	B40	8	0.04250	58.21
B2	5	0.02250	42.59	B41	4	0.08894	34.37
B3	11	0.03478	49.18	B42	9	0.02237	71.20
B4	10	0.02747	62.61	C1	19	0.00482	57.46
B5	13	0.03136	53.96	C2	34	0.02822	64.04
B6	6	0.03764	44.54	C3	8	0.05900	42.12
B7	9	0.01863	49.36	C4	5	0.06381	49.63
B8	4	0.02219	50.91	C5	6	0.01574	61.16
B9	16	0.04546	46.32	C6	5	0.01374	58.39
B10	9	0.04145	37.12	C7	5	0.00985	62.40
B11	44	0.02300	35.60	C8	7	0.07690	50.19
B12	13	0.04292	45.49	C9	6	0.02767	51.23
B13	2	0.01793	20.47	C10	7	0.11377	38.98
B14	13	0.05343	55.04	C11	5	0.02573	57.44
B15	6	0.00153	69.69	C12	4	0.02395	44.17
B16	12	0.02565	22.88	C13	3	0.04634	-5.21
B17	5	0.00722	64.41	C14	4	0.03330	32.01
B18	3	0.00128	62.43	C15	4	0.00655	57.57

Tabella 8.5 – I livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota.

9. RISULTATI

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi, che verrà esposto nei seguenti paragrafi, utilizza idrogrammi sintetici uniformi di durata pari al tempo di concentrazione o corrivazione del bacino.

Gli ietogrammi sono stati ricavati dalla regionalizzazione descritta nel capitolo precedente.

Per l'area in esame è stata determinata la zona omogenea di appartenenza e quindi la relativa sottozona; in particolare:

- I e II livello di regionalizzazione A
- III livello di regionalizzazione A4

Tabella 9.1 – Parametri relativi alla zona omogenea di appartenenza e quindi la relativa sottozona

regione	Λ^*	Θ^*	$\Lambda 1$	β
A	0,174	3,490	29,314	5,056

Tabella 9.2 – Parametri bacino Fosso della Vite.

sottozona	c [mm/m]	d[mm]	b[h]	m	$\mu 0/\mu 24$	δ	Z (450+19)/2 m s.l.m.
A4	0,03390	67,67	0,1705	0,7881	4,962	1,15	234

Tabella 9.3 – Parametri bacino Fosso delle Cave di Gesso.

sottozona	c [mm/m]	d[mm]	b[h]	m	$\mu 0/\mu 24$	δ	Z (217+19)/2 m s.l.m.
A4	0,03390	67,67	0,1705	0,7881	4,962	1,15	118

Tabella 9.4 – Parametri bacino impluvio privo di denominazione.

sottozona	c [mm/m]	d[mm]	b[h]	m	$\mu 0/\mu 24$	δ	Z (53+0)/2 m s.l.m.
A4	0,03390	67,67	0,1705	0,7881	4,962	1,15	26,5

10. PORTATE DI PROGETTO

Lo studio idraulico condotto è basato caratteristiche idrologiche e geomorfologiche del bacino in esame; le precipitazioni di progetto sono ricavate come visto a partire dalla regionalizzazione VAPI.

10.1. Modellazione afflussi-deflussi

Si è scelto per la determinazione delle portate di progetto un semplice modello di trasformazione afflussi-deflussi di tipo concentrato, basato sulla formula razionale:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b)$$

in cui:

- T è il tempo di ritorno medio, in anni,
- Q(T) è la massima portata al colmo dell'anno relativa al tempo di ritorno T, in m³/s,
- A_b è l'area del bacino, in km²,
- τ_b = t_c è il tempo di corrivazione, in h, parametro che regola la concentrazione dei deflussi,
- i(τ_b, T) è l'intensità di pioggia di durata τ_b con tempo di ritorno T, in mm/h,
- φ(T) è il coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno T, parametro che rappresenta le perdite idrologiche,
- r(A_b, τ_b) è il coefficiente di ragguglio all'area delle piogge.

10.1.1. Ietogrammi sintetici

Il modello utilizza ietogrammi sintetici uniformi di durata pari al tempo di concentrazione del bacino. Gli ietogrammi sono stati ricavati dalla regionalizzazione illustrata nel capitolo 3. Per i parametri delle leggi di probabilità pluviometrica che dipendono dalla quota del suolo sono state utilizzate le quote medie dei bacini.

Per il coefficiente di ragguglio all'area si è fatto riferimento alla elaborazione dell'U.S. Weather Bureau [1958], rappresentata sotto forma di grafico nei principali manuali d'idrologia [Chow, 1964; Chow et alii, 1988]. Il grafico è stato interpolato da Eagleson [1972] con la relazione:

$$r = 1 - e^{-1,18 \cdot 0,25} + e^{-1,18 \cdot 0,25 - 0,00386 \cdot A}$$

Per il coefficiente di ragguglio data la limitata estensione del bacino si è adottato a favore di sicurezza un valore unitario.

10.1.2. Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione del bacino è stato stimato tramite la formula di Giandotti

$$\tau_b = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5L_b}{0,8\sqrt{y_m}}$$

con:

- L_b lunghezza dell'asta principale del bacino (km)
- A_b area bacino (kmq)
- y_m altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Per la determinazione del tempo di corrivazione t_c sono state utilizzate più formulazione presenti in letteratura, in particolare si è cercato di impiegare quelle formulazioni che sono state determinate considerando piccoli bacini e che quindi meglio si adattano a stimare tale parametro per il bacino in esame.

La maniera più semplice di calcolare il tempo di corrivazione t_c , adottabile per piccoli bacini, è quella di individuare la lunghezza L del percorso idraulicamente più lungo che deve seguire la particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura e stabilire una velocità media di trasferimento V della particella nel suddetto percorso:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

Molto utilizzata per il calcolo del tempo di corrivazione dei piccoli bacini è la formula proposta da Kirpich (Chow, 1960):

$$t_c = \frac{L^{1.155}}{d^{0.385}}$$

in cui t_c è espresso in ore, L è la lunghezza dell'asta principale a partire dallo spartiacque espressa in km e d è il dislivello dell'asta principale espresso in m.

Pezzoli ha proposto la seguente espressione del tempo di corrivazione dedotta sulla base di misure relative ad alcuni piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

In cui i_a rappresenta la pendenza media dell'asta principale.

La stessa forma analitica dell'espressione precedente ha la formula proposta da Watt e Chow, ottenuta utilizzando i dati relativi a 44 bacini americani e canadesi:

$$t_c = a \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b$$

dove le costanti a e b assumono rispettivamente il valore di 0,000326 e 0,79.

Chow, analizzando i dati relativi a 20 piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0,012 e 18,5 km², ha riconosciuto l'applicabilità della precedente equazione con a e b pari rispettivamente a 0,00116 e 0,64.

Kirpich, utilizzando i dati di sei piccoli bacini americani, ha proposto una correlazione tra il tempo di corrivazione e $L/\sqrt{i_a}$ che ha condotto alla seguente espressione:

$$t_c = 0,000325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0,77}$$

Nel caso specifico si utilizzerà per il calcolo del tempo di corrivazione la formula di Kirpich:

Fosso della Vite:

- Area bacino sotteso dal Fosso della vite (S): 12,52 km²
- Lunghezza massima percorso idraulico (L): 7400 m
- Altitudine massima percorso idraulico (h_{max}): 395 m s.l.m.

- Altitudine minima percorso idraulico (h_{\min}): 19 m s.l.m.
- Altitudine massima bacino (H_{\max}): 450 m s.l.m.
- Altitudine sezione considerata (H_{\min}): 19 m s.l.m.
- Altitudine media bacino (H_m): 234,50 m s.l.m.
- Pendenza media percorso idraulico (P): 0,05081
- Dislivello medio area (H_m-H_0): 215,50 m

Determinazione del tempo di corrivazione applicando la formula di Kirpich (in ore): $t_c = 1,518$.

Fosso delle Cave di Gesso:

- Area bacino sotteso dal Fosso della vite (S): 6,25 km²
- Lunghezza massima percorso idraulico (L): 3700 m
- Altitudine massima percorso idraulico (h_{\max}): 107 m s.l.m.
- Altitudine minima percorso idraulico (h_{\min}): 19 m s.l.m.
- Altitudine massima bacino (H_{\max}): 220 m s.l.m.
- Altitudine sezione considerata (H_{\min}): 19 m s.l.m.
- Altitudine media bacino (H_m): 119,50 m s.l.m.
- Pendenza media percorso idraulico (P): 0,02378
- Dislivello medio area (H_m-H_0): 100,50 m

Determinazione del tempo di corrivazione applicando la formula di Kirpich (in ore): $t_c = 1,182$

Impluvio privo di denominazione ufficiale:

- Area bacino sotteso dal Fosso della vite (S): 0,47 km²
- Lunghezza massima percorso idraulico (L): 1750 m
- Altitudine massima percorso idraulico (h_{\max}): 40 m s.l.m.
- Altitudine minima percorso idraulico (h_{\min}): 0 m s.l.m.
- Altitudine massima bacino (H_{\max}): 52 m s.l.m.
- Altitudine sezione considerata (H_{\min}): 0 m s.l.m.
- Altitudine media bacino (H_m): 26 m s.l.m.
- Pendenza media percorso idraulico (P): 0,02286
- Dislivello medio area (H_m-H_0): 26 m

Determinazione del tempo di corrivazione applicando la formula di Kirpich (in ore): $t_c = 0,660$.

10.1.3. Intensità di pioggia

Per il calcolo dell'intensità di pioggia si fa riferimento alla legge intensità-durata-frequenza (IDF) a tre parametri:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m}$$

Dove:

- t: è la durata della pioggia critica, assunta pari a t_b , in ore;
- b: è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t, sia dal tempo di ritorno T, in ore;

- m: è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;
- a(T): è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

I valori di a(T) (m/h) per il bacino del F. Mignone sono indicati in funzione del tempo di ritorno medio nella Tabella 10.1.

Tabella 10.1 – valori di a(T) (m/h) per il bacino del F. Mignone

Bacino	T (anni)	a(T) (m/h)
F. Mignone	30	0,066
	50	0,074
	100	0,086
	200	0,098
	500	0,114

Tabella 10.2 – valori di intensità di pioggia per i diversi bacini per diversi tempi di ritorno.

Bacino	T (anni)	i _t (T)
Fosso della Vite	30	0,0437
	50	0,0490
	100	0,0569
	200	0,0649
	500	0,0754
Fosso delle cave di Gesso	30	0,0520
	50	0,0583
	100	0,0678
	200	0,0772
	500	0,0899
Impluvio privo di denominazione ufficiale	30	0,0764
	50	0,0857
	100	0,0996
	200	0,1134
	500	0,1320

10.1.4. Coefficiente di deflusso di piena

Per il coefficiente di deflusso si è tenuto conto della formazione geologica afferente alla rete idrografica. La litologia dell'area di progetto è prevalentemente vulcaniti ed alluvioni. In particolare si è fatto riferimento al parametro $\phi(T)$ che può essere inteso come un coefficiente di deflusso del bacino in condizioni di piena per il tempo di ritorno T. La determinazione del valore di $\phi(T)$ è stata condotta sulla base dei risultati della regionalizzazione delle portate sul bacino del Tevere e sui bacini regionali del Lazio (Calenda, 2004), funzione delle sole caratteristiche geologiche dei terreni tramite la formula lineare:

$$\phi_{reg}(T) = \frac{\sum_{f=1}^5 \phi_f(T) A_f}{A_b}$$

In cui:

- f è l'indice che definisce la formazione geologica,
- $\phi_f(T)$ è un parametro che può essere inteso come un coefficiente di deflusso della formazione per il tempo di ritorno T,

– Af è l'area della formazione f compresa nel bacino.

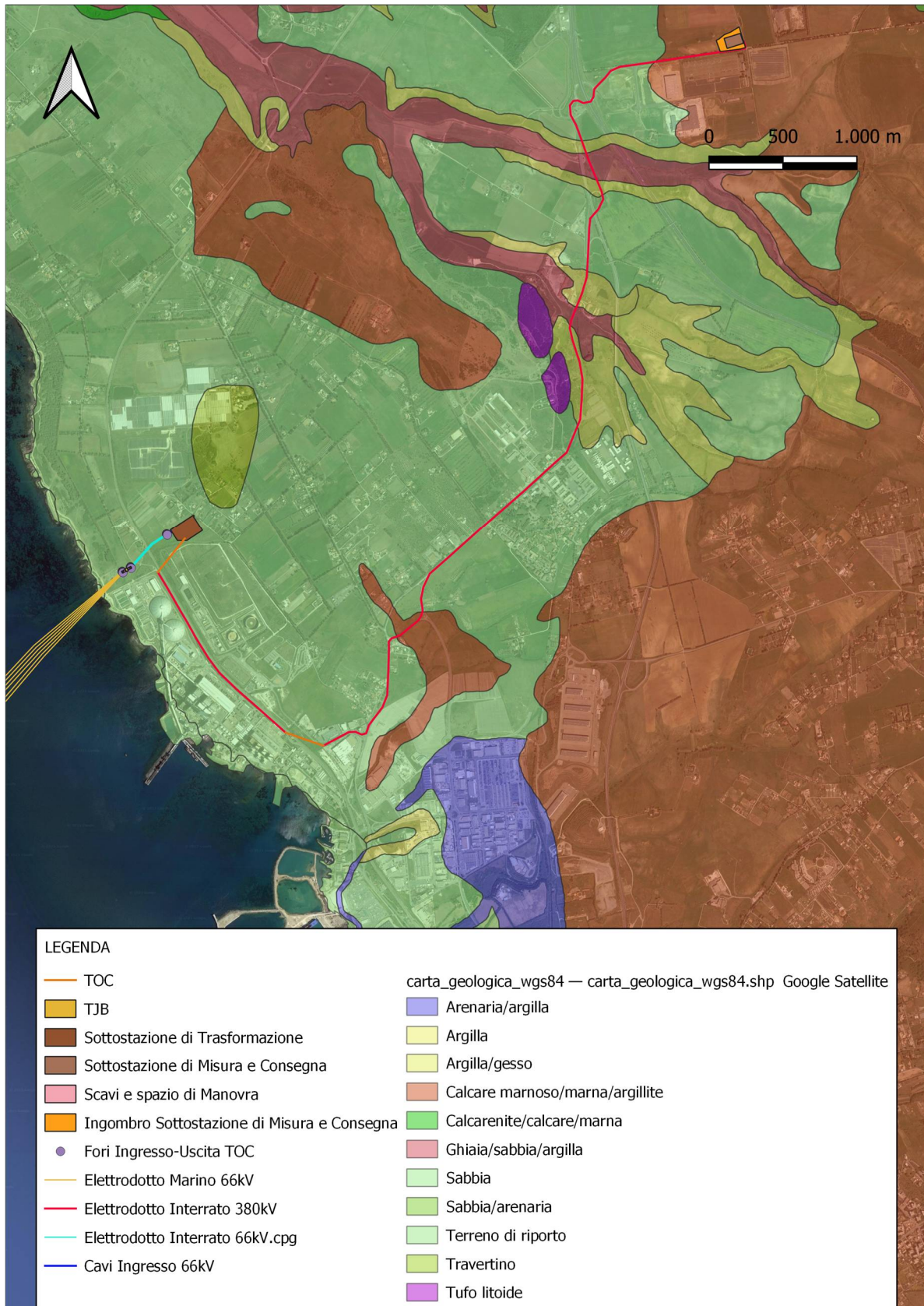


Figura 10.1 – Stralcio Carta Geologica Lazio: strato informativo del SIT.

Ebalorazione iLStudio.

Dall'esame della carta geologica Geologia del SIT di supporto al VAPI per l'Italia Centrale sono state individuate le 13 classi di formazioni geologiche. Ai fini della regionalizzazione è stata esclusa la superficie competente ai laghi, inoltre per ridurre il numero dei parametri, le tipologie di classi geologiche sono state raggruppate in sole 5 classi indicate nella seconda colonna della Tabella 10.3.

Tabella 10.3 - Classi geologiche

<i>Codice SIT</i>	<i>Classe reg.</i>	<i>Descrizione</i>
AL2-3	4	Alluvioni recenti limoso-sabbioso-ghiaiose; Depositi fluviali. (Olocene)
DT	1	Detrito di falda; Coni di deiezione; Depositi morenici. (Olocene - Pleistocene)
AL1	5	Sedimenti fluvio-lacustri e fluvio palustri; Alluvioni antiche da argillose a ghiaiose.
TR	1	Travertini. (Pleistocene)
T	4	Vulcaniti (tufi, lava, etc., variamente intercalati). (Pleistocene - Pliocene)
SAM	5	Sedimenti prevalentemente argillosi con intercalazioni di sabbie più o meno argillose. (Pleistocene - Pliocene)
BL	3	Blocchi e pacchi di strati di tipi litologici diversi (calcari, arenarie, alfoliti, etc...). (Micene inferiore - Cretaceo medio)
AT	2	Arenarie torbiditiche con intercalazioni di argilloscisti e marnoscisti; Banchi di marne («Macigno» ooct.). (Miocene medio - Ologocene)
CMA	1	Alternanza di marne, calcari e calcari con selce ben stratificati («Scaglia toscana», «Maiolica», «Diaspri», «Calcari selciferi», Calcari marnosi rossastri»). (Eocene - Lias inferiore)
DC	1	Depositi carbonatici costituiti da calcari bianchi e grigiastri senza apparente stratificazione, a luoghi carsificati. («Calcarea massiccio»). (Lias inferiore)
F	3	Marne, calcari marnosi e alternanza di arenarie e marne («Marnosa - arenacea»), intercalazioni di calcari detritici e marne Arenacee. Alternanza di strati argillosi ed arenacei a sedimentazione gradata; livelli calcarenitici e conglomeratici. («Molasse»). (Miocene superiore - medio)
C	2	Depositi carbonatici costituiti da calcari detritici talora debolmente carsificati, a volte marnosi (Miocene medio). Depositi costituiti prevalentemente da calcari a luoghi carsificati, con intercalazioni di calcari dolomitici, calcari marnosi e lenti di bauxite (Cretaceo superiore - Lias medio). Depositi carbonatici costituiti da dolomie bianche o grigie stratificate, talora laminate. (Lias inferiore - Trias superiore)
LAGO	n.c.	Laghi

I valori dei parametri $\phi(T)$ dipendono dalle formazioni geologiche prevalenti e seguono un andamento che può essere regolarizzato mediante relazioni interpolari del tipo:

$\phi(T) = a \ln(T) + b$ in funzione del tempo di ritorno, o eventualmente essere assunto costante per alcune formazioni litologiche.

Φ_f	tipo curva	parametri		
		cost	a_f	b_f
Φ_1	$\Phi(T) = cost$	0,010	-	-
Φ_2	$\Phi(T) = cost$	0,125	-	-
Φ_3	$\Phi(T) = a \ln(T) + b$	-	0,01361	0,19681
Φ_4	$\Phi(T) = a \ln(T) + b$	-	0,02685	0,19755
Φ_5	$\Phi(T) = a \ln(T) + b$	-	0,01670	0,76972

Per questo tipo il coefficiente di deflusso è valutabile tramite l'espressione:

$$\phi_f(T) = a_f \ln(T) + b_f$$

Dove

Tabella 10.4 – valori di af e bf calcolati

af	bf
0,01361	0,19681

Risulta quindi di agevole determinazione il valore del coefficiente di afflusso per i vari tempi di ritorno. Per la classe 3

Tipo geologico prevalente	3
----------------------------------	----------

Tabella 10.5 – Valori di coefficiente di deflusso per diversi tempi di ritorno in relazione al tipo geologico prevalente.

tr	φ
30	0,24
50	0,25
100	0,26
200	0,27
500	0,28

10.2. Portate di progetto

Secondo le assunzioni esplicitate nei paragrafi precedenti le portate di progetto con tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni sono pari a:

Tabella 10.6 – Portate critiche per il Fosso della Vite per diversi tempi di ritorno.

Bacino	T (anni)	Q(T) (m³/s)
Fosso della Vite	30	36,50
	50	42,63
	100	51,49
	200	60,98
	500	73,48

Tabella 10.7 – Portate critiche per il Fosso delle Cave di Gesso per diversi tempi di ritorno.

Bacino	T (anni)	Q(T) (m³/s)
Fosso delle cave di Gesso	30	21,68
	50	25,32
	100	30,62
	200	36,21
	500	43,73

Tabella 10.8 – Portate critiche per l'impiuvio privo di denominazione per diversi tempi di ritorno.

Bacino	T (anni)	Q(T) (m³/s)
Impluvio privo di denominazione ufficiale	30	2,39
	50	2,80
	100	3,38
	200	4,00
	500	4,82

I valori di portata critica saranno utilizzati, in fase esecutiva per la modellazione idraulica delle aree e per individuare le aree allagabili.

11. MODALITA' DI RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE INDIVIDUATE

In merito alle opere di progetto ed in particolare al tracciato del cavidotto MT ed AT si precisano le modalità di risoluzione che si propongono per le diverse interferenze, in funzione anche delle specificità dei singoli punti attraversati.

Tabella 11.1 - modalità di risoluzione che si propongono per le diverse interferenze, in funzione anche delle specificità dei singoli punti attraversati

Tipologia alveo	Denom.Catastale	parte opera che interferisce	Note	Modalità di risoluzione
Reticolo del PAI	Fosso della Vite	Elettrodotto interrato 380kV	Il passaggio del cavidotto avviene su sede stradale esistente	Potrà essere presa in considerazione l'ipotesi di passaggio in staffaggio se le opere esistenti lo consentono
Reticolo del PAI	Fosso delle Cave di gesso	Elettrodotto interrato 380kV	Il passaggio del cavidotto avviene su sede stradale esistente	Potrà essere presa in considerazione l'ipotesi di passaggio in staffaggio se le opere esistenti lo consentono
Reticolo del PAI	Impluvio privo di denominazione	Elettrodotto interrato 380kV	Il passaggio del cavidotto avviene su terreno incolto	TOC Si prevede l'attraversamento con tecnica TOC (trivellazione orizzontale guidata)

12. ATTRAVERSAMENTI DEL CAVIDOTTO INTERNO ED ESTERNO CON TOC

Al fine di assicurare che la posa dei cavi interrati non alteri l'attuale equilibrio dei materiali che costituiscono il fondo delle aree interessate dal transito delle piene bicentinarie, lungo i tratti di intersezione gli attraversamenti saranno realizzati principalmente con tecnica T.O.C., che si articola secondo tre fasi operative:

- 1) esecuzione del foro pilota: questo sarà di piccolo diametro e verrà realizzato mediante l'utilizzo dell'utensile fondo foro, il cui avanzamento all'interno del terreno è garantito dalla macchina perforatrice che trasmetterà il movimento rotatorio ad una batteria di aste di acciaio alla cui testa è montato l'utensile fresante. La posizione dell'utensile sarà continuamente monitorata attraverso il sistema di localizzazione;
- 2) trivellazione per l'allargamento del foro fino alle dimensioni richieste: una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile fondo foro (exit point) verrà montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota, di diametro superiore al precedente, e il tutto viene tirato verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro del sistema di trivellazione, l'alesatore allargherà il foro pilota;
- 3) tiro della tubazione o del cavo del foro: completata l'ultima fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point verrà montato, in testa alle condotte da posare già giuntate tra loro, l'utensile per la fase di tiro-posa e questo viene collegato con l'alesatore. Tale utensile ha lo scopo di evitare che durante la fase di tiro, il movimento rotatorio applicato al sistema dalla macchina perforatrice non venga trasmesso alle tubazioni. La condotta viene tirata verso l'exit point.

Raggiunto il punto di entrata la posa della condotta si può considerare terminata.

In particolare, in corrispondenza delle interferenze del cavidotto MT interrato con il reticolo idrografico, l'attraversamento dell'area allagabile avverrà ad una profondità maggiore di 1,50/2,50 m, le operazioni di scavo direzionale inizieranno e termineranno per ogni interferenza minimo a 10,00 m dall'area allagabile che sarà determinata in fase di progettazione esecutiva in regime di moto permanente in maniera tale da lasciarne inalterato il fondo.

13. CONCLUSIONI

Con riferimento alla configurazione alle opere in progetto rispetto all'assetto idraulico sono state segnate le sezioni lungo le quali le opere in progetto interferiscono con le aree tutelate così come definite dalle N.T.A. del P.A.I.

Le opere in progetto, come rappresentato negli elaborati grafici, sono assolutamente congruenti con l'assetto idraulico del territorio e con le relative condizioni di sicurezza.

In sintesi, alla luce delle analisi e delle verifiche effettuate in merito alla compatibilità idrologica ed idraulica, si sono delineate le seguenti conclusioni:

- il cavidotto interrato nel suo percorso interseca in tre punti il reticolo idrografico e le modalità di risoluzione saranno eseguite come indicato nel presente studio, specificando che le diverse tecniche di scavo e saranno definite con maggiore dettaglio in termini dimensionali con la progettazione esecutiva pur essendo già tipologicamente definite;
- per il tratto in TOC sarà prevista sempre profondità di posa di almeno 1,50/2,50 m che supera ampiamente la profondità di escavazione esplicabile dalla corrente, quindi a profondità tale da non essere interessato da fenomeni erosivi.

Assodato che gli studi condotti hanno interessato un ampio territorio, ed hanno interessato tutte le opere ricadenti all'interno del territorio dell'ADB delimitando i bacini di studio in maniera tale da ricomprendere tutto il reticolo che potesse avere influenza sull'assetto idraulico delle aree di interesse e sulle opere previste; che sulla viabilità esistente non si eseguirà nessun intervento che comporti modifiche delle livellette e delle opere idrauliche presenti.

Per quanto argomenta e in base alle scelte tecniche, che non vanno mai ad alterare il deflusso delle acque e che potranno essere maggiormente dettagliate in fase di progettazione esecutiva l'impianto risulta essere in condizioni di "sicurezza idraulica".

RIFERIMENTI

Calenda, G. & et alii, 1992. *Ipotesi di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge giornaliere dell'Italia centrale.* s.l., s.n.

Cardinale, F., 2002-2003. analisi degli aspetti geologico-applicativi quale contributo per il recupero ambientale. *Tesi di laurea Scienze MMFFNN, Università degli Studi della Tuscia.*

Guido Calenda, C. C., 1996. *ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE BREVI.* s.l., s.n.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Studio di compatibilità idrogeologica e idraulica		
Codice documento: C0123CR00COMIDR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 45 di 45

Il presente documento, composto da n. 51 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.

Taranto, Luglio 2023

Dott. Ing. Luigi Severini
