

aceq

aceq
acqua

ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Lorenzo Pirritano
SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Avv. Vittorio Gennari
Sig.ra Claudia Iacobelli
Ing. Barnaba Paglia

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

aceq

ACEA ELABORI SPA



NUOVO ACQUEDOTTO MARCIO

DOCUMENTO DI FATTIBILITÀ DELLE
ALTERNATIVE PROGETTUALI

ELABORATO

A250DF R001 1

DATA NOVEMBRE 2019

SCALA

CUP G63E18000180006

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	09/2020	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
2			
3			

RELAZIONE TECNICA – ILLUSTRATIVA

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO

Ing. PhD Antonio Iele

IDRAULICA

Ing. Eugenio Benedini

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE

Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI

Ing. PhD Nicoletta Stracqualursi

Ing. Viviana Angeloro

CONSULENTI:

Arch. Francesca Pezza

S.G.S. S.r.l.

Hanno collaborato:

Ing. Emiliano Alimonti

Ing. PhD Chiara Petrelli

Ing. Matteo Botticelli

Geol. PhD Fabrizio Nardoni

Geol. PhD Paolo Caporossi

Ing. Francesca Giorgi

Arch. Fabiola Gennaro

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

1	<i>Premessa</i>	4
2	<i>Oggetto e scopo dell'intervento</i>	5
3	<i>Inquadramento ambientale e territoriale</i>	11
3.1	Localizzazione dell'intervento	11
3.2	Inquadramento territoriale	12
3.2.1	Inquadramento geografico.....	12
3.2.2	Inquadramento geologico-strutturale.....	12
3.2.3	Inquadramento geomorfologico	19
3.2.3.1	Problematiche di carattere geomorfologico	20
3.2.3.2	Problematiche legate ai fenomeni carsici.....	22
3.2.4	Inquadramento idrogeologico.....	23
3.2.5	Cenni sulla sismicità della zona	28
3.3	Inquadramento ambientale	35
3.4	Infrastrutture esistenti nell'area di studio	36
4	<i>Analisi dello stato di fatto</i>	38
4.1	Le opere esistenti	38
4.2	Problematiche gestionali del sistema attuale	44
5	<i>Requisiti e criteri di progettazione</i>	47
6	<i>Metodologia adottata per la definizione delle alternative progettuali</i>	54
7	<i>Definizione delle alternative progettuali</i>	56
7.1	Aspetti prestazionali di base del sistema	58
7.2	Rischio sismico	60
7.3	Tecnologie di scavo	61
7.4	Ispezionabilità e manutenibilità dell'opera - sezione idraulica	64
7.5	Funzionamento idraulico	65
7.6	Dal Manufatto Origine degli Acquedotti a Ponte Anticoli (Nodo A)	67
7.7	Tracciati da Ponte Anticoli (Nodo A) a Tivoli (Nodo Tivoli)	69
7.8	Connessione alle opere di arrivo presso Tivoli	71
8	<i>Indicazioni sul costo delle opere e sui tempi di realizzazione</i>	73
8.1	Criteri adottati nel calcolo sommario delle opere	73
8.2	Stima preliminare dei costi	74

8.3	Indicazioni sui tempi di realizzazione delle opere	75
9	<i>Analisi Multicriteria delle Alternative Progettuali</i>	76
9.1	Aspetti idraulici.....	76
9.2	Aspetti strutturali.....	88
9.3	Aspetti ambientali e geologici.....	89
9.4	Aspetti gestionali e manutentivi	90
9.5	Aspetti igienico sanitari	92
9.6	Tabella di sintesi	93

1 Premessa

La presente Relazione Tecnico Illustrativa, facente parte del Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali (DOCFAP) relativo al Nuovo Acquedotto Marcio, è redatta in ottemperanza a quanto disposto dall'articolo 23, commi I e V, del Codice dei Contratti (D. Lgs. 50/2016 e ss.mm.ii.), nel rispetto dei principi generali di cui all'articolo 7 dell'emanando Decreto Progettazione, schema approvato dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP) nell'adunanza del 25/05/2018 n. prot. 45/2018 e di quanto già in precedenza indicato all'interno del Quadro Esigenziale (QE) e del successivo Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP), atti di programmazione redatti e ratificati da Acea ATO2 per l'elaborazione del Progetto medesimo.

La presente Relazione Tecnico Illustrativa è tesa ad individuare ed analizzare le possibili soluzioni progettuali relative al Nuovo Acquedotto Marcio (dal Manufatto Origine degli Acquedotti, fino al nodo di Tivoli) con il supporto di un'analisi multicriteria.

La soluzione progettuale individuata sulla scorta delle analisi effettuate nel presente DOCFAP sarà quindi oggetto delle successive fasi progettuali quali il Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE), definito dai commi 5 e 6 dell'art. 23 del Codice dei Contratti, ed il Progetto Definitivo (PD), definito dal comma 7 dell'art. 23 del Codice dei Contratti.

2 Oggetto e scopo dell'intervento

L'approvvigionamento idrico dell'ATO2 - Lazio Centrale Roma, gestito da Acea Ato2 S.p.A., è assicurato da una articolata ed interconnessa rete di acquedotti e da oltre 250 fonti locali come di seguito riportato, in termini di portate medie:

- sistema **Peschiera-Capore**, per una portata complessiva di 13,7 m³/s (Tronco Superiore del Peschiera 9 m³/s + Acquedotto delle Capore 4,7 m³/s), di cui circa 0,3 destinati a comuni dell'ATO3 di Rieti, che a valle del nodo di Salisano si ripartisce in due rami entrambi diretti verso la Capitale (Tronco inferiore in destra del fiume Tevere e Tronco inferiore in sinistra del fiume Tevere);
- sistema **Marcio**, con una portata prelevata di 4,2 m³/s;
- sistema **Appio-Alessandrino**, con una portata prelevata di 0,8 m³/s;
- acquedotto **Vergine**, con una portata prelevata di 0,35 m³/s;
- sistema **Simbrivio**, con una portata prelevata di 1,1 m³/s, in parte destinata a comuni dell'ATO5 di Frosinone;
- acquedotto **Doganella**, con una portata prelevata di 0,37 m³/s;
- oltre 250 fonti locali, con una portata prelevata di 3,825 m³/s;
- acquedotto di riserva di **Bracciano**, con una portata prelevabile fino a 5 m³/s, da utilizzare in caso di emergenza;
- impianto di potabilizzazione di **Grottarossa**, con potenzialità pari a 0,5 m³/s, recentemente adeguato a conseguire una qualità delle acque rispondente ai fini potabili, da utilizzare in caso di emergenza.

Il Sistema Marcio, con una portata variabile tra 2.900 l/s e 5.300 l/s, rappresenta circa il 20% dell'acqua necessaria per l'approvvigionamento idrico dell'ATO2 e circa il 25% della risorsa destinata alla Capitale e riveste pertanto un'importanza strategica.

Tra le motivazioni poste alla base del progetto del Nuovo Acquedotto Marcio figura l'importanza prioritaria dell'opera per il superamento dei rischi insiti

nell'approvvigionamento idropotabile dell'area metropolitana romana che coinvolge fasce del territorio di ATO2, più o meno ampie a seconda dei casi deficitari di portata derivanti dall'interruzione prolungata dell'esercizio di una o di entrambe le condotte dell'Acquedotto Marcio, come già rappresentato nel Quadro Esigenziale.

Tale priorità è motivata dalle considerazioni di seguito riassunte:

- il sistema Acquedottistico Marcio esistente risulta essere vetusto, in particolare il II Acquedotto, presentando dissesti strutturali locali più o meno estesi. Entrambi gli acquedotti I Marcio e II Marcio, realizzati con tecnologie ad oggi ampiamente superate, hanno da tempo esaurito la vita utile di progetto, stimata con un'analogia ai criteri di riferimento della progettazione di nuove Opere;
- l'attuale assetto del sistema Acquedottistico Marcio presenta una mancanza intrinseca di robustezza rispetto ad eventi accidentali in grado di compromettere la capacità di trasporto dell'infrastruttura o di provocare una contaminazione della risorsa trasportata;
- il sistema attuale risulta vulnerabile per quanto riguarda la qualità delle acque per le caratteristiche intrinseche delle Opere di adduzione in parte aggravatisi nel tempo con la trasformazione del contesto antropico circostante ed in particolare per lo sviluppo urbanistico dei centri abitati della valle dell'Aniene;
- il sistema, nella sua configurazione attuale, presenta difformità impiantistiche rispetto agli standard richiesti per un corretto esercizio. I luoghi di governo distribuiti lungo i 27 km di sviluppo degli acquedotti esistenti risultano essere distanti anche parecchi chilometri l'uno dall'altro e spesso difficilmente accessibili con mezzi e attrezzature. Inoltre, i dispositivi di governo delle acque, ed in particolare degli organi di sezionamento e scarico (paratoie) del flusso idrico, hanno scarsa funzionalità con conseguenti limitazioni sulle possibilità di governo degli acquedotti;
- il sistema acquedottistico ha limitata possibilità di ispezione degli acquedotti causata dalle carenze dei sezionamenti, degli scarichi e conseguente

impossibilità di monitorare lo stato di conservazione delle strutture e di programmare qualsiasi intervento manutentivo preventivo. Inoltre, stante l'importanza che il sistema riveste nell'ambito dell'approvvigionamento idrico di Roma non è possibile effettuare prolungati fuori servizio;

- la capacità di trasporto del sistema acquedottistico esistente risulta essere di 5,3 m³/s (3,2 m³/s del I Acquedotto Marcio e 2,1 m³/s del II Acquedotto Marcio), ossia inferiore di 1,9 m³/s rispetto alla concessione di 7,2 m³/s rilasciata per l'approvvigionamento idrico. Inoltre, nella configurazione attuale, non è possibile avere misure atte ad ottenere un attendibile esatto bilancio idrico del sistema.

La portata trasportata dal sistema Acquedottistico Marcio nell'esercizio ordinario e quotidiano non è rimpiazzabile senza causare disagi alla zona est/sud-est dell'Area Metropolitana di Roma, senza tenere in considerazione della gravità dei disservizi che si avrebbero in 16 Comuni dell'ATO2 posti a est/sud-est di Roma la cui alimentazione è resa possibile esclusivamente dal suddetto sistema. La non disponibilità dell'Acqua Marcia avrebbe effetti anche sulla possibilità di impiegare fonti locali non conformi D. Lgs. 31/2001, la cui mancata diluizione con la risorsa del sistema Marcio renderebbe non più utilizzabili alcuni dei pozzi locali.

I disagi nella città di Roma potrebbero essere forse evitati con l'attivazione dell'acquedotto di Bracciano, attualmente non disponibile a seguito dell'Ordinanza della Regione Lazio n. 0378534 del 21/07/2017. L'utilizzo di Bracciano non potrebbe, in ogni caso, compensare il deficit nelle aree periferiche a sud-est di Roma e nei 16 comuni dell'ATO2 alimentati esclusivamente dal Marcio. Inoltre il contributo dal Lago potrebbe però non essere sufficiente se le cause e gli effetti del deficit fossero di natura tale da richiedere tempi molto lunghi, come un eventuale inquinamento prodotto per la conformazione degli acquedotti, a pelo libero e con bassa copertura.

Dalla situazione sopra rappresentata, emerge la necessità di realizzare la nuova infrastruttura per il trasporto della portata derivata dal Manufatto di Partenza degli Acquedotti dell'Acqua Marcia fino ai manufatti di arrivo presso Tivoli, e quindi alla Città di Roma ed ai Comuni di ATO2.

La realizzazione del Nuovo Acquedotto Marcio riveste carattere necessario e urgente. La realizzazione della nuova opera mira direttamente al perseguimento di alcuni obiettivi e consente di raggiungerne indirettamente altri, nel lungo periodo.

I principali *obiettivi diretti* sono connessi alla necessità di ottimizzare il sistema di trasporto attraverso la realizzazione di un sistema di condotte dal Manufatto Origine fino ai manufatti di arrivo presso il nodo di Tivoli.

In particolare, i suddetti obiettivi diretti possono essere riepilogati come segue.

Mediante la realizzazione di un sistema di adduzione costituito da due condotte tra il Manufatto Origine degli Acquedotti e i manufatti di arrivo presso Tivoli:

- 1) ripristinare la piena funzionalità ed efficienza del sistema di adduzione esistente, nonché la ridondanza che l'attuale sistema possedeva all'epoca della costruzione, ad oggi gravato da problematiche strutturali e funzionali, dalle sorgenti dell'Acqua Marcia allo snodo di Tivoli, valutando il punto di connessione ottimale alle Opere esistenti;
- 2) garantire idonea protezione igienico-sanitaria alla risorsa trasportata, essendo il sistema attuale esposto a rischi idrologici, idrogeologici e gravato da una crescente pressione antropica;
- 3) eliminare le perdite idriche che attualmente affliggono entrambi gli acquedotti esistenti;
- 4) consentire il transito della totalità della portata di concessione al manufatto di Casa Valeria, idonea a garantire l'alimentazione in assoluta sicurezza di tutte le Opere a valle (la portata di dimensionamento dovrà essere pari a 7.276 l/s medi totali cui andranno decurtati i 500 l/s medi che nel rispetto dell'atto concessorio possono essere captati presso le sorgenti di Acquoria, poste a valle dell'area interessata dall'intervento, per un totale di 6.776 l/s medi. A questi dovrà essere aggiunto il quantitativo da destinare allo Stato Vaticano, per un totale di 6.777,04 l/s). Nel caso di funzionamento di una sola delle due condotte in progetto, che sia comunque garantito un funzionamento del

sistema a valle di Casa Valeria per una portata pari a quella media attuale pari a 4.200 l/s;

questo obiettivo assume particolare rilievo alla luce del fatto che:

- le risorse delle fonti locali attualmente disponibili nell'area romana e laziale diventano sempre più precarie (anche in relazione alle sempre più stringenti norme sulle acque da destinare al consumo umano);
- nell'orizzonte temporale pluridecennale di vita utile delle nuove opere è da prevedere un significativo incremento demografico dell'area di Roma con la conseguente crescita del fabbisogno idrico;
- i non eludibili cambiamenti climatici determinano impatti negativi sugli acquiferi più superficiali e meno estesi che alimentano le fonti locali di approvvigionamento di numerosi comuni;
- non sono disponibili ulteriori significative sorgenti di acqua potabile e i costi necessari per la loro captazione e adduzione risulterebbero elevatissimi;
- ulteriori possibili fonti di approvvigionamento idropotabile alternative sono rappresentate solo dai corpi idrici superficiali (in particolare il Fiume Tevere) che, comunque, richiedono complessi e molto costosi processi di potabilizzazione;

5) garantire una idonea flessibilità, ispezionabilità, monitorabilità e manutenibilità al sistema, attualmente non garantita a causa delle condizioni dei sistemi di governo e sezionamento del flusso presenti.

Oltre agli obiettivi direttamente perseguibili con la realizzazione della nuova opera, potranno essere *indirettamente* perseguiti ulteriori obiettivi. Tra questi sono da menzionare:

6) recupero del carico idraulico attualmente disperso lungo il percorso dai due acquedotti a causa delle intrinseche caratteristiche della modalità di trasporto dei sistemi esistenti;

- 7) possibilità di utilizzo della risorsa per approvvigionare aree attualmente servite tramite il ricorso a fonti locali, da sottoporre a trattamento per essere utilizzate;
- 8) predisposizione a futuro utilizzo del carico idraulico preservato per usi non direttamente connessi con il funzionamento delle esistenti infrastrutture di valle.
- 9) la possibilità di poter mettere fuori servizio alternativamente le due condotte dell'acquedotto in progetto senza ripercussioni insostenibili sull'approvvigionamento di Roma, al fine di poter eseguire gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria necessari per preservarne l'integrità statica e idraulica, per eliminare le perdite e per prevenire possibili fenomeni di inquinamento e deterioramento della qualità della risorsa;
- 10) la flessibilità, negli anni futuri, di poter disporre al nodo di Tivoli di parte della portata addotta dal Nuovo Acquedotto Marcio con la piezometrica di arrivo al nodo (280 m s.l.m.) e non solo con quella ad oggi disponibile (circa 255 m s.l.m.).

3 Inquadramento ambientale e territoriale

3.1 Localizzazione dell'intervento

L'area di studio investigata per la nuova opera si sviluppa lungo la Valle dell'Aniene, in provincia di Roma e comprende in particolare il tratto di valle compreso tra i comuni di Agosta e Tivoli. Tale zona è caratterizzata dalla presenza del fiume Aniene che ne determina la vallata principale. L'asta fluviale, di una lunghezza pari a circa 30 km, riceve lungo il suo percorso il contributo di alcuni effluenti tra cui il Torrente Fiumicino, il Fosso dell'Empiglione, il Torrente Licenza, il Torrente Ferrata, il Fosso dei Ronci, etc.

L'area attraversata dal fiume Aniene è prevalentemente montuosa (dorsali dei Monti Simbruini, Monti Cantari, Monti Affilani, Monti Ruffi) con rilievi che si aggirano intorno ai 2.000 mt. (Monte Autore, Monte Cotento, Monte Tarino, Monte Viglio).

L'Aniene percorre, nella media e alta valle, una delle zone geologicamente più complesse dell'Appennino centrale. In questo settore geografico, l'Appennino è caratterizzato dalla presenza di due grandi domini paleogeografici, dalla cui evoluzione ha avuto origine l'attuale paesaggio.

L'area di intervento riguarda, quindi, un sistema vallivo ben definito e geograficamente omogeneo, che si estende con continuità lineare lungo il fiume Aniene articolandosi attorno all'insieme dei bacini idrografici e dei territori che da esso dipendono.

Il territorio è, grazie alla natura carsica del terreno, straordinariamente ricco di sorgenti, di portata molto differenziata, nell'insieme capaci di fare della Valle una grande dispensa d'acqua. In particolare le sorgenti più importanti, sono quelle presenti nei territori di Agosta e Marano Equo.

Il territorio della Media valle dell'Aniene è costituito dalla porzione di territorio attraversata dal fiume e compresa fra i centri di Tivoli e Subiaco. I territori dei comuni presenti in quest'area hanno caratteristiche orografiche molto simili fra loro, con valli e colline che si susseguono; sono centri di piccole dimensione con poca popolazione

insediata. Le abitazioni sono solitamente concentrate in centri abitati, con conseguente limitata urbanizzazione del territorio.

Gli insediamenti hanno carattere di accorpamento, si limitano per lo più alle aree costituenti i paesi storici con i rispettivi ampliamenti e non sono sparsi sul territorio: fatto che, sommato alla presenza delle articolate estensioni a macchia e boschive e al generale ordine visivo che conservano anche gli appezzamenti coltivati, conferisce un aspetto generalmente armonico al complesso del paesaggio.

3.2 Inquadramento territoriale

3.2.1 Inquadramento geografico

L'area di studio investigata per la nuova opera rientra nell'ambito del territorio della Provincia di Roma interessando dal punto di vista amministrativo i seguenti comuni: Anticoli Corrado, Arsoli, Castel Madama, Roviano, Sambuci, San Polo dei Cavalieri, Saracinesco, Vicovaro e Tivoli (A250PF D001 0).

3.2.2 Inquadramento geologico-strutturale

L'area di studio si inquadra nel contesto geologico-strutturale dovuto all'evoluzione del dominio paleogeografico umbro-sabino che tra il Lias medio ed il Miocene medio ha svolto il ruolo di unità di raccordo tra il dominio di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese ed il bacino sedimentario umbro-marchigiano.

La successione sedimentaria che costituisce l'ossatura del settore di orogene umbro-sabino è rappresentata da litotipi calcareo-silico-marnosi ai quali si intercalano volumi di entità variabile di apporti detritici provenienti dall'adiacente piattaforma carbonatica.

L'assetto strutturale del settore sabino della catena appenninica è notevolmente condizionato dallo sviluppo della linea "Olevano-Antrodoco" che, nel settore in esame rappresenta l'inviluppo dei fronti esterni del dominio di transizione al di sopra di quello laziale-abruzzese. Al suo interno il settore umbro-sabino si articola in quattro scaglie

minori separate da superfici di sovrascorrimento il cui sviluppo planimetrico è spesso disarticolato da elementi di taglio a diverso significato cinematico e la cui intersezione con la superficie topografica è definita dalle linee tettoniche (da est verso ovest) Olevano - Antrodoco, T. Licenza - M. Elci - M. Tancia, M. Sterparo - M. Castelvechio e del M. Morra. Queste scaglie, definite come sub-domini strutturali (Crane, 1985), si differenziano sia per l'elevazione media delle superfici di taglio che le limitano inferiormente, sia per gli intervalli stratigrafici e le caratteristiche sedimentologiche delle facies coeve che le contraddistinguono in affioramento.

Le quattro unità strutturali (thrust-sheets) sono denominate, a partire da quella geometricamente superiore, Unità 1, 2, 3, 4 e si succedono da Ovest verso Est determinando la parziale sovrapposizione di intervalli stratigrafici progressivamente più giovani (Cosentino & Parotto, 1988). In corrispondenza della linea tettonica Olevano - Antrodoco il sistema a falde sabine risulta accavallato su un'unità tettonica del dominio laziale-abruzzese (Unità 5). Nel complesso i lineamenti principali dell'area definiscono una struttura a scaglie sovrapposte delineatasi nel corso dell'orogenesi alpina e complicata dagli effetti della successiva tettonica distensiva.

In questo settore dell'Appennino la tettonica compressiva si esaurisce nel corso del Pliocene inferiore. A partire dal Pliocene inferiore-medio, infatti, la catena appena strutturata è interessata da un'intensa tettonica distensiva, collegata con un generale fenomeno di distensione, in concomitanza con l'inizio dell'apertura del Tirreno.

In alcuni casi gli elementi di tettonica distensiva tagliano elementi compressivi più antichi, mentre in altri casi si osserva chiaramente la riattivazione, come elementi distensivi, di precedenti superfici di taglio compressive.

Come illustrato in Figura xxx, l'area di progetto è interessata dagli stralci della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000), in particolare nei fogli n.375 "TIVOLI", n. 356 "PALOMBARA SABINA", n. 367 "TAGLIACOZZO" e n.376 "SUBIACO".



Figura 1 – Stralci della Carta Geologica d'Italia, fogli n.375 "TIVOLI", n. 356 "PALOMBARA SABINA", n. 367 "TAGLIACOZZO" e n.376 "SUBIACO". Le alternative progettuali sono evidenziate in diversi colori.

Nella figura di seguito riportata viene descritto l'assetto geologico strutturale proposto per il tratto di catena Tiburtino-Lucretile-Sabino (Figura 2). Le Unità così riconosciute vengono di seguito descritte.

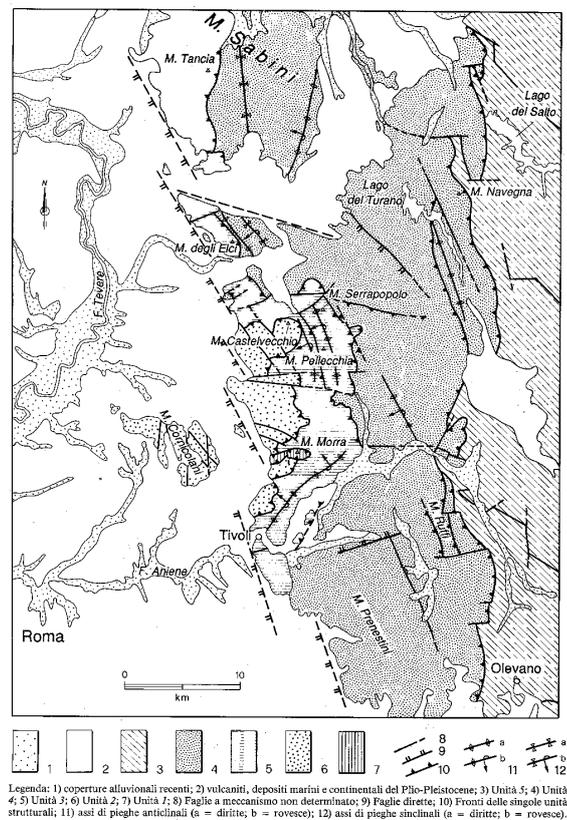


Figura 2 - Schema delle unità strutturali riconosciute nel settore sabino della catena appenninica (Cosentino e Parotto, 1991)

Settore orientale (Unità 5)

Il settore più orientale dell'area rappresentata è quello interessato dall'affioramento delle formazioni carbonatiche di piattaforma, che nel complesso identificano un motivo strutturale di tipo monoclinale, complicato da ondulazioni secondarie e da un sistema di faglie distensive di età pliocenica.

La zona di Agosta, il margine orientale dei Monti Ruffi a valle di Rocca di Mezzo e Rocca Canterano, fino a Marano Equo, ed a valle di Anticoli Corrado, fino a "la sbarra", le due sponde del fosso Bagnatore da Arsoli fino all'Aniene e la zona circostante Roviano presentano in affioramento i flysch argilloso-arenacei tortoniano-messiniani di chiusura della facies simbruina. Il loro contatto stratigrafico con i sottostanti calcari di piattaforma è ribassato verso ovest da sistemi di faglie a direzione NS e NW-SE.

Settore centrale (Unità 4)

Tra Castel Madama ed Anticoli e tra Mandela ed i rilievi ad ovest di Arsoli affiorano i termini miocenici della serie sabina, appartenenti alla quarta unità strutturale. Quest'ultima è caratterizzata da un sistema a pieghe molto aperte che tendono a mantenere costante lo spessore dei terreni coinvolti nella deformazione, sviluppandosi in profondità fino al tetto della formazione del Rosso Ammonitico (pieghe parallele), con direzione dell'asse NNW-SSE e superficie assiale quasi verticale.

La porzione occidentale dei Monti Ruffi, tra Castel Madama ed il fosso Fiumicino, presenta a grande scala un'alternanza di motivi strutturali costituiti da blande pieghe anticlinali e sinclinali ad asse NW-SE, parzialmente troncati da elementi tettonici paralleli, aventi direzioni appenninica ed anti-appenninica.

Il fronte di accavallamento noto come linea Olevano–Antrodoco, rappresenta uno dei principali elementi strutturali dell'Appennino centrale e costituisce il limite tra due blocchi caratterizzati da stili deformativi abbastanza diversi e con differenti direttrici tettoniche. Infatti, mentre le unità sabine sono strutturate in prevalenza secondo direttrici N-S, le unità laziali-abruzzesi presentano direttrici NW-SE.

Buone esposizioni dei piani di faglia che fanno parte del sistema embricato si osservano presso Anticoli Corrado, Roviano e Riofreddo dove è ben evidente come le superfici tettoniche corrispondano a piani di taglio a basso angolo, con immersione verso W, che coinvolgono depositi silico-clastici del Tortonianiano superiore – Messiniano inferiore (a letto) e calcareniti del Miocene medio (a tetto).

Settore occidentale (Unità 1, 2, 3)

Il settore occidentale della zona di studio si identifica con l'area Tiburtino-Lucretile estesa ad est tra il Licenza ed il tratto di Aniene compreso tra Vicovaro e Castel Madama, ad ovest, tra Tivoli e Marcellina.

Dal punto di vista strutturale questo settore si caratterizza per la sovrapposizione delle tre unità geometricamente più elevate del complesso tettonico sabino.

Appartiene all'Unità 3 il settore compreso nella fascia allineata in direzione NE-SW, tra torrente Licenza, Vicovaro e versante sud-orientale di Colle Monitola, a sud-est, Colle la Riservata, S. Polo dei Cavalieri, Costa di Piavola, a nord-ovest. Questa unità è costituita da litologie riferibili alle formazioni della serie che vanno dalla Corniola alle Marne e Brecciole.

La successione meso-cenozoica risulta deformata secondo pieghe caratterizzate da notevoli ispessimenti nelle zone di cerniera ed assottigliamento lungo i fianchi, con un fianco sistematicamente rovesciato, superficie assiale sub-orizzontale ed asse, con evidenti ondulazioni, in direzione NNW-SSE (Corrado, Cosentino, Crescenzi & Parotto, 1991).

L'assetto strutturale riconoscibile a grande scala è costituito da una piega rovesciata con asse in direzione N20 ed a mesoscala da pieghe aventi la stessa geometria della struttura principale. Nella fascia compresa tra Colle Vescovo e M. Rampino è ben riconoscibile il fianco rovescio dell'anticlinale con asse N20; il fianco dritto è visibile in affioramento solo nella zona di Colle Piano.

La superficie di accavallamento che separa l'Unità 3 dall'Unità 4 interseca la topografia dando luogo alla linea tettonica T. Licenza – M. Elci – M. Tancia, il cui decorso si può seguire lateralmente per alcune decine di chilometri.

Nel tratto più meridionale (valle del Licenza) la presenza di questo elemento è messa in evidenza da relazioni geometriche anomale tra unità stratigrafiche contigue e dalla presenza di estese zone di faglia caratterizzate da fasce cataclastiche; inoltre ad esso corrisponde una tipica rottura di pendio che contraddistingue quasi tutto il suo decorso, dai dintorni di Roccagiovine, a sud, fino oltre M. Tancia, a nord. Al letto di questo sovrascorrimento si osserva sistematicamente una fascia di rocce intensamente deformate, con flussi cataclastici, in particolare dove il fenomeno ha coinvolto marne e marne calcaree (in genere riferibili alla Formazione della Scaglia l.s.).

L'Unità 2 si riconosce nei settori di M. Sterparo, Colle Lecinone, M. Guardia, M. Arcaro, M. Andrea, è costituita dalla formazione del Calcare Massiccio e subordinatamente

dalla porzione basale della Corniola, che comprende corpi canalizzati di maga-breccie. La struttura riconoscibile a grande scala è di tipo anticlinale e risulta piuttosto disarticolata da faglie di trascinamento.

La superficie di sovrascorrimento M. Sterparo – M. Castelvevchio, che ha determinato la sovrapposizione dell'Unità 2 sull'Unità 3, è messa in luce da rapporti geometrici anomali tra unità litostratigrafiche contigue e dalla costante presenza di una fascia di rocce fortemente tettonizzate a causa degli sforzi compressivi.

Per quanto riguarda l'Unità 1 risulta chiaramente visibile la superficie di taglio che separa la sommità del M. Morra, costituita da Calcere Massiccio in continuità stratigrafica sulle dolomie triassiche, che risulta come un Klippe completamente staccato dal substrato e sovrapposto ai termini calcarei liassici dell'Unità 2.

La media valle dell'Aniene si caratterizza infine per la presenza di una estesa e spessa coltre di terreni di origine piroclastica, la cui origine è stata messa in relazione con l'attività dei Colli Albani (Giordano & Chiarabba, 1990). Tali depositi poggiano sia direttamente sulle unità carbonatiche meso-cenozoiche, sia su formazioni continentali pre-vulcaniche, rappresentate da episodi conglomeratici in facies fluviale e fluvio-lacustre, e risultano correlabili alle facies distali della I, II e III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio. L'evidente riduzione di spessore dalla Val Lungherina verso Vicovaro e l'analisi di distribuzione dei litici indicherebbe la provenienza dall'area dei Colli Albani, proprio attraverso la Val Lungherina, con messa in posto notevolmente condizionata dalle morfologie preesistenti.

In sintesi, lungo i tracciati possiamo distinguere 3 gruppi di litotipi principali:

- serie Sabina di transizione: costituita da calcari e calcari marnosi marne e marne argillose, il cui contenuto argilloso aumenta al tetto della serie eccezion fatta per i Calcari a Briozoi e Litotamni;
- depositi quaternari: costituiti da depositi lacustri, conglomerati fluviali e fluvio-lacustri pre-vulcanici, travertini, e depositi di origine piroclastica relativi al Complesso Vulcanico dei Colli Albani;

- alluvioni recenti e attuali: costituiti da depositi limo-argillosi, sabbioso-limosi, sabbioso-ghiaiosi, a luoghi con presenza di materiale torboso.

In particolare, i litotipi calcareo marnosi della serie Sabina di transizione si incontrano in maniera quasi esclusiva nel tracciato TR1 e in percentuale leggermente inferiore in TR2 e TR4 associati a depositi quaternari e alluvioni recenti e attuali. In relazione invece al tracciato TR3, si evidenzia come esso attraversi prevalentemente la Formazione di Guadagnolo e, in minor misura, i depositi alluvionali e quaternari.

Problematiche geologico-geotecniche del tratto comune di partenza

Indagini geologico tecniche svolte lungo la valle dell'Aniene, nell'intervallo tra gli abitati di Agosta e Roviano, finalizzate alla realizzazione di tratte di rete igienico sanitaria, hanno caratterizzato i depositi alluvionali su cui insistono i tratti iniziali delle opere in progetto. I dati restituiscono una sequenza alluvionale di sabbie limose e limi argillosi di recente deposizione. Tali sedimenti si presentano come terreni normal-consolidati ad alta compressibilità, caratterizzati da abbondanti resti organici e vegetali in vario stato di torbificazione, con modesti valori di coesione non drenata o densità relativa.

Tale contesto è riferibile in via primaria alla zona prospiciente le sorgenti e in via più generale a tutto il fondovalle alluvionale dell'Aniene, ove si presentano spessori considerevoli di depositi alluvionali recenti e attuali. Pertanto, i terreni che caratterizzano tale settore, possono essere classificati preliminarmente come depositi aventi scadenti qualità geotecniche. Saranno necessari ulteriori approfondimenti che andranno a quantificare le possibili problematiche di staticità al fine di garantire la piena funzionalità dell'opera di progetto.

3.2.3 Inquadramento geomorfologico

La configurazione geomorfologica dell'area di studio si lega all'assetto strutturale di questo settore appenninico ed all'azione preponderante del modellamento delle acque di scorrimento superficiale, con secondaria azione dei processi carsici e

gravitativi. I versanti rocciosi risultano mediamente acclivi e si raccordano dolcemente alla piana alluvionale nelle zone dove risulta significativa la copertura dei depositi quaternari.

Evidenti ed estese rotture di pendio coincidono quasi sempre con importanti motivi tettonici, come nel caso del settore corrispondente all'accavallamento delle unità del dominio di transizione su quelle relative al dominio di piattaforma carbonatica, nelle zone di Anticoli e Roviano.

L'Aniene, che nel tratto compreso tra Agosta e la confluenza del T. Ferrata ha un andamento medio SE-NW, presenta un fondovalle alluvionale piuttosto ampio a nord di Marano Equo, dove riceve in destra il F. Bagnatore, e si allinea poi in direzione NE-SW fino alla confluenza con il Fosso d'Empiglione, in prossimità di Tivoli, con fondovalle piatto via via più stretto.

Il reticolo delle aste minori presenta uno stadio evolutivo piuttosto giovanile con forma prevalentemente a V delle vallecole.

3.2.3.1 Problematiche di carattere geomorfologico

Al fine di valutare le criticità per processi di frana nelle zone in cui ricadono le differenti alternative di tracciato, è stata verificata la presenza di movimenti franosi già catalogati nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) - Inventario dei Fenomeni Franosi, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, e nel Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), redatto dall'ISPRA.

Relativamente ai processi gravitativi che interessano l'area di studio, i processi di dissesto sono stati distinti per tipologia e stato di attività (crolli e ribaltamenti di blocchi, frane con movimenti complessi, colamenti e fenomeni deformativi superficiali lenti). Si osserva in particolare come la franosità sia molto diffusa nelle zone interessate dall'affioramento dei flysch arenaceo-argillosi tardo-miocenici, a valle dell'abitato di Anticoli Corrado, nel settore a valle di Rocca Canterano e Rocca di Mezzo ed a nord di quest'ultimo, con forme di tipo complesso e subordinatamente con processi di colamento. Ulteriori fenomenologie vengono segnalate a monte di

Agosta, ad ovest dell'abitato di Arsoli e nei pressi degli abitati di Vicovaro, San Cosimato, Saracinesco, Roviano e Marano Equo.

Altri litotipi vulnerabili ai fenomeni gravitativi risultano, anche se in misura minore rispetto ai precedenti, quelli riferibili alla Formazione di Guadagnolo, in particolare nell'area circostante l'abitato di Mandela, dove sono segnalati processi di colamento, fenomeni deformativi superficiali lenti, forme complesse.

Generalmente stabile risulta essere altresì tutto il settore occidentale strutturato nelle formazioni calcareo-marnose e calcaree appartenenti al dominio di transizione Sabino. Entrambi i cataloghi riportano fenomeni di instabilità di versante quiescente in prossimità dell'abitato di Roviano ed Anticoli Corrado (A250PFA0090).

Di rilevante attenzione risultano essere i settori nei pressi degli abitati di Mandela, San Cosimato, Vicovaro e Saracinesco, dove insistono fenomeni di instabilità gravitativa attivi di diversa natura, quali colamenti, deformazioni superficiali lente e/o soliflusso, movimenti complessi e orli per scarpata di frana. Nelle aree prossime al centro abitato di Mandela, è segnalata la presenza di un'area con rischio frana molto elevato R4 (A250PFA0090).

Anche nei pressi del centro abitato di Tivoli, risultano di notevole importanza alcuni settori caratterizzati da una pericolosità di frana moderata (poligoni retinati in giallo) e rischio di frana molto alto R4 (solo in corrispondenza del centro storico di Tivoli per crollo e del sistema vallivo a monte di Via Monte Vescovo per debris flow) segnalate nel PAI (A250PFA0090).

Al fine di valutare le criticità per processi di esondazione e/o alluvionamento nelle zone in cui ricadono le differenti alternative di tracciato, è stata verificata la presenza di settori interessati da tali fenomeni, già catalogati nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – Fasce Fluviali e Zone a Rischio, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (A250PFA0080).

3.2.3.2 Problematiche legate ai fenomeni carsici

La possibilità di rinvenire forme ipogee legate a fenomeni carsici è funzione della natura del litotipo attraversato, maggiore nelle facies prevalentemente carbonatiche e minore, se non nullo, in quelle marnose.

In questo contesto si rileva una bassa propensione al rinvenimento di tali forme, eccezion fatta per la zona dei depositi travertinosi nella zona di San Cosimato – Vicovaro. Infatti, nel Comune di Vicovaro (Località San Cosimato) si segnala la presenza di cavità ipogee con diverse dimensioni e profondità dal p.c.

In Figura 3 è riportata la localizzazione geografica di tali cavità, derivate dal Catasto delle cavità naturali del Lazio, il quale censisce le cavità naturali presenti nel territorio regionale come indicato nella L.R. 20/99.

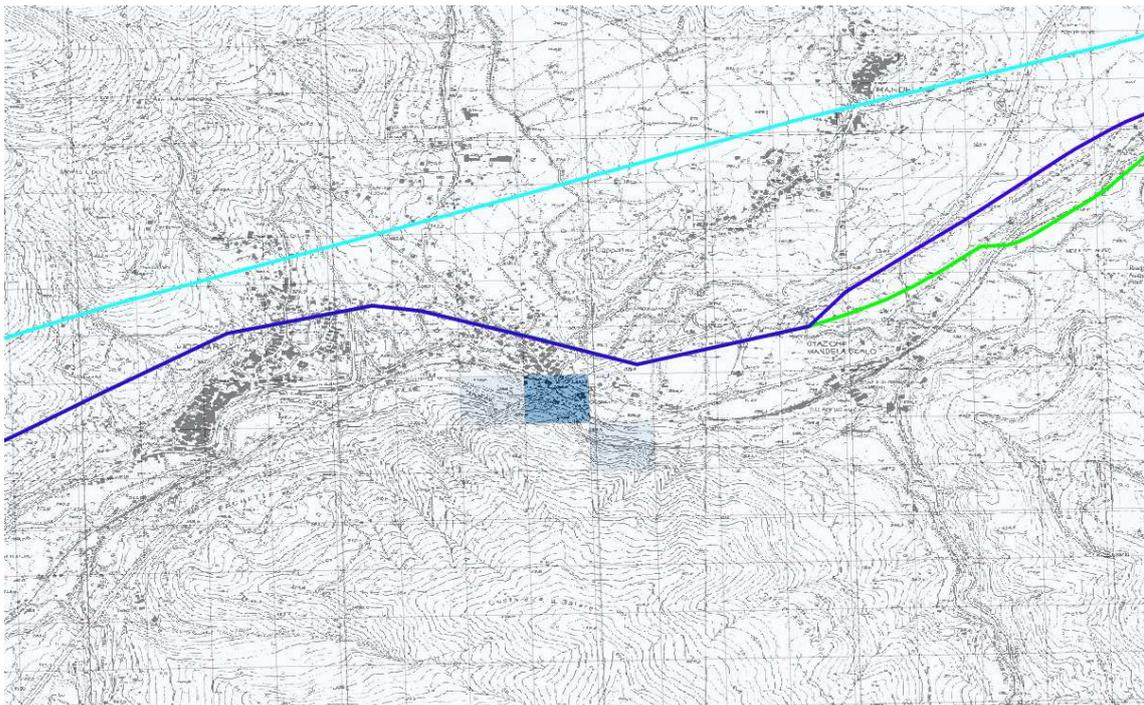


Figura 3 – Densità di cavità ipogee localizzate nei pressi della località San Cosimato, comune di Vicovaro. Le ipotesi di tracciato di progetto sono rappresentati in diversi colori

Questo dataset presenta il catasto in forma aggregata, in cella quadre con lato 250 m, per restituire la densità di cavità presenti nel territorio, comprensivo di alcuni dati

speleometrici presenti nel catasto stesso, curato e tenuto dalla Federazione Speleologica del Lazio (FSL) ai sensi della L.R. 20/99 (Tabella 1).

Tabella 1 – Inventario delle cavità ipogee presenti e censite in Località San Cosimato

Nome	ID	Dislivello negativo dal p.c. (m)	Sviluppo spaziale (m)	Anno prima esplorazione
Grotta del Convento	218	-	-	1953
Grotticella della Diga	1148	-	10	1990
Cavità generica	1418	2	-	1996
Cavità generica	1419	2	-	1996
Grotta dei Saraceni	83	-	20	-
Grotta dell'Acquedotto	85	-	15	-
Diaclassi di San Benedetto	287	-	16	1960
Grotta dei Cavalli	84	12	45	-
Cavità generica	1415	1	-	1996
Cavità generica	1416	1	-	1996

3.2.4 Inquadramento idrogeologico

Le più recenti conoscenze idrogeologiche edite sull'area provengono dalla Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio alla scala 1:250.000 e dalla Carta Idrogeologica della Regione Lazio alla scala 1:100.000 redatte contestualmente dal Prof. Capelli nel 2012 che vedono il fiume Aniene come recapito di base locale delle circolazioni regionali. È evidente come il contesto idrogeologico dell'area discenda da quello geologico, reso particolarmente complesso da una articolata evoluzione geologico - strutturale dei versanti e del fondovalle alluvionale che ne hanno determinato l'assetto idrogeologico. In particolare si riconoscono una serie di grandi e piccole unità strutturali, parzialmente traslate e impilate una sull'altra, originatesi durante la costruzione della dorsale appenninica nelle fasi di maggiore intensità del raccorciamento orogenico. La trasposizione di tali unità in chiave idrogeologica individua, a livello regionale, le unità idrogeologiche che vengono elencate nella

tabella e figura di seguito riportate che le caratterizzano anche in funzione della risorsa complessiva medio annua complessivamente circolante.

Tabella 2 – Unità idrogeologiche interessate dall’opera di progetto

Unità idrogeologica		Area (kmq)	Infiltrazione eff. Media	
ID	Denominazione	totale	mm/anno	L/s
C10	Monti Sabini meridionale-Prenestini	706	500	11190
C11	Monti Ruffi-Lucretili-Cornicolani	288	480	4390
C12	Monti Simbruini e Ernici	636	990	19960

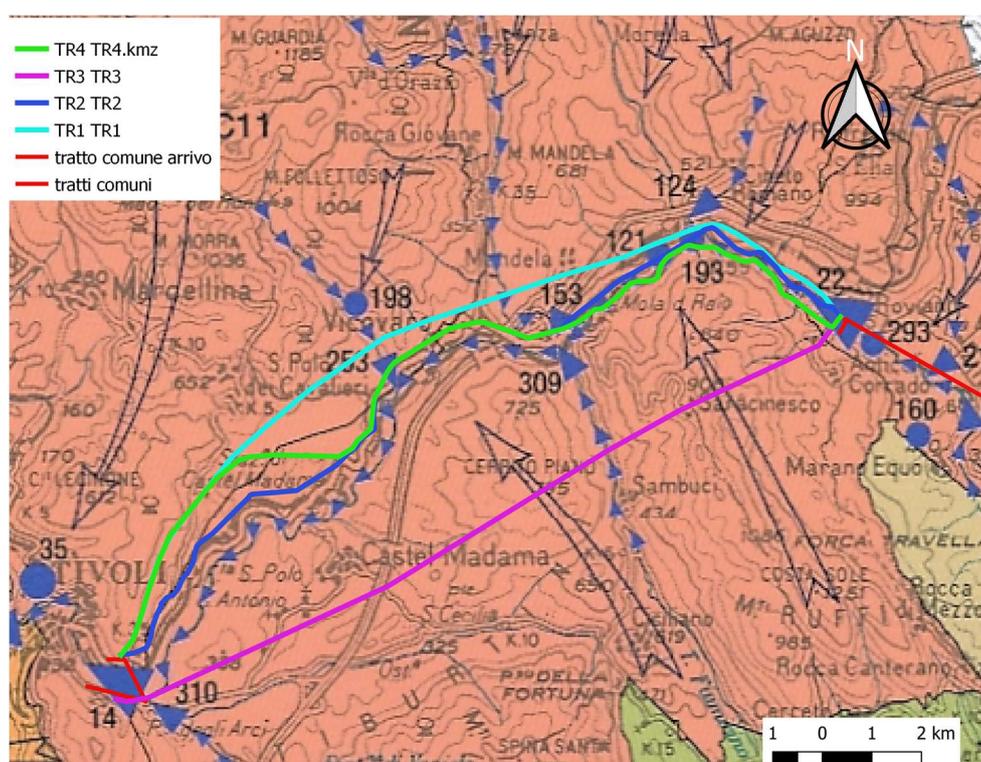


Figura 4 – Stralcio della Carta delle unità strutturali della Regione Lazio alla scala 1:250.000 (Capelli et alii, 2012). In verde e rosso vengono riportati i tracciati ipotizzati

In sintesi, secondo le fonti edite, le opere di progetto insistono, per il tratto iniziale, all’interno dell’Unità Idrogeologica C12, propria dei Monti Simbruini ed Ernici, che possiede come recapito di base il corso del fiume Aniene e le sorgenti dell’Acqua Marcia per una portata complessiva di circa 5 m³/s affioranti sul gruppo delle sorgenti dell’Acqua Marcia e circa 1,5 m³/s affioranti sull’Aniene da quota 325 a 321 m s.l.m.

La piana alluvionale dell'Aniene riceve localmente anche i travasi della struttura carbonatica Simbruina veicolandoli negli orizzonti grossolani basali tamponati da litotipi superficiali limo-argillosi che tamponerebbero quindi il flusso idrico conferendo all'acquifero alluvionale locali caratteristiche di artesianità.

Alcune sorgenti di acque mineralizzate fredde, spesso a componente sulfurea, si manifestano inoltre all'interno della piana tra Ponte Anticoli e Marano Equo, in sinistra idraulica, costituendo talora dei piccoli laghetti. La presenza delle sorgenti minerali è connessa a schemi strutturali complessi che prevedono il notevole approfondirsi delle circolazioni con cui i fluidi mineralizzati vengono a giorno.

Il tratto centrale dell'opera si pone sull'Unità Idrogeologica C10 caratteristica dei Monti Sabini meridionali e Prenestini; tale unità si disconnette idraulicamente dalla precedente attraverso l'elemento tettonico regionale che interpone i flysch argilloso-arenacei tra dominio di piattaforma e di transizione. Le manifestazioni sorgive con portate significative, relative alle strutture del dominio sabino posto in destra idraulica dell'Aniene, sono localizzate ai margini della piana alluvionale dell'Aniene tra il F. della Scarpa e Roviano imputabili alle emergenze della falda basale, contenuta nella Formazione della Scaglia, sub-affiorante in questo tratto, ed in alcuni casi risultano mineralizzate ed associate a manifestazioni gassose sulfuree. Le portate complessive ammontano a circa 600 l/s su un tratto di circa 3 km. Tale gruppo di emergenze è determinato dalla concomitante azione delle condizioni strutturali e dalle condizioni geologiche che vedono l'affioramento della scaglia cinerea detritica che in questi domini sedimentari può considerarsi come l'aquiclude delle circolazioni regionali. Nelle zone di valle si riconoscono le emergenze lineari lungo il torrente Licenza in destra idraulica e il torrente Fiumicino in sinistra possiedono complessivamente emergenze che ammontano a circa 200 l/s medi annui. Nella zona dei Monti Prenestini si evidenziano affioramenti della falda idrica imputabili a circuiti sospesi, che in particolare sembrano caratterizzare la parte alta della sequenza marnoso-calcarenitica relativa alla Formazione di Guadagnolo, il cui top stratigrafico presenta facies strettamente carbonatiche. Queste sorgenti sono caratterizzate da

portate limitate, che raramente raggiungono i 10 l/s, e molte di esse presentano un regime stagionale.

L'unità più distale rispetto alla partenza delle opere di progetto è denominata C11 Monti Ruffi Lucretili e Cornicolani che riconoscono l'Aniene il fosso Ronci e la sorgente Acquoria come recapiti di base delle circolazioni regionali. Tale unità è distinta dalla precedente attraverso il thrust evidenziato dalla sovrapposizione dei Monti Lucretili sui Monti Sabini meridionali attraverso il lineamento posto sul torrente Licenza a direzione meridiana che si rende poi parallelo al corso del fiume Aniene nelle porzioni più sud occidentali. Il piano di scollamento "scorre" sulla scaglia cinerea detritica che affiora sia in sinistra idraulica dell'Aniene al di sotto delle coltri di copertura piroclastiche che in destra idraulica del torrente Licenza determinando quindi un limite di permeabilità imposto.

I complessi idrogeologici interessati dai tracciati, riferibili alla carta Idrogeologica posta nella figura seguente, sono rappresentati rispettivamente da:

- complesso dei depositi alluvionali recenti: costituiti da alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate e coperture eluviali dallo spessore variabile. Sugli spessori maggiori sono presenti falde multistrato e a luoghi multi-falda;
- complesso delle pozzolane: Depositi da colata piroclastica, generalmente massivi e caotici, prevalentemente litoidi dallo spessore di pochi metri sino alle decine. Tale complesso ospita una falda superficiale connessa con il fiume Aniene e sostenuta dai litotipi alla base meno permeabili. Tale scenario è presente a valle del torrente Licenza nella valle compresa tra Vicovaro e Tivoli;
- complesso dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche: tufi stratificati, tufi terrosi, breccie piroclastiche, pomice lapilli e blocchi lavici in matrice cineritica. Tale complesso può localmente fungere da limite di flusso sostenendo esigue falde superficiali;
- complesso dei flysch marnoso-arenacei: associazioni arenaceo-conglomeratiche, arenacee e subordinatamente arenaceo-pelitiche,

associazioni pelitico arenacea con spessori che vanno da pochi a centinaia di metri. Il complesso è privo di circolazione idrica sotterranea di importanza regionale, presentando delle falde locali discontinue all'interno degli orizzonti fratturati o nella porzione alterata sommitale;

- complesso calcareo di piattaforma: successione di calcari marnosi, marne e calcareniti con spessori fino a centinaia di metri. I litotipi marnosi riducono la capacità di ricarica e sostengono falde di modesta entità;
- complesso calcareo-marnoso di bacino: successione di marne e calcari marnosi la cui elevata componente marnosa li configura come acquiclude rispetto agli acquiferi regionali;
- complesso della scaglia calcarea: calcari micritici e marnosi con intercalazioni detritico-organogene con spessori di centinaia di metri che se intensamente fratturato contribuisce alla ricarica degli acquiferi del dominio pelagico e di transizione;
- complesso della Maiolica: calcari micritici bianchi dallo spessore di centinaia di metri costituiscono l'area di alimentazione degli acquiferi basali regionali.

Interazioni con le opere di progetto

Analizzando nello specifico i singoli tracciati risulta evidente come il tracciato TR1 posto in destra idraulica del fiume Aniene sia quello potenzialmente più soggetto ad interagire con la falda idrica regionale dei Monti Sabini meridionali prima e dei Lucretili poi poiché si pone più a monte del flusso rispetto alle quote di recapito rappresentato dal fiume Aniene. In particolare i tratti con maggior probabilità di rinvenire la falda idrica sono rappresentati dalle zone a valle di Roviano sino a Cineto Romano, le zone tra Mandela e Vicovaro sino al fosso Ronci. La falda è contenuta nei calcari marnosi del dominio di transizione Sabino e nei depositi quaternari.

I tracciati TR2 e TR4 possono essere considerati analoghi nelle considerazioni sulle interazioni con la falda idrica poiché entrambe prossimi come tracciato al corso del

fiume Aniene. Entrambi possiedono una possibilità inferiore rispetto a TR2 di interagire con la falda idrica dei Monti Sabini e Lucretili mentre interagiscono con le circolazioni più limitate contenute nei depositi quaternari presenti da Mandela sino a Santa Balbina per un tracciato e sino a casa Valeria per il secondo.

Il TR3 il cui percorso si sviluppa quasi interamente in galleria all'interno della Formazione di Guadagnolo non presenta acquiferi di rilevanza regionale ma unicamente acquiferi multistrato assimilabili ad aquitard e in alcuni casi a veri e propri acquicludi nel caso di un'accentuata componente argillosa.

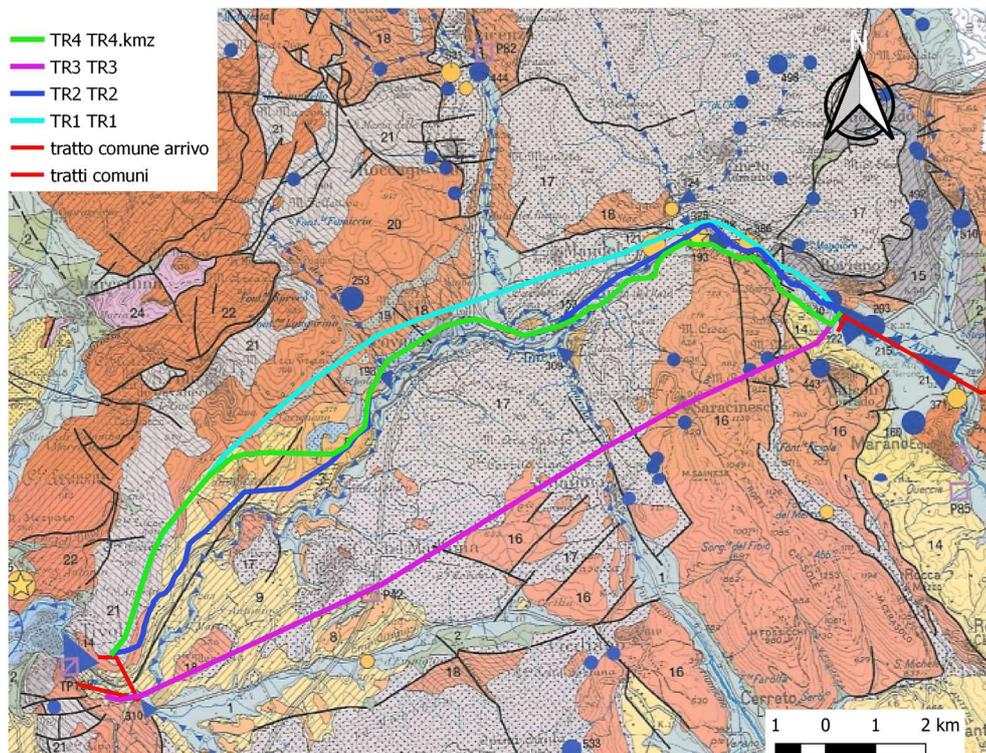


Figura 5 – Stralcio della carta Idrogeologica della Regione Lazio in scala 1:100.000 (Capelli et alii, 2012). In verde e rosso sono riportati i tracciati ipotizzati. I pallini blu individuano le sorgenti in giallo quelle mineralizzate. Le frecce blu indicano i tratti di corso d'acqua interessati da sorgenti lineari. I diversi colori individuano i diversi complessi idrogeologici

3.2.5 Cenni sulla sismicità della zona

La sismicità relativa all'area di studio è principalmente legata ai terremoti prodotti dalle vicine strutture sismogenetiche dell'Appennino centrale (settore Umbro-

Marchigiano ed Aquilano-Marsicano con ipocentri a distanza < a 100 km) oltre che a risentimenti di terremoti regionali (con ipocentri a distanza > 100 km) o telesismi.

La sismicità che si osserva nell'area di studio è direttamente collegata alla persistente tettonica distensiva, alla quale si deve la disarticolazione dell'edificio a falde strutturatosi durante le fasi compressive.

Recenti studi sulla sismicità dell'alto Bacino dell'Aniene (D. Molin et alii, 2002), basati sui dati degli ultimi 130 anni di catalogo disponibili, hanno evidenziato una elevata variabilità da comune a comune delle intensità massime dovute agli eventi di origine locale. Il massimo assoluto, VII grado MCS, si riferisce al terremoto di Cervara di Roma dell'8 settembre 1941, mentre in vari comuni, generalmente situati a monte di Subiaco, non è mai stato raggiunto neppure il V grado.

La distribuzione degli epicentri dei terremoti di origine locale non evidenzia la presenza nell'area di evidenti e netti addensamenti o allineamenti; le frequenze medie risultano inoltre di 22 anni circa per eventi con intensità \geq V-VI grado e di 65 anni circa per eventi con intensità \geq VI-VII grado MCS.

Le massime intensità storiche, pari all'VIII-IX e all'VIII grado MCS, osservate rispettivamente in occasione dei terremoti del 1349 e del 1915, sono relative invece a fenomeni esterni che hanno avuto origine nel tratto di catena appenninica compreso tra la Valnerina ed il Molise. Quasi tutti i più forti terremoti sarebbero collegati, in particolare, a faglie attive note, delle quali le più vicine all'Alto Aniene risultano quelle della Piana del Fucino e della valle dell'Aterno, situate ad una distanza di circa 50 km. La frequenza media con cui i terremoti di origine esterna vengono risentiti con danni nell'Alto Aniene (intensità \geq V-VI grado MCS), risulta dell'ordine di un evento ogni 32-33 anni.

Consultando il Catalogo ITHACA (ISPRA - <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>), il quale contiene la collocazione spaziale delle faglie attive e capaci presenti sul territorio italiano, ovvero in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie, entro l'area di studio non sono in evidenza faglie attive e capaci (Figura 6).

Capoluogo di comune	per terremoti locali		per terremoti esterni	
	Ix (MCSx10) osservata	Ix (MCSx10) presunta	Ix (MCSx10) osservata	Ix (MCSx10) presunta
Affile	--	--	75 (1915)	85 (1349)
Agosta	--	55 (1961)	80 (1915)	85 (1349)
Anticoli Corrado	50 (1946)	55 (1961)	70 (1915)	85 (1349)
Arcinazzo Romano	--	--	60 (1915)	85 (1349)
Arsoli	60 (1961)	==	65 (1915)	85 (1349)
Bellegra	--	--	--	85 (1349)
Camerata Nuova	55 (1941)	==	--	85 (1349)
Canterano	60 (2000)	==	60 (1915)	85 (1349)
Cervara di Roma	70 (1941)	==	65 (1915)	85 (1349)
Filetino	--	--	80 (1915)	85 (1349)
Jenne	--	--	75 (1915)	85 (1349)
Marano Equo	55 (1941)	==	80 (1915)	85 (1349)
Rocca Canterano	55 (2000)	==	55 (1915)	85 (1349)
Rocca Santo Stefano	--	50 (2000)	--	85 (1349)
Roiate	--	--	--	85 (1349)
Roviano	60 (1961)	==	70 (1915)	85 (1349)
Subiaco	50 (1873)	==	85 (1349)	==
Trevi nel Lazio	--	--	80 (1915)	85 (1349)
Vallepiana	50 (1890)	==	65 (1915)	85 (1349)

-- nei casi in cui i valori osservati o presunti risultano <50;
 == nei casi in cui il valore presunto non supera quello osservato.

Intensità massime storiche presunte od osservate nei comuni dell'Alto Aniene in occasione di terremoti di origine locale ed esterna (da D. Molin et Alii, 2002)

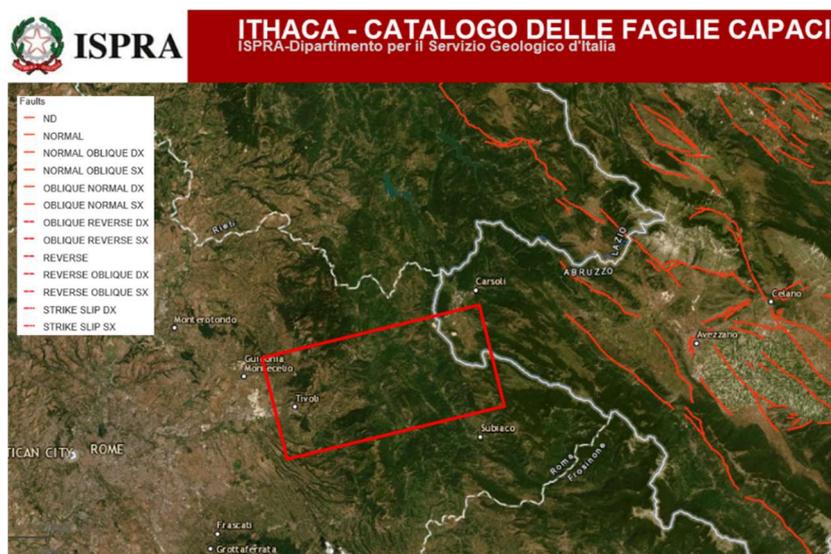


Figura 6 – Localizzazione e codice identificativo delle Faglie Capaci prossime all’area di studio (evidenziata dal riquadro rosso) come rappresentate nel Catalogo ITHACA (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>)

In conclusione la sismicità dell’area può essere considerata come “moderata”, sia in relazione alle intensità massime raggiunte che alla modesta frequenza degli eventi di intensità più elevata.

In buon accordo con quanto sopra, nello specifico dei Comuni ricadenti nell'area di studio (Anticoli Corrado, Arsoli, Castel Madama, Roviano, Sambuci, San Polo dei Cavalieri, Saracinesco, Vicovaro, Tivoli), la Carta delle Massime Intensità Macrosismiche osservate, prodotta da ENEA per la Regione Lazio (DGR 835/2009), indica un'intensità MCS compresa tra 8.0 e 9.0.

Per la valutazione della pericolosità sismica di base nell'area di studio, in termini di accelerazione massima attesa (*Peak Ground Acceleration* – PGA) su suolo rigido (e topografia orizzontale), si può far riferimento alle carte elaborate nell'ambito del Progetto DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) (Figura 7).

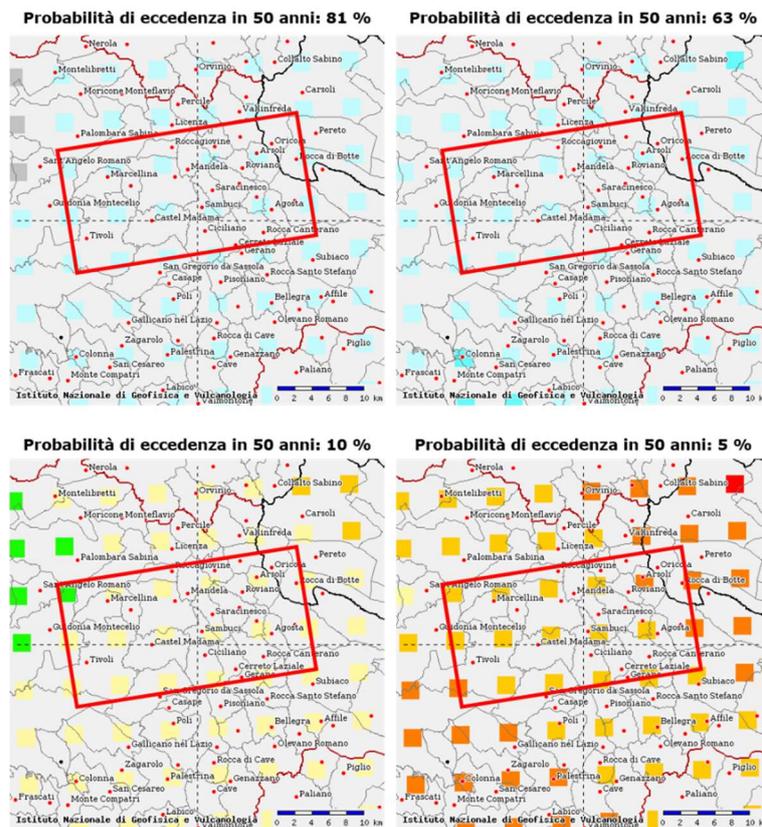


Figura 7 – Pericolosità sismica di base in termini di PGA nel territorio in esame per differenti probabilità di eccedenza in 50 anni corrispondenti ai diversi stati limite previste dalla normativa di riferimento. L'area di studio è evidenziata nel riquadro rosso.

I valori di a_g (PGA) sito specifici (oltre che di F_0 , e T^*_c) da utilizzare nella definizione dell'azione sismica di progetto saranno funzione delle future scelte progettuali e delle

relative verifiche agli Stati Limite previste dalla normativa di riferimento (*DM 17/01/2018*), a cui corrispondono differenti probabilità di eccedenza in 50 anni.

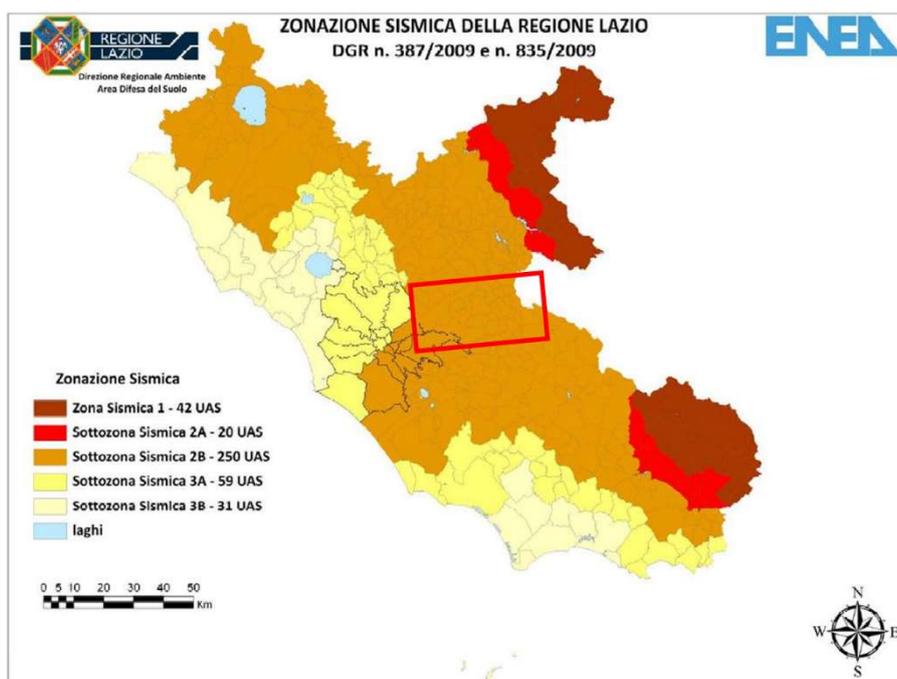
Secondo la più recente classificazione sismica del territorio della Regione Lazio, D.G.R. 387/2009 (Figura 7), in recepimento dell'OPCM 3519/2006, recante i criteri generali per la definizione delle zone sismiche e i relativi valori di pericolosità sismica di base a scala nazionale, i Comuni interessati dall'area di progetto rientrano quasi esclusivamente nella Sottozona Sismica 2B (Figura 8, Tabella 3).

Tabella 3 – Classificazione sismica dei Comuni ricadenti dell'opera di progetto.

Comune	Zona Sismica	Accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido
TIVOLI	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
CASTEL MADAMA	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
SAN POLO DEI CAVALIERI	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
VICOVARO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
MANDELA	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
SAMBUCCI	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
SARACINESCO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
CICILIANO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
ANTICOLI CORRADO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
CINETO ROMANO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
ROVIANO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
ARSOLI	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
MARANO EQUO	2B	$0.15 < a_g < 0.20$
AGOSTA	2B	$0.15 < a_g < 0.20$

Inoltre, si ritiene che, date le eterogenee condizioni geologico-tecniche del suolo e sottosuolo dell'area di studio, siano necessarie più specifiche analisi di pericolosità sismica locale da svolgersi nel corso delle successive fasi progettuali dell'opera a causa dei potenziali effetti di sito (es. effetti di amplificazione sismica stratigrafica 1D e/o topografica 2D, liquefazione, frane, etc.). Resta inteso che tali effetti sono stati tenuti in considerazione con un approccio qualitativo, nella valutazione preliminare

del rischio sismico specifico, anche in riferimento agli studi disponibili di microzonazione sismica di 1° livello dei Comuni interessati alle opere di progetto.



ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Figura 8 – Classificazione sismica della Regione Lazio (DGR 387/2009 e s.m.i.) e relativi valori di a_g corrispondenti alle differenti zone e sottozone sismiche (nel riquadro rosso l’area di studio).

Nella seguente planimetria (Figura 9), con scala 1:50.000, si riporta un quadro sinottico generale dei principali fattori relativi alla pericolosità e al rischio geologico che insistono nell’area di studio.

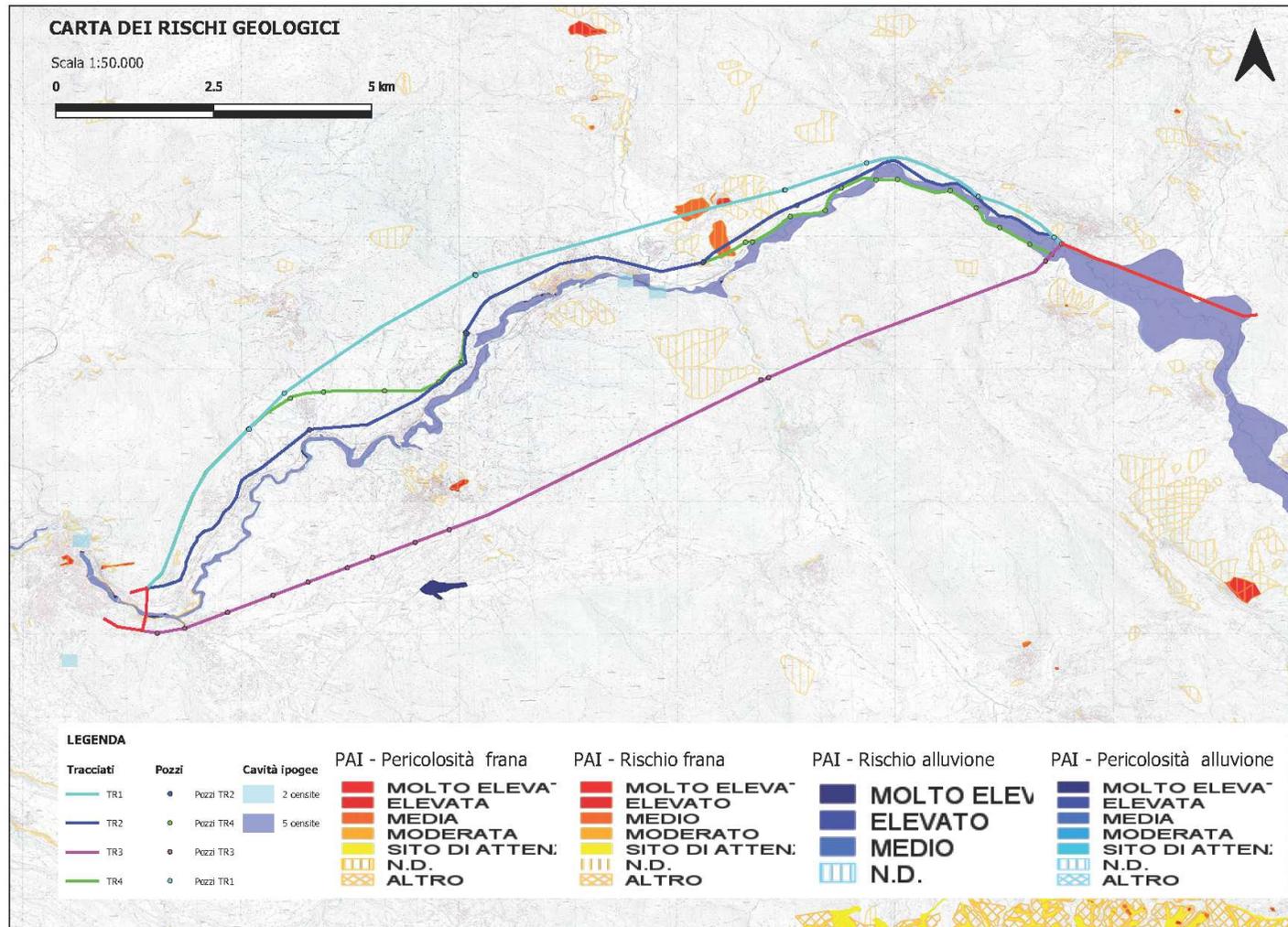


Figura 9 – Carta dei rischi geologici

3.3 Inquadramento ambientale

Come già precedentemente descritto, l'area di studio investigata per la nuova opera di progetto si sviluppa lungo la Valle dell'Aniene, in provincia di Roma e comprende in particolare il tratto di valle compreso tra i comuni di Agosta e Tivoli.

Dal punto di vista ambientale la ricchezza naturalistica dell'area risiede nella particolare configurazione del paesaggio, di tipo spiccatamente pre-appenninico, dove la vicinanza del mare ha concorso alla formazione e alla coesistenza di biotopi determinati da microclimi differenziati dovuti ad esposizioni diverse e influenzati da variazioni della circolazione delle masse d'aria all'interno del complesso montuoso; da qui la necessità di istituire siti di tutela naturalistica quali Aree Naturali Protette Rete Natura.

In particolare, nell'area di studio, ricadono le seguenti Aree Naturali Protette Istituite:

- Parco Naturale Regionale dei Monti Lucretili;
- Riserva Naturale Regionale del Monte Catillo.

Per quanto riguarda i siti appartenenti alla Rete Natura 2000, ricadono nell'area di studio:

- S.I.C IT6030051 "Basso Corso del Rio fiumicino";
- Z.P.S. IT6030029 "Monti Lucretili".

Si rileva che gli insediamenti presenti risultano avere carattere di accorpamento e si limitano per lo più alle aree costituenti i paesi storici con i rispettivi ampliamenti non sparsi sul territorio: fatto che, sommato alla presenza delle articolate estensioni a macchia e boschive e al generale ordine visivo che conservano anche gli appezzamenti coltivati, conferisce un aspetto generalmente armonico al complesso del paesaggio.

Dal punto di vista dei beni paesaggistici si evince come tutta l'estensione dell'area di studio sia caratterizzata da aree soggette a tutela, prevalentemente aree di interesse archeologico, vincoli boschivi, corsi d'acqua, bellezze panoramiche, parchi e riserve.

Inoltre, si sottolinea che, date le caratteristiche del territorio, la Valle dell'Aniene è stata da sempre interessata dalla presenza di numerose civiltà (popolazioni preistoriche, Equi, Romani...) di cui oggi si può ammirare ancora la grandezza. Infatti, l'intera area di studio risulta ricca di numerosi reperti e aree di interesse archeologico.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione di Inquadramento Ambientale e Analisi Preliminare degli Impatti, in cui viene fornita un'analisi vincolistica territoriale e una successiva analisi preliminare degli impatti ambientali.

3.4 Infrastrutture esistenti nell'area di studio

Dal punto di vista infrastrutturale il territorio in oggetto è servito principalmente da:

- l'autostrada A24 o "dei parchi", che attraversando i Monti Tiburtini collega l'area verso Ovest con Roma e verso Est con l'Abruzzo;
- la Strada Statale Tiburtina Valeria, che attraversa Tivoli e passa tangenzialmente a Castel Madama;
- la Strada Statale 636, che dalla Sabina, intersecando la Tiburtina e l'A24, arriva fino ai Monti Prenestini;
- la Strada Empolitana, che da Tivoli penetra nella parte sud-est del comprensorio;
- la Strada Statale 411, che corre perpendicolarmente alla A24 attraversando il territorio comunale di Subiaco;
- la Strada Statale 314, che taglia da Nord a Sud la zona d'interesse;
- ferrovia Roma-Tivoli-Avezzano, che negli ultimi anni ha avuto un notevole incremento di utenti;
- impianto idroelettrico Volta di Castel Madama, gestito da Acea S.p.A. con opera di presa presso la diga di San Cosimato sul fiume Aniene, in corrispondenza dell'abitato di Vicovaro.

- impianto idroelettrico Ferraris di Mandela, gestito da Acea S.p.A., con opera di presa presso la diga di Roviano sul fiume Aniene, situata poco a valle dell'abitato di Roviano;
- impianto di Arci, gestito da Enel Green Power, con opera di presa presso lo sbarramento di Fiumerotto e scarico delle acque nell'Aniene subito a monte della città di Tivoli.

4 Analisi dello stato di fatto

Il sistema dell'Acqua Marcia si inserisce nel quadro degli acquedotti romani e nell'arco degli ultimi 150 anni si è evoluto grazie a una serie di potenziamenti e di interventi sulle sorgenti e sugli acquedotti. Tali interventi, eseguiti in fasi successive, sono dovuti anche ai cambi di gestione che si sono susseguiti nel tempo e sono desumibili dalla documentazione storica della Società dell'Acqua Pia Antica Marcia (SAPAM) e di ACEA.

A tal riguardo va rilevato che la vetustà dell'Opera, che nel corso degli anni è stata oggetto di numerosi interventi di manutenzione straordinaria, non consente di disporre di una dettagliata conoscenza del sistema, tant'è che i dati disponibili provenienti da fonti diverse spesso sono discordanti tra loro. Le informazioni contenute nei paragrafi seguenti sono da riferire allo stato di conoscenza attuale del sistema esistente e saranno oggetto di affinamento nel corso delle fasi successive della progettazione.

4.1 Le opere esistenti

Il complesso sorgentizio dell'acqua Marcia

La captazione dell'Acqua Marcia preleva le acque di 9 sorgenti e gruppi sorgivi principali posti alla base del versante carbonatico dei Monti Simbruini (A250PF D002 0), tradizionalmente raggruppati in:

- sorgenti Alte, nel territorio del Comune di Agosta;
- sorgenti Basse, distribuite sul territorio del Comune di Marano Equo;
- sorgenti della Piana di fronte alla valle d'Arsoli.

Ciascun gruppo di queste sorgenti recapita agli acquedotti attraverso un individuale sistema di adduzione dai caratteri, gradienti e possibilità di manovra specifici. Questo aspetto è espressione dell'evoluzione costruttiva secolare dell'intero complesso e costituisce un carattere qualificante della odierna captazione.

Il Collettore delle Sorgenti Alte

Il primo sistema di adduzione, che preleva le acque dalle Sorgenti Alte, si sviluppa con una lunghezza di 4,5 km sino al Manufatto Origine degli Acquedotti. Tale acquedotto, che possedeva originariamente una capacità limite di trasporto delle acque a piena sezione variabile lungo il tracciato tra circa 1 e circa 3,5 m³/s, è stato realizzato in calcestruzzo magro non armato con uno spessore delle pareti variabile dai 12 cm (scatolare di Residue d'Agosta) ai 20 cm. L'acquedotto possiede una sezione crescente conforme all'aumento di portata apportato dalle sorgenti Alte, con la sezione minore alla partenza da Fonte d'Agosta e la sezione tipo acquisita dopo Mola d'Agosta.

Il Collettore delle Sorgenti Basse

Il sistema di adduzione delle Sorgenti Basse, si sviluppa con un tracciato posto alla base del rilievo calcareo a lato della S.S. Sublacense, con una lunghezza complessiva di circa 2,5 km. È il più vecchio acquedotto in muratura in esercizio presente all'interno della captazione, con una capacità di trasporto limite a piena sezione variabile tra circa 1 m³/s e circa 3,5 m³/s. Presenta una sezione variabile per la larghezza da 1 m a 2 m ed altezza da 1,5 m a circa 2 m.

Il Manufatto Origine degli Acquedotti e lo scarico verso il Vecchio I Acquedotto Marcio

Il Manufatto Origine degli Acquedotti è l'opera in cui confluiscono da monte i due collettori provenienti dalle captazioni e da dove partono i due acquedotti che recapitano le acque a Tivoli dopo un percorso di circa 25 km.

Come si evince dalla planimetria (A250PF D003 0), il Collettore delle Sorgenti Alte confluisce nel Manufatto Origine dalla piana alluvionale in sinistra idraulica mentre il Collettore Sorgenti Basse si immette nel manufatto in destra idraulica dopo aver attraversato la S.S. Sublacense. I due acquedotti in partenza dal Manufatto Origine

iniziano invece sulla parete opposta con percorso parallelo a distanza di pochi metri e percorrono tutta la piana con tracciato adiacente alla S.S..

Il Manufatto Origine, probabilmente modificato nel tempo con vari interventi, è costituito da una struttura mista in murature e calcestruzzo armato con altezza fuori terra di circa 3 m. All'interno si individuano due livelli di cui il primo costituito da un solaio disposto a piano campagna e l'altro sottostante, in corrispondenza della platea di fondazione, a quota coincidente con lo scorrimento delle canalizzazioni in arrivo e partenza. Tra questi due livelli è inserito un ballatoio, accessibile da una botola posta sul solaio superiore, per l'ispezione e il controllo dei flussi e degli organi di manovra.

Nel manufatto sono installate le seguenti paratoie a comando manuale inserite sulle canalizzazioni:

- 1 paratoia sull'ingresso del Collettore Sorgenti Alte;
- 1 paratoia sulla partenza del I Acquedotto;
- 1 paratoia sulla partenza del II Acquedotto;
- 1 paratoia sullo scarico verso il Vecchio I Acquedotto Marcio.

Quest'ultima, è adibita al sezionamento del cunicolo di scarico che collega il manufatto origine al Vecchio I Acquedotto Marcio. Tale cunicolo, da tempo inutilizzato, ha di dimensioni approssimative 100x100 cm e una lunghezza di circa 225 m. Lungo il percorso, che si sviluppa nella piana in direzione dell'Aniene, si trovano alcune immissioni di drenaggi superficiali e alcune piramidi di accesso prima della confluenza con il ramo superiore del Vecchio I Acquedotto.

In prossimità del Manufatto Origine lungo il cunicolo di scarico, si trova inoltre l'immissione di una canalizzazione, peraltro dismessa e in parte interrata, che collega il canale al complesso sorgentizio S. Lucia posto al di là della S.S. Sublacense.

Il Vecchio I Acquedotto Marcio e Ponte Anticoli

Il ramo superiore del Vecchio I Acquedotto (1868 - 1870), con la costruzione del Nuovo I Acquedotto (1924 - 1928), fu destinato a canalizzazione di scarico e si sviluppa lungo la valle a partire dalla piana alluvionale fino a Ponte Anticoli, dove recapita le acque all'Aniene dopo un percorso di alcuni chilometri.

Attualmente, il Vecchio I Acquedotto raccoglie soltanto le acque captate nella parte terminale della piana dalle sorgenti di Fiumetto e Mola di Regno che non vengono normalmente immesse negli acquedotti mentre il primo tratto, dalla confluenza con lo scarico del Manufatto Origine a Fiumetto, non è utilizzato da tempo.

Relativamente alla capacità di trasporto di del Vecchio I Acquedotto in questo tratto in considerazione della sua vetustà e del lungo periodo di inattività non possono essere fatte previsioni attendibili se non dopo l'effettuazione di specifiche sperimentazioni atte a stabilire la reale portata scaricabile.

Infatti il Vecchio I Acquedotto da dati storici dovrebbe essere in grado di trasportare circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ma in considerazione del lungo tempo trascorso dalla sua dismissione non è possibile stimare la reale portata che è in grado di trasferire nel tratto compreso tra l'immissione dello scarico del Manufatto Origine e la confluenza delle sorgenti di Fiumetto.

Per quanto riguarda invece il tratto di valle tra Fiumetto e Ponte Anticoli la canalizzazione del Vecchio I Acquedotto garantisce attualmente lo scarico costante di circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ delle acque captate nella parte terminale della piana (sorgenti di Fiumetto e Mola di Regno) che vengono immesse nel sistema acquedottistico tramite una stazione di sollevamento.

Il primo e il secondo Acquedotto Marcio

I due sistemi di adduzione recapitano le acque al cosiddetto Manufatto Origine degli acquedotti, posto all'estremità orientale della piana di Fiumetto a fianco alla S.S.

Sublacense, da cui hanno inizio i due acquedotti in esercizio denominati I e II acquedotto Marcio.

Il II acquedotto Marcio, realizzato tra il 1898 ed il 1904, ha attualmente una capacità di trasporto di 2100 l/s. Il cosiddetto I acquedotto Marcio, che dopo Ponte Anticoli ha costituito il rifacimento del Vecchio I Marcio (1868 - 1870) traendone il nome, è stato edificato sulla piana di Fiumetto e Mola di Regno tra il 1924 ed il 1928 con una capacità di trasporto di 3200 l/s. Questi due acquedotti, attraversando la piana di Fiumetto e Mola di Regno, traggono le acque anche dalle sorgenti poste sulla Piana. Gran parte del tracciato del I Marcio è stata ricostruita negli anni '20, motivo per il quale il suo stato di conservazione è in generale migliore di quello del II acquedotto.

Dal Manufatto Origine in poi i due acquedotti viaggiano più o meno affiancati, intersecandosi diverse volte in corrispondenza di alcuni manufatti di manovra, scarico o riunione. In particolare, si individuano:

- manufatto di Ponte Anticoli, è un edificio di comunicazione e scarico completo dell'intera portata delle sorgenti. Di fatto si tratta del primo manufatto di manovra lungo il tracciato degli acquedotti, da cui è possibile effettuare lo scarico completo nel Fiume Aniene in funzione della quota del pelo libero del fiume stesso;
- località La Spiaggia - Ferrata, ove sono presenti diversi manufatti con funzione di scarico e di clorazione presso i quali non vi è comunicazione tra i due acquedotti;
- l'edificio Frattocchie di comunicazione tra i due acquedotti, senza però la possibilità di scarico. In condizioni di funzionamento ordinario la paratoia centrale di comunicazione è chiusa. Viene aperta in caso di fuori servizio di uno dei due acquedotti tra Ponte Anticoli e Frattocchie;
- manufatto di Licenza, anch'esso di comunicazione tra i due acquedotti, con la possibilità di scaricare una quota parte della portata totale. In tale manufatto le acque dei due acquedotti si mescolano senza la possibilità di separarle. Fino

al successivo manufatto di Mainetta, i due acquedotti proseguono nella galleria comune (cosiddetta "galleria della Sara");

- manufatto di Mainetta, ove termina la galleria comune della Sara e, per mezzo di una paratoia, avviene la regolazione della portata ai due acquedotti. A valle di tale manufatto è possibile scaricare il I acquedotto tramite il Vecchio Primo (scarico dei Cerreti) nel fosso del Sepolcro;
- manufatto di manovra di Vigna Trezzini, che presenta uno schema analogo al manufatto di Ponte Anticoli, con le paratoie centrali chiuse in esercizio ordinario, che consentono un trasferimento di circa 100-200 l/s;
- Fiumerotto, ove sono presenti vasche, non connesse tra loro, di decantazione per la deposizione di eventuale materiale solido limoso trasportato e per la misura della portata e della torbidità. Da tale manufatto è possibile inoltre effettuare lo scarico completo dell'intera portata.

Da quanto sopra esposto si desume che i manufatti principali di governo dei due acquedotti sono i seguenti:

- il Manufatto Origine, per la distribuzione iniziale delle portate;
- Ponte Anticoli e Ferrata, per lo scarico completo dei due acquedotti;
- Mainetta, per la ridistribuzione delle portate a valle della galleria comune;
- Fiumerotto, per la misura della portata e scarico completo degli acquedotti.

I manufatti di arrivo presso Tivoli

I due acquedotti terminano presso Tivoli ed in particolare presso la vasca di carico di Quintiliolo, attraversando i manufatti di Casa Valeria, Mattatoio e Scivolo Tedeschi. Da tali manufatti posti alle estremità degli acquedotti hanno origine otto condotte adduttrici, denominate "sifoni", che trasportano l'acqua verso Roma e l'ATO2. I primi sette sono stati costruiti dalla Società dell'Acqua Pia Antica Marcia (SAPAM) tra il 1932 ed il 1970, l'VIII Sifone è stato costruito da ACEA nel 1968.

In particolare, dal manufatto di Casa Valeria si dirama l'VIII Sifone, dal Bottino Mattatoio il V e VI sifone (con successiva diramazione del VII Sifone), dallo Scivolo Tedeschi il III e IV Sifone. L'ultimo di tali manufatti è Quintiliolo, dal quale attualmente si diramano i sifoni I e II. L'VIII Sifone, chiamato anche Pedemontana, alimenta i comuni dei Castelli e si sviluppa in direzione di Pomezia, i sifoni V e VI percorrono la via Prenestina verso Roma, mentre i sifoni I, II, III, IV e VII percorrono la via Tiburtina, sempre verso Roma.

4.2 Problematiche gestionali del sistema attuale

Il sistema acquedottistico esistente è gravato da una serie di problematiche legate alla gestione operativa ed al funzionamento del sistema.

In particolare, lo schema attuale alle Sorgenti-Manufatto Origine degli Acquedotti presenta i seguenti punti di criticità:

- non è possibile operare una separazione delle acque dei due collettori in arrivo al Manufatto Origine in quanto i due flussi confluiscono nell'unica camera da cui si dipartono poi i due acquedotti. Tale configurazione impedisce, pertanto, la gestione separata dei due gruppi di sorgenti e qualsiasi fenomeno anomalo su uno dei collettori si ripercuote inevitabilmente anche sulle portate captate dall'altro;
- nei casi di necessità in seguito ad eventi anomali o per le normali operazioni di manutenzione, con l'attuale configurazione non è possibile scaricare, neppure parzialmente, le portate in arrivo al Manufatto Origine senza interessare il primo tratto degli acquedotti fino allo scarico di Ponte Anticoli o Fiumerotto (nel caso di impossibilità di scarico a Ponte Anticoli a causa delle quote piezometriche del Fiume);
- la conformazione attuale non consente, infine, nessuna governabilità degli acquedotti in partenza dal Manufatto Origine in termini di ripartizione e regolazione delle portate.

Quanto detto evidenzia evidenti limiti gestionali per l'opera acquedottistica esistente con possibili pesanti disservizi in caso di fenomeni d'inquinamento anche per un solo gruppo sorgentizio.

I diversi edifici di comunicazione presenti lungo il tracciato permettono nella maggior parte dei casi solamente il trasferimento di poche centinaia di l/s; inoltre gli organi di intercettazione e regolazione non sono sempre pienamente funzionali con le esigenze gestionali.

Come si evince dalla descrizione dei diversi manufatti, la distribuzione di portata tra i due acquedotti viene regolata di fatto solamente in pochi punti lungo il tracciato:

- la distribuzione iniziale avviene al Manufatto Origine degli Acquedotti, e tale si mantiene fino a Licenza;
- a Licenza avviene il completo mescolamento delle portate per il transito nella galleria comune della Sara;
- la portata viene nuovamente suddivisa a Mainetta, a valle della galleria, azionando una paratoia sul canale uscente. Tale distribuzione viene mantenuta fino all'arrivo a Tivoli;
- per quanto riguarda la possibilità di scarico completo dei due acquedotti, gli unici manufatti dotati di scarichi in grado di smaltire l'intera portata trasportata sono quelli di Ponte Anticoli (in funzione della quota piezometrica del Fiume Aniene), Ferrata e Fiumerotto; gli altri sono in grado di scaricare solo una parte della portata.

Per quanto riguarda la misura di portata, non è possibile effettuare misure affidabili sia per i diversi gruppi sorgentizi sia presso il Manufatto Origine. Non vi sono misure di portata alle sorgenti ad eccezione della sola misura di livello idraulico delle sorgenti "Acque Alte" che, solo per dette sorgenti, consente di stimare la portata addotta. Per la misura di portata negli acquedotti, essa viene effettuata in maniera attendibile solamente presso Fiumerotto, che si trova a 2/3 del tracciato totale con ovvie conseguenze sulla valutazione dell'entità delle perdite lungo il tracciato.

La clorazione viene effettuata presso le sorgenti per la sola sorgente di Mola d'Agosta, in quanto essa è posta ai piedi del centro abitato di Agosta ed è soggetta al rischio di fenomeni di inquinamento, e separatamente presso il manufatto della Spiaggia su ciascun acquedotto.

Le opere in progetto mirano pertanto a limitare o risolvere, almeno in parte, le suddette problematiche e consentirne agevolmente la futura risoluzione.

5 Requisiti e criteri di progettazione

Il presente studio è stato redatto in conformità e sulla base dei criteri e requisiti indicati all'interno del Quadro Esigenziale (QE) e del Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP) redatti da Acea ATO2. Il Quadro Esigenziale, insieme al Documento di Indirizzo alla Progettazione, orientano la progettazione al fine di assicurare la qualità del processo e la qualità del progetto, per quanto concerne sia gli aspetti legati alle regole tecniche che ai principi della sicurezza e della sostenibilità economica, territoriale ed ambientale dell'intervento, nel rispetto del miglior rapporto fra i benefici e i costi globali di costruzione, manutenzione e gestione, nonché in relazione ai costi del ciclo di vita dell'opera.

Sulla base di tali requisiti e criteri sono state formulate ed analizzate diverse alternative progettuali. I requisiti e i criteri complessivamente identificati per analizzare le alternative progettuali ed esaminarle nei raffronti specifici sono riferibili a diverse categorie (aspetti di funzionalità idraulica, ambientali, gestionali e manutentivi, igienico sanitari) ed illustrati di seguito.

Requisiti Idraulici

Il dimensionamento del nuovo sistema acquedottistico, con funzionamento prevalentemente in pressione, deve essere tale da assicurare il regolare funzionamento anche nell'ipotesi di una piezometrica al manufatto di partenza inferiore di almeno un metro rispetto a quella attuale.

Il manufatto di partenza del Nuovo Acquedotto Marcio deve essere realizzato al fine di consentire la raccolta e la gestione della portata attualmente addotta con il sistema acquedottistico esistente e predisposto per accogliere l'intera portata di concessione, al netto del contributo delle sorgenti di Acquoria (6,7 m³/s). Tale manufatto deve consentire, all'occorrenza, la separazione e lo scarico autonomo della risorsa transitante nei due collettori in arrivo dalla captazione (Collettore sorgenti Alte e Collettore sorgenti Basse), per mezzo di organi di sezionamento e scarico.

Il nuovo sistema acquedottistico deve garantire l'adduzione della suddetta portata di concessione ai nodi di Casa Valeria e del manufatto di origine dell'VIII sifone con una piezometrica minima di 280 m s.l.m.. Anche in caso di funzionamento con esclusione di un tratto di acquedotto, deve verificarsi la condizione di adduzione dell'intera portata di concessione con una piezometrica che deve essere superiore a quella che attualmente consente il funzionamento del sistema di valle.

A tale scopo, per il nuovo sistema acquedottistico è valutata, nel ventaglio delle alternative progettuali oggetto del presente studio, la possibilità di realizzare connessioni intermedie tra i due nuovi rami con possibilità di interscambio ai nodi di estremità di ogni tratta di acquedotto compresa tra due connessioni. Con il fuori servizio di una condotta in una tratta, per guasto o manutenzione, la portata di concessione transitante in una sola canna garantendo il rispetto delle condizioni summenzionate.

I nuovi acquedotti devono almeno nel breve periodo continuare ad alimentare le opere di valle con i carichi piezometrici iniziali attuali. Sono pertanto previsti idonei sistemi di dissipazione dell'eventuale eccesso di carico disponibile.

Le nuove opere devono essere dotate delle necessarie opere di scarico e di vuotatura, laddove possibile reimpiegando gli scarichi esistenti, verso corpi idrici ricettori idonei. Le opere di scarico del nuovo acquedotto devono garantire il contenimento del tempo di vuotatura a fini ispettivi, manutentivi o di emergenza entro le 12 ore.

Il Nuovo Acquedotto Marcio deve essere dotato di un sistema di telecontrollo per il monitoraggio e la registrazione delle misure utili a caratterizzare il funzionamento dell'infrastruttura (monitoraggio nel tempo dello stato e delle prestazioni delle opere). In particolare, tali misure idrauliche devono consentire di effettuare in tempo reale il bilancio delle portate in ingresso ed in uscita dal sistema, e deve essere previsto un sistema di comandi e controllo da remoto degli organi di regolazione.

Il nuovo acquedotto deve garantire l'alimentazione idrica delle utenze oggi già approvvigionate direttamente dagli acquedotti esistenti, prevedendo la realizzazione di opere di derivazione che consentono la continuità di tale alimentazione. In

prossimità delle derivazioni da alimentare con il Nuovo Acquedotto Marcio sono previste opportune opere di disconnessione idrauliche onde evitare che le variazioni di portata delle utenze si ripercuotano sul funzionamento dell'acquedotto.

Nelle condotte andrà garantito il rispetto di velocità limite, poste indicativamente pari a:

- velocità massime: $2 \div 3 \text{ m/s}$ per evitare eccesso di vibrazioni, invecchiamento rapido della condotta e sovrappressioni di colpo d'ariete troppo elevate in caso di fenomeni transitori (nel caso di funzionamento in pressione);
- velocità minime $0,4 \div 0,5 \text{ m/s}$ per evitare tempi di permanenza in acquedotto troppo lunghi della risorsa.

I suddetti requisiti vengono soddisfatti definendo una pendenza minima delle condotte in progetto, valutando altresì il regolare riempimento, svuotamento e sfiato delle stesse.

Il nuovo acquedotto permetterà inoltre una predisposizione a futuro utilizzo del carico idraulico preservato per usi non direttamente connessi con il funzionamento delle esistenti infrastrutture di valle.

Criteri Strutturali

Nella progettazione andrà posta particolare attenzione alla realizzazione degli interventi di connessione alle opere esistenti configurabili come interventi locali così come definiti dalla vigente normativa sulle opere strutturali (Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 2018). Il progetto delle interconnessioni con le strutture esistenti privilegia le soluzioni che, rispetto alla configurazione iniziale, non producano sostanziali modifiche al comportamento dell'intera struttura e comunque non riducano i livelli di sicurezza preesistenti.

Requisiti Ambientali e Geologici

La progettazione della nuova opera dovrà tenere debitamente conto dell'interferenza con i vincoli insistenti sui territori attraversati, minimizzando gli impatti sulle componenti ambientali e sulle matrici interessate dalla realizzazione.

Andrà infatti posta particolare attenzione alle interferenze con Aree Naturali Protette e/o Rete Natura 2000, con aree interessate da vincolo paesaggistico e con aree a rischio frana e/o inondazione.

È stata valutata l'interferenza con il sottosuolo, con particolare riferimento alle soluzioni investigate per la gestione delle terre di scavo, con le infrastrutture viarie, ferroviarie e idroelettriche, con l'uso del suolo sia attuale che programmato.

Le scelte andranno condotte con l'obiettivo di minimizzare l'impatto sul paesaggio, sulla vegetazione e su flora, fauna e aree boscate, così come le interferenze con le aree urbanizzate e i centri urbani.

Per quello che invece riguarda le aree di cantiere, queste andranno valutate dal punto di vista sia dell'accessibilità, sia dell'impatto sul territorio in termini di atmosfera e della qualità dell'aria (polveri), di vibrazioni, di traffico e di rumore.

Requisiti Gestionali e Manutentivi

La nuova infrastruttura deve incrementare la flessibilità gestionale del sistema di approvvigionamento della Città Metropolitana di Roma. Sono pertanto previsti appositi scenari di esercizio ordinario e straordinario, restituendo le diverse configurazioni ammissibili per manufatti ed organi di governo del sistema.

Per quanto attiene le parti di Opere esistenti che verranno individuate come nodi di connessione alle opere in progetto, si è valutata la sicurezza delle parti strutturali interessate dagli interventi privilegiando le soluzioni che, rispetto alla configurazione iniziale, non producono sostanziali modifiche al comportamento dell'intera struttura e comunque non riducono i livelli di sicurezza preesistenti.

Nelle fasi di cantiere e nelle operazioni di manutenzione delle opere, è prevista un'opportuna gestione delle situazioni di lavori in ambienti di confinati o sospetti inquinamento e di lavori in quota. Per la gestione dei lavori in spazi confinati sono scelte soluzioni che facilitano l'accessibilità, predisponendo delle opportune vie di fuga e/o dei sistemi di controllo e di recupero.

Nelle fasi di esercizio sono definite soluzioni per agevolare le operazioni di controllo e di manutenzione ordinaria e straordinaria dei comparti, dei punti di misura previsti, delle apparecchiature presenti e degli impianti. La viabilità interna eventualmente realizzata sarà corredata da opportuna segnaletica orizzontale e verticale.

L'interno dell'acquedotto e le opere di accesso dovranno essere interamente ispezionabili per consentire le attività di monitoraggio e manutenzione, ordinaria e straordinaria.

Requisiti Igienico Sanitari

Data la particolare configurazione del sistema acquedottistico all'interno dell'area di esondazione del fiume Aniene, per la protezione da acque di percolazione e/o infiltrazione superficiale è posta particolare attenzione alle soluzioni rivolte all'impermeabilizzazione da impiegare anche per i manufatti funzionali al sistema.

Sono inoltre uno specifico requisito dei sistemi di impermeabilizzazione anche i controlli implementati sulla tenuta idraulica dei rivestimenti nel lungo periodo, da considerare alternativi alle ordinarie forme di ispezione diretta e che potrebbero essere limitate, in base alla soluzione tecnica adottata, anche alle sole fasi di realizzazione di interventi di manutenzione.

Nella progettazione andrà previsto l'utilizzo e la fornitura dei materiali da disporre a contatto con la risorsa idropotabile, tali da rispettare le prescrizioni del D.M. 6 aprile 2004, n. 174 concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano.

Andranno altresì valutati i tempi di permanenza in acquedotto, al fine di garantire il mantenimento della qualità dell'acqua trasportata.

Sarà infine valutata la possibilità di predisporre, ovunque fosse necessario, idonei sistemi di protezione della risorsa idrica.

I principi sopra descritti sono relativi agli obiettivi generali da perseguire, ai fabbisogni da porre a base dell'intervento, alle specifiche esigenze qualitative e quantitative che l'opera in progetto deve soddisfare, ai criteri di progettazione, di presentazione dei risultati, di modalità costruttive e manutentive che la realizzazione nel suo complesso dovrà rispettare, e sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 4 – Requisiti del Quadro Esigenziale e del Documento di Indirizzo alla Progettazione redatti da Acea ATO2 per il progetto del Nuovo Acquedotto Marcio

CATEGORIA REQUISITO	ULTERIORI INDICAZIONI O CRITERI PROGETTUALI
Idraulici	Flessibilità di esercizio con connessioni intermedie tra i due nuovi rami
	Mantenimento delle derivazioni esistenti per l'approvvigionamento
	Piezometrica presso i manufatti di arrivo a Casa Valeria e VIII sifone
	Velocità massima e minima (pendenze, sezioni, moto, stato invecchiamento condotte)
	Realizzazione tratti idonei per le misure idrauliche (portate, livelli)
	Possibilità di scarico del nuovo sistema acquedottistico
Strutturali	Possibilità di interconnessioni con le opere esistenti configurabili come <i>interventi locali</i>
Ambientali e Geologici	Interferenza con il sistema delle Aree Naturali Protette
	Interferenza con il sistema paesaggistico
	Interferenza con zone ad elevata sensibilità archeologica
	Interferenza con il sistema vegetazione e fauna
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio idraulico
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio frana
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio sismico
	Impatto sulla circolazione idrica sotterranea
	Problematiche di carattere litotecnico, geomeccanico e geologico-strutturale
Interferenza con sottosuolo-gestione e materiale di scavo	
Gestionali e Manutentivi	Tempi di svuotamento del nuovo acquedotto < 12 ore
	Sistemi e procedure di sicurezza degli operatori per l'ispezione e manutenzione
	Flessibilità gestionale dell'opera
Igienico Sanitari	Tempo di permanenza idraulica nuovo acquedotto
	Utilizzo di materiali compatibili con l'uso idropotabile e la protezione della risorsa
	Sistemi di procedure e sicurezza per la protezione della risorsa idrica

6 Metodologia adottata per la definizione delle alternative progettuali

La metodologia adottata a supporto del processo decisionale per la definizione delle alternative progettuali per il Nuovo Acquedotto Marcio si compone dei seguenti step:

1. sono individuati diversi aspetti progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio, per ciascuno dei quali sono definite e descritte le rispettive ipotesi progettuali;
2. le ipotesi progettuali definite sono combinate tra loro definendo così le alternative progettuali. Nella definizione di tali soluzioni progettuali sono escluse le eventuali combinazioni relative non ottimali (combinazione non fattoriale);
3. le risultanti alternative progettuali sono confrontate per mezzo di uno strumento a supporto delle decisioni (SSD), in particolare per mezzo di un'analisi multicriteria al fine di individuare la soluzione ottimale di progetto per la collettività che sarà oggetto del successivo Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE).

Nell'ambito del presente studio sono state individuate, per gli aspetti significativi dell'opera, alcune ipotesi progettuali. La generazione delle ipotesi di progetto del Nuovo Acquedotto Marcio riguarda specifici elementi qualificanti dell'opera, quali:

- la connessione al Manufatto Origine degli acquedotti;
- i tracciati delle due condotte costituenti il nuovo acquedotto;
- le modalità di funzionamento idraulico preferenziale;
- ispezionabilità e manutenibilità dell'opera – sezione gallerie;
- la connessione al nodo di Tivoli (e relativamente ai sifoni).

Le diverse ipotesi individuate relativamente a tali aspetti sono utilizzate al fine di comporre le alternative progettuali, oggetto della successiva valutazione multicriteria.

L'opzione zero, ovvero la possibilità di non realizzare l'intervento, è indicata come opzione non percorribile dal Quadro Esigenziale. Tuttavia, è necessario considerare l'opzione zero come riferimento nella valutazione delle alternative di progetto che pertanto è stata effettuata in maniera differenziale rispetto a tale opzione.

Le alternative progettuali definite sono sottoposte ad una valutazione comparativa attraverso un'analisi multicriteria, relativa a tutti i criteri e requisiti considerati per gli aspetti idraulici, strutturali, ambientali e geologici, gestionali e manutentivi, e igienico sanitari al fine di individuare l'alternativa progettuale complessivamente più vantaggiosa.

Per quanto riguarda la modalità di valutazione, per ogni criterio e requisito esaminato, è stata rappresentata l'entità dell'impatto o interferenza, adottando la seguente scala di colori:

NULLO O TRASCURABILE	
BASSO	
MEDIO	
ALTO	

7 Definizione delle alternative progettuali

In ottemperanza ai criteri e requisiti definiti nel Quadro Esigenziale (QE) e nel Documento di Indirizzo della Progettazione (DIP), sono state definite e sviluppate le alternative progettuali di seguito descritte.

Tali criteri e requisiti prevedono la realizzazione di un sistema acquedottistico costituito da due condotte in grado di addurre presso il nodo di Tivoli l'intera portata di concessione ($6,7 \text{ m}^3/\text{s}$), in sostituzione degli acquedotti esistenti (denominati I e II Acquedotto Marcio).

Le alternative progettuali sono definite in modo tale che nel corso delle fasi costruttive non vi sia interferenza con il sistema esistente, tale da alterarne la funzionalità, con funzionamento idraulico in pressione al fine di garantire la piezometrica in arrivo al nodo di Tivoli.

Le alternative progettuali definite sono costituite, di fatto, da diverse combinazioni di tracciati (TR1, TR2, TR3 e TR4) aventi in comune il tratto di partenza, dal manufatto origine degli acquedotti a Ponte Anticoli (Nodo A), ed il tratto finale di arrivo al nodo di Tivoli. Tale nodo terminale prevede l'allaccio al manufatto di Casa Valeria ed al calice dell'VIII sifone mediante la realizzazione di un nuovo attraversamento del Fiume Aniene (A250PF D022 0).

Altro presupposto alla base della definizione delle alternative progettuali è che il tracciato TR2, che sostanzialmente ripercorre l'esistente II Marcio, è presente in tutte le combinazioni considerate; questo sia per motivi di opportunità legati al fatto di poter intervenire in aree già di pertinenza, preservando per quanto possibile i manufatti esistenti, sia al fine di consentire il riallaccio delle utenze esistenti. Le fasi realizzative delle nuove opere prevedono dapprima la realizzazione di un primo nuovo acquedotto (TR1, TR3 o TR4) che percorre un tracciato posto ad una distanza dagli esistenti acquedotti tale da consentire la continuità dell'esercizio, e successivamente la realizzazione del secondo nuovo acquedotto (TR2) lungo la fascia di rispetto degli esistenti.

Sulla base di quanto sopra riportato, si effettua una combinazione delle ipotesi progettuali scelte, scartando le combinazioni “non ottimali”. Tale procedura consente di individuare, in sintesi, tre alternative progettuali da sottoporre all’analisi multicriteria per l’individuazione della soluzione progettuale ottimale per la collettività. In definitiva, le alternative progettuali analizzate sono riepilogate nella seguente tabella.

Tabella 5 – Alternative progettuali per il Nuovo Acquedotto Marcio

	dal Manufatto di Partenza degli Acquedotti al Nodo A (Ponte Anticoli)	dal Nodo A al nodo di Tivoli				Nodo di Tivoli - opere di arrivo connessione alle opere esistenti
		TR1	TR2	TR3	TR4	
ALTERNATIVA PROGETTUALE 1	tratto comune di partenza					tratto comune di arrivo
ALTERNATIVA PROGETTUALE 2						
ALTERNATIVA PROGETTUALE 3						

Le tre alternative progettuali definite sono sottoposte quindi ad una valutazione comparativa attraverso un’analisi multicriteria, per l’individuazione della soluzione progettuale complessivamente più vantaggiosa per la collettività.

L’ipotesi di tracciato TR2, ossia il tracciato di progetto che ripercorre i tracciati degli acquedotti esistenti, è presente in tutte le alternative progettuali analizzate. Per tale ragione, l’analisi multicriteria sviluppata in seguito valuta le alternative progettuali considerando gli impatti e le interferenze di tale tracciato come invariante tra le alternative stesse.

Nei successivi paragrafi sono descritti gli aspetti tecnico-funzionali analizzati per gli specifici elementi qualificanti dell’opera.

7.1 Aspetti prestazionali di base del sistema

Per le grandi infrastrutture complesse risulta particolarmente idoneo avvalersi di un approccio alla progettazione di carattere prestazionale (performance-based design), che fonda le basi sull'esplicitazione a monte della fase di progetto delle prestazioni e dei requisiti richiesti dal sistema durante tutta la vita nominale, definita convenzionalmente come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Tra i requisiti da considerare per una corretta progettazione risultano centrali quelli di affidabilità, durabilità e robustezza.

In particolare, per *affidabilità* si intende la capacità di una struttura o un elemento strutturale di soddisfare i requisiti specificati, compresa la vita nominale di progetto, per cui è stato disegnato. In senso stretto essa è la probabilità che una struttura non superi specificati stati limite (stati limite ultimi e stati limite di servizio) durante un periodo di riferimento specificato. Pertanto, più bassa è tale probabilità, più alta è la sua affidabilità.

La *durabilità* rappresenta la capacità che un sistema ha di mantenere invariato, con il trascorrere del tempo, il margine di sicurezza nei confronti degli stati limite verificati in fase di progetto. Negli anni è stato dimostrato, in modo inequivocabile, come il degrado possa determinare la prematura messa fuori servizio delle strutture.

Infine, per *robustezza* si intende la capacità di un sistema di non essere danneggiato da eventi eccezionali in maniera sproporzionata rispetto alla causa di origine. Particolare rilevanza nelle infrastrutture complesse è da porre anche al possibile collasso progressivo delle opere, ossia un meccanismo che scaturisce da una rottura in maniera localizzata di un elemento del sistema e si espande progressivamente, rendendo non più funzionale l'opera.

Per quanto riguarda il Nuovo Acquedotto Marcio, vista la natura dell'opera (infrastruttura prevalentemente a carattere lineare), gli obiettivi di robustezza e affidabilità indicati possono raggiungersi sfruttando fundamentalmente il concetto di ridondanza strutturale; l'affidabilità dell'acquedotto infatti, cresce al crescere del

numero di elementi posti in parallelo, cioè capaci di svolgere la stessa funzione. Pertanto, partendo dal presupposto che l'acquedotto esistente non può essere ispezionato per l'impossibilità di metterlo fuori servizio, per non causare una lunga e non sostenibile interruzione dell'approvvigionamento idrico dell'ATO2, appare fondamentale prevedere una nuova opera che assolva allo stesso compito. Inoltre, è opportuno segnalare come l'assunto di opera strategica, e quindi aver assegnato una classe d'uso pari a IV, conferisce all'infrastruttura acquedottista una classe di affidabilità elevata.

Nella fase di esercizio definitiva l'incremento dell'affidabilità e in parallelo di robustezza globale di sistema sono garantiti principalmente dalle possibilità di:

- derivare la portata di concessione in caso di emergenza attraverso una sola dei due vettori del sistema acquedottistico.
- eseguire interventi e operazioni di manutenzione straordinaria sugli acquedotti anche con il fuori servizio di uno di essi, senza l'interruzione dell'approvvigionamento idrico dell'ATO2.

Partendo dalla definizione della durabilità intesa come la capacità dell'opera di resistere ai fenomeni aggressivi ambientali durante la sua vita nominale, mantenendo inalterate le funzionalità per la quale è stata progettata, è necessario prevedere nel progetto non solo i fenomeni meccanici legati ai materiali ma anche i fenomeni di degrado ambientale. Pertanto, particolare attenzione è stata posta oltre alla progettazione dei materiali costituenti le diverse parti dell'opera anche ai dettagli costruttivi e realizzativi, che preservino la costruzione, dall'azione degli agenti atmosferici, dalle infiltrazioni d'acqua, dall'esposizione a sostanze aggressive, etc.

La progettazione che contempla la prestazione di maggiore durabilità delle opere prevede l'elaborazione di un piano di manutenzione ordinaria che mette in relazione le parti d'opera da mantenere con i rischi a cui la struttura va incontro, le diverse tipologie di interventi da attuare, i tempi in cui agire. In maniera parallela, deve essere previsto e messo in opera un sistema di monitoraggio e controllo delle componenti strutturali e funzionali dell'opera, che ne preservi gli specifici livelli

prestazionali per cui sono stati progettati per tutta la vita nominale dell'intera infrastruttura.

7.2 Rischio sismico

Il rischio sismico è definito come la stima dei danni attesi all'interno di un'area geografica per un prestabilito orizzonte temporale a seguito di un evento sismico. Tale valutazione è effettuata in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni presenti e di antropizzazione (densità abitativa, natura, quantità e qualità dei beni esposti a rischio).

Nello specifico il rischio sismico di un territorio è determinato dalla combinazione di tre principali fattori:

- *pericolosità sismica*: rappresentata dalla frequenza e dall'intensità dei terremoti che interessano il territorio, ovvero dalla sua sismicità. Viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco di interesse;
- *esposizione del sito*: rappresenta la maggiore o minore presenza sul territorio di beni esposti, cioè la possibilità che un sisma comporti danni economici, danni ai beni culturali e perdita di vite umane;
- *vulnerabilità sismica*: è la predisposizione di una costruzione a subire danni in seguito a un evento sismico. Dipende dalla qualità costruttiva delle strutture esaminate (tipologia strutturale, materiali, età del manufatto, stato di degrado e frequenza degli interventi di manutenzione).

L'Acquedotto Marcio, oggetto dell'intervento, parimenti al sistema acquedottistico Peschiera ricopre un ruolo strategico di primaria importanza nell'approvvigionamento idrico della Città di Roma e di molti Comuni dell'ATO2 Lazio-Centrale ricadenti nell'area metropolitana a Nord e a Est della Capitale, pertanto, un eventuale fuori servizio, seppur di breve durata, comporterebbe disagi e danni economici di grave

entità per la comunità. L'opera in progetto consente in prima analisi una riduzione del rischio sismico dell'intero sistema acquedottistico, intervenendo attraverso un miglioramento delle caratteristiche di esposizione del sito e un decremento della vulnerabilità sismica dell'infrastrutture del Peschiera. Precisamente, la realizzazione di due nuovi acquedotti fornisce carattere di ridondanza all'intero sistema, che in caso di danni o guasti su una delle due infrastrutture, può comunque continuare a soddisfare, in ogni situazione, il fabbisogno idrico delle utenze servite (miglioramento dell'esposizione del sito). Inoltre, è necessario considerare che le nuove opere saranno progettate e realizzate in conformità delle vigenti norme tecniche in materia di costruzioni, garantendo elevati standard di sicurezza nei confronti di tutte le azioni meccaniche, con particolare riguardo all'azione sismica. Allo stesso modo, saranno scelti materiali e tecniche costruttive in modo da assicurare una elevata durabilità e qualità costruttiva di ogni manufatto, elemento costruttivo e componente dell'impianto.

7.3 Tecnologie di scavo

Per la realizzazione dei nuovi acquedotti, in relazione alle profondità di posa ed alle caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni attraversati, sono state ipotizzate n. 3 diverse metodologie di scavo: a "cielo aperto" con tecniche tradizionali, con tecnologia del microtunnelling e con tecnologia *Tunnel Boring Machines* (TBM).

Scavo a cielo aperto (*open-cut*)

L'intervento con scavo a cielo aperto costituisce il sistema tradizionalmente impiegato nella realizzazione degli impianti e consente di realizzare una trincea nel terreno, sul fondo della quale sono posate le infrastrutture. Questo tipo di intervento comporta l'utilizzo di una serie di mezzi e di attrezzature per la movimentazione di grandi quantità di materiale da e verso l'area del cantiere, nonché l'adozione di opere provvisorie di sostegno, quando non è possibile la realizzazione di sezioni opportunamente svasate.

La tecnica in questione si articola generalmente nelle seguenti fasi principali:

- rimozione delle sovrastrutture esistenti (i.e. pavimentazione stradale);
- realizzazione delle opere provvisorie di sostegno ed eventuale abbattimento del livello di falda;
- scavo della trincea fino alla profondità operativa;
- esecuzione delle operazioni di posa;
- rinterro e ripristino.

La tecnica di scavo tradizionale presenta una serie di inconvenienti quali: l'inquinamento atmosferico ed acustico legato ai macchinari utilizzati nel cantiere di scavo e la rimozione di grandi volumi di terra destinata a discarica.

Scavo con tecnologia microtunnelling

La tecnologia del microtunnelling rientra tra le tecnologie *no dig* e consente di effettuare la posa di condotte riducendo al minimo, o eliminando del tutto, lo scavo a cielo aperto.

La posa avviene mediante la spinta, da un pozzo di partenza fino ad uno di arrivo, di sezioni di tubo della lunghezza variabile da 1 a 3 metri. La sezione più avanzata del tubo è costituita da una fresa o da una trivella con testa orientabile, che disgrega il materiale durante l'avanzamento. Il materiale di risulta viene portato in superficie tramite un sistema chiuso di circolazione d'acqua e bentonite mantenuto in movimento da grosse pompe.

L'orientamento della testa di perforazione è controllato tramite un segnale laser inviato dal pozzo di partenza lungo la direzione della perforazione, che incide su un rivelatore solidale con la testa fresante, la quale può essere guidata da un operatore per mezzo di un sistema di martinetti idraulici.

La tecnologia viene prevalentemente impiegata per la posa di condotte idriche e fognarie, in generale di grandi dimensioni, e può essere utilizzata con buoni risultati su tutti i tipi di terreno.

La tecnologia descritta può eventualmente prevedere l'utilizzo di additivi e fluidificanti e l'utilizzo di bentonite.

Per tale tecnologia è stimabile una velocità di avanzamento di 7 m/d.

Scavo con tecnologia tunnel boring machine (TBM)

In relazione alle caratteristiche litostratigrafiche dei settori in cui è prevista l'adozione di questa metodologia di scavo si ritiene idoneo in prima analisi l'utilizzo di una *Rock TBM Aperta - Double Shield*.

Le TBM aperte o Gripper TBM si utilizzano per lo scavo in ammassi rocciosi con buone caratteristiche meccaniche, dove si permette agli operatori di lavorare in sicurezza senza una installazione di opere di sostegno di prima fase.

Le rock TBM a singolo scudo o mono-scudate vengono impiegate in ammassi rocciosi con proprietà meccaniche non sufficienti a garantire lo sviluppo del contrasto richiesto per l'applicazione della forza di accostamento nelle TBM aperte. Inoltre, in ammassi rocciosi particolarmente fratturati, le TBM monoscudate offrono un'importante soluzione tecnologica in quanto, sfruttando l'azione dello scudo, consentono di realizzare in sicurezza il cavo della galleria.

Le TBM doppio scudate o frese a doppio scudo telescopico, sono una combinazione di una TBM aperta e di una TBM monoscudata. Sono composte da uno scudo anteriore, che protegge la testa fresante e il cuscinetto reggispinta, da uno scudo telescopico e da uno scudo posteriore, dal quale si estrudono i gripper, e nella cui coda vengono messi in opera, quando richiesto o necessario, i sostegni temporanei o i conci prefabbricati per mezzo di un erettore. La differenza sostanziale con una TBM monoscudata è che la fase di avanzamento e quella di erezione del sostegno possono essere svolte contemporaneamente aumentando notevolmente la velocità di avanzamento e conseguentemente le produzioni attese.

Per tale tecnologia è stimabile una velocità di avanzamento di 15 m/d.

7.4 Ispezionabilità e manutenibilità dell'opera - sezione idraulica

In considerazione della tecnologia di scavo prevista per la realizzazione delle gallerie, la sezione dell'acquedotto dovrà essere circolare. Sono state analizzate diverse dimensioni della sezione della galleria al fine di garantire il trasporto verso valle della portata e contestualmente agevolare le fasi di ispezione e manutenzione dell'infrastruttura.

La durabilità degli elementi strutturali deve essere assicurata progettando l'opera, e la sua manutenzione, in modo tale che il degrado che si dovesse verificare durante la vita nominale di progetto della struttura, non riduca le prestazioni di quest'ultima al di sotto del livello accettabile previsto. Tale requisito viene garantito operando opportune scelte progettuali relativamente a materiali, rivestimenti, dimensionamenti e modalità costruttive.

Le opere sono state inoltre essere progettate per consentire di ottenere un alto livello di ispezionabilità dell'infrastruttura. A tal proposito, in considerazione della tecnologia di scavo prevista per la realizzazione dell'infrastruttura in progetto sono state analizzate diverse caratteristiche dimensionali per le sezioni delle condotte, al fine di garantire il trasporto verso valle della portata e contestualmente agevolare le operazioni di ispezione e manutenzione dell'opera.

Relativamente alle sezioni del Nuovo Acquedotto Marcio, sono state ipotizzate e valutate: una *galleria carrabile* di sezione circolare con all'interno due condotte in acciaio ed una *galleria carrabile* sempre di sezione circolare con all'interno una sola tubazione in acciaio.

I tratti di condotta all'interno della *galleria* presentano una sezione circolare di diametro DN1800, nel caso in cui i tracciati di progetto risultassero interconnettibili, ovvero di diametro DN2000. In queste condizioni, l'acqua, fluendo all'interno della tubazione di acciaio non è a diretto contatto con le componenti strutturali e di tenuta del sistema. Pertanto, si ottiene una maggiore garanzia della durabilità del sistema e quindi di conseguenza delle prestazioni richieste.

All'interno delle *gallerie carrabili* per garantire l'accessibilità ai fini ispettivi e manutentivi dell'opera, è prevista una banchina della larghezza di circa 2,50 m transitabile con mezzi d'opera che consente l'ispezionabilità anche durante il regolare esercizio dell'acquedotto, senza fuori servizio. Per facilitare le operazioni di scarico della condotta, la parte inferiore della banchina è dotata di canalizzazione di raccolta che favorisce il deflusso delle acque in caso di svuotamento dell'acquedotto.

Inoltre, nei tratti in galleria è possibile installare con maggiore facilità un sistema di monitoraggio dell'intera infrastruttura, sia mediante sistemi di monitoraggio "a cavo" (sensori elettronici o in fibra ottica), sia mediante l'ausilio di sistemi di controllo "meccanici" (mire ottiche, fessurimetri, basi deformometriche, etc). Altrettanto semplificata risulta l'installazione di apparecchiature idrauliche per il monitoraggio delle portate, livelli e pressioni. I sensori, di qualsiasi tipo, potranno essere installati direttamente sulla condotta idrica interna, o sui conci prefabbricati del rivestimento esterno in modo da individuare in tempo reale eventuali cedimenti strutturali, perdite localizzate, dissesti geotecnici e anomalie di qualsiasi altro tipo.

7.5 Funzionamento idraulico

Per quanto attiene al funzionamento delle nuove opere, il progetto del Nuovo Acquedotto Marcio prevede l'allestimento di schemi funzionali, riferiti a tre scenari di alimentazione della nuova infrastruttura, rispettivamente riconducibili a condizioni *transitorie* e condizioni di *esercizio ordinario* e *straordinario*.

Condizione transitoria – Nella condizione transitoria è prevista l'adduzione di una portata di 4,2 m³/s, ossia pari alla portata media attualmente recapitata a Casa Valeria, nella prima (in termini temporali di realizzazione) delle due condotte costituenti il sistema acquedottistico in progetto.

Condizione di esercizio ordinario – Nella condizione di esercizio ordinario è prevista l'adduzione dell'intera portata di concessione (6,7 m³/s) ripartita tra le due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico. La regolazione delle portate verrà

effettuata per mezzo di idonei apparecchiature idrauliche installate lungo i tracciati delle condotte in progetto.

Condizione di esercizio straordinario – Nella condizione di esercizio straordinario è prevista l’adduzione dell’intera portata di concessione ($6,7 \text{ m}^3/\text{s}$) anche in caso di funzionamento con esclusione parziale o totale di una delle due condotte costituenti il nuovo sistema acquedottistico. Tale condizione risponde all’esigenza di realizzare, senza alcun disservizio per l’utenza, le necessarie ispezioni e le eventuali manutenzioni straordinarie sui tratti costituenti le condotte in progetto che potranno così essere messe alternativamente fuori servizio per periodi anche lunghi.

Nelle tre condizioni di funzionamento sopra descritte, si ha il rispetto della piezometrica minima da assicurare al nodo di Casa Valeria che, secondo le indicazioni riportate nel Quadro Esigenziale e nel DIP è pari a 280 m s.l.m..

Il funzionamento idraulico rappresenta ovviamente un elemento fondamentale per la progettazione del Nuovo Acquedotto Marcio. La scelta di tale funzionamento condiziona ed indirizza significativamente tutte le scelte progettuali dell’infrastruttura (dimensioni e forma della condotta, pendenze, materiali, profondità di posa, ecc) e si riferisce alla funzionalità dell’opera in progetto ed alla garanzia di adeguati margini di sicurezza nei confronti di portate, pressioni e livelli idrici per tutti gli scenari di esercizio della nuova infrastruttura, sia per le condizioni ordinarie che per quelle straordinarie.

In ottemperanza al requisito del Quadro Esigenziale di raggiungere i manufatti di arrivo al Nodo di Tivoli con una piezometrica minima di 280 m s.l.m., il funzionamento idraulico del Nuovo Acquedotto Marcio si sviluppa a superficie libera, nel tratto comune di partenza tra il Manufatto Origine degli acquedotti e il Nodo A presso la località Ponte Anticoli, ed in pressione dal Nodo A ai manufatti di arrivo al Nodo di Tivoli, alimentando l’infrastruttura completamente a gravità. Il primo tratto è necessariamente da realizzare a superficie libera con scavo a cielo aperto per limitare le interferenze con la falda idrica e per la conseguente maggiore semplicità realizzativa, rispetto ad esempio a condotte in pressione, più profonde, realizzate in microtunnelling.

La seconda parte, dal Nodo A fino a Tivoli, viene realizzata con funzionamento idraulico in pressione perché, a causa della conformazione orografica dei territori attraversati, questo costituisce l'unica modalità per preservare il carico idraulico disponibile alla partenza (322,8 m s.l.m.; tale piezometrica iniziale presa a riferimento è stata determinata, con un rilievo preliminare considerando le quote del Manufatto Origine riportate nelle tavole storiche).

La condotta in pressione ha la necessità di essere dotata di idonee valvole di sfiato, sia per permettere l'uscita/ingresso di aria nelle condotte nelle operazioni di riempimento/vuotatura della stessa, sia per permetterne il corretto degasaggio durante il suo regolare esercizio. La presenza di sfiati sulla condotta impone una serie di valutazioni circa le pendenze minime da assegnare alle tubazioni, nel caso in cui si vogliono utilizzare come punti di sfiato i vertici altimetrici eventualmente presenti lungo il tracciato.

Il funzionamento in pressione impone di valutare, inoltre, i fenomeni di moto vario di insieme o elastico che possono verificarsi in caso di manovre brusche.

Dal punto di vista idrogeologico, il funzionamento in pressione della galleria idraulica limita potenziali infiltrazioni e contaminazioni di acque di diversa provenienza.

7.6 Dal Manufatto Origine degli Acquedotti a Ponte Anticoli (Nodo A)

La soluzione progettuale proposta per il tratto che va dal Manufatto Origine degli Acquedotti fino a Ponte Anticoli (Nodo A) è comune a tutte le alternative esaminate e prevede la posa di un'unica condotta DN2500 con pendenza del 2‰ e funzionamento a gravità fino alla vasca di carico del sifone previsto per l'attraversamento di Ponte Anticoli fino al Nodo A, da quest'ultimo si dipartono poi i le diverse ipotesi di tracciato esaminate (A250PF D024 0).

Il tracciato della nuova condotta ricalca quello dello scarico del Manufatto Origine fino ad un'area prossima al Vecchio I Acquedotto Marcio, per poi disporsi parallelamente a quest'ultimo percorrendo in destra idrografica la piana alluvionale del Fiume Aniene.

La nuova condotta è orientata verso nord, in modo da aggirare i pozzi e le relative condotte prementi delle sorgenti di Fiumetto e Mola di Regno, intersecando al più i canali di scarico di questi verso il Vecchio I Acquedotto.

La condotta prosegue poi parallela e limitrofa proprio al fosso di scarico, parallelo a sua volta al Vecchio I Acquedotto.

La posa della nuova condotta avverrà con modalità di scavo a cielo aperto fino alla prevista vasca di carico in prossimità del manufatto Ponte di Anticoli e da qui fino al Nodo A con tecnologia del microtunnelling, interessando terreni di origine alluvionale caratterizzati da una circolazione idrica in diretta connessione con il livello del Fiume Aniene.

I tracciati esistenti del I e II Acquedotto Marcio saranno declassati a scarico delle sorgenti dal Manufatto Origine, a valle di un intervento locale al Manufatto Origine stesso che consenta la separazione delle portate in arrivo dal Collettore delle Sorgenti Alte e Basse, fino al manufatto di Ferrata. Infatti, lo scarico totale delle sorgenti attualmente disposto al manufatto di Ponte Anticoli non sempre garantisce la possibilità di scarico a causa del livello idrico del Fiume Aniene.

Lungo il tracciato del nuovo acquedotto compreso tra il Manufatto Origine e Ponte Anticoli verranno ripristinati i collegamenti idraulici che permettono la connessione con i pozzi di Fiumetto e Mola di Regno, con modalità analoghe alle attuali. In particolare sarà realizzato un collegamento con il Manufatto di Riunione e Sollevamento a servizio delle due sorgenti. Da quest'ultima vasca l'acqua sarà inviata verso il Nuovo Acquedotto con un sollevamento analogo a quello esistente ed in funzione.

Il layout dei manufatti di connessione verrà definito e approfondito nel proseguo delle fasi progettuali. Il tracciato è stato inoltre pensato per ridurre la distanza planimetrica da tali sorgenti, al fine di minimizzare eventuali interferenze con l'area di captazione.

7.7 Tracciati da Ponte Anticoli (Nodo A) a Tivoli (Nodo Tivoli)

Dal Nodo A fino al nodo di Tivoli si dipartono i 4 diversi tracciati di seguito descritti.

Tracciato TR1

Il tracciato TR1 si mantiene sempre in destra idraulica rispetto agli acquedotti esistenti, con un percorso pressoché parallelo a questi che interessa le propaggini meridionali dei Monti Sabini meridionali e Lucretili (A250PF D023 0).

In funzione delle quote idrauliche di progetto si prevede, per la posa del nuovo acquedotto lungo questo tracciato, la realizzazione di una galleria carrabile con scavo meccanizzato con Rock-TBM, del diametro DN6500 all'interno della quale verrà inserita una tubazione in acciaio DN1800.

Lo scavo interesserà sostanzialmente litotipi rocciosi di natura calcareo marnosa riferibili alla serie sabina di transizione, che ospitano una circolazione idrica a carattere regionale con recapito di base rappresentato dal Fiume Aniene, che sulla base dei dati bibliografici, potrà essere intercettata nei tratti tra Ponte Anticoli e Cineto Romano e tra Mandela e il fosso Ronci.

L'adozione di una galleria carrabile risponde in questo caso alle esigenze di ispezionabilità e manutenibilità dell'opera indicate nel QE.

Tracciato TR2

Il tracciato TR2 ricalca sostanzialmente il tracciato dell'esistente II Acquedotto Marcio, tranne che per alcuni tratti in cui si è ritenuto più opportuno, per ragioni logistiche e di cantierabilità, sovrapporsi al I Acquedotto Marcio (A250PF D023 0). Per il solo attraversamento dell'area urbana di Vicovaro tale tracciato, coincidente peraltro con il TR4, è da realizzarsi con galleria carrabile DN6500 (DN8000), nella quale sarà alloggiata una (due) condotta in acciaio DN1800/DN2000 (DN1800).

In relazione alle quote idrauliche di progetto la posa del nuovo acquedotto, tranne che per il tratto sopra descritto, avverrà in parte con scavo a cielo aperto ed in parte adottando la tecnologia del microtunnelling.

Dal punto di vista geologico, al di là della coltre di riporti dovuti alla posa degli acquedotti esistenti, il tracciato attraversa ampie aree caratterizzate dall'affioramento di terreni alluvionali, coperture quaternarie e litotipi rocciosi della serie sabina di transizione. Dal punto di vista geomorfologico si evidenzia nei pressi di Mandela la presenza di forme e processi gravitativi censiti nel progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi dell'ISPRA), mentre per ciò che riguarda le interferenze con la falda idrica si evidenzia una interazione con le circolazioni locali presenti nei depositi alluvionali e quaternari ed in misura più limitata con la circolazione a carattere regionale dei rilievi rocciosi.

Tracciato TR3

Il tracciato TR3 si sviluppa dal Nodo A in sinistra idrografica del Fiume Aniene, attraversando le propaggini settentrionali dei Monti Ruffi, costituite da litotipi prevalentemente marnoso-calcarenitici, sede di una circolazione idrica per lo più di interesse locale e limitata potenzialità (A250PF D023 0).

In questa ipotesi l'acquedotto sarà costituito, a partire dal Nodo A, da un primo tratto di circa 450 m costituito da tubazione DN2000 posata con tecnologia del microtunnelling per l'attraversamento in subalveo del Fiume Aniene, da un successivo tratto di circa 11 km costituito da una galleria carrabile DN6500 in cui verrà inserita una condotta in acciaio DN2000 e da un tratto finale di circa 8 km con scavo a cielo aperto/microtunnelling, fatta eccezione di un segmento di circa 800 m, necessario all'attraversamento di un settore submontano in zona Arci-Empolitana, da realizzarsi con tecnologia del microtunnelling DN1800. In quest'ultimo settore verrà anche realizzato un piezometro di disconnessione.

Tracciato TR4

Il tracciato TR4, a partire dal Nodo A, attraversa il Fiume Aniene per poi disporsi in sinistra idrografica e precorrere longitudinalmente la valle alluvionale ai bordi meridionali della stessa, lungo il percorso della vecchia ferrovia, fino all'altezza di Cineto Romano, dove si prevede poi un nuovo attraversamento del fiume. Da qui il tracciato prosegue in destra idraulica sempre all'interno della valle alluvionale fino ad un previsto attraversamento della ferrovia e della SS5 poco ad est della Stazione Mandela Scalo. Circa 800 m ad ovest di tale attraversamento il tracciato TR4 coincide con il TR2 per tutto il tratto di attraversamento dell'area urbana di Vicovaro (circa 4,5 km). Più ad ovest, superata Santa Balbina, il tracciato TR4 coincide con il tracciato TR1 fino all'arrivo al nodo di Tivoli (A250PF D023 0).

In funzione delle quote idrauliche di progetto ed in relazione al contesto topografico che caratterizza questo tracciato, le modalità di posa dell'acquedotto sono per la maggior parte con scavo in microtunnelling/cielo aperto, tranne che per i due tratti comuni rispettivamente con TR2 e TR1 da realizzarsi con scavo meccanizzato di gallerie carrabili con tubazione interna in acciaio.

7.8 Connessione alle opere di arrivo presso Tivoli

Il collegamento del Nuovo Acquedotto Marcio alle opere di arrivo presso Tivoli è comune a tutte le alternative progettuali esaminate. L'alternativa comune prevede la realizzazione di due pozzi piezometrici, rispettivamente a monte di Casa Valeria in destra idrografica dell'Aniene, e a monte dell'attuale Calice dell'VIII Sifone in sinistra idrografica.

Tali manufatti permetteranno, mediante la presenza di apposite apparecchiature, sia di preservare che di dissipare il carico idraulico in arrivo al nodo terminale del sistema acquedottistico, in accordo a quanto prescritto all'intero del Quadro Esigenziale.

Il collegamento dai pozzi piezometrici ai manufatti esistenti rispettivamente di Casa Valeria a nord e Calice dell'VIII sifone a sud, è assicurato mediante condotte DN1800

realizzate in microtunnelling calcestruzzo armato, idonee al mantenimento almeno della piezometrica esistente.

Inoltre è previsto un collegamento tra i due pozzi piezometrici di progetto, attraversando l'Aniene con una ulteriore condotta DN1800 realizzata in microtunnelling in calcestruzzo armato.

I tracciati TR1, TR2 e TR4 hanno come nodo terminale il pozzo piezometrico localizzato in destra idrografica dell'Aniene, mentre il TR3 alimenta direttamente il pozzo piezometrico posto in località Arci Empolitana in sinistra idrografica dell'Aniene (A250PF D025 0).

Tale configurazione di pozzi e condotte garantisce un'intrinseca robustezza al sistema acquedottistico, permettendo il collegamento alle infrastrutture esistenti nei differenti scenari di funzionamento.

8 Indicazioni sul costo delle opere e sui tempi di realizzazione

Oltre alle attività a carattere strettamente ingegneristico, è necessario effettuare un'approfondita analisi in ambito economico e finanziario e garantire la sostenibilità ambientale, amministrativa e istituzionale dell'opera.

I costi da cui è affetta la *alternativa zero* rappresentano un livello di riferimento, una sorta di *benchmark*. La valutazione economica dei costi complessivi delle alternative progettuali dovrà essere depurata da tali costi. Si tratta, pertanto, di confrontare le alternative progettuali in termini di *costi marginali* e non di *costi complessivi assoluti*.

Nel confronto comparato tra alternative, non può essere presa in considerazione l'opzione *do minimum*, come da consolidata letteratura tecnica internazionale in materia di studi/documenti di fattibilità. Si tratta, infatti, di una alternativa progettuale che, pur non cogliendo appropriatamente gli obiettivi delineati nel Quadro Esigenziale, dovrebbe rappresentare un *upgrade* infrastrutturale e/o funzionale, ancorché modesto, della situazione esistente. Nel caso in esame, gli specifici requisiti prestazionali posti a base dell'intervento non rendono ipotizzabile una opzione di intervento di questo tipo.

8.1 Criteri adottati nel calcolo sommario delle opere

Per il calcolo sommario preliminare della spesa della soluzione prescelta (in attesa di conferma dall'analisi costi benefici), elaborato A194FPT001, sono state impiegate le seguenti tariffe di prezzi:

- "Tariffa dei Prezzi 2012 Regione Lazio" per opere edili, stradali, impiantistiche ed idrauliche, approvata dalla Giunta Regionale con deliberazione del 6 agosto 2012, n. 412;
- "Prezzario Acea Elabori 2019 Rev.1";

- Per lavorazioni e forniture non presenti in dette Tariffe sono stati impiegati prezzi aggiuntivi stilati sulla base di specifiche analisi e con prezzi di mercato aggiornati alla data di emissione elaborato;
- prezzi di altre tariffe ufficiali o di prezzi parametrici desunti da interventi simili.

8.2 Stima preliminare dei costi

Sulla base di una preliminare analisi parametrica, vengono di seguito indicati i costi stimati per le quattro soluzioni progettuali individuate.

Tabella 6 – Riepilogo costi delle Alternative progettuali

Calcolo sommario della spesa		
Importi delle alternative progettuali		
Alternativa n. 1 (TR2 - TR1)		
Importo Lavori		518,250,000.00 €
Economie	5%	25,910,000.00 €
Sicurezza ed Economie	15%	77,740,000.00 €
	Totale	621,900,000.00 €
Alternativa n. 2 (TR2 - TR3)		
Importo Lavori		423,710,000.00 €
Economie	5%	21,190,000.00 €
Sicurezza ed Economie	15%	63,560,000.00 €
	Totale	508,460,000.00 €
Alternativa n. 3 (TR2 - TR4)		
Importo Lavori		325,390,000.00 €
Economie	5%	16,270,000.00 €
Sicurezza ed Economie	15%	48,810,000.00 €
	Totale	390,470,000.00 €

8.3 Indicazioni sui tempi di realizzazione delle opere

La durata dei lavori per le diverse alternative progettuali, riportata nella tabella 7, è stata desunta sulla base degli avanzamenti medi, riportati nella tabella 7.1, relativi alle differenti tecnologie di scavo previste e dei tempi di allestimento dei cantieri, variabili tra i 3 ed i 9 mesi in relazione alla tipologia dei manufatti di imbocco/sbocco da realizzare. Inoltre si è considerata la possibilità di realizzare contemporaneamente almeno due tratte in microtunneling.

Tabella 7 – Riepilogo della durata dei lavori delle Alternative progettuali

Alternativa di progetto	Durata dei lavori
Alternativa 1	10 anni e 6 mesi
Alternativa 2	9 anni
Alternativa 3	8 anni

Tabella 7.1 - Metodologia di scavo / Avanzamento medio

Metodologia di scavo	Avanzamento medio (m/giorno)
Microtunneling	7
TBM	15

9 Analisi Multicriteria delle Alternative Progettuali

9.1 Aspetti idraulici

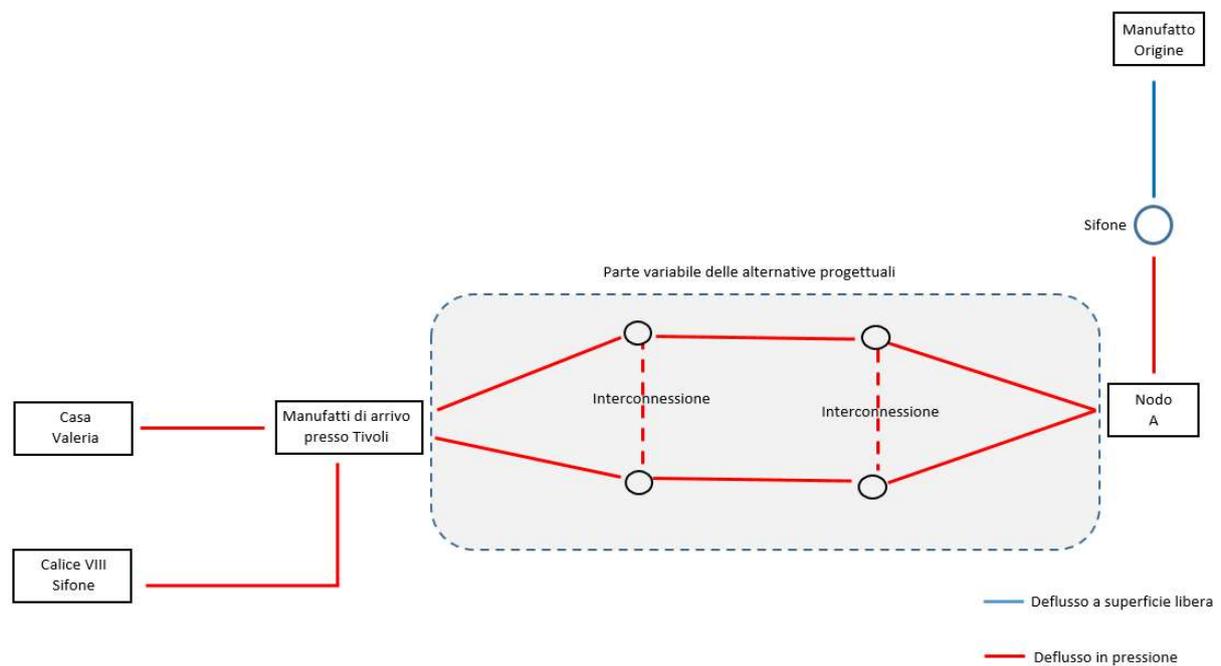
Ciascuna alternativa progettuale è stata dimensionata in termini di diametro in funzione del numero di interconnessioni previste. Infatti, nel rispetto delle indicazioni del Quadro Esigenziale, è stato necessario ricercare soluzioni che, anche in caso di funzionamento con esclusione di un tratto di acquedotto, verificassero il rispetto della condizione di adduzione dell'intera portata di concessione con una piezometrica che dovrà essere superiore a quella che attualmente consente il funzionamento del sistema di valle.

La condizione appena descritta viene soddisfatta all'interno di ciascuna alternativa attribuendo alla coppia di tracciati che la compongono un diametro idoneo. Si precisa che il limite inferiore per le caratteristiche dimensionali delle condotte è legato alla possibilità di poter effettuare ispezioni e manutenzioni all'interno di esse (DN1800) mentre il limite superiore è correlato al rispetto dei criteri idraulici, igienico-sanitari di velocità minima nonché dei tempi di permanenza massimi all'interno delle condotte (DN2000).

Schema idraulico

Le alternative progettuali sono sinteticamente schematizzate in un sistema di nodi e condotte. I nodi principali sono i seguenti:

- Manufatto Origine degli acquedotti (quota piezometrica ipotizzata 322,8 m s.l.m.);
- Vasca di carico (nodo A) presso Ponte Anticoli (quota piezometrica imposta 315,7 m s.l.m.);
- Eventuali nodi di interconnessione tra le tratte delle singole alternative progettuali;
- Nodi di arrivo presso Tivoli (quota minima da rispettare 280 m s.l.m.);



Portate di progetto

- Portata in condizione di funzionamento ordinario e straordinario pari a 6,7 m³/s;
- Portata in condizione di funzionamento transitorio pari a 4,2 m³/s.

Modello di funzionamento

Tra il Manufatto Origine degli acquedotti fino alla vasca di carico del sifone previsto per l'attraversamento di Ponte Anticoli è stato considerato un funzionamento a superficie libera, mentre dalla vasca di carico del sifone sino al Nodo A è stato considerato un funzionamento in pressione.

A partire dal Nodo A, per tutte le alternative progettuali considerate, si è fatto riferimento ad un modello di funzionamento in pressione fino ai nodi di arrivo verso Tivoli.

Per il calcolo del livello idrico nella condotta a superficie libera DN2500, avente lunghezza pari a 3250 m è stata adottata la relazione di Chezy valida per deflussi di correnti a pelo libero:

$$v = \chi \sqrt{R i}$$

con: v [m/s]: velocità media del fluido

χ [$m^{1/2}/s$]: parametro di Chézy (coefficiente di conduttanza)

R [m]: raggio idraulico

i : pendenza del canale

Il parametro di Chézy χ [$m^{1/2}/s$] è determinato mediante la formula empirica di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s R^{\frac{1}{6}}$$

dove il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler k_s [$m^{\frac{1}{3}}/s$] è stato scelto un valore pari a 70 $m^{\frac{1}{3}}/s$.

La risoluzione della citata equazione per una portata pari a 6,7 m^3/s ha restituito un tirante in condotta pari a 1,39 m.

Per il calcolo della cadente piezometrica nelle tratte in pressione si è utilizzata la formulazione di Darcy- Weiesbach.

$$j = \frac{\lambda V^2}{2Dg}$$

Dove:

D [m]: diametro del tubo

λ : indice di resistenza

V [m/s]: velocità media della corrente

g [m/s^2]: accelerazione di gravità

L'indice di resistenza λ è in generale funzione della scabrezza relativa del tubo ε/D (in cui ε [mm] è il coefficiente di scabrezza e rappresenta lo spessore medio delle asperità presenti sulla superficie intera del tubo e D [mm] è il diametro del tubo stesso) e del numero di Reynolds, Re , definito come:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Dove:

D [m]: diametro del tubo

V [m/s]: velocità media della corrente

ρ [kg/m³]: densità del fluido

μ [kg/m s]: viscosità dinamica del fluido

ν [m²/s]: viscosità cinematica del fluido

Per il calcolo dell'indice di resistenza λ si utilizza la formula di Colebrook-White, la cui rappresentazione grafica è data dal diagramma logaritmico di Moody, come un fascio di curve a scabrezze relative ε/D costanti.

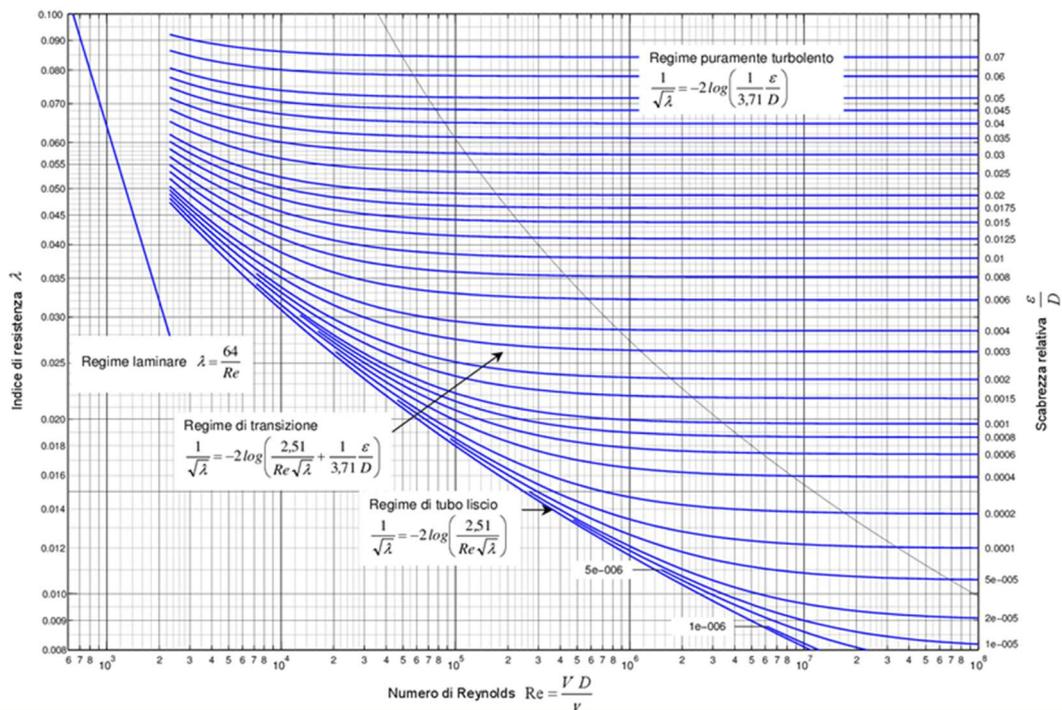
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon/D}{3,71} \right)$$

Dove:

λ : indice di resistenza

ε [mm]: coefficiente di scabrezza

D [mm]: diametro del tubo



Nel caso in esame, per le tratte realizzate in microtunnelling costituite da tubazioni in cemento prefabbricato rivestite internamente con uno strato in PeAD, è stato ipotizzato un coefficiente di scabrezza ε pari a 0.2 mm, valore ampiamente cautelativo rispetto ai coefficienti (tra 0.003 mm a 0.015) indicati in letteratura per i tubi in PeAD.

Per le tratte realizzate in acciaio (tratte di condotta all'interno della galleria carrabile) è stata ipotizzata anche in questo caso una scabrezza ε pari a 0.2 mm, che risulta essere cautelativa rispetto ai valori di letteratura per condotte in acciaio rivestite internamente con materiale non degradabile. Per i rivestimenti in resine epossidiche in letteratura vengono infatti indicati valori che vanno da 0.05 mm a 0.15 mm (fonte "Costruzioni Idrauliche" a cura del Prof. Ing. Leopardi).

Tali valori di scabrezza appena descritti verranno analizzati nel dettaglio nelle successive fasi progettuali.

Vengono di seguito riportate le piezometriche nelle diverse condizioni di funzionamento con esclusione di una tratta di acquedotto per i diversi tracciati nelle differenti alternative progettuali.

È stata inoltre valutata anche la condizione transitoria di funzionamento (vedi capitolo 7.5) per la quale si considera la portata media attualmente transitante nel sistema (4,2 m³/s).

Alternativa Progettuale 1

Tale alternativa è costituita dalla combinazione dei tracciati TR1-TR2 e prevede n° 3 interconnessioni (A250PF D027 0). In caso di fuori servizio di una delle due condotte, in una tratta compresa tra due interconnessioni, nell'altra condotta transiterà l'intera portata di concessione (6,7 m³/s). Superata la tratta esclusa, sul resto del tracciato la portata verrà parimenti distribuita tra le due condotte, che porteranno ciascuna circa la metà della portata di concessione. Per tale alternativa è stato possibile ricorrere a un DN1800 su entrambe le linee di condotte.

Per i tracciati che compongono la presente alternativa progettuale, viene di seguito riportato il confronto tra i possibili scenari di funzionamento, in termini di andamento della piezometrica, riferiti ai tre scenari di alimentazione della nuova infrastruttura (vedi capitolo 7.5) rispettivamente riconducibili alle condizioni di *esercizio ordinario* e *straordinario* ed alle condizioni *transitorie*.

Sul tracciato TR1 (TR2):

- Condizioni di esercizio ordinarie
- Condizioni di esercizio straordinarie
 - o CASO 1 – Piezometrica lungo il tracciato TR1 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR1) fino alla prima interconnessione

- CASO 2 – Piezometrica lungo il tracciato TR1 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR1) tra la prima e la seconda interconnessione
- CASO 3 – Piezometrica lungo il tracciato TR1 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR1) tra la seconda e la terza interconnessione
- CASO 4 – Piezometrica lungo il tracciato TR1 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR1) tra la terza interconnessione e il nodo di arrivo a Tivoli

- Condizioni transitorie

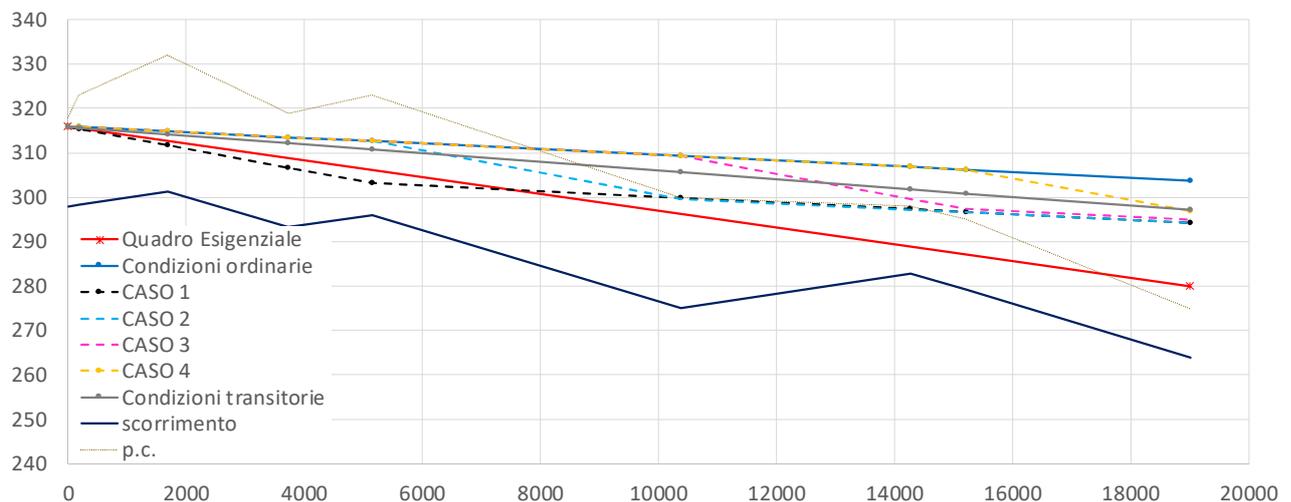


Figura 10 – Alternativa progettuale 1 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR1 con n°3 interconnessioni con il tracciato TR2 per tutti gli scenari di funzionamento

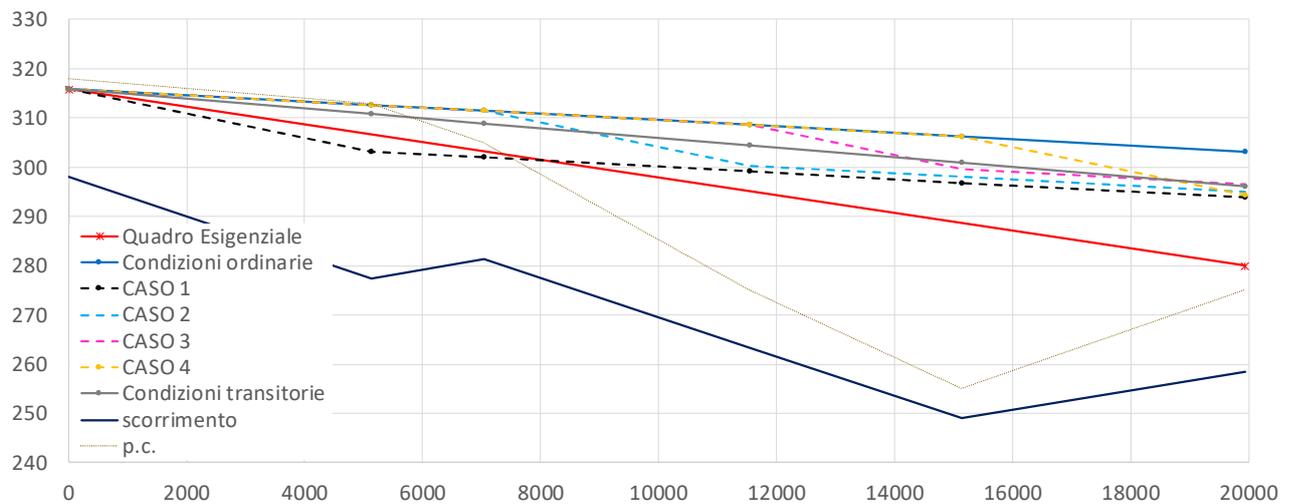


Figura 11 – Alternativa progettuale 1 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR2 con n°3 interconnessioni con il tracciato TR1 per tutti gli scenari di funzionamento

Alternativa Progettuale 2

Tale alternativa è costituita dalla combinazione dei tracciati TR3-TR2 e non prevede interconnessioni (A250PF D028 0). Ciascuna delle due condotte è quindi dimensionata nell'ipotesi di transito dell'intera portata di concessione (6,7 m³/s). Per tale alternativa è dunque necessario ricorrere a un DN2000 su entrambe le linee di condotte.

Per i tracciati che compongono la presente alternativa progettuale, viene di seguito riportato il confronto tra i possibili scenari di funzionamento, in termini di andamento della piezometrica, riferiti ai tre scenari di alimentazione della nuova infrastruttura (vedi capitolo 7.5) rispettivamente riconducibili alle condizioni di *esercizio ordinario* e *straordinario* ed alle condizioni *transitorie*.

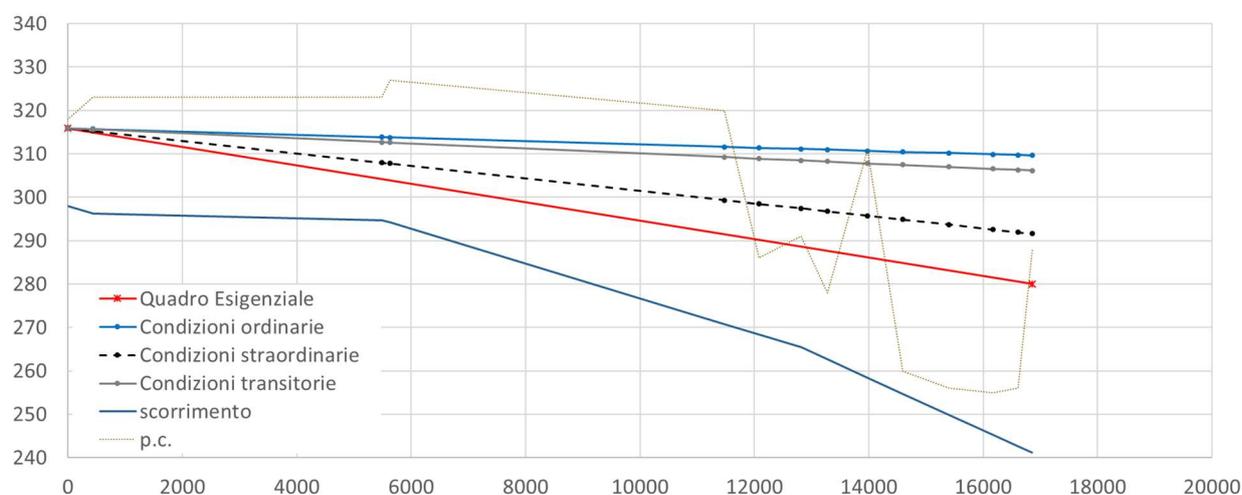


Figura 12 – Alternativa progettuale 2 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR3 senza interconnessioni con il tracciato TR2 per tutti gli scenari di funzionamento

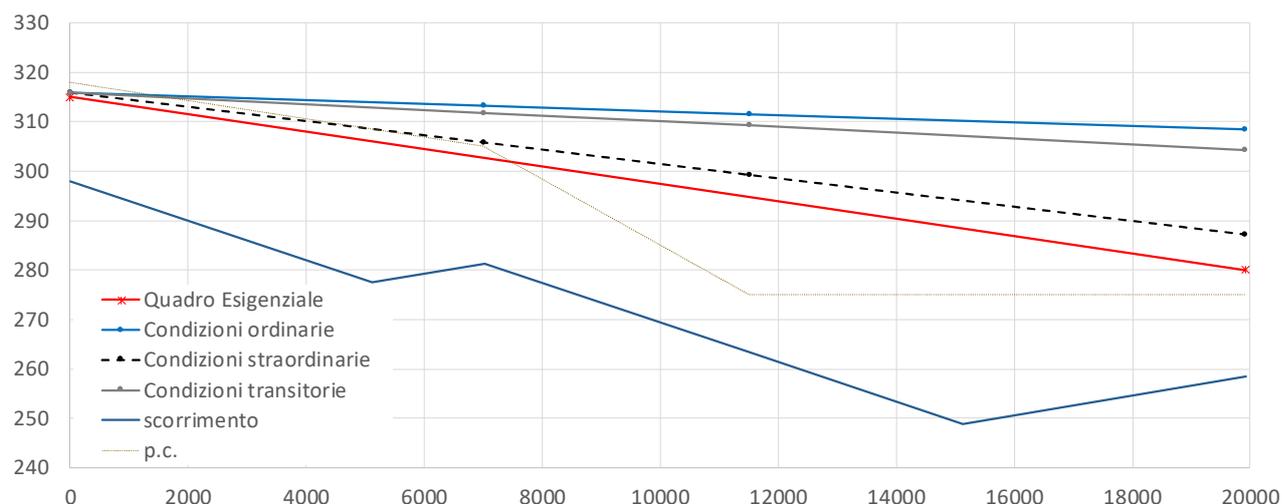


Figura 13 – Alternativa progettuale 2 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR2 senza interconnessioni con il tracciato TR3 per tutti gli scenari di funzionamento

Alternativa Progettuale 3

Tale alternativa è costituita dalla combinazione dei tracciati TR4-TR2 e prevede n° 2 interconnessioni (A250PF D029 0). In caso di fuori servizio di una delle due condotte, in una tratta compresa tra due interconnessioni, nell'altra condotta transiterà, analogamente all'alternativa 1, l'intera portata di concessione (6,7 m³/s). Superata la tratta esclusa, sul resto del tracciato la portata verrà parimenti distribuita tra le due condotte, che porteranno ciascuna circa la metà della portata di concessione. Per

tale alternativa è stato dunque possibile ricorrere a un DN1800 su entrambe le linee di condotte.

Per i tracciati che compongono la presente alternativa progettuale, viene di seguito riportato il confronto tra i possibili scenari di funzionamento, in termini di andamento della piezometrica, riferiti ai tre scenari di alimentazione della nuova infrastruttura (vedi capitolo 7.5) rispettivamente riconducibili alle condizioni di *esercizio ordinario* e *straordinario* ed alle condizioni *transitorie*.

Sul tracciato TR4 (TR2):

- Condizioni di esercizio ordinarie
 - Condizioni di esercizio straordinarie
 - o CASO 1 – Piezometrica lungo il tracciato TR4 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR4) fino alla prima interconnessione
 - o CASO 2 – Piezometrica lungo il tracciato TR4 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR4) tra la prima e la seconda interconnessione
 - o CASO 3 – Piezometrica lungo il tracciato TR4 (TR2) in caso di fuori servizio del tracciato TR2 (TR4) tra la seconda e la terza interconnessione
- Condizioni transitorie

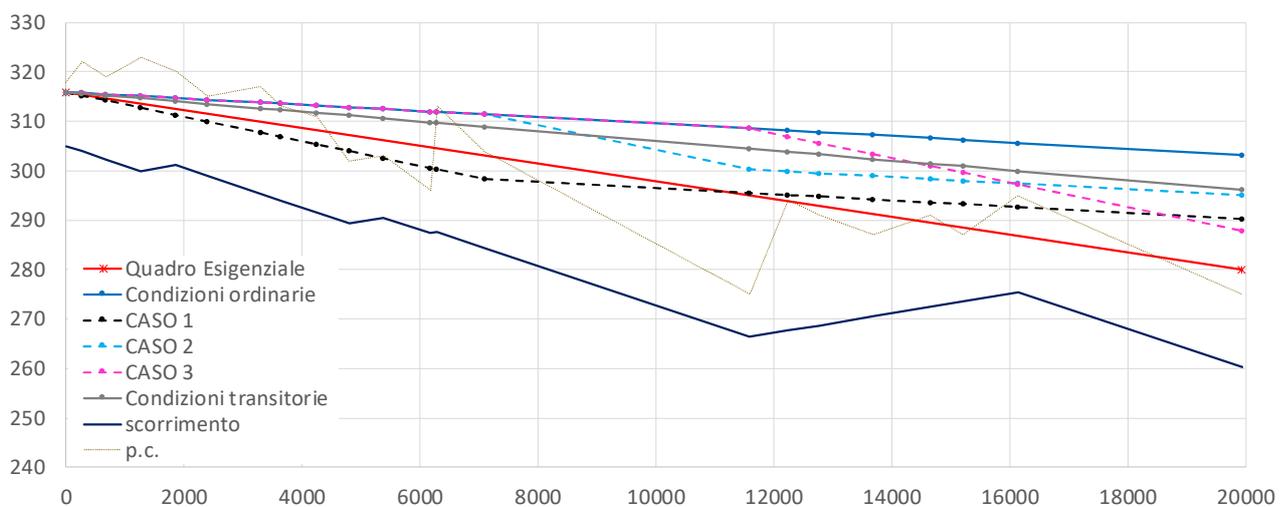


Figura 14 – Alternativa progettuale 3 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR4 con n°2 interconnessioni con il tracciato TR2 per tutti gli scenari di funzionamento

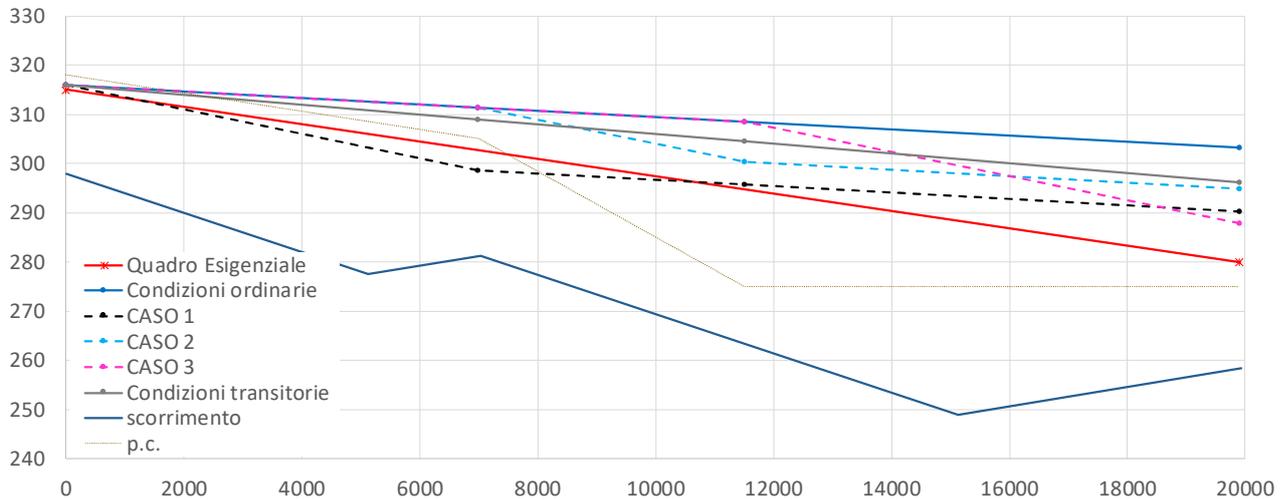


Figura 15 – Alternativa progettuale 3 – Confronto tra gli andamenti della piezometrica lungo il tracciato TR2 con n°2 interconnessioni con il tracciato TR4 per tutti gli scenari di funzionamento

Dalle piezometriche analizzate si evince come ciascuna alternativa garantisca il requisito, espresso all'interno del Quadro Esigenziale, della quota minima da rispettare nei pressi del nodo di arrivo di 280 m s.l.m. (evidenziato attraverso la retta in rosso nelle Figure sopra riportate). Tale assunto risulta confermato in entrambi i tracciati che compongono le diverse alternative.

Per quanto riguarda la flessibilità di esercizio e il mantenimento delle esistenti derivazioni per l'approvvigionamento delle utenze, l'alternativa progettuale 3 costituisce la migliore opzione possibile, in quanto risulta essere prossima al tracciato degli esistenti acquedotti, alle utenze attualmente approvvigionate da questi, e inoltre costituisce potenzialmente l'alternativa con il minore sviluppo planimetrico delle interconnessioni (tra TR2 e TR4).

In condizione di magra delle sorgenti Alte e Basse che alimentano l'intero sistema acquedottistico, che si traduce in una portata addotta complessiva di circa 2.900 l/s, emerge come l'alternativa progettuale 2 risulti essere appena sufficiente a garantire il requisito di velocità minima di deflusso richiesta dal DIP (pari a 0,4 m/s). Questo a

causa dell'impiego di un diametro DN2000 su entrambi i tracciati (TR2 e TR3) che, qualora ciascuna condotta portasse circa metà della portata di magra (1.450 l/s), si traduce in una velocità di circa 0,46 m/s.

Le alternative progettuali 1 e 3, che presentano sui tracciati che le compongono un diametro DN1800, risentono meno di tale problematica, dato che nelle condizioni di transito anzidette risultano avere velocità di circa 0,57 m/s.

Dal punto di vista della disponibilità di tratti idonei all'installazione di misuratori per i parametri idraulici del sistema, l'alternativa progettuale 1 risulta essere la più idonea tra le tre, in quanto il tracciato TR1 è realizzato interamente in acciaio all'interno della galleria carrabile. Per le altre due alternative, essendo i tracciati TR3 e TR4 parzialmente realizzati in microtunnelling con galleria idraulica in calcestruzzo armato (in entrambi i casi per una percentuale compresa tra il 50% e il 60% dello sviluppo complessivo di essi), le tratte idonee all'installazione di misuratori affidabili si riducono alle sole tratte in galleria carrabile.

Infine, è stata analizzata la capacità di scarico in condizioni di manutenzione ordinaria o straordinaria dell'intero sistema acquedottistico lungo i tracciati delle alternative proposte. Data dell'orografia del territorio della valle dell'Aniene e il funzionamento a pressione delle condotte, che necessitano di una copertura minima, lo scarico delle stesse senza apparecchiature di sollevamento risulta possibile esclusivamente in corrispondenza del nodo terminale comune presso Tivoli per tutte le alternative progettuali esaminate.

Nella valutazione delle alternative progettuali, la condizione transitoria in cui è in funzione solamente una delle linee di condotte (TR1, TR3, TR4) è considerata, nella tabella multicriteria, all'interno della fase di cantiere.

Data la composizione delle alternative progettuali (vedi capitolo 7), il tracciato di progetto denominato TR2 risulta essere un invariante nel giudizio globale delle alternative presentate nell'analisi multicriteria.

Nel complesso, ai fini della analisi multicriteria per l'individuazione della soluzione progettuale ottimale, gli impatti e interferenze relativi agli aspetti idraulici posso essere classificati come segue.

Tabella 8 – Analisi degli aspetti idraulici per le alternative progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio

	REQUISITI/CRITERI	ALT PRG		
		1	2	3
Aspetti idraulici	Flessibilità di esercizio con connessioni intermedie tra i due nuovi rami	Yellow	Red	Green
	Mantenimento delle derivazioni esistenti per l’approvvigionamento	Yellow	Red	Green
	Piezometrica presso i manufatti di arrivo a Casa Valeria e VIII sifone	Green	Green	Green
	Velocità massima e minima (pendenze, sezioni, moto, stato invecchiamento condotte)	Green	Yellow	Green
	Realizzazione tratti idonei per le misure idrauliche (portate, livelli)	Green	Yellow	Yellow
	Possibilità di scarico del nuovo sistema acquedottistico	Yellow	Yellow	Yellow

9.2 Aspetti strutturali

Ai fini dell’analisi multicriteria, sono state esaminate separatamente la fase di cantiere e di esercizio dell’opera in riferimento alle diverse alternative di progetto. Per quanto riguarda il confronto differenziale delle tre alternative progettuali in relazione agli aspetti geotecnici e strutturali, sia in fase di costruzione che di esercizio, si fa riferimento principalmente alle caratteristiche di robustezza, durabilità ed interferenza con le strutture esistenti.

In ciascuna alternativa le connessioni alle opere esistenti sono state studiate in modo da minimizzare le interferenze con il funzionamento dell’acquedotto esistente in fase di cantiere della prima linea di adduzione (TR1, TR3 o TR4) e con il funzionamento di quest’ultima durante la realizzazione della seconda. Si evidenzia che l’alternativa 3 durante le fasi di cantiere e in esercizio presenta una maggiore interferenza con le strutture esistenti, poiché i tracciati insistono sui territori dove sono presenti i vecchi acquedotti e inoltre gli stessi sono adiacenti in diversi tratti.

Per le alternative progettuali 1 e 2, la presenza di infrastrutture caratterizzate da sezioni carrabili per una lunghezza di tracciato maggiore rispetto all’alternativa 3

garantisce una più completa ispezionabilità e manutenibilità dell’opera senza dover ricorrere a finestre di acceso e senza dover interrompere il funzionamento dell’acquedotto. Per tale motivo la garanzia di durabilità delle opere per le due alternative 1 e 2 è migliore rispetto all’alternativa di progetto 3.

La presenza di una doppia infrastruttura per tutte le alternative di progetto è garanzia di robustezza di sistema per ognuna di esse. Nel complesso, ai fini della analisi multicriteria per l'individuazione della soluzione progettuale ottimale per la collettività, gli impatti/le interferenze relativi agli aspetti geotecnico-strutturali possono essere classificati come segue.

Tabella 9 – Analisi degli aspetti strutturali per le alternative progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio

REQUISITI/CRITERI		ALT PRG		
		1	2	3
Aspetti strutturali	Interferenze con infrastrutture esistenti			
	Durabilità dell’opera in progetto			
	Robustezza strutturale			

9.3 Aspetti ambientali e geologici

Nelle seguenti tabelle sono riepilogate le risultanze dell’analisi multicriteria effettuata sulle tre alternative progettuali, per quanto riguarda i requisiti/criteri considerati, per le quali si rimanda alla specifica Relazione di Inquadramento Ambientale e Analisi Preliminare degli Impatti.

Ai fini dell’analisi multicriteria, sono state esaminate separatamente la fase di cantiere e di esercizio dell’opera. Per l’analisi preliminare degli impatti ambientali è importante evidenziare che l’impatto ambientale di un progetto come questo del nuovo acquedotto Marcio è principalmente determinato dalla fase di cantiere, in quanto, nella fase di esercizio, l’opera rimane per la massima parte sotterranea, con ridotte interferenze con la superficie, limitate alle opere di accesso per l’ispezione della condotta.

Per quanto riguarda i risultati complessivi dell’analisi multicriteria relativa ai requisiti/criteri considerati dal punto di vista ambientale, l’aspetto emergente che caratterizza tale tipologia di opera è legato sostanzialmente agli aspetti di cantiere

per la particolare sensibilità archeologica che riveste l'intera area di studio e per la gestione del materiale di scavo.

Si osserva che la valutazione svolta risulta cautelativa soprattutto per la fase di esercizio in cui viene stimato un impatto considerato in questa prima analisi "basso" per l'interferenza con il sistema paesaggistico e zone ad elevata sensibilità archeologica. Nelle successive fasi di definizione progettuale la maggiore disponibilità di informazioni ed elementi che si avranno a seguito degli opportuni approfondimenti progettuali consentirà un'analisi quantitativa più dettagliata degli impatti ambientali.

Di seguito sono riportate le risultanze degli aspetti ambientali relative alla fase di cantiere e di esercizio.

Tabella 10 – Analisi degli aspetti ambientali in fase di cantiere e di esercizio per le alternative progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio

	REQUISITI/CRITERI	FASE DI CANTIERE			FASE DI ESERCIZIO		
		ALT PRG			ALT PRG		
		1	2	3	1	2	3
AMBIENTALI e GEOLOGICI	Interferenza con il sistema delle Aree Naturali Protette	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green
	Interferenza con il sistema paesaggistico	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
	Interferenza con zone ad elevata sensibilità archeologica	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow
	Interferenza con il sistema vegetazione e fauna	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio idraulico	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio frana	Orange	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio sismico	-	-	-	Orange	Orange	Red
	Impatto sulla circolazione idrica sotterranea	Red	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
	Problematiche di carattere litotecnico, geomeccanico e geologico-strutturale	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange	Orange
	Interferenza con sottosuolo-gestione e materiale di scavo	Orange	Red	Orange	Green	Green	Green

9.4 Aspetti gestionali e manutentivi

Per quanto riguarda il confronto differenziale delle tre alternative progettuali in relazione alla flessibilità gestionale e manutentiva, sia in fase di costruzione che di

esercizio, si fa riferimento alle caratteristiche dimensionali delle sezioni, descritte al Capitolo 5. Le tre alternative progettuali analizzate differiscono per l'accessibilità nell'acquedotto a fini ispettivi e manutentivi.

In ciascuna alternativa le connessioni alle opere esistenti sono state studiate in modo da minimizzare le interferenze con il funzionamento dell'acquedotto esistente in fase di cantiere della prima linea di adduzione (TR1, TR3 o TR4) e con il funzionamento di quest'ultima durante la realizzazione della seconda.

Per l'alternativa progettuale 1, la condotta lungo il tracciato TR1 è una galleria carrabile con sezione DN6500 realizzata mediante TBM e garantisce la completa ispezionabilità dell'opera senza dover ricorrere a finestre di accesso e senza dover interrompere il funzionamento dell'acquedotto.

Per l'alternativa progettuale 2, per la quale è previsto il ricorso per circa metà lunghezza dell'acquedotto lungo il tracciato TR3 di una galleria carrabile con sezione DN6500 realizzata mediante TBM, garantisce la completa ispezionabilità dell'opera senza ricorrere a finestre di accesso fino al nodo di uscita della TBM posto in prossimità di Castel Madama. Per i successivi 6 km circa, la sezione dell'acquedotto che percorre il tracciato TR3 presenta una sezione a galleria idraulica DN2000 realizzata in microtunnelling alla quale sarà possibile accedere, dopo aver preventivamente messo fuori servizio tutta la condotta a causa delle mancanti interconnessioni, raggiungendo la più vicina finestra di accesso al punto di interesse.

Inoltre, prevedendo il tracciato TR2 accoppiato con il tracciato TR3 senza alcuna interconnessione, in caso di fuori servizio del TR2, con tutta la portata in transito su TR3, risulterà di maggiore difficoltà rispetto alle altre due alternative progettuali garantire l'approvvigionamento idrico delle utenze attualmente presenti.

Quanto appena descritto è valido anche per l'alternativa progettuale 3, per la quale lungo il tracciato TR4 il tratto in galleria carrabile che presenta una maggiore facilità d'accesso ricopre circa 8 km dell'intero percorso. La restante parte, nel tratto iniziale lungo la valle dell'Aniene e finale prima dell'arrivo a Tivoli, verrà ispezionata e mantenuta raggiungendo l'ingresso alla finestra di accesso più vicina al punto di

interesse, dopo aver preventivamente messo fuori servizio esclusivamente la tratta compresa tra due interconnessioni.

D'altronde, dal punto di vista della manutenibilità, le alternative progettuali 1 e 3 permettono di limitare l'estensione dell'area di intervento nel caso di eventuali ispezioni o manutenzione sulle opere.

Quanto detto a causa della lontananza del tracciato TR3 dalle principali punti di recapito della risorsa idrica presenti sugli esistenti acquedotti.

Di seguito sono riportate le risultanze degli aspetti gestionali e manutentivi.

Tabella 11 – Analisi degli aspetti gestionali e manutentivi per le alternative progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio

	REQUISITI/CRITERI	ALT PRG		
		1	2	3
Aspetti Gestionali e Manutentivi	Tempi di svuotamento del nuovo acquedotto < 12 ore	Yellow	Yellow	Yellow
	Sistemi e procedure per l'ispezione e manutenzione	Green	Yellow	Yellow
	Sistemi e procedure per gli interventi	Green	Yellow	Green
	Flessibilità gestionale dell'opera	Yellow	Red	Green

9.5 Aspetti igienico sanitari

Dal punto di vista dei requisiti igienico sanitari, le tre alternative progettuali sono state valutate alla luce dell'esigenza, espressa nel DIP, di limitare i tempi di permanenza della risorsa nelle condotte. Tale aspetto è strettamente legato a quanto illustrato nel Paragrafo 9.1 relativamente al rispetto della velocità minima nelle condotte in condizioni di magra. Nella tabella di seguito sono riportati i tempi di permanenza per le tre alternative nelle due linee di acquedotto che le compongono.

Tabella 12 – Tempi di permanenza in acquedotto espressi in ore per le diverse alternative analizzate

	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
	TR1	TR2	TR3	TR2	TR4	TR2
Diametro	DN1800	DN1800	DN2000	DN2000	DN1800	DN1800
Lunghezza [m]	19010	19935	16285	19935	19935	19935
Velocità minima [m/s]	0,57	0,57	0,46	0,46	0,57	0,57
Tempo permanenza [ore]	9,2	9,71	9,83	12,04	9,71	9,71

Si osserva come l'alternativa 2 determina, a causa dei diametri impiegati sui tracciati che la compongono (TR3 e TR2) i maggiori tempi di permanenza nelle condotte. Se però in TR3 la risorsa impiega un tempo paragonabile a quello che si ha nei tracciati TR1 e TR4 (relativi rispettivamente alle alternative 1 e 2) in quanto la minor velocità che si realizza in TR3 è compensata da una lunghezza minore di quest'ultimo, per TR2, che nell'alternativa 2 è costituito da un DN2000, il tempo di permanenza raggiunge le 12 ore, rendendo di fatto l'alternativa 2 la meno favorevole in questo senso.

I materiali previsti, per tutte le alternative progettuali, risultano idonei al trasporto della risorsa idropotabile, tali da rispettare le prescrizioni del D.M. 6 aprile 2004, n. 174 concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano.

Per ciascuna delle soluzioni è egualmente possibile prevedere la realizzazione di sistemi e procedure di sicurezza per la protezione della risorsa idrica.

Sono di seguito riportate le risultanze degli aspetti igienico sanitari.

Tabella 13 – Analisi degli aspetti igienico-sanitari in fase di esercizio per le alternative progettuali del Nuovo Acquedotto Marcio

	REQUISITI/CRITERI	ALT PRG		
		1	2	3
Aspetti Igienico Sanitari	Tempo di permanenza idraulica nuovo acquedotto			
	Utilizzo di materiali compatibili con l'uso idropotabile e la protezione della risorsa			
	Sistemi di procedure e sicurezza per la protezione della risorsa idrica			

9.6 Tabella di sintesi

Per la valutazione complessiva, è di seguito riportata l'analisi multicriteria relativa a tutti i requisiti e criteri considerati, per gli aspetti idraulici, geologico-strutturali, ambientali e geologici, gestionali e manutentivi, igienico sanitari al fine di individuare l'alternativa progettuale complessivamente più vantaggiosa.



ASPETTI	REQUISITI/CRITERI	FASE DI CANTIERE			FASE DI ESERCIZIO		
		ALT PRG			ALT PRG		
		1	2	3	1	2	3
IDRAULICI	Flessibilità di esercizio con connessioni intermedie tra i due nuovi rami	-	-	-	Yellow	Red	Green
	Mantenimento delle derivazioni esistenti per l'approvvigionamento	Orange	Red	Yellow	Yellow	Red	Green
	Piezometrica presso i manufatti di arrivo a Casa Valeria e VIII sifone	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Velocità massima e minima (pendenze, sezioni, moto, stato invecchiamento condotte)	-	-	-	Green	Yellow	Green
	Realizzazione tratti idonei per le misure idrauliche (portate, livelli)	-	-	-	Green	Yellow	Yellow
	Possibilità di scarico del nuovo sistema acquedottistico	-	-	-	Orange	Orange	Yellow
GEOTECNICI-STRUTTURALI	Interferenze con infrastrutture esistenti	Green	Green	Orange	Green	Green	Orange
	Durabilità dell'opera in progetto	-	-	-	Green	Green	Orange
	Robustezza strutturale	-	-	-	Green	Green	Green
AMBIENTALI e GEOLOGICI	Interferenza con il sistema delle Aree Naturali Protette	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green
	Interferenza con il sistema paesaggistico	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
	Interferenza con zone ad elevata sensibilità archeologica	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow
	Interferenza con il sistema vegetazione e fauna	Orange	Yellow	Orange	Green	Green	Green
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio idraulico	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio frana	Orange	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange
	Compatibilità dell'opera con aree a rischio sismico	-	-	-	Orange	Orange	Red
	Impatto sulla circolazione idrica sotterranea	Red	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
	Problematiche di carattere litotecnico, geomeccanico e geologico-strutturale	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange	Orange
	Interferenza con sottosuolo-gestione e materiale di scavo	Orange	Red	Orange	Green	Green	Green

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

ASPETTI	REQUISITI/CRITERI	FASE DI CANTIERE			FASE DI ESERCIZIO		
		ALT PRG			ALT PRG		
		1	2	3	1	2	3
GESTIONALI e MANUTENTIVI	Tempi di svuotamento del nuovo acquedotto < 12 ore	-	-	-	Yellow	Yellow	Yellow
	Sistemi e procedure per l'ispezione e manutenzione	-	-	-	Green	Yellow	Yellow
	Sistemi e procedure per gli interventi	-	-	-	Green	Yellow	Green
	Flessibilità gestionale dell'opera	Orange	Red	Yellow	Yellow	Red	Green
IGIENICO SANITARI	Tempo di permanenza idraulica nuovo acquedotto	-	-	-	Green	Yellow	Green
	Utilizzo di materiali compatibili con l'uso idropotabile e la protezione della risorsa	-	-	-	Green	Green	Green
	Procedure e sistemi di sicurezza per la protezione della risorsa idrica	-	-	-	Green	Green	Green

