



Committente

tecnic

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI BOLZANO
Dr. Ing. WALTER GOSTNER
Nr. 1191
INGENIEURKAMMER
DER PROVINZ BOZEN

Progetto definitivo

| | | | |
|---|--|-------------|--------|
| committente | RUOTI ENERGIA S.r.l. Piazza del Grano 3 I-39100 Bolzano (BZ) | | |
| progetto | Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio denominato "Mandra Moretta" e relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei Comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ) | | |
| contenuto | Relazione idrologica | | |
| redatto | modificato | | scala |
| cl | 24.11.22 | a | PD-R.3 |
| controllato | | b | |
| wag | 14.12.22 | c | |
| pagine | 39 | n. progetto | 11-213 |
| 11_213_PSKW_Ruoti\leinr1\leinr\text\PD_R.3_rel_idrologica_01.docx | | | |



Studio di Geologia e Geolngegneria
Dott. Geol. Antonio De Carlo

Dott. Geol. Antonio De Carlo
Via del Seminario 35 – 85100 Potenza (PZ)
tel. +39 0971 180 0373
studiogeopotenza@libero.it



BETTIOL ING. LINO SRL
Società di Ingegneria

S.L.: Via G. Marconi 7 - 31027 Spresiano (TV)
S.O.: Via Panà 56ter - 35027 Noventa Padovana (PD)
Tel. 049 7332277 - Fax. 049 7332273
E-mail: bettiolinglinosrl@legalmail.it

patzschepartner

ENGINEERS

Ingegneri Patzschneider & Partner S.r.l.
i-39024 mals/malles (bz) - glurnserstraße 5/k via glorenza
i-39100 bozen/bolzano - negrellistraße 13/c via negrelli
a-6130 schwaz - mindelheimerstraße 6
tel. +39 0473 83 05 05 – fax +39 0473 83 53 01
info@ipp.bz.it – www.patzschneiderpartner.it

Indice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduzione | 3 |
| 1.1 Committente | 3 |
| 1.2 Progettisti incaricati | 3 |
| 2. Introduzione | 5 |
| 3. Inquadramento del progetto..... | 5 |
| 3.1 Generalità..... | 5 |
| 3.2 Ubicazione geografica..... | 6 |
| 3.3 Il bacino di monte | 6 |
| 3.4 Il bacino di valle..... | 7 |
| 4. Descrizione del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti..... | 10 |
| 5. Idrologia ordinaria..... | 12 |
| 5.1 Dati meteorici disponibili | 12 |
| 5.2 Analisi delle portate medie mensili..... | 13 |
| 5.3 Determinazione del deflusso minimo vitale..... | 14 |
| 5.4 Volume idrico naturale e volume utilizzabile | 15 |
| 5.5 Stima dell'evaporazione | 17 |
| 5.5.1 Generalità | 17 |
| 5.5.2 Dati di temperatura disponibili..... | 18 |
| 5.5.3 Metodologia di calcolo..... | 18 |
| 5.5.4 Risultati | 19 |
| 5.5.5 Compensazioni delle perdite annue | 20 |
| 6. Idrologia di piena..... | 21 |
| 6.1 Metodologia VAPI..... | 21 |
| 6.2 Piogge di progetto | 22 |
| 6.3 Portate di piena della Fiumara di Ruoti | 24 |
| 6.3.1 Picchi di piena | 24 |
| 6.3.2 Tempo di corrivazione..... | 26 |
| 6.3.3 Volumi di piena | 27 |
| 6.4 Portate di piena sulla Fiumara di Avigliano | 28 |
| 7. Trasporto solido | 29 |
| 7.1 Valutazioni geomorfologiche | 29 |
| 7.2 Aspetti geologici | 31 |
| 7.3 Analisi granulometriche | 33 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7.4 | Apporto medio annuo | 34 |
| 7.5 | Trasporto solido in condizioni di piena | 37 |

1. Introduzione

1.1 Committente

RUOTI ENERGIA S.r.l.

Piazza del Grano 3

I-39100 Bolzano (BZ)

1.2 Progettisti incaricati

Coordinatore di progetto:

Dr. Ing. Walter Gostner

Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l.

Opere civili ed idrauliche

Ingegneri Patscheider & Partner Srl

Via Glorencia 5/K

39024 Malles (BZ)

Responsabile opere idrauliche:

Responsabile opere civili:

Coordinamento interno:

Progettisti:

Via Negrelli 13/C

39100 Bolzano (BZ)

Dr. Ing. Walter Gostner

Dr. Ing. Ronald Patscheider

Dr. Ing. Corrado Lucarelli

Dr. Ing. Marco Demattè

Msc ETH Alex Balzarini

Dr. For. Giulia Bisoffi

Tecn. Alexander Gambetta

Geom. Marion Stecher

Geom. Stefania Fontanella

Per. Agr. Luciano Fiozzi

Geologia e geotecnica

Consulenti specialistici:

Dr. Geol. Antonio De Carlo

Studio di Geologia e Geoingegneria

Via del Seminario 35

85100 Potenza (PZ)

Opere elettriche – Impianto Utenza per la Connessione

Progettista e consulente specialista:

Bettiol Ing. Lino S.r.l.

Dr.ssa Ing. Giulia Bettiol

Società di Ingegneria

Via G. Marconi 7

I-31027 Spresiano (TV)

2. Introduzione

Il progetto proposto prevede la realizzazione di un impianto di pompaggio per l'accumulo di energia in forma di acqua in Basilicata nel Comune di Ruoti, in provincia di Potenza. L'impianto prevede la realizzazione di due nuovi bacini, il primo a valle da realizzarsi con sbarramento della fiumare di Ruoti, il secondo a monte tramite l'allargamento dell'attuale Lago della Moretta. E' previsto l'utilizzo del dislivello geodetico tra il bacino di monte e quello di valle per la produzione di energia elettrica. L'impianto di pompaggio in progetto nel Comune di Ruoti potrà funzionare sia come impianto di compensazione e bilanciamento dell'energia che come impianto di regolazione, immettendo in rete energia di regolazione. Il suo funzionamento sarà quindi direttamente regolato dalle esigenze di rete e di mercato. Nel primo caso (compensazione, bilanciamento) l'impianto permetterà di bilanciare la produzione nell'arco delle 24 ore limitando sprechi ed esuberi in fasce orarie non prioritarie, nel secondo caso (regolazione, dispacciamento) l'energia accumulata potrà essere utilizzata invece per regolarizzare le produzioni incostanti degli impianti eolici e fotovoltaici e per sopperire a periodi di calma dei venti o di perdurante nuvolosità.

Nella presente relazione verranno illustrati i calcoli e le assunzioni alla base delle verifiche idrologiche effettuate, al fine di determinare il regime idrologico, le portate medie e le portate di piena della Fiumara di Ruoti. E' stato indagato anche il comportamento in condizioni di piena della Fiumara di Avigliano, in cui confluisce la Fiumara di Ruoti proprio a valle del centro abitato di Ruoti. Tale approfondimento si rivela necessario per garantire la necessaria sicurezza idraulica del nuovo sbarramento trasversale lungo la Fiumara di Ruoti. Data l'importanza che riveste nel bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti, è proposta successivamente l'analisi del trasporto solido, annuo ed a scala di evento, al fine di effettuare una prima valutazione, seppur semi-quantitativa, dei processi di interrimento ai quali l'invaso di valle sarà probabilmente soggetto. La conoscenza di tali fenomeni risulta di fondamentale importanza per il corretto inquadramento di misure di gestione del trasporto solido e per una corretta organizzazione delle necessarie operazioni di manutenzione dell'invaso stesso.

3. Inquadramento del progetto

3.1 Generalità

Il progetto per la realizzazione di un impianto di pompaggio nel Comune di Ruoti (Potenza) prevede la realizzazione di due bacini di accumulo di acqua, posti a quote differenti e collegati attraverso una condotta forzata (vedasi la planimetria riportata in allegato 2). In corrispondenza del bacino di valle sarà realizzata la centrale di produzione / trasformazione e pompaggio per

la produzione di energia di regolazione. Si rimanda alla planimetria tecnica riportata in appendice per una visione di insieme dell'impianto in progetto. Uno schema generale di funzionamento dell'impianto di pompaggio è fornito in Figura 1.

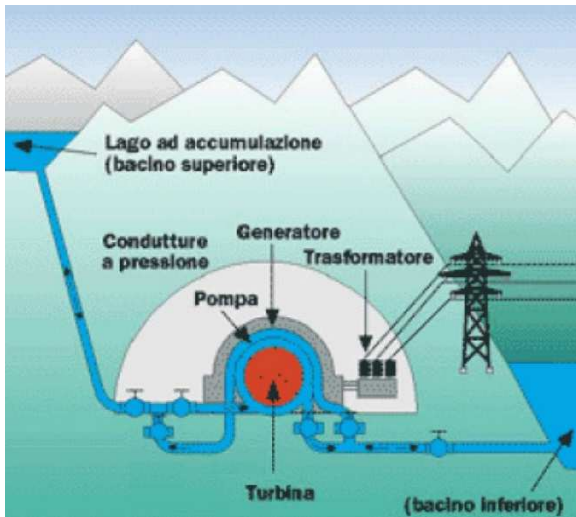


Figura 1 Schema generale di funzionamento di un impianto a pompaggio.

3.2 Ubicazione geografica

Per quanto concerne l'ubicazione geografica dell'area di progetto, il Comune di Ruoti dista circa 14,5 km dal capoluogo lucano in direzione nord-ovest. Il centro del paese si trova ad una quota di 751 m slm sulle coordinate 40°43'8,40"N e 15°40'47,28"E. Il territorio comunale si estende su una superficie di ca. 55,1 km² ed ospita le frazioni di Acqua Bianca, Avriola, Bosco Grande, Caivano, Cesine, Croce, Faggeta, Incasciature, Micele, Porcile, San Giovanni, Serra di Pepe, Toppo di Scioscio, Valle dell'Olmo e Valle in Casa. Il Comune di Ruoti confina direttamente con i Comuni di Avigliano, Potenza, Bella, Baragiano e Picerno. Per un inquadramento geografico si rimanda alla corografia riportata in appendice.

3.3 Il bacino di monte

Nell'area dove è prevista la realizzazione del bacino di monte è presente un laghetto, alimentato probabilmente da una piccola sorgente sotterranea, che occupa una superficie di ca. 4.700 m². Il lago della Moretta (anche detto Lago Scuro) è inserito in una conca naturale chiusa sul lato nord da un argine realizzato in anni recenti (Figura 2). Non risultano allo stato attuale interventi di impermeabilizzazione o di gestione delle acque superficiali nella zona del laghetto. A valle dell'argine si estende una zona pianeggiante ad oggi incolta. Non sono state eseguite analisi idrologiche specifiche per quanto riguarda il bacino di monte in quanto esso non sarà alimentato

direttamente da corsi d'acqua e non sono previste sinergie nemmeno con sorgenti o rivi secondari in zona. Il riempimento del sistema chiuso dell'impianto di pompaggio avverrà infatti unicamente prelevando acqua dalla Fiumara di Ruoti come illustrato nei paragrafi successivi.



Figura 2. Alcune immagini del Lago della Moretta.

Si riportano i dati caratteristici del bacino di monte in progetto, la cui localizzazione ed estensione planimetrica si può evincere dalla documentazione tecnica prodotta in sede di progettazione definitiva.

| | |
|--|------------------------------|
| Quota di massima regolazione: | 1.080,5 m |
| Quota di massimo invaso: | 1.081,0 m |
| Quota di minima regolazione (minimo invaso): | 1.068,0 m |
| Quota del coronamento diga: | 1.082,5 m |
| Quota minima fondo lago: | 1.067,0 m |
| Franco netto: | 1,50 m |
| Altezza massima della diga (D.M. 24 marzo 1982): | 15,50 m |
| Superficie alla quota di massima regolazione: | ca. 89.800 m ² |
| Superficie alla quota di minima regolazione: | ca. 48.650 m ² |
| Volume totale d'invaso: | ca. 1.000.000 m ³ |
| Volume utile d'invaso: | ca. 850.000 m ³ |

3.4 Il bacino di valle

L'area individuata per la realizzazione del bacino di valle è ubicata a monte della confluenza tra la Fiumara di Ruoti e quella di Avigliano. Il versante in sinistra orografica è coperto da una vasta macchia arborea mentre sul versante di destra, meno acclive, sono presenti prati colti ed incolti

ed arbusti sparsi. Il corso d'acqua in questo tratto presenta un andamento sinuoso con pendenze medie comprese tra 2,7 % e 4,8 %. L'orografia è caratterizzata in questo tratto da una valle larga, che ben si presta ad ospitare un invaso (Figura 3). La sezione di imposta della diga è stata individuata in un tratto in cui la valle si restringe offrendo le caratteristiche ideali per l'inserimento del manufatto, sufficientemente a monte della confluenza con al Fiumara di Avigliano, tale che il deflusso della stessa in ogni condizione non interferisca con il corpo della nuova diga.



Figura 3. Alcune immagini del sito in cui è prevista la realizzazione della nuova diga, poco a monte della confluenza con la Fiumara di Avigliano.



Figura 4. Alcune immagini della Fiumara di Ruoti nel tratto in cui verrà realizzato il nuovo bacino di valle.

Si riportano i dati caratteristici del bacino di valle in progetto, la cui localizzazione ed estensione planimetrica si può evincere dalla documentazione tecnica prodotta nell'ambito della progettazione definitiva sviluppata.

| | |
|--|---------|
| Quota di massima regolazione: | 495,0 m |
| Quota di massimo invaso: | 496,0 m |
| Quota di minima regolazione (minimo invaso): | 482,0 m |

| | |
|--|------------------------------|
| Quota del coronamento diga: | 498,0 m |
| Franco netto in caso di massima piena: | 2,00 m |
| Altezza massima della diga (D.M. 24 marzo 1982): | ca. 29.5 m |
| Superficie alla quota di massima regolazione: | ca. 112.500 m ² |
| Superficie alla quota di minima regolazione: | ca. 31.350 m ² |
| Volume totale d'invaso: | ca. 1.000.000 m ³ |
| Volume utile d'invaso: | ca. 850.000 m ³ |

4. Descrizione del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti

La Fiumara di Ruoti è descrivibile come un tributario in sinistra orografica della Fiumara di Avigliano ed attraversa interamente il territorio comunale di Ruoti. Il torrente, dai tratti torrentizi ed a carattere fortemente intermittente, copre un bacino imbrifero di superficie pari a ca. 30,63 km² (vedasi Figura 6). Tra i principali tributari secondari della Fiumara di Ruoti figurano in sinistra orografica il Vallone Perazzetta, il Vallone Tommaso, il Vallone Acqua Fredda, il Vallone di Scorza o Berardi ed il Vallone Casa Messeri, che sfocia nella Fiumara in sinistra orografica prima della confluenza con la Fiumara di Avigliano. In destra orografica si annoverano invece il Vallone Pietra del Lupo, il Vallone Cugno di Chirichella, il Vallone di Capanne ed il Rio di Valle Marana.



Figura 5. Alcune immagini del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti.

| Parametro | Valore |
|--|---------|
| Bacino imbrifero di competenza | Sele |
| Superficie bacino imbrifero (Km ²) | 30,63 |
| Lunghezza asta principale (m) | 10.797 |
| Quota minima (m s.l.m.) | 498,5 |
| Quota massima (m s.l.m.) | 1.166,5 |
| Quota media (m s.l.m.) | 946,5 |
| Pendenza media asta principale | 4 - 7 % |

Tabella 1. Principali dati plano-altimetrici del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti.

In Tabella 1 sono riportati i principali dati plano-altimetrici del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti. E' riportata anche la quota media in m s.l.m. del bacino imbrifero, intesa come media geometrica delle quote topografiche di tutti i punti disponibili nel bacino imbrifero oggetto di studio, determinata in ambiente GIS sulla base del modello digitale del terreno disponibile della

Regione Basilicata. Nelle immagini seguenti sono invece rappresentate alcune foto del corso principale della Fiumara di Ruoti (Figura 7) e del Vallone Casa Messeri (Figura 8).

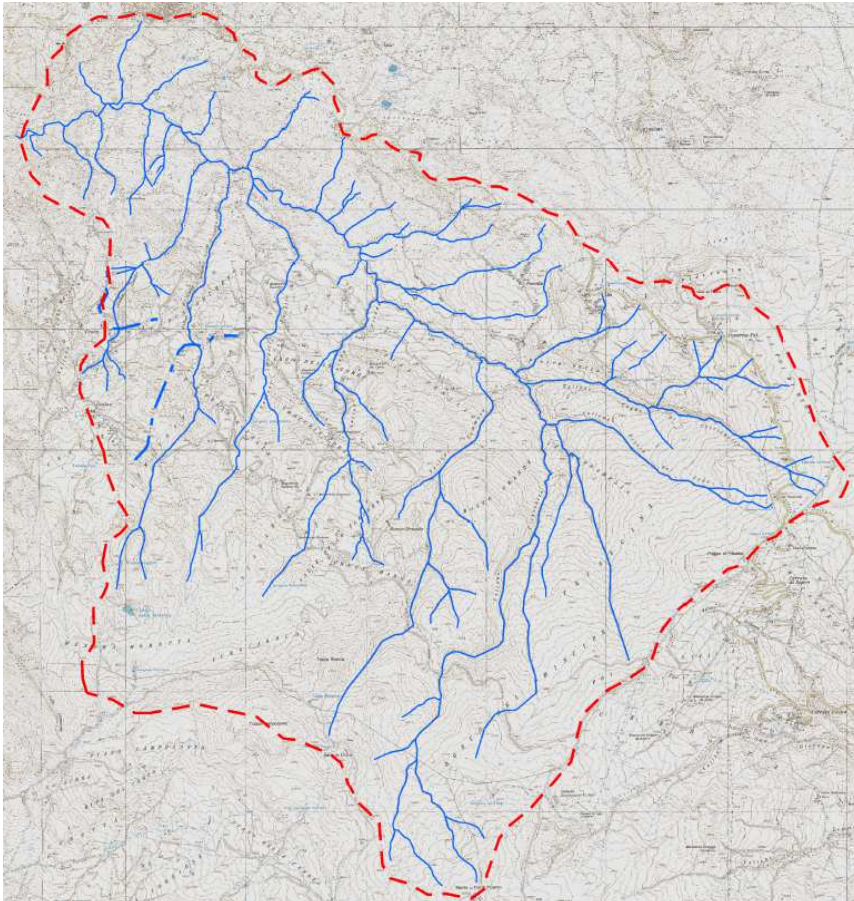


Figura 6. Bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti.



Figura 7. Alcune immagini della Fiumara di Ruoti nel suo tratto mediano, all'altezza del centro abitato di Ruoti.



Figura 8. Alcune immagini del Vallone Casa Messeri nei pressi dello sbocco nella Fiumara di Ruoti.

5. Idrologia ordinaria

5.1 Dati meteorici disponibili

Per una valutazione preliminare del regime idrologico caratteristico della Fiumara di Ruoti si è fatto riferimento ai dati pluviometrici registrati dalla stazione di Avigliano, considerata in via preliminare la più rappresentativa per l'area in esame. In Figura 9 sono riportate le cumulate annuali disponibili registrate ad Avigliano nel periodo 1932 – 2021 (n = 74), reperite dagli Annali Idrologici dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Napoli. Si registra una precipitazione cumulata media annua di ca. 972 mm/anno.

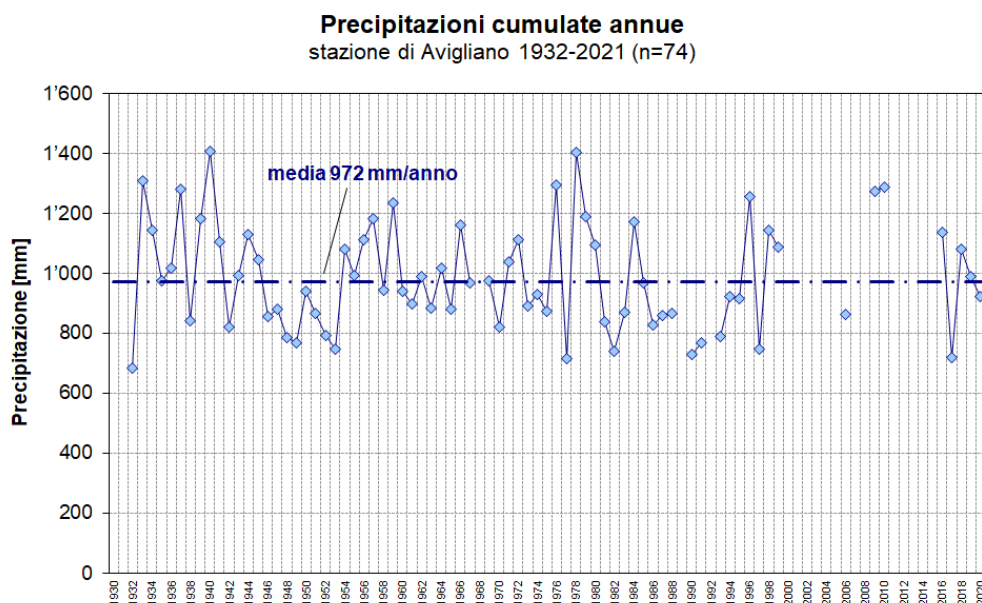


Figura 9. Precipitazioni cumulate annue registrate presso la stazione di Avigliano nel periodo di osservazione disponibile.

Mediante una dettagliata analisi statistica dei dati disponibili, si è provveduto successivamente a determinare le medie mensili registrate presso la stazione di Avigliano. Come indicato in Figura 10, l'andamento delle precipitazioni mensili registrate presso la stazione di Avigliano denota il tipico regime pluviometrico appenninico meridionale, con un minimo di precipitazione estivo ed un massimo pronunciato nel tardo autunno – inizio inverno.

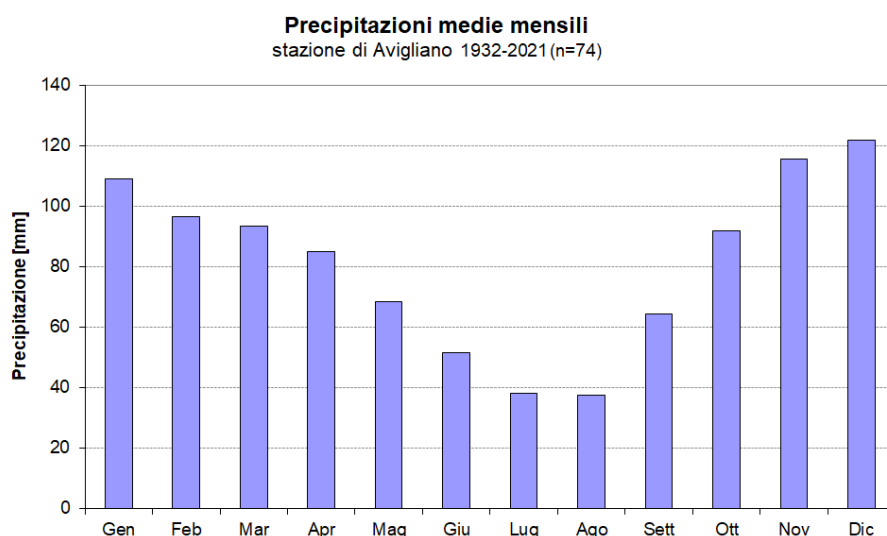


Figura 10. Precipitazioni medie mensili registrate presso la stazione di Avigliano.

I dati di pioggia registrati presso la stazione pluviometrica di Avigliano sono stati considerati rappresentativi anche per il limitrofo territorio comunale di Ruoti ed assunti di conseguenza per le elaborazioni idrologiche di seguito illustrate.

5.2 Analisi delle portate medie mensili

Sulla scorta dei dati disponibili ed elaborati per la stazione di Avigliano, si è proceduto ad una prima stima delle portate medie ordinarie del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti. L'estensione del bacino imbrifero oggetto di studio è pari a ca. 31 km². Assumendo la precipitazione media annua così come determinata nel paragrafo 5.1, è possibile provvedere ad una stima della portata media annua caratteristica della Fiumara di Ruoti in base alla seguente espressione:

$$\bar{Q} = \frac{\varphi_g \cdot h \cdot S}{t} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

in cui h rappresenta la precipitazione media annua che caratterizza il bacino imbrifero oggetto di studio (mm), S la superficie del bacino imbrifero (km²) e φ_g il coefficiente di deflusso globale.

Assumendo una precipitazione media annuale di 972 mm/anno, un'estensione del bacino imbrifero di ca. 31 km², un coefficiente di deflusso globale di ca. 0,1 (coerentemente con le caratteristiche geolitologiche del bacino drenante desumibili dalle carte tematiche disponibili e dalle prime indicazioni dalle analisi geologiche effettuate) ed un anno come intervallo temporale di riferimento (t = 365 giorni), si ottiene dalla relazione precedente una portata media annua di ca. 65 l/s.

Per una prima stima delle variazioni mensili delle portate, si sono stimati su base bibliografica dei coefficienti di stagionalità che esprimono il rapporto statistico tra le singole portate mensili e la portata media annua propria del bacino imbrifero in esame (vedasi ad es. Parde, 1947¹). Si sono determinate le portate medie mensili riportate in Figura 11, con deflussi medi molto limitati nei mesi estivi e massimi nei mesi invernali.

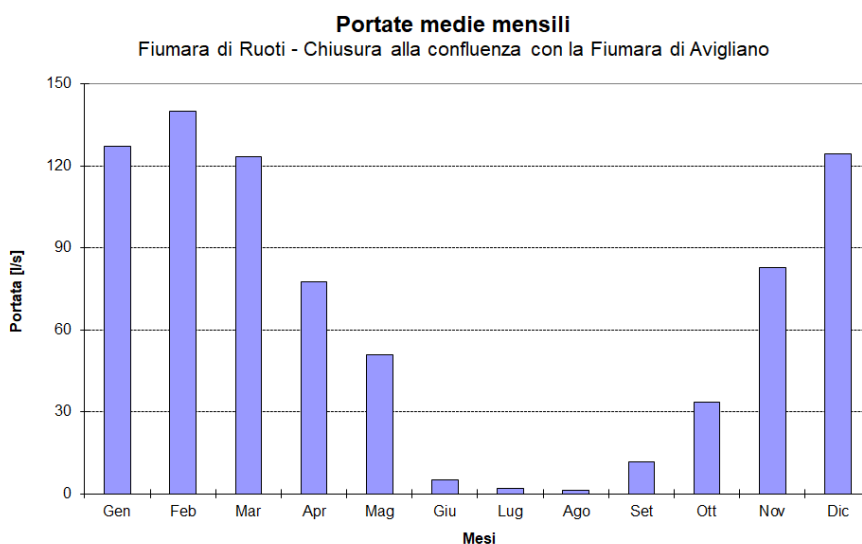


Figura 11. Portate medie mensili stimate all'imbocco del bacino di valle.

5.3 Determinazione del deflusso minimo vitale

In questa sede è stata effettuata anche una prima determinazione del deflusso minimo vitale (DMV). Sono state adottate le indicazioni fornite Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale in base alle "Direttiva per la Determinazione dei Deflussi Ecologici a Sostegno del Mantenimento/Raggiungimento degli Obiettivi Ambientali Fissati dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (Dicembre 2017)". Secondo questa direttiva, per

¹ Parde, M. (1947), „Fleuves et Rivieres“, 2.Auflage. Colin, Paris.

la Fiumara di Ruoti il DMV deve essere compreso tra 3,9 l/s minimo e 13,6 l/s massimo. Considerando le caratteristiche della Fiumara, è stato calcolato un DMV medio di 10,7 l/s. Nelle successive fasi progettuali verrà valutato se rilasciare una portata maggiore in accordo con le caratteristiche idrobiologiche del corso d'acqua. Date le caratteristiche idrologiche della Fiumara di Ruoti, nei mesi estivi la portata del torrente è molto bassa, se non del tutto assente, pertanto dovrà essere rilasciata interamente la quantità di acqua naturale che vi defluisce. Ai fini dello sfruttamento energetico delle acque del torrente, l'accumulo delle acque, necessario per il primo invaso del bacino di valle, sarà quindi possibile mediamente da ottobre a maggio, previo rilascio del suddetto deflusso minimo vitale.

Grazie ai deflussi tardo-autunnali ed invernali, la Fiumara di Ruoti ha quindi le potenzialità idrologiche necessarie per garantire in un anno idrologico medio i volumi di acqua necessari al riempimento dell'invaso a valle. Si nota come nei mesi estivi (maggio-settembre) non sia possibile accumulare sostanzialmente acqua. I risultati dell'analisi preliminare condotta in questa sede verranno approfonditi dettagliatamente nella successiva fase progettuale.

Va sottolineato che, trattandosi di un impianto a circuito chiuso tra i bacini di monte e di valle, non sono previsti ulteriori immagazzinamenti di acqua oltre al volume previsto da progetto che verrà accumulato in fase di primo riempimento del bacino di valle, a meno di piccoli interventi di compensazione del volume perso per evaporazione dai bacini e per le eventuali minime perdite strutturali. A riempimento avvenuto in condizioni di esercizio tutta la portata naturale della Fiumara di Ruoti sarà direttamente scaricata a valle dello sbarramento. Come precedentemente sottolineato in fase di primo riempimento del bacino verrà garantito il rilascio del DMV. Tale rilascio terrà conto della variabilità dei deflussi naturali durante l'anno idrologico, essendo costituito da un contributo di base fisso e da un contributo variabile in funzione della portata che giunge effettivamente all'invaso, misurata ed opportunamente rilasciata dagli organi di rilascio della diga.

5.4 Volume idrico naturale e volume utilizzabile

Note le portate medie mensili, si è proceduto a determinare il volume d'acqua medio disponibile ed accumulabile in un anno idrologico al netto dei rilasci del deflusso minimo vitale. In Tabella 2 sono riportati i dati idrologici caratteristici della Fiumara di Ruoti. Si indica con Q la portata naturale che defluisce mensilmente alla sezione di chiusura (l/s), q la portata specifica (l/s/km²), DN il deflusso naturale (m³), DMV il deflusso minimo vitale determinato come precedentemente spiegato, QD la portata derivabile al netto dei rilasci DMV (l/s), DD il deflusso derivabile al netto dei rilasci DMV (m³) e CDD a cumulata annua del deflusso derivabile (m³). La cumulata annua dei deflussi naturali e accumulabili è illustrata in Figura 12.

| Mese | Q (l/s) | q (l/s/km ²) | D _N (m ³) | DMV (l/s) | Q _D (l/s) | D _D (m ³) | CDD (m ³) |
|-----------|------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Gennaio | 127,14 | 4,15 | 340.534 | 10,72 | 116,42 | 311.825 | 311.825 |
| Febbraio | 139,98 | 4,57 | 338.648 | 10,72 | 129,26 | 312.717 | 624.543 |
| Marzo | 123,29 | 4,03 | 330.215 | 10,72 | 112,57 | 301.506 | 926.049 |
| Aprile | 77,70 | 2,54 | 201.391 | 10,72 | 66,98 | 173.608 | 1.099.657 |
| Maggio | 50,73 | 1,66 | 135.870 | 10,72 | 40,01 | 107.161 | 1.206.818 |
| Giugno | 5,14 | 0,17 | 13.315 | 5,14 | 0,00 | 0 | 1.206.818 |
| Luglio | 1,93 | 0,06 | 5.160 | 1,93 | 0,00 | 0 | 1.206.818 |
| Agosto | 1,28 | 0,04 | 3.440 | 1,28 | 0,00 | 0 | 1.206.818 |
| Settembre | 11,56 | 0,38 | 29.959 | 10,72 | 0,84 | 2.176 | 1.208.994 |
| Ottobre | 33,39 | 1,09 | 89.433 | 10,72 | 22,67 | 60.724 | 1.269.718 |
| Novembre | 82,83 | 2,70 | 214.706 | 10,72 | 72,12 | 186.923 | 1.456.642 |
| Dicembre | 124,57 | 4,07 | 333.655 | 10,72 | 113,85 | 304.946 | 1.761.588 |

Tabella 2. Dati idrologici caratteristici della Fiumara di Ruoti.

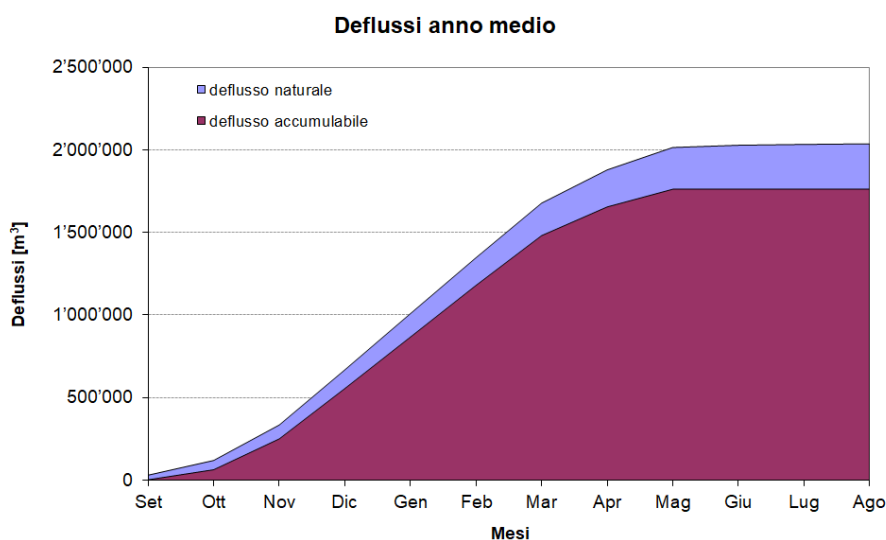


Figura 12. Deflussi naturali e deflussi potenzialmente accumulabili lungo la Fiumara di Ruoti.

L'accumulo delle acque sulla Fiumara di Ruoti, necessario per il primo invaso del bacino di valle, sarà quindi possibile mediamente da ottobre a febbraio, previo rilascio del suddetto deflusso minimo vitale. In un anno idrologico medio si registra un volume di acqua accumulabile potenziale di ca. 1,7 Mio m³, superiore al volume di invaso previsto per l'impianto in progetto

(volume utile di ca. 850.000 m³, volume totale di ca. 1.000.000 m³). Secondo le assunzioni poste ed i calcoli preliminari effettuati, il deflusso medio naturale annuo caratteristico della Fiumara di Ruoti alla sezioni di chiusura ammonta a ca. 2,1 Mio m³. A titolo di confronto, si propongono in Tabella 3 anche i dati dei deflussi medi annui determinati su altri corsi d'acqua in zona (vedasi Claps et al., 2010²). Si intuisce come il deflusso medio annuo stimato per la Fiumara di Ruoti è in linea con le evidenze di letteratura.

| Bacino imbrifero | Area (km²) | DM (Mm³) |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Fiumara di Ruoti (*) | 30,63 | 2,1 |
| Fiumara di Picerno | 73,9 | 4,9 |
| Torrente San Pietro | 34,2 | 2,3 |

Tabella 3. Deflussi medi annui naturali (dm) della Fiumara di Ruoti e confronto con i dati di letteratura disponibili. (*) stimato nel presente studio.

Grazie ai deflussi tardo-autunnali ed invernali, la Fiumara di Ruoti ha quindi le potenzialità idrologiche necessarie per garantire in un anno idrologico medio i volumi di acqua necessari al riempimento dell'invaso di valle. Si nota come nei mesi estivi non sia possibile accumulare sostanzialmente acqua. Pertanto si deriveranno i deflussi generati dalla Fiumara di Ruoti a partire dal mese di settembre e sino alla primavera successiva per accumulare la quantità di acqua necessaria all'esercizio dell'impianto di pompaggio.

5.5 Stima dell'evaporazione

5.5.1 Generalità

Come accennato precedentemente, dopo il primo riempimento dell'invaso di valle ed in relazione alle perdite di acqua che fisiologicamente si determineranno con il tempo, sarà necessario procedere alla loro compensazione prelevando a cadenza annuale determinate quantità di acqua dalla Fiumara di Ruoti. Per consentire una quantificazione di tali prelievi si è proceduto alla stima delle perdite idriche per evaporazione che interessano gli invasi di monte e di valle, come illustrato nei paragrafi successivi.

² Claps, P. et al. (2010), "Aggiornamento dello studio per la valorizzazione e la salvaguardia delle risorse idriche in Basilicata".

5.5.2 Dati di temperatura disponibili

Per una stima delle perdite idriche nei previsti invasi a servizio dell'impianto di pompaggio, sono stati considerati i valori di temperatura caratteristici del Comune di Ruoti riportati nel *Sistema Informativo Geografico Fotovoltaico* (PVGIS) della Commissione Europea. In Figura 13 è riportato l'andamento annuo delle temperature medie mensili nel Comune di Ruoti (medie sulle 24 h).

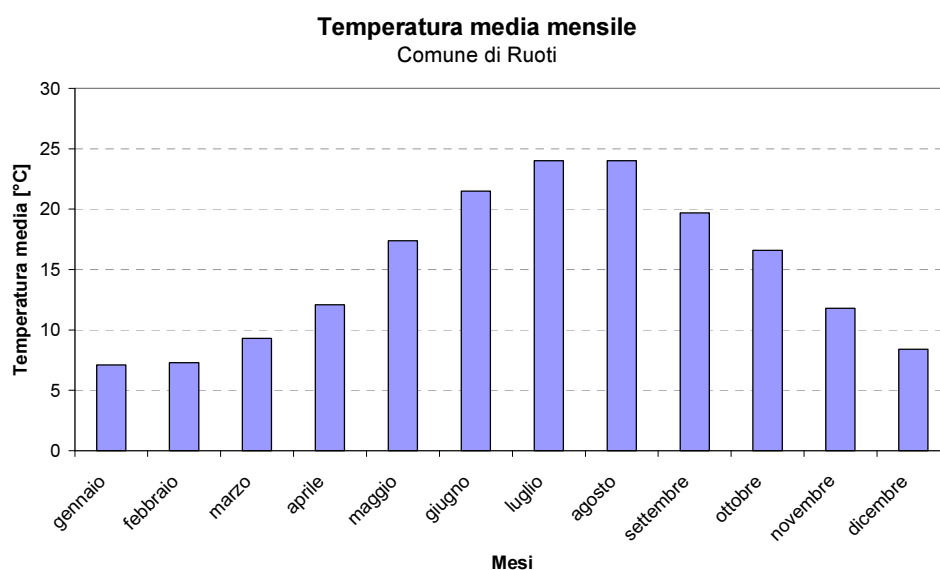


Figura 13. Temperature medie mensili caratteristiche del Comune di Ruoti (fonte: PVGIS, Commissione Europea).

5.5.3 Metodologia di calcolo

Tra gli approcci più utilizzati in letteratura, la classica formula di Visentini, proposta negli anni '30 e successivamente modificata da Romita (Visentini, 1937; Romita, 1953) è ancora molto usata per la stima dell'evaporazione media mensile e media annua dai laghi in Italia (Tonini, 1959; Ciabatti, 1982; Crivellari, 1982; Celico, 1988). Nella loro versione più semplificata, le formule di Visentini sono così esprimibili:

$$E_m = b \cdot t_m^{1,5}$$

$$E_a = c_1 \cdot t_a + c_2$$

dove b , c_1 e c_2 sono coefficienti empirici (vedasi Tabella 4), m è l'indice relativo al mese, E_m rappresenta l'evaporazione media mensile (mm), t_m la temperatura media mensile (°C), t_a la temperatura media annua (°C) e E_a l'evaporazione media annua (mm).

| | |
|--------------------------|--|
| $b = 2,25$ | per specchi d'acqua non molto estesi (Romita, 1953) |
| $b = 2,00$ | per grandi laghi (Romita, 1953) |
| $c_1 = 75; c_2 = 0$ | per evaporimetri, alt. fra 0 e 200 m (Tonini, 1959) |
| $c_1 = 90; c_2 = 0$ | per evaporimetri, alt. fra 200 e 500 m (Tonini, 1959) |
| $c_1 = 90; c_2 = 300$.. | per evaporimetri, alt. superiore a 500 m (Tonini, 1959) |

Tabella 4. Valori dei coefficienti nelle formule di Visentini.

Note le caratteristiche geometriche degli invasi oggetto di studio e le forzanti termo-altimetriche del sistema da studiare, è possibile pertanto procedere ad una stima dell'evaporazione media annua che affligge i due specchi d'acqua. Per quantificare le perdite effettive, è necessario computare nel bilancio anche la ricarica media annua di cui beneficiano gli invasi, imputabile alla precipitazione che cade direttamente sulla loro superficie. Il bilancio idrico è pertanto esprimibile attraverso una semplice equazione:

$$V_C = P - E$$

Ovvero, il volume da compensare (V_C) è pari alla differenza tra gli apporti meteorici nei due invasi (P) e le perdite imputabili all'evaporazione (E).

5.5.4 Risultati

Assumendo una temperatura media annua dell'aria pari a 14,9°C ed una coppia di coefficienti empirici $c_1 = 90$ e $c_2 = 300$, si stimano le quantità riportate in Tabella 5.

| Invaso | E_a (mm) | S (m ²) | V_a (m ³) | P_s (m ³) | V_P (m ³) | ΔV (m ³) |
|--------|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Monte | 1.644 | 90.000 | - 147.960 | - 2.500 | + 87.721 | - 60.239 |
| Valle | | 113.000 | - 185.772 | | + 110.139 | - 75.633 |

Tabella 5. Determinazione delle perdite idriche netti presso i due invasi.

Sono incluse nel calcolo anche le perdite strutturali interne di acqua nel sistema (P_s) (come ad es. la stagnazione di acqua negli angoli morti del sistema, le perdite determinate per interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, etc.), quantificate in ca. 2,5% annuo del volume totale di invaso dei due bacini. Si indica con V_P il volume meteorico che cade direttamente sulla superficie dei laghi e con V_a il volume di acqua perso per evaporazione, determinato secondo le formulazioni del Visentini. Si ottiene una perdita annua complessiva di ca. 142.500 m³, imputabile alle perdite strutturali e per evaporazione.

5.5.5 Compensazioni delle perdite annue

La compensazione delle perdite annue stimate al paragrafo precedente avverrà prelevando le quantità di acqua necessarie direttamente dalla Fiumara di Ruoti nel periodo in cui essa porta una quantità sufficiente di acqua. In base a quanto rappresentato in Figura 12, i volumi richiesti sono ampiamente disponibili nei mesi invernali al netto del rilascio per il deflusso minimo vitale.

Da una semplice elaborazione emerge come per compensare le perdite annue di acqua sarebbe sufficiente prelevare una portata liquida di 25 l/s per ca. 5 settimane dalla Fiumara di Ruoti subito a monte del previsto bacino di valle nei mesi invernali, quando il deflusso del torrente è maggiore.

L'entità dei prelievi necessari e la durata degli stessi verrà studiata in dettaglio nelle successive fasi progettuali, pertanto i dati e le tempistiche riportate nel presente paragrafo hanno carattere puramente indicativo.

6. Idrologia di piena

6.1 Metodologia VAPI

Per una stima preliminare delle portate di piena generabili dal bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti si è adottata la metodologia di regionalizzazione VAPI (Rossi e Villani, 1994³). Nello specifico si è adottato il documento relativo alla valutazione delle piene nella Regione Campania, dato che il Comune di Ruoti ricade nel bacino idrografico del fiume Sele. Come indicato di seguito, l'area oggetto di studio è compresa nell'area omogenea nr. 3.

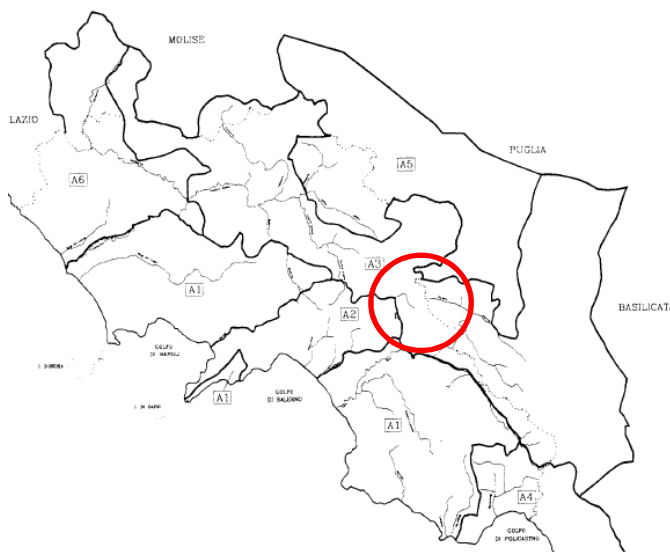


Figura 14. Corografia schematica del Sud Italia con indicazione della suddivisione del territorio in 6 aree pluviometriche omogenee.

Nel Rapporto VAPI la stima del valore di progetto della variabile considerata, massimo annuale dell'intensità di pioggia in una fissata durata, massimo annuale della portata al colmo di pieno o massimo annuale del volume di piena in una fissata durata, viene effettuata attraverso una metodologia di tipo probabilistico, per cui non esiste un massimo assoluto della variabile, ma ad ogni suo valore viene associata una probabilità di superamento in un anno e quindi un tempo di ritorno T , inteso come numero medio di anno fra due superamenti successivi.

Indicato con X_T il valore di progetto, la sua stima si ottiene sempre attraverso la seguente espressione:

³ Rossi, F., Villani, P. (1994), „Valutazione delle Piene in Campania“. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea 1, Previsione e Prevenzione degli eventi ideologici estremi e loro controllo, Unità Operativa 1.9 – Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno.

$$X_T = K_T \cdot \mu(X)$$

in cui:

K_T **coefficiente di crescita probabilistico**, funzione del periodo di ritorno prefissato. La relazione fra K_T e T è unica all'interno di una sottozona omogenea;

$\mu(T)$ **media della distribuzione** della X . Essa generalmente dipende fortemente da alcune caratteristiche fisiografiche del sito o del bacino in oggetto.

Senza entrare nel dettaglio statistico della metodologia, è utile precisare che è possibile, fissato un valore T del periodo di ritorno, ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito i valori di K_T ottenuti numericamente nell'ambito del rapporto VAPI per la Regione Campania, per alcuni valori del tempo di ritorno.

| T (anni) | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 | 200 | 1000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_T (piogge) | 0,87 | 1,16 | 1,38 | 1,64 | 1,72 | 2,03 | 2,36 | 2,71 | 3,53 |
| K_T (portate) | 0,87 | 1,29 | 1,63 | 2,03 | 2,17 | 2,61 | 3,07 | 3,53 | 4,52 |

Tabella 6. Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per piogge e portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T .

Nelle approssimazioni pratiche, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata che, dati i valori assunti dai vari parametri della distribuzione TCEV in Campania, può essere espressa dalle seguenti relazioni⁴:

$$K_T = -0,0373 + 0,517 \cdot LN(T) \quad (\text{per le piogge})$$

$$K_T = -0,0567 + 0,680 \cdot LN(T) \quad (\text{per le portate})$$

6.2 Piogge di progetto

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia $\mu[l(d)]$ su una fissata durata d con la durata stessa. Tali leggi devono essere strettamente monotone, in quanto mediamente l'intensità di pioggia media per una durata superiore deve essere necessariamente minore di quella per una durata inferiore. Per la Campania è stata adottata una espressione del tipo:

⁴ Rossi, F., Villani, P. (1994), „Valutazione delle Piene in Campania“. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea 1, Previsione e Prevenzione degli eventi ideologici estremi e loro controllo, Unità Operativa 1.9 – Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno. Cap. 6.3..

$$\mu[I(d)] = \mu(I_0) \left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta$$

in cui i valori d e d_c vanno espressi in ore, mentre le medie dell'intensità di pioggia in mm/ora. I parametri riportati nella relazione di cui sopra dipendono strettamente dalle singole aree pluviometriche omogenee. In Tabella 7 sono riportati i parametri statistici per l'area pluviometrica in cui ricade il Comune di Ruoti.

| Area omogenea | n. stazioni | μ(h ₀) (mm/ora) | d _c (ore) | C | D × 10 ⁵ | ρ ² |
|---------------|-------------|--------------------------------|-------------------------|-------|---------------------|----------------|
| 5 | 6 | 117 | 0,0976 | 0,736 | -8,73 | 0,998 |

Tabella 7. Parametri statistici per l'area pluviometrica omogenea nr. 3.

La valutazione della intensità di pioggia media sull'intero bacino imbrifero di riferimento (pioggia media areale) viene poi effettuata moltiplicando la media dell'intensità di pioggia al tempo d per un fattore di riduzione areale K_A così espresso:

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 \cdot A)) \exp(-c_2 \cdot d^{c_3})$$

dove A è l'area del bacino imbrifero (km²), d la durata della pioggia (ore) ed i coefficienti valgono rispettivamente: c₁ = 0,0021, c₂ = 0,53; c₃ = 0,25. Venendo al bacino imbrifero oggetto di studio, si riportano in Tabella 8 i valori di intensità di pioggia determinati per il bacino della Fiumara di Ruoti.

| d (ore) | K _A | β | μ(h _d) | μ _{Areale} (h _d) | μ _{Areale} (h _d) · K _T | | | | | |
|------------|----------------|-------|--------------------|---------------------------------------|--|-------|-------|--------|--------|---------|
| | | | | | T30 | T100 | T300 | T1.000 | T3.000 | T10.000 |
| 1 | 0,963 | 0,801 | 16,821 | 16,204 | 29,00 | 38,24 | 47,18 | 65,44 | 84,97 | 113,13 |
| 3 | 0,968 | 0,801 | 7,323 | 7,096 | 12,70 | 16,75 | 20,66 | 28,66 | 37,21 | 49,54 |
| 6 | 0,972 | 0,801 | 4,256 | 4,140 | 7,41 | 9,77 | 12,05 | 16,72 | 21,71 | 28,90 |
| 12 | 0,976 | 0,801 | 2,458 | 2,400 | 4,30 | 5,67 | 6,99 | 9,69 | 12,59 | 16,76 |
| 24 | 0,980 | 0,801 | 1,415 | 1,387 | 2,48 | 3,27 | 4,04 | 5,60 | 7,28 | 9,69 |

Tabella 8. Valori di intensità di pioggia determinati per l'area oggetto di studio.

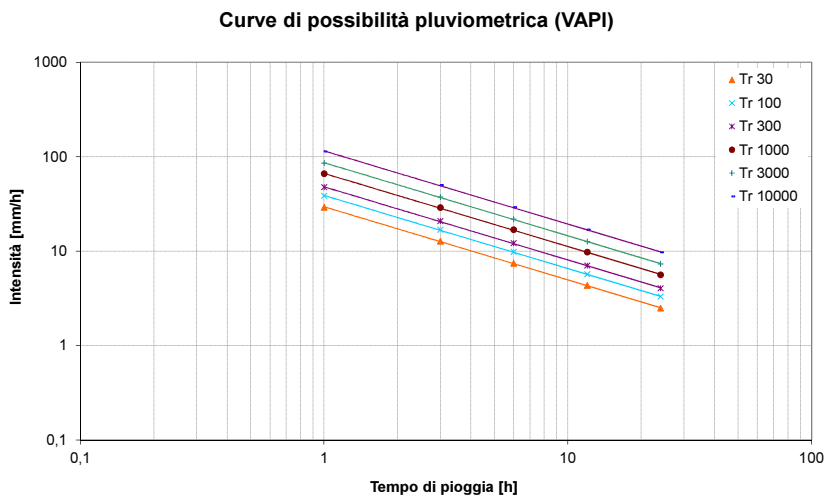


Figura 15. Curve di possibilità pluviometrica secondo la metodologia VAPI.

Note le curve di possibilità pluviometrica relative alla stazione pluviometrica di Avigliano ed il tempo critico di pioggia all'interno del bacino imbrifero di riferimento, è possibile ricavare al variare del tempo di ritorno le corrispondenti altezze di pioggia (si veda ad es. Tabella 11).

6.3 Portate di piena della Fiumara di Ruoti

6.3.1 Picchi di piena

Per la stima dei parametri delle relazioni di regionalizzazione per il calcolo delle portate di piena occorre definire preventivamente la piena media annua $\mu(Q)$. Nell'ambito del progetto VAPI, per diverse regioni italiane è stato applicato un legame di regressione di tipo logaritmico:

$$\log \mu(Q) = a' + b' \log A$$

corrispondente all'espressione monomia:

$$\mu(Q) = a \cdot A^b$$

con a e b parametri caratteristici delle regioni omogenee e con $\mu(Q)$ espressa in m^3/s e A in km^2 . In ognuna delle regioni esaminate dal rapporto VAPI sono stati trovati valori differenti dei parametri a e b.

| Relazione | Parametro a | Parametro b | k | ρ^2 |
|------------------------|-------------|-------------|----|----------|
| $\mu(Q) = a \cdot A^b$ | 1,1922 | 0,8384 | 12 | 0,9029 |

Tabella 9. Caratteristiche statistiche della relazione di regressione adottata fra la piena media annua e le grandezze fisiografiche del bacino. k è il numero di stazioni considerate, ρ^2 è il coefficiente di correlazione.

Nel presente documento è stata assunta per il calcolo la regressione precedentemente riportata, i cui parametri sono riportati in Tabella 6.

Adottando successivamente i coefficienti di crescita al variare del tempo di ritorno riportati in Tabella 6, sono riportati in Tabella 10 i picchi di piena determinati nel presente studio idrologico sulla Fiumara di Ruoti, considerando l'intero bacino imbrifero sotteso dal corso d'acqua.

| Tempo di ritorno (anni) | Q_{MAX} (m³/s) |
|------------------------------------|--|
| 30 | 47,9 |
| 100 | 64,6 |
| 300 | 78,8 |
| 1.000 | 94,9 |
| 3.000 | 107,5 |
| 10.000 | 122,7 |

Tabella 10. Portate di picco al variare del tempo di ritorno dell'evento di progetto.

A riprova dei valori riportati in Tabella 10, occorre sottolineare come per la Fiumara di Ruoti non esista e non è stato possibile reperire documentazione eventi che permettesse di analizzare storicamente il comportamento idrologico del corso d'acqua indagato.

Al fine di verificare i dati di portata estrema estrapolati da quanto ricavato con la metodologia VAPI, si è proceduto anche a stimare il valore della massima piena probabile (*Probable Maximum Flood*, PMF) secondo la metodologia GRADEX (Lavabre, 2002⁵). In base ad una regressione statistica elaborato su 170 bacini imbrifero è infatti possibile stimare la portata con tempo di ritorno di 1000 anni secondo la seguente espressione:

$$Q = \lambda \cdot S^{0,72}$$

dove si indica con S la superficie del bacino imbrifero (km²) e con λ un coefficiente regionale. Assumendo secondo le indicazioni di letteratura un coefficiente regionale pari a 8 si ottiene un valore della portata millenaria pari a ca. 93,9 m³/s, che bene approssima il valore ricavato con la procedura VAPI ed illustrato in Tabella 10.

⁵ Lavabre J. (2002), „Preliminary determination of design flood“. In: "Small Dams. Guidelines for Design, Construction and Monitorig", French Committee on Large Dams, Cemagref Editions, 2002, Francia.

6.3.2 Tempo di corrivazione

Al fine di ricostruire gli idrogrammi di piena al variare del tempo di ritorno, si è provveduto in primis a determinare il tempo di corrivazione a scala di evento. Si è adottata la classica formulazione cinematica (*Kinematic Wave formula*⁶), così esprimibile:

$$t_C = 0,93 \cdot \left(\frac{L^{0,6} \cdot n^{0,6}}{i^{0,4} \cdot S^{0,3}} \right)$$

in cui L rappresenta la lunghezza dell'asta fluviale attiva (m), n il coefficiente di Manning per la descrizione della scabrezza dell'alveo (m^{-1/3}s) assunto pari a 0,08, i l'intensità di pioggia di progetto (mm/h) e S la pendenza media dell'alveo torrentizio, assunta in 0,075 m/m. Per il calcolo dell'intensità di pioggia si assume che il tempo di pioggia caratteristico del bacino imbrifero oggetto di studio sia sostanzialmente uguale al tempo di concentrazione. La corrispondente intensità di pioggia di progetto si ricava da Figura 15. Il tempo di concentrazione dipende in sostanza direttamente all'intensità delle precipitazioni di progetto ed è pertanto variabile in funzione del tempo di ritorno. Attraverso un procedimento iterativo si sono determinate le altezze di pioggia ed i rispettivi tempi di concentrazione al variare del tempo di ritorno dell'evento meteorico considerato. In Tabella 11 sono illustrati i risultati dell'analisi condotta.

| Tempo di ritorno (anni) | a | n | h (mm) | t_c (ore) |
|------------------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------------------|
| 30 | 29,36 | 0,226 | 45,53 | 6,96 |
| 100 | 38,72 | 0,226 | 57,90 | 5,93 |
| 300 | 47,77 | 0,226 | 69,49 | 5,25 |
| 1.000 | 66,26 | 0,226 | 92,35 | 4,34 |
| 3.000 | 86,04 | 0,226 | 115,88 | 3,73 |
| 10.000 | 114,5 | 0,226 | 148,61 | 3,16 |

Tabella 11. Tempo di corrivazione per differenti tempi di ritorno.

In base a quanto illustrato in Tabella 11, si intuisce come al crescere del tempo di ritorno dell'evento di progetto il tempo di corrivazione, intenso come l'intervallo temporale che una singola particella di acqua impiega a raggiungere la sezione di chiusura dal punto più lontano del bacino

⁶ Wong, T. (2009). "Evolution of Kinematic Wave Time of Concentration Formulas for Overland Flow." J. Hydrol. Eng., 14(7), 739–744.

imbrifero, diminuisce. Tale comportamento è giustificato dal fatto che precipitazioni maggiormente intense portano ad una più rapida saturazione dei suoli (in relazione anche alle piogge pregresse) e pertanto ad una più rapida evoluzione dei fenomeni di ruscellamento superficiale.

6.3.3 Volumi di piena

Al fine di determinare i volumi di piena liquidi generabili dal bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti in occasione di fenomeni di piena marcati da differenti tempi di ritorno, si è adottata la metodologia proposta da Aaron e White (1982)⁷, procedura semplificata di agile applicazione riconosciuta a livello internazionale. Senza scendere nel dettaglio statistico ed analitico del metodo, per il quale si rimanda alle referenze bibliografiche, in Figura 16 sono illustrati gli idrogrammi di piena liquida generabili dal bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti, in Tabella 12 sono riportati invece i volumi di piena al variare del tempo di ritorno.

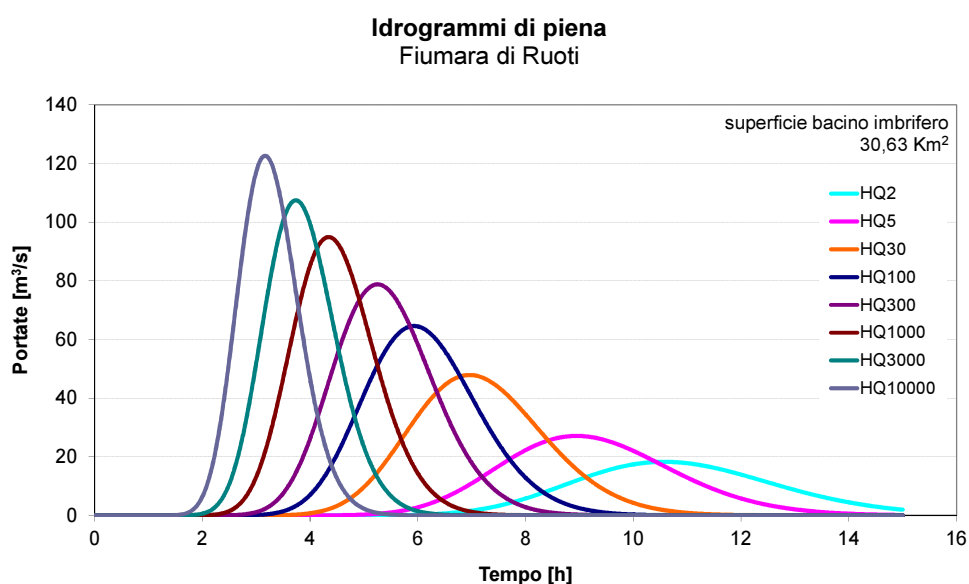


Figura 16. Idrogrammi di piena al variare del tempo di ritorno dell'evento di progetto.

La conoscenza degli idrogrammi di piena in ingresso nel bacino di valle in progetto ed i rispettivi volumi di piena sono di fondamentale importanza, in quanto base imprescindibile per un corretto dimensionamento degli organi di scarico del nuovo bacino di valle ottenuto dallo sbarramento della Fiumara di Ruoti.

⁷ Aron, G., and E. L. White, 1982. Fitting a gamma distribution over a synthetic unit hydrograph. Water Resources Bulletin, 18(1), 95-98.

| Tempo di ritorno (anni) | Volume (m ³) |
|----------------------------|-----------------------------|
| 30 | 529.000 |
| 100 | 608.000 |
| 300 | 656.000 |
| 1.000 | 681.000 |
| 3.000 | 712.500 |
| 10.000 | 749.000 |

Tabella 12. Rappresentazione tabellare dei volumi di piena degli eventi di progetto.

6.4 Portate di piena sulla Fiumara di Avigliano

Al pari di quanto effettuato per la Fiumara di Ruoti, si è proceduto anche a calcolare i picchi di piena generabili della Fiumara di Avigliano nella sezione di chiusura posta subito a monte della confluenza con la Fiumara di Ruoti.

In Figura 17 sono riportate alcune immagini della Fiumara a monte della confluenza con la Fiumara di Ruoti, ritratte in stagioni differenti ed in condizioni meteoriche differenti. Si notano gli ingenti depositi solidi e le forme di fondo presenti in alveo.



(a)

(b)

Figura 17. La Fiumara di Avigliano a monte del ponte stradale verso Ruoti (a) e presso la confluenza con la Fiumara di Ruoti (b).

Applicando la medesima metodologia VAPI descritta nei paragrafi precedenti ed assumendo una estensione del bacino imbrifero di ca. 78 km², si ottengono i picchi di piena riportati in Tabella 13.

| Tempo di ritorno (anni) | Q _{MAX} (m ³ /s) |
|----------------------------|---|
| 10 | 74,7 |
| 30 | 104,5 |
| 100 | 141 |
| 300 | 172 |
| 1.000 | 207,2 |

Tabella 13. Portate di picco della Fiumara di Avigliano al variare del tempo di ritorno dell'evento di progetto.

Non si è ritenuto opportuno determinare in questa sede portate con tempi di ritorno maggiori né determinare i volumi e gli idrogrammi di piena della Fiumara di Avigliano. Ai fini progettuali si è assunto che le strutture del nuovo bacino di valle dovranno necessariamente mantenersi al di sopra della quota di piena millenaria (più un franco adeguato che tenga conto delle incertezze insite nel calcolo effettuato) che si determina sulla Fiumara di Avigliano presso la sezione di confluenza con la Fiumara di Ruoti.

7. Trasporto solido

7.1 Valutazioni geomorfologiche

La Fiumara di Ruoti è classificabile come un corso d'acqua caratterizzato da un letto relativamente largo, ghiaioso e ciottoloso, impetuoso e ricco di acqua durante i mesi invernali ed autunnali, dotato di una scarsa portata liquida e da un moto relativamente placido nel resto dell'anno.

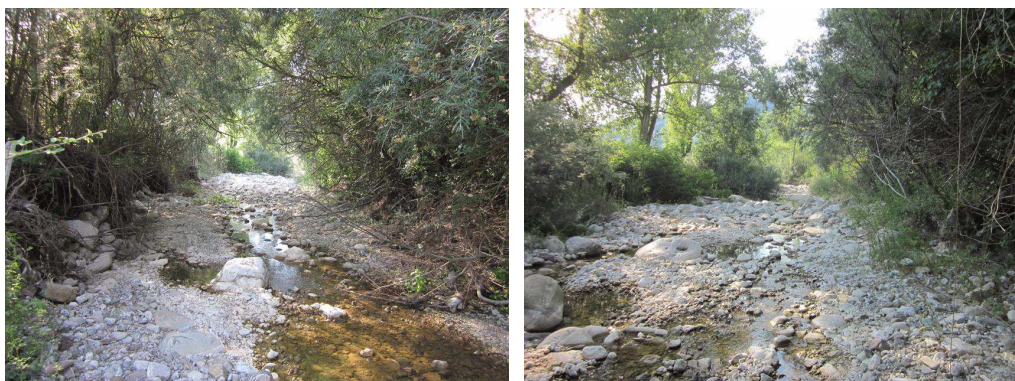


Figura 18. Il letto della Fiumara di Ruoti come appariva nel giugno 2012.

Contestualizzando tale corso d'acqua nel suo bacino imbrifero, costituito da ampi depositi di materiale argilloso, il ruolo del trasporto solido assume una grande importanza nella valutazione e nella progettazione dell'impianto a pompaggio proposto, se non altro per le probabili problematiche di interrimento dell'invaso di valle che si potrebbero venire a creare nel corso degli anni e le condizioni generali di sicurezza dello stesso.



Figura 19. L'attività torrentizia della Fiumara è visibile dalle condizioni dell'alveo

Per le sue caratteristiche geomorfologiche ed un bacino imbrifero soggetto ad evidenti segni di dissesto idrogeologico, la Fiumara di Ruoti è infatti in grado di generare piene torrentizie con fenomeni di trasporto solido non trascurabile. Nella figura seguente sono riportate alcune immagini di una piena del corso d'acqua in esame.



(a)

(b)

Figura 20. La Fiumara di Ruoti in condizioni di piena (a) nel novembre 2011 e (b) nel dicembre 2013.

Data la complessità del bacino imbrifero in esame, in cui ampi depositi di materiale fino si sommano a materiale solido di pezzatura grossolana, appare chiaro come per una stima attendibile del trasporto solido in atto e potenziale per eventi estremi si renda necessaria l'applicazione di

metodologie che considerino sia il contributo del trasporto solido di fondo che quello imputabile al trasporto solido in sospensione.



Figura 21. Recenti depositi di materiale solido lungo il corso della Fiumara di Ruoti ed allo sbocco con la Fiumara di Avigliano imputabili alla piena del dicembre 2013.



Figura 22. La Fiumara di Ruoti come si presentava nel novembre 2022 in alcune sezioni di controllo lungo il suo corso.

In fase di progettazione definitiva le caratteristiche salienti della Fiumara di Ruoti sono state approfondite con analisi di campo, rilievi geomorfologici nonché campagne di indagine granulometrica numerale per una caratterizzazione complessiva di dettaglio del materiale trasportabile della Fiumara in condizioni di piena.

7.2 Aspetti geologici

Le componenti fisico-morfologiche delle aree interessate dal progetto sono tipicamente collinari, con forme sommitali variabili da arrotondate, a pseudo-tabulari debolmente ondulate, a pseudo-creste, a cui corrispondono versanti ad acclività variabile da bassa ad alta. Queste strutture sono fra loro raccordate da aree più depresse. I fossi presenti sono di basso ordine gerarchico

e legati al reticolo idrografico secondario. Nelle aree di sedime del progetto non sono stati riscontrati segni morfoevolutivi.

Nella cartografia ufficiale le aree in esame sono comprese nel F°187 "Melfi" (scala 1:100.000) della Carta Geologica d'Italia. Nel territorio investigato affiora una successione pliocenica Conglomeratico-Sabbiosa costituita da litofacies con rapporti parzialmente eteropici (Figura 23a). La Litofacies Conglomeratica è costituita da conglomerati poligenici (prevalentemente di natura calcarea ed arenacea) a ciottoli sub-arrotondati, immersi in scarsa matrice sabbioso-limosa, di colore variabile dal grigio al rossastro, generalmente ben cementati, mal stratificati o in grossi banchi. Vi si intercalano limi sabbiosi, sabbioso-argillosi e sabbie in lenti. La Litofacies Sabbiosa è costituita da sabbie a grana media e fine e da sabbie siltose, di colore prevalentemente giallognolo, stratificate e a luoghi cementate, con intercalazioni di siltiti argillose e sabbiose, lenti conglomeratiche poligeniche, marne siltose.



Figura 23. (a) Contatto fra le litofacies conglomeratica e sabbiosa e (b) Litofacies conglomeratica lungo la Fiumara di Ruoti.

Da una lettura dei dati disponibili in bibliografia e dalle prime indagini geologiche e geotecniche effettuate in sito, è emerso che in corrispondenza del previsto sbarramento di valle i terreni di fondazione sono costituiti in sinistra idraulica dall'Unità Conglomeratica, caratterizzata da ottimi caratteri litotecnici, mentre in destra idrografica, dopo una copertura di qualche metro di materiale detritico, affiora subito l'Unità Sabbiosa, anch'essa rappresentata da litotipi con caratteri fisico-meccanici di riguardo.

Circa la stabilità globale dei relativi versanti di sponda, non sono stati rilevati movimenti gravitativi in atto né in preparazione, pertanto si ritiene che l'area sia idonea alla realizzazione del corpo diga. La stabilità globale dei versanti interessati dall'invaso vero e proprio sembra essere

più che garantita, ad esclusione di circoscritti rilassamenti laterali dovuti al fenomeno di scalzamento al piede della scarpata di sponda. Questi ultimi dovrebbero essere irrilevanti e non incidono sulla fattibilità dell'opera, in quanto saranno quasi tutti asportati dai lavori di riprofilatura delle scarpate per la posa in opera delle strutture impermeabilizzanti, o, comunque facilmente controllabili a lungo termine da semplici opere di contenimento o di sistemazione idraulica.

7.3 Analisi granulometriche

A supporto delle valutazioni sul trasporto solido effettuate in questa sede, sono state effettuate alcune analisi di campo. In quattro siti posti lungo la Fiumara di Ruoti (vedasi Figura 24) sono stati effettuati dei campionamenti lineari della granulometria del materiale di fondo secondo la metodologia proposta da Fehr (1987)⁸.

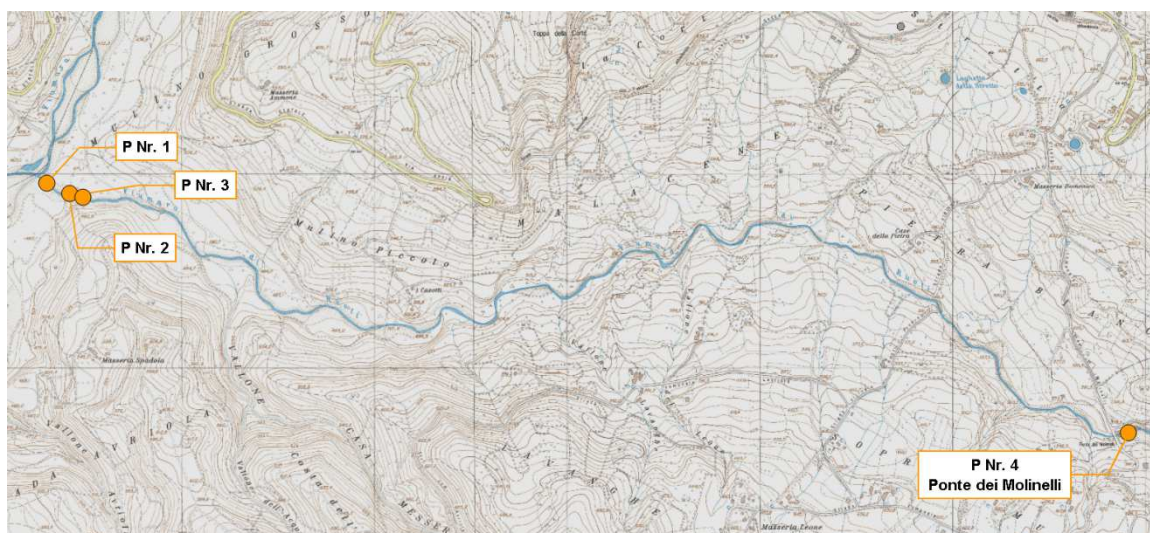


Figura 24. Localizzazione dei siti di analisi della granulometria del materiale di fondo.

Dalle elaborazioni granulometriche effettuate (in Figura 26 sono riportate le curve granulometriche del materiale valutato nei punti di analisi) si evince che il materiale d'alveo disponibile alla mobilizzazione è classificabile mediamente come ghiaia grossolana con un d_{50} caratteristico di ca. 5 cm. Non si nota inoltre una sensibile variazione della granulometria del materiale a monte ed a valle della prevista area di invaso lungo la Fiumara di Ruoti.

⁸ Fehr, R. (1987), "Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse", Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck aus Heft 38/1987, K. Bösch AG, Zürich.



Figura 25. Alcune immagini delle indagini di campo effettuate in data 3 dicembre 2013.

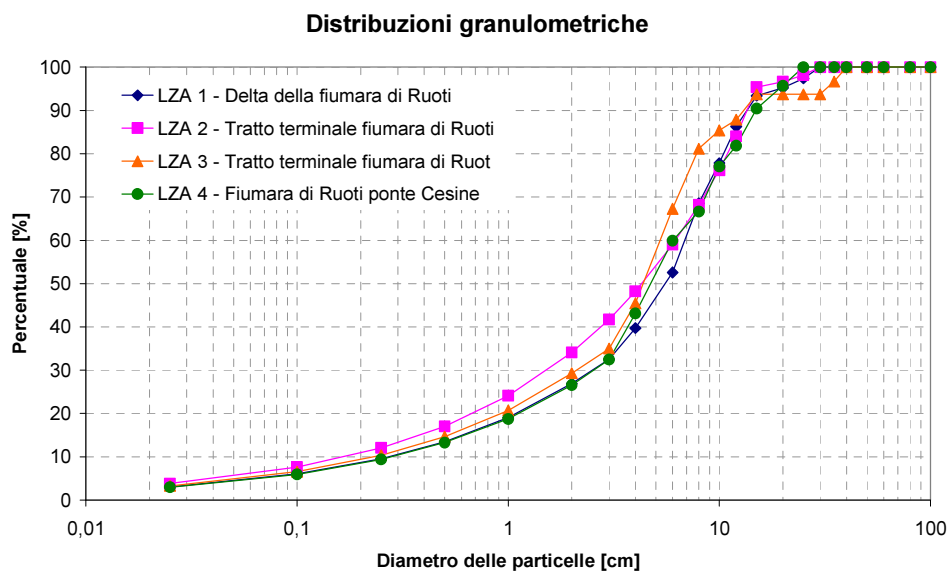


Figura 26. Distribuzioni granulometriche dei campioni analizzati in sito.

7.4 Apporto medio annuo

Note le caratteristiche macroscopiche del materiale d'alveo e le principali forzanti meteo-climatiche dell'area oggetto di studio, esistono strumenti che consentono di stimare in prima approssimazione l'apporto medio annuo di materiale solido nella sezione di monte dell'invaso di valle. In via preliminare è stato utilizzato il modello di Gavrilovic (1988)⁹, già applicato in passato per

⁹ Gavrilovic, Z. (1988), "The use of an empirical method (Erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams". *International Conference on River Regime*.

lo studio di alcuni bacini imbriferi della zona campano-lucana. Il modello di Gavrilovic è un modello empirico per la stima del volume di sedimento prodotto dall'erosione idrica in un bacino e trasportato alla sezione di chiusura. La formula di calcolo proposta è espressa come segue:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot Z^{3/2} \cdot S$$

dove W è la perdita di suolo, T è il fattore di temperatura calcolato sulla base dell'isoterma annuale media, h è la precipitazione media annua, S è la superficie del bacino imbrifero, Z è il cosiddetto coefficiente di erosione relativa. Quest'ultimo viene calcolato sulla base dell'erodibilità del suolo, del tipo principale di processo erosivo, della pendenza media e della destinazione d'uso della superficie.

Il modello prevede poi una correzione basata sull'entità del fenomeno di rideposizione. Tale correzione considera il perimetro del bacino, l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, la lunghezza del fondovalle principale e la densità del reticolo idrografico. La relazione proposta da Gavrilovic per il calcolo del volume medio annuo di materiale eroso che si raccoglie alla sezione di chiusura è espressa come:

$$G = W \cdot B \quad (\text{m}^3/\text{anno})$$

in cui W è la quantità media di sedimenti distaccatasi e B, detto coefficiente di ritenzione, tiene conto del processo di risedimentazione del materiale eroso all'interno del bacino. La quantità media di sedimenti distaccatasi viene calcolata come:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot Z^{3/2} \cdot S \quad (\text{m}^3/\text{anno})$$

dove:

- T è un coefficiente di temperatura, calcolato in base alla seguente relazione:

$$T = [(t/10) + 0,1]^{1/2}$$

t temperatura media annua nel bacino (°C)

- h è l'altezza media di precipitazione annuale nel bacino (mm/anno);
- S è l'area del bacino imbrifero (km²);
- Z è un coefficiente di erosione calcolato come:

$$Z = X \cdot Y \cdot (\varphi + I^{1/2})$$

X è un coefficiente che esprime l'azione protettiva della copertura vegetale e dell'intervento antropico (0,05 - 1,0), Y è il coefficiente dell'erodibilità del suolo, φ esprime il grado ed il tipo del processo di erosione ed infine I è la pendenza (%) media del bacino.

I valori di X, Y e φ sono riportati nelle tabelle seguenti.

| Tipi di copertura vegetale | X _i |
|---|----------------|
| Terreno completamente non coltivabile | 0,95 |
| Frutteti e vigneti senza vegetazione al suolo | 0,60 |
| Pascoli, boschi degradati e boscaglia con suolo eroso | 0,35 |
| Prati, campi di trifoglio e altre colture simili | 0,20 |
| Boschi o boscaglie densi e di buona struttura | 0,01 |

Tabella 14. Valori del coefficiente X in base al tipo di copertura vegetale.

| Formazioni affioranti | Y _i |
|--|----------------|
| Rocce dure, resistenti all'erosione | 0,45 |
| Rocce di media resistenza all'erosione | 0,80 |
| Rocce friabili, stabilizzate (detriti, scisti, argille compatte) | 1 |
| Sedimenti, morene, argille e altre rocce poco resistenti | 1,40 |
| Sedimenti fini e terre, non resistenti all'erosione | 1,90 |

Tabella 15. Valori del coefficiente Y in base alle formazioni affioranti.

| Tipo ed estensione dell'erosione osservata | φ |
|---|-----------|
| Erosione bassa | 0,1 - 0,2 |
| Processi erosivi in corsi d'acqua in atto per il 20-50 % dell'area | 0,3 - 0,5 |
| Erosione nei fiumi, guglie e depositi alluvionali, erosione carsica | 0,6 - 0,7 |
| 50-80% del bacino di drenaggio sottoposto ad erosione superficiale | 0,8 - 0,9 |
| Erosione sull'intero territorio | 1 |

Tabella 16. Valori del coefficiente φ in base al tipo ed all'estensione dell'erosione osservata.

Il coefficiente B di ritenzione è espresso come:

$$B = \left[(P \cdot H_m)^{1/2} (L + L_i) \right] / [S \cdot (L + 10)]$$

in cui P è il perimetro del bacino imbrifero (km), H_m è il dislivello del bacino (km), L è la lunghezza dell'asta principale (km) e L_i è la lunghezza totale degli affluenti (km).

Applicando tale metodologia al bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti (X_i = 0,35, Y_i = 1,2, φ = 0,4) si ottengono valori dell'ordine di 4.000 – 4.500 m³/anno di apporto solido medio annuo alla sezione di chiusura. Tali risultati sono confrontabili con le osservazioni decennali disponibili su

altri corsi d'acqua simili presenti lungo la dorsale appenninica lucano-pugliese (vedasi ad esempio la pubblicazione del Politecnico di Bari, 2010¹⁰).

7.5 Trasporto solido in condizioni di piena

Per la determinazione del trasporto solido in caso di piena si è fatto riferimento all'approccio metodologico proposto da Engelund e Hansen (1967)¹¹. Gli autori proposero un'equazione matematica che consente di stimare il trasporto solido totale di sedimento, inteso come trasporto di fondo e trasporto in sospensione (vedasi la distinzione proposta in Figura 27), nel caso di fenomeni di piena fluviale e torrentizia, come nel caso in esame.

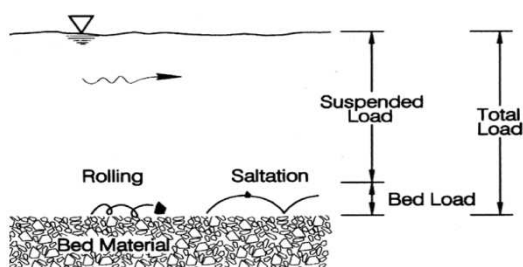


Figura 27. Distinzione tra trasporto solido di fondo (*bed load*) e trasporto in sospensione (*suspended load*) (Moges, 2010)¹².

L'entità del trasporto solido è calcolata in relazione allo sforzo tangenziale di fondo e ad un coefficiente di attrito del materiale di fondo. La procedura di calcolo è illustrata di seguito.

- determinazione del parametro adimensionale di Shields tramite la seguente equazione:

$$g = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$$

in cui:

- τ_0 sforzo tangenziale di fondo (N/m²)

¹⁰ Politecnico di Bari (2010), "Studi propedeutici per la predisposizione del Piano Stralcio della Dinamica delle Coste". Convenzione Autorità di Bacino della Puglia e Politecnico di Bari, Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica.

¹¹ Garde, R. J. and Ranga Raju, K. G. (2000), "Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Streams problems", Taylor & Francis, 686 pp..

¹² Moges, E. M. (2010), "Evaluation of Sediment Transport Equations and Parameter Sensitivity Analysis using the SRH-2D Model", WAREM, Università di Stoccarda.

- γ_s densità delle particelle di sedimento (Kg/m³)
- γ densità dell'acqua (Kg/m³)
- d diametro delle particelle che compongono il letto del torrente (m)

- calcolo del coefficiente di attrito f del fondo mediante la seguente espressione:

$$f = \frac{2 \cdot g \cdot S_f \cdot h}{V^2}$$

in cui:

- g accelerazione di gravità (N/m²)
- S_f pendenza della linea dell'energia (m/s²)
- h tirante idraulico (m)
- V velocità media della corrente (m/s)

- determinazione della portata solida totale (Q_{S,tot}) dalla seguente espressione:

$$Q_{S,tot} = 0,1 \cdot \left[\gamma_s \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot g \cdot d^3 \right]^{1/2} \cdot \frac{g^{5/2}}{f}$$

Applicando la metodologia precedentemente illustrata al bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti chiuso, si ottengono le quantità di materiale solido illustrate in Tabella 17. Si nota come la concentrazione solida massima è tipica proprio di fenomeni di piena con marcato trasporto solido.

Allo stato attuale non si dispone di dati tecnici approfonditi per una verifica rigorosa delle quantità stimate né esistono dati quantitativi relativi a misurazioni pregresse del trasporto solido nel bacino della Fiumara di Ruoti.

| Tempo di ritorno (anni) | Q _{S MAX} (m ³ /s) | V _S (m ³) | c _V (%) |
|----------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|
| 30 | 2,6 | 21.600 | 5,1 |
| 100 | 4,3 | 30.700 | 6,2 |
| 300 | 6,0 | 38.100 | 7 |
| 1.000 | 8,2 | 43.200 | 7,9 |
| 3.000 | 10,1 | 45.900 | 8,6 |
| 10.0000 | 12,7 | 48.700 | 9,4 |

Tabella 17. Portate solide, volumi solidi e concentrazioni solide per gli eventi di progetto.

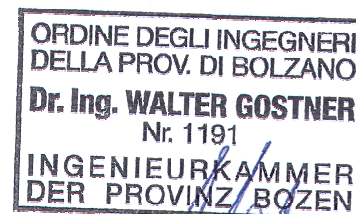
Per quanto concerne l'invaso di monte, questo non risulta alimentato da torrenti o corsi d'acqua, pertanto la tematica del trasporto solido in questo caso non risulta rilevante.

Si ritiene comunque che le problematiche legate al trasporto solido influente nel bacino di valle siano gestibili e risolvibili predisponendo tutti gli interventi e le misure necessarie ad una corretta gestione del trasporto solido in condizioni ordinarie e straordinarie. È infatti possibile pensare (vedasi ad es. Harb et al., 2011¹³) sia a interventi tecnici per la riduzione degli apporti solidi in ingresso al bacino di valle che a misure tecniche per una limitazione della deposizione del materiale più fino nello stesso. Si rimanda alla tavola di progetto della nuova briglia di trattenuta lungo la Fiumara di Ruoti (Elaborato Nr. PD-EP.22.7) ed alle misure di mitigazione previste (Elaborato PD-VI.12.2).

Bolzano / Malles, 14.12.2022

Il Tecnico

Dr. Ing. Walter Gostner



¹³ Harb et al. (2011), "Dynamic operation of Hydro Power Plants for Flood Prevention and Desiltation".
Work Package 3 – Methodologies and Tools for better water & hydropower.