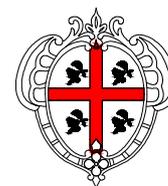




REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

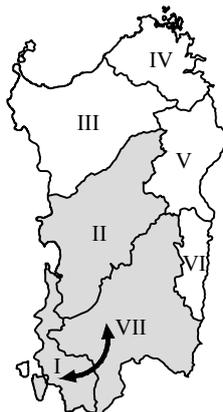
Assessoradu de sos traballos pùblicos  
Assessorato dei lavori pubblici



Ente acque della Sardegna

INTERCONNESSIONE DEI SISTEMI IDRICI  
COLLEGAMENTO TIRSO-FLUMENDOSA 4° LOTTO  
COLLEGAMENTO SULCIS - IGLESIENTE

(Delibera Giunta Regionale n. 44/23 del 07.11.2014 - Convenzione RAS-ENAS del 22.12.2014)



PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA - ECONOMICA

LINEA DI INTERVENTO A E C

RELAZIONI

Relazione illustrativa - Parte 1

Allegato:

PF.1.1.1

scala:

Redatto da

Mandataria:



Ing. Alberto Galli  
Resp. Integrazione Prestazioni Specialistiche  
SGI Studio Galli Ingegneria S.r.l.

Mandanti:



MCE  
The Milan Company Srl



Ente acque della Sardegna

Dott. Andrea Soriga  
Criteria S.r.l.

Ing. Federico Repossi  
MCE-The Milan Company S.r.l.

Il Responsabile Unico del Procedimento  
Ing. Dina Cadoni



Ing. Domenico Castelli  
STECI S.r.l.

Ing. Umberto Pautasso  
Sardegna Ingegneria S.c.a.r.l.

REVISIONE	MODIFICA	DATA	TECNICO	CONTROLLO
REV. 00	PRIMA EMISSIONE	Maggio 2019	PAB	AG

## ENTE ACQUE DELLA SARDEGNA

AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE, RELATIVI ALLE INFRASTRUTTURE NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL COLLEGAMENTO TRA I SUB-SISTEMI IDRICI MULTISETTORIALI TIRSO-FLUMENDOSA-CAMPIDANO E SULCIS-IGLESIENTE, PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL 1° LOTTO FUNZIONALE AI FINI DEL PROVVEDIMENTO UNICO AMBIENTALE EX ART. 27 D.LGS 152/2006 E DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA E COORDINAMENTO SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE RELATIVI AL 1° LOTTO FUNZIONALE DELLE INFRASTRUTTURE NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL COLLEGAMENTO TRA I SUB-SISTEMI IDRICI MULTISETTORIALI TIRSO-FLUMENDOSA-CAMPIDANO E SULCIS-IGLESIENTE -INTERCONNESSIONE DEI SISTEMI IDRICI COLLEGAMENTO TIRSO-FLUMENDOSA 4° LOTTO COLLEGAMENTO SULCIS-IGLESIENTE

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RELAZIONE ILLUSTRATIVA – Parte prima

RTI:



MCE – The Milan Company Srl

Maggio 2019

## INTRODUZIONE

Il progetto di fattibilità tecnico economica dell'intervento denominato "Interconnessione sistemi idrici: Collegamento Tirso - Flumendosa 4° lotto. Collegamento Sulcis-Iglesiente" è stato inserito nell'"Elenco di infrastrutture strategiche interregionali e regionali" è stato sviluppato in due parti.

La prima parte del progetto di fattibilità tecnico – economica ha riguardato la definizione degli obiettivi e l'analisi delle alternative che sono state confrontate mediante un'analisi multicriteriale la quale ha portato all'individuazione dell'alternativa preferibile.

La seconda parte ha riguardato il progetto dell'alternativa selezionata.

La presente relazione, per seguire tale percorso logico, condiviso con il cliente, verrà quindi suddivisa in due parti:

- Parte Prima: Definizione degli obiettivi ed analisi delle alternative
- Parte Seconda: Progetto dell'alternativa selezionata

**PARTE PRIMA**

**DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI ED ANALISI DELLE**

**ALTERNATIVE**

# SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVI DEL PROGETTO</b> .....	<b>3</b>
2.1	OBIETTIVI GENERALI.....	3
2.2	FABBISOGNI DI INTEGRAZIONE DEGLI SCHEMI IDRICI.....	3
2.3	DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI SPECIFICI.....	5
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE PROGRAMMATICO</b> .....	<b>6</b>
3.1	CONTESTO TERRITORIALE.....	6
3.1.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	6
3.1.2	AREE TULATE.....	6
3.2	INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO.....	7
3.2.1	INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO.....	7
3.2.2	ANALISI DELLA COERENZA DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE DI SETTORE.....	8
3.2.3	MODALITÀ DI CARATTERIZZAZIONE E GESTIONE DEI TERRENI.....	9
<b>4</b>	<b>CRITERI PROGETTUALI E ANALISI DELLE POSSIBILI ALTERNATIVE</b> .....	<b>10</b>
4.1	ANALISI DELLE CRITICITÀ E DELLE VALENZE DEI VARI TIPI DI CONDOTTE.....	10
4.2	DEFINIZIONE DELLE TIPOLOGIE DI INTERVENTO.....	14
4.3	PARAMETRI DI VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI INTERVENTI.....	16
4.4	ELEMENTI DI COMPARAZIONE VALUTATIVA TECNICO ECONOMICA DEGLI SCHEMI INFRASTRUTTURALI	19
4.4.1	ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA.....	29
4.4.2	ASPETTI GEOLITOLOGICI E MATERIALI DI SCAVO.....	40
4.4.3	ASPETTI AMBIENTALI.....	41
4.4.4	ASPETTI STORICO-ARCHEOLOGICI.....	44
4.4.5	ASPETTI PAESAGGISTICI.....	45
4.4.6	STIMA DEI COSTI DI INVESTIMENTO.....	47
4.4.7	STIMA DEI COSTI DI ESERCIZIO IN ASSENZA DI VALORIZZAZIONE ENERGETICA.....	50
4.4.8	STIMA DEI COSTI DI ESERCIZIO IN PRESENZA DI VALORIZZAZIONE ENERGETICA.....	51
4.4.8.1	LA CENTRALE IDROELETTRICA DI BAU PRESSIU.....	52
4.4.8.2	LA CENTRALE DI TURBINAGGIO/SOLLEVAMENTO ED IL CAMPO FOTOVOLTAICO DI MONTE PRANU	53

---

5	ANALISI MULTICRITERIALE DELLE ALTERNATIVE .....	61
---	---	----

## 1 PREMESSA

L'intervento denominato "Interconnessione sistemi idrici: Collegamento Tirso - Flumendosa 4° lotto. Collegamento Sulcis-Iglesiente" è stato inserito nell'"Elenco di infrastrutture strategiche interregionali e regionali" con le Delibere CIPE n.62/2011 e n.93/2012.

L'intervento costituisce il completamento dell'interconnessione tra i bacini idrografici dell'area del Centro Sud della Sardegna, e per la complessità del sistema interconnesso, per l'entità dei volumi idrici da trasferire e per l'entità dei costi di realizzazione delle opere riveste una importanza strategica nel complesso sistema di approvvigionamento idrico dell'area meridionale della Sardegna.

L'ENAS ha completato nel marzo 2016 la redazione dello Studio di Fattibilità dell'intervento denominato "Interconnessione dei sistemi Idrici: Collegamento Tirso Flumendosa Campidano 4° lotto. Collegamento Sulcis Iglesiasiente" (nel seguito "Studio di Fattibilità ENAS). Lo Studio di Fattibilità ha definito una proposta d'intervento complessiva di importo pari a circa € 107.500.000, suddivisa in tre linee distinte:

- la linea di intervento "A – Collegamenti infrastrutturali", per un importo stimato di € 83.600.000;
- la linea di intervento "B – Perdite dall'Invaso di Monte Pranu", per un importo stimato di € 10.000.000;
- la linea di intervento "C – Valorizzazione idroelettrica dello schema di collegamento Tirso-Flumendosa - Campidano-Sulcis", per un importo stimato di € 13.900.000.

Le infrastrutture per il collegamento al Sulcis-Iglesiente sono state proposte nell'ambito della linea di intervento "A – Collegamenti infrastrutturali", che costituisce perciò la linea di intervento principale dello Studio di fattibilità. Nell'ambito dello Studio di Fattibilità sono state studiate diverse alternative (linea nodo Cixerri – Medau Zirimilis – Bau Pressiu – Monte Pranu e Medau Zirimilis – Punta Gennarta – soluzione scelta; linea diretta Nodo Cixerri – Monte Pranu con Bypass degli invasi; linea diretta nodo Cixerri – Iglesiasiente - Sulcis). In aggiunta allo Studio di Fattibilità, l'ENAS ha poi elaborato e proposto all'Ass. LL.PP. RAS, in occasione della riunione del tavolo tecnico di coordinamento del "Piano Sulcis", tenutasi in data 23.05.2016, la soluzione tecnica delle opere da realizzare con il finanziamento complessivo previsto di € 60.000.000, ed il relativo quadro economico.

Lo Studio di Fattibilità ENAS è stato approvato con Determinazione del Direttore del Servizio Opere Idriche e Idrogeologiche LL.PP. RAS prot. n. 29553 rep. n. 919 in data 01.08.2016, con la quale è stato contestualmente approvato il quadro economico relativo alla soluzione tecnica per la realizzazione del 1° lotto funzionale (totale finanziamento € 60.000.000) proposta dall'ENAS.

Con la Deliberazione n. 46/5 del 18.08.2016 la Giunta Regionale ha poi preso atto del "Patto per lo sviluppo della Sardegna" stipulato in data 29.07.2016 fra la Regione Sardegna e la Presidenza del Consiglio dei Ministri, che ripartisce le risorse destinate alla Regione nell'ambito della Programmazione FSC 2014/2020, e ha finanziato il 1° lotto funzionale dell'intervento citato per l'importo di € 59.000.000. In data 27.07.2017 è stata quindi stipulata la Convenzione LL.PP. RAS - ENAS per l'attuazione dell'intervento "Interconnessione dei sistemi Idrici: Collegamento Tirso Flumendosa Campidano 4° lotto. Collegamento Sulcis Iglesiasiente – Progettazione definitiva, esecutiva e realizzazione opere", nei limiti del predetto finanziamento di € 59.000.000. Detta Convenzione è stata poi approvata con Determinazione del Direttore del Servizio Opere Idriche e

Idrogeologiche LL.PP. RAS prot. n.32062 rep. n. 1174 in data 08.08.2017.

Al fine di dar corso all'attuazione dell'opera secondo il cronoprogramma procedurale e finanziario predisposto nel rispetto delle tempistiche imposte dal programma di finanziamento, l'ENAS ha inteso quindi procedere con le fasi di progettazione dell'intervento articolate secondo il programma seguente: progettazione di fattibilità tecnico-economica e Studio d'impatto ambientale (SIA) di tutte le infrastrutture necessarie per la realizzazione del collegamento tra i sub-sistemi idrici multisettoriali Tirso – Flumendosa -Campidano e Sulcis – Iglesiente; progettazione definitiva e progettazione esecutiva e il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione del 1° lotto funzionale delle infrastrutture necessarie per la realizzazione del collegamento tra i sub-sistemi idrici multisettoriali Tirso – Flumendosa -Campidano e Sulcis - Iglesiente, in coerenza con gli obiettivi e le priorità della proposta tecnica presentata dall'ENAS in data 23.05.2016, di importo presunto dei lavori pari a circa € 42.300.000,00.

Contestualmente allo sviluppo delle attività progettuali, con Determina del Direttore del Servizio Progetti e Costruzioni n. 1699 del 12.12.2018, il servizio di Progettazione di fattibilità, redazione dello SIA e di tutti gli elaborati necessari per l'ottenimento della VIA/Provvedimento Unico Ambientale, veniva esteso anche alla linea "C – Valorizzazione idroelettrica dello schema di collegamento Tirso Flumendosa – Campidano – Sulcis" come definita nello Studio di Fattibilità redatto da ENAS nel 2016

La presente relazione illustra le valutazioni propedeutiche effettuate per l'individuazione sia dell'alternativa preferibile per la realizzazione di tutte le infrastrutture necessarie per la realizzazione del collegamento tra i sub-sistemi idrici multisettoriali Tirso – Flumendosa -Campidano e Sulcis – Iglesiente e sia per la definizione delle opere prioritarie di 1° lotto funzionale da realizzarsi nei limiti del predetto finanziamento di € 59.000.000 a cui si dovranno aggiungere gli oneri per la realizzazione della linea C.

## 2 OBIETTIVI DEL PROGETTO

### 2.1 OBIETTIVI GENERALI

Il Sistema Sulcis -Iglesiente presenta un deficit strutturale del bilancio risorse fabbisogni che costituisce un elemento limitante per lo sviluppo socioeconomico dell'area. Con questa premessa, gli obiettivi generali degli interventi (definiti dalla Convenzione LL.PP. RAS – ENAS e dallo SdF ENAS) per la linea d'intervento “A – Collegamenti infrastrutturali”, sono i seguenti:

- incrementare la sicurezza dell'alimentazione idrica delle utenze del Sulcis-Iglesiente collegandole al più vasto e più affidabile sistema interconnesso del Tirso-Flumendosa- Campidano;
- incrementare la disponibilità di risorse idriche per le utenze potabile, irrigue e industriali dell'area del Sulcis-Iglesiente e l'efficienza del sistema idrico complessivo dell'area Meridionale della Sardegna;
- rendere disponibile per lo schema potabile NPRGA Sulcis (servito dall'Impianto di potabilizzazione di Bau Pressiu), oggi collegato allo schema Tirso-Flumendosa con una sola condotta realizzata negli anni '80 con origine dal Cixerri, una seconda linea di collegamento con il sistema Tirso-Flumendosa; ciò al fine di incrementare l'affidabilità dello schema di alimentazione potabile al servizio del Sulcis.

Inoltre, nell'ambito della fase di scoping, già attivata da ENAS nell'anno 2016, è emersa la necessità che il nuovo sistema di interconnessione consenta di rendere disponibile una quota parte della risorsa trasferita per l'eventuale irrigazione di soccorso di alcune aree agricole del Sulcis, nei territori comunali di Nuxis, Narcao, Perdaxius e Villaperuccio.

Le opere del primo lotto che si prevede di realizzare con il finanziamento da 59 milioni di Euro avranno quale punto di partenza il nodo idraulico presso la Diga sul Cixerri a Genna Is Abis, al quale è attualmente possibile, mediante le opere esistenti, trasferire le risorse del sistema Flumendosa e del sistema Tirso.

### 2.2 FABBISOGNI DI INTEGRAZIONE DEGLI SCHEMI IDRICI

In prossimità della Diga di Monte Pranu sono presenti due centrali di sollevamento esistenti e la presa per l'acquedotto industriale:

- la centrale di sollevamento irrigua gestita dall'ENAS (cd. “SAR 16”), di potenzialità totale pari a 3.600 l/s. La centrale ospita due batterie di elettropompe: la prima a servizio della vasca di San Giovanni Suergiu, con una potenzialità di 2.400 l/s (4 pompe da 600 l/s + 1 di riserva); la seconda a servizio delle vasche di Masainas, con una potenzialità di 1.200 l/s (2 pompe da 600 l/s + 1 di riserva). Lungo la premente per San Giovanni Suergiu è presente la diramazione per l'impianto di potabilizzazione di San Giovanni Suergiu gestito da Abbanoa S.p.A. (potenzialità circa 150 l/s), attualmente non utilizzata in quanto tale impianto è alimentato da pozzi siti poco a valle della diga;
- la centrale di sollevamento irrigua gestita dal Consorzio di Bonifica del Basso Sulcis, di potenzialità totale pari a 760 l/s. Nella centrale sono presenti due batterie di elettropompe: la prima a servizio della premente per il torrino di Giba, con una potenzialità di 600 l/s (3 pompe da 200 l/s + 1 di riserva); la seconda a servizio della premente per il torrino di Tratalias, con una potenzialità di 160 l/s (1 pompa

+ 1 di riserva);

- la presa a gravità dell'acquedotto industriale a servizio della Z.I. di Portovesme, che normalmente veicola una portata stabile nell'arco della giornata, con valori che attualmente sono nell'ordine dei 100 l/s, ma che nel medio termine potrebbero salire sino a circa 300 l/s.

Al complesso delle utenze irrigue, potabili ed industriali allacciate a Monte Pranu possono quindi essere potenzialmente erogate, con le opere esistenti, portate di punta di poco superiori ai 4.500 l/s.

Dal punto di vista delle esigenze future di integrazione dei fabbisogni, nell'ambito delle attività di studio di cui all'allegato "A.6-Rapporto di Simulazione" dello Studio di Fattibilità ENAS, sono state definite ed analizzate (mediante simulazioni su modello) quattro configurazioni di gestione del sistema idrico multisettoriale Tirso – Flumendosa – Campidano, comprensivo dei bacini dell'Iglesiente e del Sulcis: Attuale, di Medio termine – senza opere in progetto, di Medio termine – con opere in progetto e Lungo termine. La simulazione a medio termine effettuata prevede di trasferire, complessivamente, al sistema Sulcis – Iglesiente dal sistema Tirso – Flumendosa – Campidano – Cixerri un volume pari a circa 18,4 Mm<sup>3</sup>/anno con punte di 26 Mm<sup>3</sup>/anno negli anni più critici. Per quanto concerne il collegamento al Basso Sulcis, le simulazioni del sistema complessivo nello scenario di medio termine hanno indicato come necessario (per equilibrare il bilancio risorse – fabbisogni) un trasferimento massimo dell'ordine di 15 Mm<sup>3</sup>/anno, corrispondente a una portata continua (24 h su 24) di circa 500 l/s. Al fine di garantire la necessaria flessibilità gestionale del trasferimento, si considera che il funzionamento del sistema di trasferimento idrico avvenga per 12 h/giorno, per cui per garantire il trasferimento del sopradetto volume massimo (15 Mm<sup>3</sup>/anno) la potenzialità minima del sollevamento dal nodo idraulico del Cixerri verso il Basso Sulcis è almeno pari a 1.000 l/s.

Il collegamento all'Iglesiente dovrà essere in grado di trasferire una portata pari a 600 l/s, così da garantire un certo margine per il possibile potenziamento futuro, rispetto ai 400 l/s attualmente sollevabili dalla Centrale di Ponte Murtas verso Punta Gennarta. Tale portata di progetto corrisponde a una potenzialità massima di trasferimento di 18,9 Mm<sup>3</sup>/anno.

Per quanto riguarda i fabbisogni futuri dell'acquedotto industriale a servizio della Z.I. di Portovesme e delle altre utenze dell'area, si stima che nel medio-lungo termine essi potrebbero salire sino a circa 200 l/s.

Infine, per l'irrigazione di soccorso di parte delle aree agricole nei territori comunali di Nuxis, Narcao, Perdaxius e Villaperuccio, potrà rendersi necessario erogare quota parte delle portate trasferite da Cixerri a Monte Pranu (attraverso la realizzazione di appositi stacchi da prevedere lungo le nuove condotte di interconnessione).

Complessivamente il sistema di interconnessione dei sistemi idrici dell'Iglesiente e del Sulcis, dovrà essere in grado di trasferire una portata massima pari a circa 2 m<sup>3</sup>/s, pari a poco meno del 50% della portata di punta attualmente erogabile alle utenze di Monte Pranu con le opere esistenti. Qualora fosse necessaria una portata superiore, la stessa potrà essere fornita dall'invaso di Monte Pranu.

In conclusione, le possibili alternative afferenti al sistema di opere di collegamento (centrali di sollevamento, condotte) tra il nodo Cixerri e il Sulcis – Iglesiente saranno dimensionate per consentire di trasferire complessivamente (ovvero sia verso il Basso Sulcis che verso l'Iglesiente) una portata complessiva di circa 2 m<sup>3</sup>/s.

## 2.3 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI SPECIFICI

Gli obiettivi del presente progetto sono stati sintetizzati nella Tabella di seguito riportata.

<b>OBIETTIVI SPECIFICI DEL PROGETTO</b>			
<b>OBIETTIVO</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Volume annuo trasferimento (Mm<sup>3</sup>/anno)</b>	<b>Portata massima (l/s)</b>
Obiettivo 1	Integrazione dei fabbisogni idrici del Sulcis all'invaso di Monte Pranu	15	1000
Obiettivo 2	Integrazione/sostituzione fabbisogni schema NPRGA Sulcis a Bau Pressiu	1	*
Obiettivo 3	Integrazione dei fabbisogni idrici irrigui nella piana del Sulcis (irrigazione di soccorso)	*	*
Obiettivo 4	Integrazione dei fabbisogni idrici area industriale di Portovesme	3,5	200
Obiettivo 5	Integrazione dei fabbisogni idrici dell'Iglesiente (basso ed alto Cixerri)	6,5	800**
	Totale obiettivi integrazione dei fabbisogni idrici	26	2000
Obiettivo 6	Riduzione consumo energia elettrica per gli attuali utilizzi irrigui		

\* ricompresa nella massima di integrazione a Monte Pranu

\*\* di cui 600 l/s alla centrale di Ponte Murtas

### 3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE PROGRAMMATICO

#### 3.1 CONTESTO TERRITORIALE

##### 3.1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le attività progettuali sono previste nel settore meridionale della Sardegna, in aree ricomprese all'interno della Città Metropolitana di Cagliari e nella provincia del Sud Sardegna, attraversando i territori comunali di Uta, Decimomannu, Villaspeciosa, Siliqua, Villaperuccio, Narcao, Villamassargia, Tratalias, Domusnovas, Musei, Nuxis e Iglesias.

Il settore si presenta come un mosaico territoriale eterogeneo, nel quale coesistono differenti aspetti ambientali che caratterizzano a livello locale l'assetto biotico e abiotico.

Da un punto di vista geologico e geomorfologico si riscontrano prevalenti rilievi riconducibili al basamento paleozoico metamorfico, con complessi litologici caratterizzati da metargilliti, metasiltiti, metacalcari, metarenarie e metaconglomerati; si ritrovano affioramenti appartenenti al complesso intrusivo granitico del Paleozoico superiore e alle successioni vulcanico-sedimentarie del Terziario, oltre che coltri di depositi continentali quaternari (Pleistocene e Olocene).

Il reticolo idrografico del settore è costituito da una serie di corsi d'acqua prevalentemente a carattere stagionale e secondariamente perenni. I principali corsi d'acqua perenni sono il Rio Cixerri, il Rio Camboni, il Rio Mannu di Narcao, il Rio Mannu di Santadi e il Rio Palmas. Tali corsi d'acqua originano localmente taluni bacini idrici, tra i quali si segnalano il lago di Medau Zirimilis, il lago di Bau Pressiu e il lago di Monte Pranu.

L'analisi delle destinazioni di uso del suolo dell'area mostra come sia presente una prevalenza di categorie legate ad attività agricole (con aree agricole con colture specializzate e seminative) e zootecniche, con sporadiche superfici residuali caratterizzate da ambienti naturali e sub-naturali localizzate in prossimità dei rilievi e caratterizzate da superfici a macchia di sclerofille, garighe e boschi.

L'elevata eterogeneità ambientale del settore di contesto ecologico si esprime attraverso la diversificazione del contingente faunistico riscontrabile. Nell'area sono presenti infatti una molteplicità di ambienti suddivisibili in ambiti transazionali fra il piano costiero e quello montano, ambiti collinari e montani, compendi idrici.

##### 3.1.2 AREE TUTELATE

L'elevato pregio naturalistico-ambientale del settore geografico oggetto di indagine si traduce nella presenza di talune aree tutelate a livello locale e sovra-locale. Il settore ospita aree della Rete Natura 2000, quali SIC ITB041105 – “Foresta di Monte Arcosu”, definito ai sensi della Direttiva Comunitaria 92/43/CEE “Habitat” e la della ZPS ITB044009 – “Foresta di Monte Arcosu”, istituita ai sensi della Direttiva Comunitario 2009/147/CE, distante alcuni chilometri dal sito d'opera.

Nell'area vasta sono presenti l'IBA (*Important Bird Area*) – “Monte Arcosu” e l'IBA – “Stagni del Golfo di Palmas”.

L'area ospita il Parco Naturale Regionale di Gutturu Mannu, definito ai sensi della L.R. 31/1989 e istituito con L.R. 20/2004, e compreso per circa il 70% all'interno del SIC – “Foresta di Monte Arcosu”.

Nell'area di contesto ambientale è presente l'Oasi di Protezione Faunistica di Camboni e quelle di Marganai, Monte Arcosu, Pantaleo e Is Cannoneris.

Sono presenti inoltre alcuni monumenti naturali quali l'Oliveto Storico S'Ortu Mannu e il Domo Andesitico e Castello di Acquafredda, quest'ultima area tutelata ai sensi dell'art. 136 e 157 del D. Lgs. 42/2004 e s.m.i.

## 3.2 INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO

### 3.2.1 INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

L'intervento denominato "Interconnessione sistemi idrici: Collegamento Tirso - Flumendosa 4° lotto. Collegamento Sulcis-Iglesiente" è stato inserito nell'allegato "Elenco di infrastrutture strategiche interregionali e regionali" con le Delibere CIPE n.62/2011 e n.93/2012.

Con la DGR n.33/45 del 31 luglio 2012, la Giunta Regionale ha approvato l'atto di indirizzo per l'elaborazione ed attuazione del "Piano Straordinario per il Sulcis" (Piano Sulcis) nel quale è stato ricompreso l'intervento "Interconnessione sistemi idrici: collegamento Tirso-Flumendosa 4° lotto. Collegamento Sulcis Iglesiasiente" del costo complessivo iniziale stimato in 50 milioni di euro, individuando quale soggetto attuatore l'Ente Acque della Sardegna (ENAS).

Con DGR n.34/8 del 27.08.2013 recante "Intesa Generale Quadro di cui alla Legge n. 443/2001 (Legge Obiettivo). Approvazione bozza della Nuova Intesa Generale Quadro (I.G.Q.)", l'intervento in questione è stato poi confermato nella I.G.Q. 2013, portandone il costo complessivo a € 60.000.000.

Successivamente, con la DGR n.5/48 del 11.02.2014 recante "Piano straordinario per il Sulcis. Programmazione e situazione interventi infrastrutturali di competenza dell'Assessorato dei Lavori pubblici", il costo del progetto è stato rimodulato per complessivi € 60.000.000 e l'intervento è stato articolato in due fasi:

- Fase 1: Studio di Fattibilità e progettazione preliminare (importo 1 M€);
- Fase 2: Progettazione definitiva, esecutiva e realizzazione opere (importo 59 M€).

In data 22.12.2014 è stata quindi stipulata una apposita Convenzione tra l'Assessorato LL.PP della Regione Sardegna e l'ENAS per l'attuazione della sopradetta Fase 1, con finanziamento di € 1.000.000 assegnato dalla D.G.R. n. 44/23 del 07.11.2014 a valere su economie FSC 2000-2006.

L'ENAS ha completato nel marzo 2016 la redazione dello Studio di Fattibilità dell'intervento denominato "Interconnessione dei sistemi Idrici: Collegamento Tirso Flumendosa Campidano 4° lotto. Collegamento Sulcis Iglesiasiente", che definisce una proposta d'intervento complessiva di importo complessivo pari a € 107.500.000, suddivisa in tre linee distinte:

- la linea di intervento "A – Collegamenti infrastrutturali", per un importo stimato di € 83.600.000;
- la linea di intervento "B – Perdite dall'Invaso di Monte Pranu", per un importo stimato di € 10.000.000;
- la linea di intervento "C – Valorizzazione idroelettrica dello schema di collegamento Tirso-Flumendosa-Campidano-Sulcis", per un importo stimato di € 13.900.000.

In aggiunta allo Studio di Fattibilità, l'ENAS ha poi elaborato e proposto all'Ass. LL.PP. RAS, in occasione della riunione del tavolo tecnico di coordinamento del "Piano Sulcis" tenutasi in data 23.05.2016, la soluzione tecnica delle opere da realizzare con il finanziamento complessivo previsto di € 60.000.000, ed il relativo quadro economico (All. 1 – Proposta tecnica di 1°lotto funzionale ).

Lo Studio di Fattibilità è stato approvato con Determinazione del Direttore del Servizio Opere Idriche e Idrogeologiche LL.PP. RAS prot. n. 29553 rep. n. 919 in data 01.08.2016, con la quale è stato contestualmente approvato il quadro economico relativo alla soluzione tecnica per la realizzazione del 1° lotto funzionale (totale finanziamento € 60.000.000) proposta dall'ENAS.

Con la Deliberazione n. 46/5 del 18.08.2016 la Giunta Regionale ha preso atto del "Patto per lo sviluppo della Sardegna" stipulato in data 29.07.2016 fra la Regione Sardegna e la Presidenza del Consiglio dei Ministri, che ripartisce le risorse destinate alla Regione nell'ambito della Programmazione FSC 2014/2020, e ha finanziato la fase 2 per l'importo di € 59.000.000.

In data 27.07.2017 è stata quindi stipulata la Convenzione LL.PP. RAS - ENAS per l'attuazione dell'intervento "Interconnessione dei sistemi Idrici: Collegamento Tirso Flumendosa Campidano 4° lotto. Collegamento Sulcis Iglesiente – Progettazione definitiva, esecutiva e realizzazione opere", nei limiti del predetto finanziamento di € 59.000.000. Detta Convenzione è stata poi approvata con Determinazione del Direttore del Servizio Opere Idriche e Idrogeologiche LL.PP. RAS prot. n.32062 rep. n. 1174 in data 08.08.2017.

Al fine di dar corso all'attuazione dell'opera secondo il cronoprogramma procedurale e finanziario predisposto nel rispetto delle tempistiche imposte dal programma di finanziamento, l'ENAS ha inteso quindi procedere all'affidamento esterno dei servizi tecnici di ingegneria relativi alle fasi di progettazione dell'intervento.

Contestualmente allo sviluppo delle attività progettuali, con Determinazione del Direttore del Servizio Progetti e Costruzioni n. 1699 del 12.12.2018, il servizio di Progettazione di fattibilità, redazione dello SIA e di tutti gli elaborati necessari per l'ottenimento della VIA/Provvedimento Unico Ambientale, è stato esteso anche alla linea "C – Valorizzazione idroelettrica dello schema di collegamento Tirso Flumendosa – Campidano – Sulcis" come definita nello Studio di Fattibilità redatto da ENAS nel 2016

### 3.2.2 ANALISI DELLA COERENZA DELL'INTERVENTO CON LA PIANIFICAZIONE DI SETTORE

Nella valutazione delle alternative progettuali si deve analizzare la loro coerenza tenendo conto dei seguenti strumenti di pianificazione e vincoli:

- Piano stralcio per l'utilizzo delle risorse idriche
- Piano di gestione del distretto idrografico della Sardegna
- Piano di assetto idrogeologico (PAI)
- Piano di tutela delle acque
- Piano regionale di bonifica dei siti inquinati
- Piano urbanistico provinciale di Cagliari
- Piano paesaggistico Regionale
- Piano Energetico Ambientale Regionale
- Strumenti urbanistici comunali
- Presenza siti di interesse nazionale Sulcis Iglesiente-Guspinese

### 3.2.3 MODALITÀ DI CARATTERIZZAZIONE E GESTIONE DEI TERRENI

Elemento importante che deve essere tenuto in considerazione nelle analisi di caratterizzazione delle terre e rocce da scavo è la Legge 11 novembre 2014 n.164 (conversione in Legge del decreto sblocca Italia) che prevede, anche qualora si fosse in presenza di eventuali siti inquinati, nei quali sono in corso o non sono ancora avviate attività di messa in sicurezza e di bonifica, possano essere realizzati interventi e opere richiesti dalla normativa sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, di manutenzione ordinaria e straordinaria di impianti e infrastrutture, compresi adeguamenti alle prescrizioni autorizzative, nonché opere lineari necessarie per l'esercizio di impianti e forniture di servizi e, più in generale, altre opere lineari di pubblico interesse, a condizione che detti interventi e opere siano realizzati secondo modalità e tecniche che non pregiudicano né interferiscono con il completamento e l'esecuzione della bonifica, né determinano rischi per la salute dei lavoratori e degli altri fruitori dell'area.

Il piano di dettaglio della caratterizzazione, comprensivo della lista degli analiti da ricercare è concordato con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente territorialmente competente.

Il riutilizzo in situ dei materiali prodotti dagli scavi è sempre consentito se ne è garantita la conformità alle concentrazioni soglia di contaminazione/valori di fondo.

I terreni non conformi alle concentrazioni soglia di contaminazione/valori di fondo, ma inferiori alle concentrazioni soglia di rischio, possono essere riutilizzati in situ con le seguenti prescrizioni:

- le concentrazioni soglia di rischio, all'esito dell'analisi di rischio, sono preventivamente approvate dall'autorità ordinariamente competente, mediante convocazione di apposita conferenza di servizi. I terreni conformi alle concentrazioni soglia di rischio sono riutilizzati nella medesima area assoggettata all'analisi di rischio;
- qualora ai fini del calcolo delle concentrazioni soglia di rischio non sia stato preso in considerazione il percorso di lisciviazione in falda, l'utilizzo dei terreni scavati è consentito solo se nell'area di riutilizzo sono attivi sistemi di barriera fisico o idraulico di cui siano comprovate l'efficienza e l'efficacia.

## 4 CRITERI PROGETTUALI E ANALISI DELLE POSSIBILI ALTERNATIVE

### 4.1 ANALISI DELLE CRITICITÀ E DELLE VALENZE DEI VARI TIPI DI CONDOTTE

Le caratteristiche della tipologia del sistema idrico in progetto ed il relativo regime piezometrico, nonché gli aspetti geologici del tracciato sovente caratterizzati da matrice rocciosa, sconsigliano l'utilizzo di condotte caratterizzate da ridotta resistenza meccanica o da sistemi di giunzione delicati o da lunghezze delle singole barre ridotte, tali da moltiplicare il numero di tali giunzioni.

La difficoltà di posa che caratterizzerà la porzione (significativa) di tracciato montano, con le connesse criticità di movimentazione del materiale sciolto destinato a costituire il sottofondo e rinfianco delle tubazioni, rappresenta un parametro di valutazione da non sottovalutare in relazione alle possibili successive problematiche di tenuta.

In termini di caratteristiche idrauliche la scelta è stata orientata verso la ricerca di prodotti dotati di scabrezza interna ridotta e, soprattutto aventi una stabilità certa degli eventuali liner protettivi interni, elemento questo di condizionamento di tale parametro.

Ovviamente, parametro di altrettanta importanza, è rappresentato dal costo della condotta inteso come sommatoria del costo di fornitura, di posa e di successiva manutenzione, intendendo tra quest'ultimi i costi di protezione attiva (protezione catodica) oltre alla prevedibile incidenza delle riparazioni delle tenute delle giunzioni in relazione alla loro fragilità costitutiva.

In tal senso sono state considerate preferibili tubazioni caratterizzate da:

- lunghezza maggiore possibile;
- stabilità e tenuta delle giunzioni anche in relazione ai transitori idraulici dei sistemi prementi;
- facilità di adattamento alle frequenti variazioni di tracciato sia orizzontali che verticali;
- semplicità di posa in relazione alla costituzione di sottofondo e rinfianco;
- resistenza meccanica della tubazione;
- minor scabrezza nel tempo;
- minor costo complessivo

Con riferimento alle caratteristiche selezionate ed alle realistiche reperibilità sul mercato, il confronto qualitativo è stato limitato alle seguenti tipologie di condotte:

- acciaio tradizionale;
- acciaio tradizionale rivestito esternamente PEAD;
- acciaio rivestito internamente con malta cementizia
- ghisa sferoidale
- vetroresina (P.R.F.V.) a filamento avvolto
- vetroresina (P.R.F.V.) centrifugato
- calcestruzzo armato (c.a.).

La definizione dei costi di fornitura delle tubazioni, parametro prevalente, si poggia su specifiche indagini preliminari di mercato condotte dagli scriventi raccolte, ovviamente, attraverso noti operatori del settore ma, stante il livello progettuale e le necessarie cautele da riservarsi sulla parametrizzazione dei costi di costruzione delle opere, non ancora assoggettate a stress competitivi e che quindi in

occasione dei successivi step progettuali e, soprattutto, dell'appalto potrebbero essere soggette a variazioni.

A sintesi dei risultati dell'indagine preliminare di mercato in precedenza citata condotta sui costi della fornitura e pose delle diverse tubazioni, si allegano i prezzi relativi ai diversi materiali per la condotta di diametro medio (1.200 mm) e del costo dell'incidenza della principale tipologia di pezzo speciale (curva a 45°)

MATERIALE TUBAZIONE	DN mm	PREZZO TUBO €/m	PREZZO POSA €/m	PREZZO F&P + S.G. ed U.I. €/m	PREZZO CURVA 45° €/m
GHISA SFEROIDALE Tubazioni in ghisa sferoidale rivestimento interno con malta cementizia d'altoforno applicata per centrifugazione, esterno con una lega di zinco-alluminio con o senza presenza di altri metalli. La massa minima di tale rivestimento sarà pari a 200 g/m <sup>2</sup> con successiva vernice di finitura applicata	1200	€ 927,00	€ 30,00	€ 1.189,55	€ 14.784,00
ACCIAIO sp. 10 mm Tubi in acciaio saldati elicoidalmente rivestimento esterno bituminoso, interno in soluzione di primer bituminoso	1200	€ 315,00	€ 81,40	€ 492,73	€ 2.950,00
ACCIAIO sp. 10 mm Tubi in acciaio saldati elicoidalmente rivestimento esterno in poliuretano allo stato liquido UNI-EN 10290, interno in resine epossidiche atossiche 250 micron.	1200	€ 369,50	€ 81,40	€ 560,47	€ 3.120,00
ACCIAIO sp. 10 mm Tubi in acciaio saldati elicoidalmente rivestimento esterno in polietilene stabilizzato ISO 21809-1 (2011) in classe "B2", interno con malta cementizia stabilizzata DIN 2614/1990.	1200	€ 610,00	€ 81,40	€ 859,41	€ 5.200,00
PRFV a filamento continuo PN 15/16 rigidità min. RG 10.000 N/m <sup>2</sup> . Strato protettivo esterno in resina ed inerti privo di fibre dello spessore minimo di 1 mm. Strato interno (liner) spessore minimo di 1 mm.	1200	€ 272,00	€ 25,00	€ 369,17	€ 3.325,03
PRFV centrifugato PN 15/16 rigidità min. RG 10.000 N/m <sup>2</sup> . Strato protettivo esterno in resina dello spessore minimo di 1 mm. Strato interno (liner) spessore min. di 1.3 /1.5 mm.	1200	€ 404,00	€ 25,00	€ 533,25	€ 6.432,53
C.A. turbocentrifugato con resistenza minima di kN/m <sup>2</sup> 1,50 per ogni cm di diametro interno e per ogni m di lunghezza, rivestimento interno in resina poliuretanic NON CERTIFICATO OLTRE PN 5 - CURVE E PEZZI SPECIALI IN ACCIAIO	1200			€ 422,69	€ 3.120,00

nonché i prezzi derivanti l'approfondimento di indagine di mercato condotta direttamente da ENAS di tutte le classi di diametro per quanto riguarda la mera fornitura delle tubazioni. Si tratta di

valutazioni economiche, come in parte anticipato in precedenza, che afferiscono ad un diverso livello di proposta commerciale, sicuramente più aggressiva da parte degli offerenti stante l'interlocutore. Tali proposte commerciali sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella avendo selezionato, per affidabilità di produzione e coerenza tecnica dei tipi di rivestimento, le seguenti proposte:

TUBAZIONI DN 800								
PRODUTTORE	MATERIALE	DN	Classe Spessore (mm)	lung. (m)	Rivestimento esterno	Rivestimento interno	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019 con S.G. e U.I.
<i>Prezzo interpolato</i>	Ghisa sferoidale	800	C25			malta cementizia	€ 296,00	€ 367,93
TubiSPA	Acciaio	800	10	13.50	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron	€ 234,99	€ 292,09
Erciyas	Acciaio	800	10	12.00	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron		
Iron	Acciaio	800	10	13.50	Polietilene secondo UNI9099/89 R3R	malta cementizia secondo EN 10298	€ 197,46	€ 245,44
TUBAZIONI DN 900								
PRODUTTORE	MATERIALE	DN	Classe Spessore (mm)	lung. (m)	Rivestimento esterno	Rivestimento interno	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019 con S.G. e U.I.
Electrosteel	Ghisa sferoidale	900	C25	5.50	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia		
PAM Saint Gobain	Ghisa sferoidale	900	C25	7.00	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia	€ 368,6	€ 454,85
Jindal Saw	Ghisa sferoidale	900	C25	6.00-5.50	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia		
TubiSPA	Acciaio	900	10	13.50	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron	€ 263,75	€ 325,47
Erciyas	Acciaio	900	10	12.00	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron		
Iron	Acciaio	900	10	13.50	Polietilene secondo UNI9099/89 R3R	malta cementizia secondo EN 10298	€ 215,65	€ 268,05
TUBAZIONI DN 1000								
PRODUTTORE	MATERIALE	DN	Classe Spessore (mm)	lung. (m)	Rivestimento esterno	Rivestimento interno	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019 con S.G. e U.I.
Electrosteel	Ghisa sferoidale	1000	C25	5.50	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia		
PAM Saint Gobain	Ghisa sferoidale	1000	C25	5.50	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia	€ 420,59	€ 519,01
Jindal Saw	Ghisa sferoidale	1000	C25	6.00-5.50	Zinco alluminio 400 g/m2 + epox 100 micron	malta cementizia		
TubiSPA	Acciaio	1000	10	13.50	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron	€ 294,2	€ 363,04
Erciyas	Acciaio	1000	10	12.00	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron		
Iron	Acciaio	1000	10	13.50	Polietilene secondo UNI9099/89 R3R	malta cementizia secondo EN 10298	€ 251,16	€ 312,19
TUBAZIONI DN 1200								
PRODUTTORE	MATERIALE	DN	Classe Spessore (mm)	lung. (m)	Rivestimento esterno	Rivestimento interno	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019	Prezzo medio €/m F.co Cantiere offerta 2019 con S.G. e U.I.
<i>Prezzo interpolato</i>	Ghisa sferoidale	1200	C25			malta cementizia	€ 742,00	€ 922,31
<i>Prezzo interpolato</i>	Acciaio	1000	10	13.50	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron	€ 353,00	€ 438,78
<i>Prezzo interpolato</i>	Acciaio	1000	10	13.50	Polietilene secondo UNI9099/89 R3R	malta cementizia secondo EN 10298	€ 316,00	€ 392,79
TUBAZIONI DN 1400								
PRODUTTORE	MATERIALE	DN	Classe Spessore (mm)	lung. (m)	Rivestimento esterno	Rivestimento interno	Prezzo medio €/m F.co Cantiere	Prezzo medio €/m F.co Cantiere
<i>Prezzo interpolato</i>	Ghisa sferoidale	1400	C25			malta cementizia	€ 1008,00	€ 1252,94
<i>Prezzo interpolato</i>	Acciaio	1000	10	13.50	Poliuretano 1000 micron	epossidica 250 micron	€ 516,00	€ 641,39
<i>Prezzo interpolato</i>	Acciaio	1000	10	13.50	Polietilene secondo UNI9099/89 R3R	malta cementizia secondo EN 10298	€ 486,00	€ 604,10

Considerando i riscontri delle analisi di mercato ma anche il peso delle diverse specificità tecniche proprie di ciascuna tipologia di condotta nell'applicazione oggetto di trattazione è stato possibile redigere una matrice qualitativa di valutazione, dalla quale emerge come le tubazioni in acciaio meglio si adattino alle ipotesi di progetto. Tra queste, in particolare si ritiene più adatta la scelta della tipologia di tubazioni in acciaio con rivestimento esterno poliuretano (maggiore resistenza alle irregolarità ed asperità che possono affliggere il letto di posa) ed interno epossidico (durabilità e ridotta scabrezza) rispetto a quella con rivestimento interno in malta cementizia in ragione della più onerosa adattabilità alla tortuosità del tracciato di quest'ultima per via del costo dei pezzi speciali, permanendo anche una prevenzione di giudizio derivante dalla ridotta casistica di realizzazioni tale da rendere difficile esprimere un giudizio statisticamente consolidato

TIPO DI TUBAZIONE	ACCIAIO	ACCIAIO RIVESTITO EPOSS.	ACCIAIO RIVESTITO C.L.S.	GHISA SFEROIDALE	P.R.F.V. filamento	P.R.F.V. centrifugato	C.A.
<b>CRITICITA'</b>							
COSTO TUBAZIONE	X	X+	X	XXX	X-	XX	X-
COSTO POSA	XX	XX	XX	X	X	X	X
COSTO DI MANUTENZIONE	XXX	XX	XX	X	XXX	XX	XX
INCIDENZA COSTO PEZZI SPECIALI	X	X	XX+	XXX	X	XX	X
LUNGHEZZA TUBAZIONE	X	X	X	XX	X	XX	XXX
TENUTA GIUNZIONI	X	X	X	X	XXX	XX	XXX
ADATTABILITA' AL TRACCIATO	X	X	X	XX	XXX	XXX	XXX
PROBLEMATICHE SOTTOFONDI E RINFIANCHI	X	X	X	X	XXXX	XX	XX
RESISTENZA MECCANICA	X	X	X	X	XXXX	XX	XX
PARAMETRI IDRAULICI	XX	X	X	X	X	X	XX
PARAMETRI DI GIUDIZIO							
X	BUONO						
XX	DISCRETO						
XXX	INSUFFICIENTE						
XXXX	PESSIMO						

## 4.2 DEFINIZIONE DELLE TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Il progetto del sistema idrico d'interconnessione tra i sub-sistemi multisettoriali Tirso-Flumendosa-Campidano e Sulcis-Iglesiente è caratterizzato da tipologie d'intervento tipiche dei sistemi di vettoriamento dei liquidi e rappresentate oltre che dalle condotte e dalle connesse problematiche di organizzazione della posa in opera stesse anche dai manufatti che puntualmente si rendono necessari per risolvere aspetti funzionali di tipo idraulico o problematiche derivanti dall'interferenza con elementi naturali del territorio o con altre infrastrutture preesistenti.

La caratterizzazione delle principali tipologie d'intervento è quindi definibile come di seguito sinteticamente riportato e meglio individuato nell'allegato fascicolo denominato "Tipologie d'intervento e loro quantificazione economica parametrica".

Fornitura delle tubazioni. Come rilevato nel precedente capitolo la scelta più opportuna ricade sulle tubazioni

in acciaio saldato (elicoidalmente) bicchierate di opportuno spessore prodotti secondo le norme UNI EN 10224 con acciaio S235JR o superiore, Le tubazioni avranno rivestimento esterno in poliuretano esterno applicato allo stato liquido secondo UNI EN 10290 (spess. 1000 micron) previa sabbiatura al grado SA 2,5 secondo norma ISO 8501-1 al fine di ridurre a valori minimi il potenziale di conducibilità elettrica verso il terreno. Il rivestimento interno sarà in resine epossidiche (se necessario atossiche conformi al D.M. n° 174/2004) in spessore minimo di 250 micron. La lunghezza delle barre sarà mediamente di 13,50 circa.

Posa delle tubazioni. La posa delle tubazioni avverrà su letto in sabbia o ghiaietto frantumato ( $d < 6$  mm) di spessore non inferiore a 30 cm e rinfiando mediamente fino a  $1/4$  del diametro.

La sezione ristretta dello scavo di posa della condotta avrà scarpa funzione alla natura geologica del terreno e tale da variare tra un'inclinazione  $1/4$  (roccia compatta) fino ad un'inclinazione di  $1/1,75$  nelle condizioni di matrice alluvionale per altezze di scavo inferiori a 2,50 metri. diversamente lo scavo sarà banchinato e sostenuto.

La cantierizzazione per la posa delle tubazioni privilegerà la velocità di esecuzione e sarà tale da consentire un agevole sfilamento e movimentazione delle tubazioni le cui dimensioni non consentono ambiti di lavoro troppo ristretti. Essa sarà differenziata in funzione del tipo geologico di territorio attraversato e dell'acclività del tracciato ed in conseguenza di ciò potrà impegnare fasce di terreno diverse. In conseguenza delle condizioni operative si renderà necessario un differente approccio con i mezzi meccanici che ovviamente determinerà costi operativi di posa delle tubazioni anche sensibilmente differenti.

A seguito di valutazioni con i Responsabili della commessa, anche alla luce delle locali consolidate prassi operative, non sono stati previsti teli di separazione tra lo strato agrario e le piste di cantiere, essendo quest'ultime formate mediante mera compattazione del suolo.

Sezionamenti delle condotte, scarichi e sfiati. I sezionamenti delle condotte nonché le apparecchiature di degasaggio e di scarico delle condotte saranno alloggiati in appositi manufatti cementizi interrati gettati in opera aventi classe non inferiore a C25. Le dimensioni interne degli stessi consentiranno l'approccio ergonomico alle apparecchiature idrauliche da parte degli operatori.

Tutte le apparecchiature idrauliche saranno dotate di corpo in ghisa sferoidale o acciaio con organismi interni di manovra in acciaio inox AISI 301 ed adatte a resistere ad una pressione superiore a quella massima configurabile nel sistema idrico per effetto dei possibili transitori idraulici.

I sezionamenti saranno realizzati mediante valvole a farfalla per diametri maggiori di 300 mm e mediante saracinesche a cuneo gommato per i diametri inferiori.

Gli sfiati, visto il tipo di regime idraulico, saranno di tipo automatico a tre funzioni al fine di consentire sia il degasaggio delle condotte nonché l'aerazione delle stesse nelle situazioni di svuotamento e sempre sezionabili attraverso saracinesche installate sul manicotto di raccordo.

I pozzetti di scarico, organizzati in corrispondenza di punti ove vi sia la presenza di un ricettore, saranno dotati di manufatti dissipativi al fine di restituire la portata scaricata alla pressione atmosferica.

Attraversamenti torrenti, rii e corsi d'acqua in genere. Laddove le condotte sottopasseranno torrenti o rii o corsi d'acqua queste saranno posate in forma subalvea. Saranno posate ad una profondità e dotate di difese spondali tali da essere protette dalle problematiche erosive sia di carattere diretta che regressiva. A maggiore garanzia della stabilità si prevede sempre una calottatura della tubazione con apposito cassonetto di

calcestruzzo.

La profondità degli attraversamenti idraulici sarà tale da mantenere un ricoprimento minimo della calottatura di protezione in corrispondenza della linea di Thalveg mai inferiore a 1,5 metri.

Non sono previsti attraversamenti aerei.

Attraversamenti infrastrutture stradali. Laddove le condotte sottopasseranno infrastrutture viarie, in funzione della loro larghezza, e del loro tipo di finitura si provvederà ad effettuare lavorazioni con scavo a cielo aperto o mediante l'ausilio di macchinario di spinta idraulica.

Blocchi d'ancoraggio. Gli ancoraggi orizzontali e verticali delle condotte verranno dimensionati per contenere le spinte conseguenti alle variazioni angolari del tracciato. Nel già citato fascicolo allegato denominato "Tipologie d'intervento e loro quantificazione economica parametrica" sono visibili le schematizzazioni geometriche di tali elementi di contenimento.

#### 4.3 PARAMETRI DI VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI INTERVENTI

La stima economica dei costi d'intervento è, in questa fase di progetto di fattibilità tecnico economica, valutata per mezzo di stime parametriche di macrocategorie di lavorazioni basate sulle tipologie progettuali di cui al paragrafo precedente ed adattate alle diverse condizioni geomorfologiche dei suoli attraversati o alla consistenza delle infrastrutture interferite.

La parametrizzazione economica delle macro categorie di lavorazioni è effettuata per mezzo della composizione delle voci di prezzo elementari che compongono la macrocategoria del lavoro a loro volte desunte dal prezzario di riferimento della Regione Sardegna o, in assenza, di altre Regioni. Laddove le condizioni di estensione e ripetitività delle lavorazioni consentivano di prevedere, con ragionevole certezza, condizioni di mercato tali da condizionare i prezzi, si è ricorso a specifiche analisi economiche ad hoc confezionate.

La distinta delle macrocategorie utilizzate per la stima economica del valore complessivo delle opere ed il relativo dettaglio di componimento è riportata nell'allegato fascicolo denominato "Tipologie d'intervento e loro quantificazione economica parametrica". –La parametrizzazione per quanto concerne le tubazioni è stata sviluppata in ragione del tipo di materiale scelto (acciaio con rivestimento esterno poliuretano ed interno epossidico) e del diametro della condotta avendo assunto quale dato economico di fornitura della tubazione quello il minore tra quelli derivanti dalle indagini di mercato condotte dall'RTP e da ENAS.

SEZIONE DI SCAVO	Unità misura	TUBO acc_800 €/m			TUBO acc_900 €/m		
		Terreno sciolto	Roccia tenera	Roccia dura	Terreno sciolto	Roccia tenera	Roccia dura
TIPO_A (scavo in terreno agrario)	m	€ 412,07	€ 0,00	€ 0,00	€ 466,55	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_B (scavo con presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 438,76	€ 0,00	€ 0,00	€ 497,84	€ 0,00
TIPO_C (scavo con presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 596,51	€ 0,00	€ 0,00	€ 671,19
TIPO_H (scavo in terreno agrario con aggettamento)	m	€ 541,63	€ 0,00	€ 0,00	€ 597,25	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_P su versante (presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 843,80	€ 0,00	€ 0,00	€ 889,99	€ 0,00
TIPO_R su versante (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.145,05	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.191,24
TIPO_N su strada (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.000,04	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.118,79
TIPO_S sub-lacuale (presenza di roccia dura)	m			€ 890,74			€ 965,41
TIPO_Q1 (scavo galleria L=570m)	cad						
TIPO_Q2 (scavo galleria L=850m)	cad						
Sovrapprezzo per smaltimento in discarica speciale con apporto di nuovo materiale delle tratte potenzialmente interessate da contaminazione antropica (5% del volume scavato)	m	€ 53,51	€ 55,31	€ 39,69	€ 56,99	€ 59,23	€ 43,16
Pezzi speciali (curve)	cad	€ 1.820,00	€ 1.820,00	€ 1.820,00	€ 2.184,00	€ 2.184,00	€ 2.184,00
Blocchi ancoraggio curve orizzontali	cad	€ 3.200,86	€ 3.330,04	€ 3.678,00	€ 5.339,16	€ 5.559,36	€ 6.152,46
Blocchi ancoraggio curve verticali	cad	€ 1.713,20	€ 1.777,79	€ 1.951,77	€ 2.269,01	€ 2.357,09	€ 2.594,33
Sfiati	cad	€ 8.642,42	€ 8.745,18	€ 9.021,96	€ 8.642,42	€ 8.745,18	€ 9.021,96
Scarichi alta pressione	cad	€ 22.804,85	€ 24.537,25	€ 28.959,25	€ 22.804,85	€ 24.537,25	€ 28.959,25
Scarichi bassa pressione	cad	€ 12.796,67	€ 13.837,67	€ 16.472,07	€ 12.796,67	€ 13.837,67	€ 16.472,07
Attraversamenti rii principali	cad	€ 35.619,80	€ 37.321,40	€ 41.735,10	€ 35.619,80	€ 37.321,40	€ 41.735,10
Attraversamenti rii secondari	cad	€ 22.257,00	€ 23.224,60	€ 25.661,30	€ 22.257,00	€ 23.224,60	€ 25.661,30
Attraversamenti strada sterrata	cad	€ 1.350,34	€ 1.248,79	€ 974,13	€ 1.413,42	€ 1.314,75	€ 1.032,54
Attraversamenti strada vicinale	cad	€ 2.700,69	€ 2.497,58	€ 1.948,27	€ 2.826,84	€ 2.629,50	€ 2.065,09
Attraversamenti strada asfaltata	cad	€ 4.522,92	€ 4.224,84	€ 3.426,27	€ 4.714,31	€ 4.421,22	€ 3.600,37
Attraversamenti ferroviari	cad	€ 205.340,19			€ 205.340,19		

SEZIONE DI SCAVO	Unità misura	TUBO acc_1000 €/m			TUBO acc_1200 €/m		
		Terreno sciolto	Roccia tenera	Roccia dura	Terreno sciolto	Roccia tenera	Roccia dura
TIPO_A (scavo in terreno agrario)	m	€ 569,47	€ 0,00	€ 0,00	€ 701,89	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_B (scavo con presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 605,28	€ 0,00	€ 0,00	€ 752,52	€ 0,00
TIPO_C (scavo con presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 795,41	€ 0,00	€ 0,00	€ 991,93
TIPO_H (scavo in terreno agrario con aggettamento)	m	€ 701,31	€ 0,00	€ 0,00	€ 832,62	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_P su versante (presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 984,30	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.095,11	€ 0,00
TIPO_R su versante (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.285,55	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.396,36
TIPO_N su strada (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.270,09	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.828,84
TIPO_S sub-lacuale (presenza di roccia dura)	m			€ 1.089,64			€ 1.286,15
TIPO_Q1 (scavo galleria L=570m)	cad			€ 3.558.108,12			
TIPO_Q2 (scavo galleria L=850m)	cad			€ 4.686.055,54			
Sovrapprezzo per smaltimento in discarica speciale con apporto di nuovo materiale delle tratte potenzialmente interessate da contaminazione antropica (5% del volume scavato)	m	€ 60,66	€ 63,31	€ 46,77	€ 70,83	€ 71,94	€ 54,43
Pezzi speciali (curve)	cad	€ 2.600,00	€ 2.600,00	€ 2.600,00	€ 3.120,00	€ 3.120,00	€ 3.120,00
Blocchi ancoraggio curve orizzontali	cad	€ 6.942,77	€ 7.241,51	€ 8.046,15	€ 11.194,39	€ 11.686,90	€ 13.013,47
Blocchi ancoraggio curve verticali	cad	€ 2.688,58	€ 2.793,54	€ 3.076,25	€ 3.566,01	€ 3.711,34	€ 4.102,79
Sfiati	cad	€ 8.642,42	€ 8.745,18	€ 9.021,96	€ 8.642,42	€ 8.745,18	€ 9.021,96
Scarichi alta pressione	cad	€ 22.804,85	€ 24.537,25	€ 28.959,25	€ 22.804,85	€ 24.537,25	€ 28.959,25
Scarichi bassa pressione	cad	€ 12.796,67	€ 13.837,67	€ 16.472,07	€ 12.796,67	€ 13.837,67	€ 16.472,07
Attraversamenti rii principali	cad	€ 35.619,80	€ 37.321,40	€ 41.735,10	€ 35.619,80	€ 37.321,40	€ 41.735,10
Attraversamenti rii secondari	cad	€ 22.257,00	€ 23.224,60	€ 25.661,30	€ 22.257,00	€ 23.224,60	€ 25.661,30
Attraversamenti strada sterrata	cad	€ 1.479,48	€ 1.383,36	€ 1.093,34	€ 1.620,54	€ 1.528,52	€ 1.222,08
Attraversamenti strada vicinale	cad	€ 2.958,96	€ 2.766,72	€ 2.186,68	€ 3.241,08	€ 3.057,05	€ 2.444,16
Attraversamenti strada asfaltata	cad	€ 4.913,65	€ 4.624,67	€ 3.780,83	€ 5.336,18	€ 5.052,77	€ 4.160,82
Attraversamenti ferroviari	cad	€ 205.340,19			€ 292.660,19		

SEZIONE DI SCAVO	Unità	TUBO acc_1400 €/m		
	misura	Terreno sciolto	Roccia tenera	Roccia dura
TIPO_A (scavo in terreno agrario)	m	€ 937,83	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_B (scavo con presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 999,73	€ 0,00
TIPO_C (scavo con presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.277,64
TIPO_H (scavo in terreno agrario con aggettamento)	m	€ 1.070,60	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_P su versante (presenza di roccia tenera)	m	€ 0,00	€ 1.311,28	€ 0,00
TIPO_R su versante (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.612,53
TIPO_N su strada (presenza di roccia dura)	m	€ 0,00	€ 0,00	€ 2.318,06
TIPO_S sub-lacuale (presenza di roccia dura)	m			€ 1.571,86
TIPO_Q1 (scavo galleria L=570m)	cad			
TIPO_Q2 (scavo galleria L=850m)	cad			
Sovrapprezzo per smaltimento in discarica speciale con apporto di nuovo materiale delle tratte potenzialmente interessate da contaminazione antropica (5% del volume scavato)	m	€ 79,55	€ 81,20	€ 62,65
Pezzi speciali (curve)	cad	€ 4.524,00	€ 4.524,00	€ 4.524,00
Blocchi ancoraggio curve orizzontali	cad	€ 16.083,72	€ 16.810,38	€ 18.767,61
Blocchi ancoraggio curve verticali	cad	€ 4.902,67	€ 5.104,52	€ 5.648,20
Sfiati	cad	€ 8.642,42	€ 8.745,18	€ 9.021,96
Scarichi alta pressione	cad	€ 22.804,85	€ 24.537,25	€ 28.959,25
Scarichi bassa pressione	cad	€ 12.796,67	€ 13.837,67	€ 16.472,07
Attraversamenti rii principali	cad	€ 35.619,80	€ 37.321,40	€ 41.735,10
Attraversamenti rii secondari	cad	€ 22.257,00	€ 23.224,60	€ 25.661,30
Attraversamenti strada sterrata	cad	€ 1.773,52	€ 1.684,28	€ 1.360,36
Attraversamenti strada vicinale	cad	€ 3.547,04	€ 3.368,57	€ 2.720,71
Attraversamenti strada asfaltata	cad	€ 5.790,49	€ 5.509,12	€ 4.566,25
Attraversamenti ferroviari	cad	€ 292.660,19		

Anche se non qui allegate, le valutazioni economiche delle alternative in relazione all'utilizzo delle diverse tipologie di tubazioni sono state sviluppate con lo stesso procedimento parametrico sopra indicato confermando l'economicità complessiva della scelta effettuata. Si è potuto riscontrare come le differenze economiche restino comprese entro valori comparabili e, in ultimo, si ritiene che scelta tipologica potrà in seguito anche essere affidata a considerazioni di carattere gestionale proprie dell'organizzazione del gestore quali, per esempio, il magazzino proprio della Stazione appaltante, il vincolo ed i costi manutentivi derivante dal mantenimento in efficienza della protezione catodica nel caso dell'acciaio.

Permangono le perplessità in merito alla scarsa casistica di realizzazioni in Italia di grandi sistemi idrici con tubazioni in acciaio e rivestimento interno cementizio.

#### 4.4 ELEMENTI DI COMPARAZIONE VALUTATIVA TECNICO ECONOMICA DEGLI SCHEMI INFRASTRUTTURALI

L'individuazione della migliore soluzione atta a realizzare il trasferimento idrico dai sub-sistemi idrici multisettoriali Tirso-Flumendosa-Campidano a quelli del Sulcis-Iglesiente è transitata attraverso la valutazione e lo studio di 5 diverse alternative oltre alla composizione di due di esse.

Dette alternative si basano sui dati quantitativi di trasferimento idrico contenuti nella progettazione a base di gara e, con diversi gradi di soddisfacimento ed efficienza, raggiungono tutte l'obiettivo principale prefissato che è quello di trasferire 15 Mm<sup>3</sup> dal bacino di Cixerri (debitamente sostenuto dall'apporto idrico proveniente dal subsistema Tirso-Flumendosa) e, laddove possibile, anche gli ulteriori obiettivi a complemento della dotazione annua complessiva di 26 Mm<sup>3</sup> come di seguito riepilogato:

OBIETTIVO	Descrizione	Volume annuo trasferimento (Mm <sup>3</sup> /anno)	Portata massima (l/s)
<b>Obiettivo 1</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici del Sulcis all'invaso di Monte Pranu	15	1000
<b>Obiettivo 2</b>	Integrazione/sostituzione fabbisogni schema NPRGA Sulcis a Bau Pressiu	1	*
<b>Obiettivo 3</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici irrigui nella piana del Sulcis (irrigazione di soccorso)	*	*
<b>Obiettivo 4</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici area industriale di Portovesme	3,5	200
<b>Obiettivo 5</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici dell'Iglesiente (basso ed alto Cixerri)	6,5	800**
<b>Totale</b>		26	2000

\* ricompresa nella massima di integrazione a Monte Pranu

\*\* di cui 600 l/s alla centrale di Ponte Murtas

La nomenclatura delle diverse alternative valutate e nel seguito illustrate, ha previsto di contraddistinguere con la lettera A le ipotesi di trasferimento idrico dall'invaso di Cixerri verso l'invaso di Monte Pranu sviluppate prioritariamente in direzione Sulcis lambendo gli invasi di Medau Zirimillis e Bau Pressiu, mentre con la lettera B si è inteso contraddistinguere lo sviluppo della direttrice di collegamento all'invaso di Monte Pranu attraverso la valle del torrente Cixerri prima e fiancheggiando Porto Vesme ed il mar Tirreno poi.

Gli schemi funzionali completi delle alternative individuate vengono riportati in allegato alla presente relazione.

##### ALTERNATIVA A.1.1

La soluzione progettuale denominata A.1.1 prevede uno schema distributivo in grado di alimentare dall'invaso di Cixerri con una portata massima di 1 m<sup>3</sup>/s, oltre all'invaso terminale di Monte Pranu, anche quelli di Medau Zirimillis e Bau Pressiu con le dotazioni idriche pianificate a valenza potabile così come, mediante una direttrice settentrionale, le utenze di Ponte Murtas e dell'Iglesiente.

Mentre l'invaso di Medau Zirimillis sarà solamente sussidiato da Cixerri, quello di Bau Pressiu verrà collegato

direttamente al sistema di trasferimento idrico e potrà contribuire con la propria capacità d'accumulo ad incrementare la flessibilità gestionale dell'interconnessione dei subsistemi. La condotta nel tratto tra la diga di Bau Pressiu e quella di Monte Pranu potrà quindi usufruire anche del contributo idrico della prima fino alla portata massima di 2 m<sup>3</sup>/s per sussidiare, tra l'altro, mediante una dotazione di soccorso anche il comparto agricolo della piana del Sulcis con tre distinte derivazioni lungo il tracciato.

Un primo sollevamento di circa 150 m dalla centrale di Cixerri raggiungerà il nuovo serbatoio di Medau Zirimillis di capacità pari a circa 500 m<sup>3</sup> laddove una condotta a gravità di diametro pari a 1000 mm prima e 900 mm poi potrà raggiungere l'Iglesiente ed un rilancio di ulteriori 155 m destinerà, attraverso il serbatoio di disconnessione idraulica di Campanasissa di volume analogo a quello di Medau Zirimillis, la risorsa verso il Sulcis e Monte Pranu, sommandosi all'eventuale integrazione dall'accumulo della diga di Bau Pressiu.

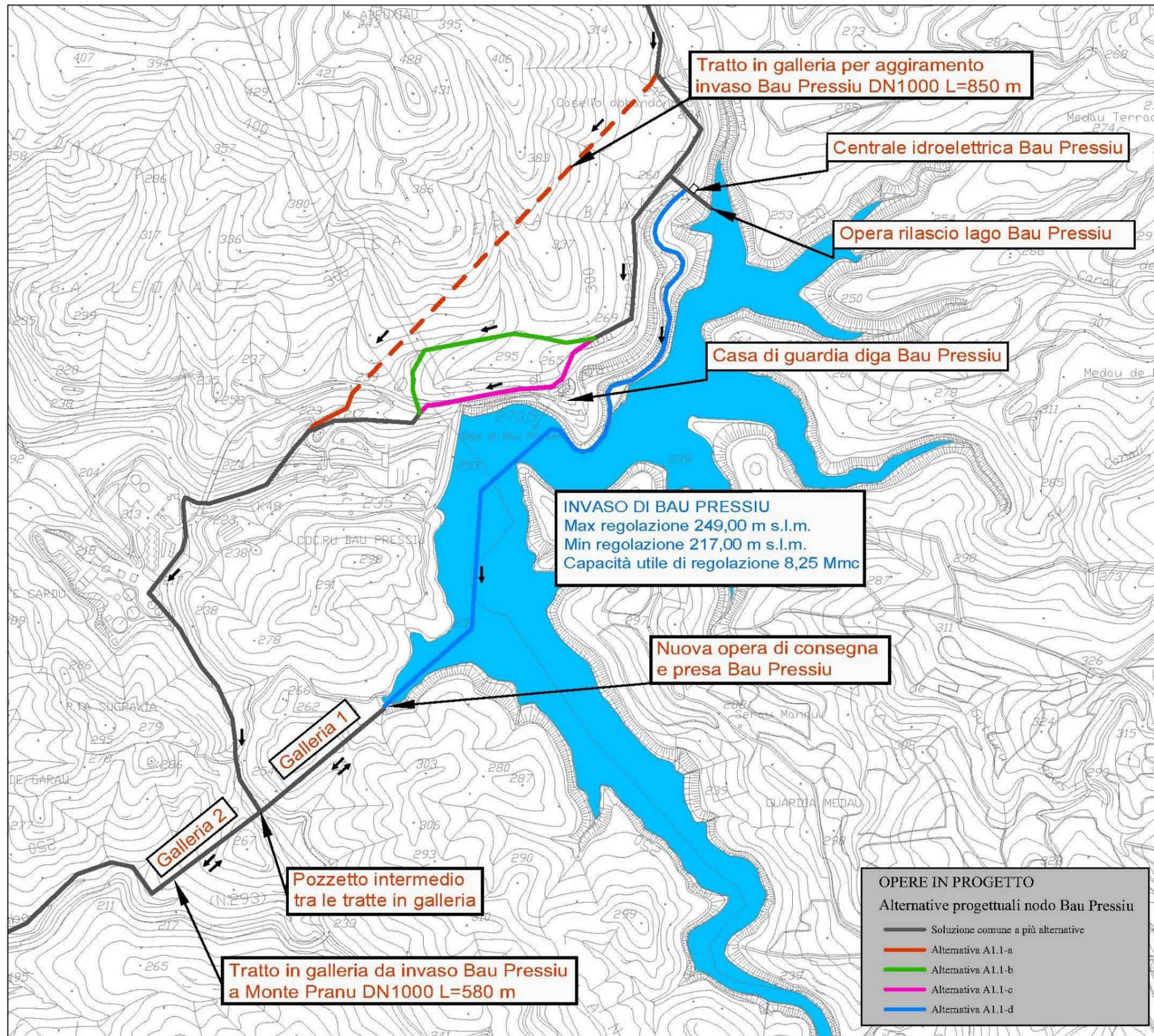
Nelle varie alternative gestionali, infatti, l'interconnessione idrica Cixerri – Monte Pranu potrà:

- trasferire direttamente una portata fino ad 1 m<sup>3</sup>/s tra i due bacini;
- trasferire una quota di tale portata direttamente al potabilizzatore di Bau Pressiu;
- implementare l'accumulo idrico di Bau Pressiu con una portata fino a 1 m<sup>3</sup>/s dal quale a sua volta sarà possibile derivare a Monte Pranu una portata fino a 2 m<sup>3</sup>/s;
- trasferire quota parte delle portate in precedenza menzionate articolatamente a tali destinazioni, direttamente a Monte Pranu o al potabilizzatore di Bau Pressiu.

L'interconnessione tra l'invaso di Bau Pressiu ed il sistema idrico in questione avverrà attraverso due principali edifici idraulici:

- il primo edificio, quello d'immissione delle acque provenienti da Cixerri, è costituito da una centrale idroelettrica (denominata centrale di Bau Pressiu) attraverso cui vengono rilasciate in testa all'omonimo lago gli afflussi provenienti da Cixerri;
- il secondo, quello di presa, è costituito da una torre di presa sotto battente posta in sponda sud-ovest del bacino d'invaso che alimenterà una condotta posata entro una doppia tratta in galleria di complessivi 560 metri di lunghezza. In posizione intermedia tra le due gallerie è prevista l'interconnessione con la condotta proveniente dal serbatoio di Campanasissa nell'alternativa, o nell'eventualità, in cui il contributo di Cixerri non transiti attraverso il lago artificiale di Bau Pressiu.

Come intuibile il nodo di Bau Pressiu rappresenta un passaggio piuttosto problematico del trasferimento idrico verso la diga di Monte Pranu, sia per quanto riguarda gli aspetti morfologici di quella porzione di territorio, sia per quanto riguarda le alternative d'interconnessione che si vogliono riservare al bacino artificiale di Bau Pressiu ed alla sua utenza potabile. In tal senso si riporta di seguito lo schema grafico di tali subalternative e la loro descrizione.



### Subalternativa A.1.1.a

La prima subalternativa ipotizza la posa della condotta DN 800 mm nella tratta tra il punto di rilascio all'invaso di Bau Pressiu e la sponda destra del rio Mannu circa 300 metri a valle dello sbarramento di ritenuta entro una galleria ispezionabile di 2,0 metri di diametro scavata con tecnologia TBM avente lunghezza di circa 850 metri. Fuoriuscita dalla galleria la condotta continua il proprio tracciato seguendo lo stesso già utilizzato per la posa dell'esistente condotta idrica che alimenta il potabilizzatore di Bau Pressiu direttamente dalla diga di Cixerri con l'unica differenza di sottopassare l'alveo del rio Mannu anziché superarlo su traliccio aereo quale l'attuale. Questa soluzione è stata valutata quale la soluzione meno impattante in termini di interferenze con l'ambiente circostante e le infrastrutture esistenti (strada statale, diga di Bau Pressiu, condotte esistenti) ma con il grave handicap dell'aggravio dei costi (circa tre milioni di euro).

### Subalternativa A.1.1.b

La seconda ipotesi analizzata ha preso in considerazione il passaggio della condotta in progetto lungo pista forestale esistente sul lato destro della strada statale 293 fino ad un centinaio di metri prima della casa di guardia per poi deviare lungo una vallecola presente in destra orografica. Questo tracciato, superando il piccolo colle posto a quota 295 m.s.m., consente di aggirare l'impervio sperone roccioso di imposta della spalla destra della diga di Bau Pressiu e quindi ridiscendere fino ad intercettare nuovamente la S.S. 293 circa 120 metri a valle del coronamento diga sfruttando, quale tracciato, il piccolo impluvio esistente. Il sottopasso della strada statale avverrà mediante tecnologia no-dig (presumibilmente con semplice spingitubo) perforando l'elevato rilevato presente in sponda sinistra della profonda incisione prodotta dall'impluvio seguito nell'attraversamento della strada, ricollegandosi poi subito a valle del sedime stradale al tracciato già seguito dall'attuale condotta di alimentazione del potabilizzatore. La discesa verso l'alveo del rio Mannu segue l'esistente rampa già impegnata con la precedente soluzione A.1.1.a.

Questa variante di tracciato è da considerarsi positivamente in quanto elimina ogni tipo d'interferenza con la strada statale, specialmente nella tratta prospiciente il coronamento diga che risulta essere caratterizzata da particolare difficoltà geomorfologica, e in quanto le opere di scavo, analizzate in situ, si evidenziano non particolarmente impegnative anche in raffronto ad altre porzioni di tracciato previste in progetto. Si tratta di circa 450 metri caratterizzati da una pendenza media nel tratto di ascesa del 10,5% costante e del 17,3% nel tratto discendente con una punta massima del 23% in una tratta avente lunghezza non superiore a 30 metri. Le pendenze trasversali comporteranno un avanzamento delle operazioni di scavo secondo lo schema tipologico denominato "R" con altezza dei fronti di sbancamento mediamente inferiori ad un metro e mezzo e punti massimi non superiori a 3,0 metri per poche tratte molto ridotte.

Sebbene la subalternativa precedente sia risolutiva di tutte le problematiche di carattere ambientale legata alla trasformazione dei luoghi, la notevole differente incidenza economica (circa 3.000.000 di euro) della soluzione presente risulta un fattore ampiamente premiante.

### Subalternativa A.1.1.c

Una terza subalternativa considera l'eventualità di posare la condotta DN 800 mm sempre lungo la stessa pista forestale impegnata con la A.1.1.b fino in prossimità della casa di guardia della diga di Bau Pressiu,

laddove il versante roccioso diventa troppo acclive, per poi proseguire per un tratto di circa 400 metri sotto la carreggiata di monte della S.S. 293 fino ad oltrepassare il coronamento della diga.

L'abbandono del sedime della S.S. 293 avviene circa 120 metri a valle del coronamento, nello stesso punto ove è previsto il sottopasso della precedente subalternativa, con la quale condivide poi il restante tracciato verso il potabilizzatore di Bau Pressiu e, quindi, verso l'invaso di Monte Pranu.

Questa soluzione risulta più problematica della precedente per quanto concerne la tratta di lavori coincidente con il sedime della S.S. 293 sia in ragione sia dell'esigenza di eseguire la posa della condotta in ambiti lavorativi molto costretti sia della necessità di avvalersi di opere provvisorie atte a minimizzare la dimensione dello scavo in roccia dura e compatta (qual è quella caratterizzante tale tratta) e dell'impossibilità di interrompere il traffico veicolare, con i connessi oneri organizzativi e di gestione del cantiere. Di contro la presente soluzione è migliorativa in termini di impegno di superficie di territorio sebbene si tratti di un'incidenza relativa in relazione all'intero complesso dell'opera. Non sono apprezzabili differenze economiche significative rispetto alla subalternativa A.1.1.b

#### Subalternativa A.1.1.d

La subalternativa sublacuale del nodo di Bau Pressiu esplora la possibilità di svincolarsi dalle problematiche geomorfologiche legate all'aggiramento dello sperone roccioso costituente la spalla destra della diga ripercorrendo l'antico tracciato di fondo valle della S.S. 293 antecedente alla costruzione dell'invaso artificiale. Questo percorso è ancora chiaramente visibile nella porzione d'invaso che periodicamente emerge e percepibile dalle rilevazioni satellitari grazie alla trasparenza dello specchio idrico.

Stante l'evidenza dei sondaggi forniti dall'Amministrazione che dimostrano la presenza di uno spessore minimo di sedimenti sul fondo del lago, si è optato di provvedere alla posa della tubazione sub-lacuale con semplice scavo in trincea e successivo ritombamento, avendo avuto cura di realizzare l'idoneo numero di blocchi d'ancoraggio in conglomerato cementizio per contrastare la spinta al galleggiamento in caso di svuotamento della condotta.

Si prevede anche in questo caso l'impiego di tubazioni in acciaio saldato con rivestimento interno di tipo epossidico e rivestimento esterno di tipo poliuretano applicato allo stato liquido (EN 10290) in quanto le più adatte a sostenere l'azione aggressiva sia di carattere abrasiva che di carattere corrosiva e sono molto utilizzate anche per la realizzazione delle condotte sottomarine.

I vantaggi di questa soluzione sono indubbi in termini di:

- notevole riduzione delle problematiche in termini di difficoltà di posa della condotta e di impatto degli scavi in quanto viene seguito l'antico tracciato stradale esistente e per la gran parte sommerso dalle acque dell'invaso;
- lunghezza del tracciato che risulta sensibilmente ridotta, di una lunghezza pari a circa 600 metri rispetto alle altre due soluzioni economicamente confrontabili (A.1.1.b e A.1.1.c);
- incidenza economica che risulta essere più vantaggiosa per circa 900.000 euro rispetto alla subalternativa A.1.1.b e di circa 1.000.000 di euro rispetto alla A.1.1.c.

Se sono chiari i vantaggi che la scelta di questa subalternativa comporta nel confronto con le altre, occorre porre in evidenza anche la presenza di alcune incognite che potrebbero incidere, anche molto negativamente, sul bilancio complessivo della scelta.

In primis qualche perplessità, sebbene di modesta entità, può derivare dalle condizioni di conservazione del vecchio tracciato stradale nella porzione sommersa in avvicinamento al fondo lago (tratto sottostante la casa di guardia) che si sviluppava a mezza costa in roccia. Quest'eventualità sarebbe comunque superabile con un'adeguata progettazione geotecnica allorché si potesse rilevare la reale condizione dei luoghi.

Secondariamente qualche preoccupazione desta la possibilità di rinvenire sul fondo del lago porzioni di tracciato in cui i sedimenti si presentino in spessori differenti da quelli emersi dalle indagini messe a disposizione dall'Amministrazione (15-20 centimetri). Tale possibilità è da considerarsi più realistica laddove il tracciato è più prossimo all'opera di ritenuta, posizione sicuramente propensa ad accumulare il trasporto solido (poco) presente nelle acque dell'invaso. In tal senso, però, le valutazioni formulate di provvedere allo smaltimento nelle discariche all'uopo autorizzate dei primi 40 cm dello scavo a sezione ristretta per la posa della condotta subacquea possono considerarsi idonee a mettere al riparo da tale eventualità.

Entrambe queste perplessità progettuali potranno essere compiutamente analizzate ed eventualmente risolte allorché, nei prossimi mesi, ENAS provvederà al completo svaso della diga di Bau Pressiu in ragione di esigenze manutentive dell'opera di sbarramento.



*Il vecchio tracciato della S.S. 293 e l'attuale livello del lago*

In ultimo, la condizione che meglio deve essere analizzata riguarda le possibili conseguenze sulla gestione dell'appalto dei lavori derivanti dalla necessità di coordinare lo svuotamento del bacino d'accumulo con i lavori di posa della condotta.

Il presupposto di economicità di questa subalternativa si poggia, principalmente, sull'ipotesi di effettuare i lavori di posa della condotta in assenza di acqua all'interno dell'invaso di Bau Pressiu attraverso, come già riportato, un'ordinaria operazione di scavo a sezione ristretta e successivo ritombamento.

La fattibilità dell'operazione di svaso e della successiva posa della condotta sarà però dipendente da alcuni avvenimenti non certi e/o critici:

1. la coincidenza con condizioni di gestione del servizio potabile in grado di fare a meno del contributo idrico di Bau Pressiu. E' valutabile che si renderà necessario un tempo di circa 60-80 giorni per svuotare l'accumulo idrico (in relazione alle prescrizioni regolamentari sugli scarichi di fondo), lasciare drenare l'ammasso superficiale saturo dell'invaso e dare corso ai lavori di posa della condotta, ma resta sicuramente incognito il tempo del successivo ripascimento atteso che dipenderà sì dalla stagione in cui l'intervento sarà programmato ma anche dall'andamento meteorologico di quel momento. Statisticamente potrebbero volerci 7/8 mesi, ma è evidente che se ci si imbattesse in un periodo di anomala siccità potrebbe volerci di più.
2. la condizione idrologica di riformazione dell'invaso di Bau Pressiu. Occorre infatti considerare come, sebbene sembrerebbe in spessori poco significativi, sul fondo del bacino d'invaso si troveranno sedimenti con concentrazioni di elementi, minerali e non, assai diverse da quelle ordinariamente trattate dall'impianto di potabilizzazione che, qualora energicamente rimescolate da afflussi violenti in condizioni di scarso accumulo, potrebbero essere causa di sensibili e prolungati disservizi del potabilizzatore. A quest'eventualità sono candidate, in particolare, le stratificazioni di acidi umici e fulvici derivanti dalla degradazione della massa vegetale depositata sul fondo del lago (da anni) in ambiente anossico che qualora rimesse in soluzione difficilmente precipitano nuovamente se non in dimensioni temporali molto estese;
3. la contemporanea possibilità di sussidiare l'impianto di potabilizzazione di Bau Pressiu con un sollevamento dall'invaso di Cixerri che ne sostituisca integralmente il contributo con il relativo impegno economico;
4. la possibilità che si rinverano condizioni di inefficienza del sistema di scarico del lago di Bau Pressiu, vuoi legate alla quota dello scarico di esaurimento, vuoi legate alla presenza di ture provvisorie risalenti all'epoca di costruzione della diga, che non consentano il completo aggettamento delle acque se non con impegnativi sollevamenti meccanizzati;

Oltre agli aspetti di incertezza sopra elencati è doveroso sottolineare come anche l'aspetto di economicità di questa subalternativa potrebbe non risultare premiante se si pone l'attenzione non solamente sul mero raffronto dei costi di costruzione ma anche sugli oneri gestionali che lo svaso di Bau Pressiu comporterà.

In primis, come già indicato, il costo di sollevamento continuativo dell'acqua potabile dalla diga di Cixerri e, secondariamente, il maggiore costo di potabilizzazione che le acque di Cixerri comportano rispetto a quelle più pulite di Bau Pressiu,

Si tratta di onerosità non trascurabili la cui entità non è prevedibile in termini certi data, come già esposto, la difficoltà a prevederne l'ambito temporale entro cui dovrà essere sopportata.

In presenza di questa alea operativa ed economica la cui valutazione non è nelle competenze dello scrivente, stante anche la non eccessiva differenza di costo tra le subalternative (con esclusione di quella in galleria – A.1.1.a.), in questa fase di ampio confronto tra le possibili soluzioni atte a risolvere il collegamento tra i sottosistemi idrici multisettoriali Tirso-Flumendosa-Campidano e Sulcis-Iglesiente, si ritiene prudentiale procedere adottando quella leggermente più onerosa ma più certa e cioè la A.1.1.b. In tal senso la configurazione in termini di consistenza geometrica ed idraulica dei collegamenti è riepilogata nella seguente tabella.

<b>ALTERNATIVA A1.1.b</b>				
<b>TRATTO</b>	<b>Q [mc/s]</b>	<b>Sollevamento [m]</b>	<b>DN [mm]</b>	<b>L [m]</b>
<b>A_B (Sollevamento Cixerri-Partitore Medau Zirimilis)</b>	1,0	145	1000	7529
<b>B_E (Partitore Medau Zirimilis-Vasca carico Medau Zirimilis)</b>	1,0		1000	886
<b>E_D (Partitore Medau Zirimilis_Sollevamento ponte Murtas)</b>	0,6		900	20418
<b>B-F (Partitore Medau Zirimilis-Diga Medau Zirimilis)</b>	1,0		1000	1549
<b>B_C (condotta Medau Zirimilis_Sollevamento Medau Zirimilis)</b>	1,0		1000	10
<b>C_G (Sollevamento Medau Zirimilis_Vasca carico Campanasissa)</b>	1,0	162	1000	7547
<b>G_H (Vasca carico Campanasissa-Partitore H)</b>	1,0		800	2135
<b>H_H' (Partitore H-Punto rilascio centrale idroelettrica)</b>	1,0		800	65
<b>H_I (Partitore H-Galleria Bau Pressiu)</b>	1,0		800	2460
<b>L_M (Galleria diga Bau Pressiu - diga monte Pranu)</b>	2,0		1000	21724

Quale notazione finale inerente al nodo idraulico di Bau Pressiu si evidenzia come, tra le ipotesi analizzate, non sia stata sviluppata quella di attraversare l'invaso di Bau Pressiu utilizzando il coronamento dell'opera di ritenuta, che invece lo studio di fattibilità a base di gara redatto da Enas considerava.

Tale scelta è derivata dall'analisi dei vincoli autorizzativi che tale soluzione comporta così come valutati nei pre-contatti avuti con l'Amministrazione dello Stato preposta al controllo della sicurezza delle dighe in esercizio. Stante la non indifferente dimensione e massa dell'infrastruttura idrica (tratta di 250 metri di lunghezza in acciaio DN 800 mm con massa complessiva pari a circa 250.000 kg) nonché il regime piezometrico che la caratterizza (pari a circa 6 bar), è infatti da considerarsi quale del tutto improbabile la concessione di un'autorizzazione in tal senso in quanto non sono autorizzate, di prassi, promiscuità con infrastrutture che a qualsiasi titolo, anche di tipo imprevisto, possano determinare interferenze con l'esercizio in sicurezza della diga, specie in corrispondenza dello sfioratore superficiale.

#### ALTERNATIVA A.1.2

La soluzione progettuale denominata A.1.2 prevede uno schema distributivo sempre contenuto in  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ed è finalizzato al mero conseguimento del trasferimento del volume idrico pianificato di  $15 \text{ Mm}^3$  all'invaso terminale di Monte Pranu. Questa alternativa, come evidenziato nel prosieguo della relazione, è da valutarsi coniugata con l'alternativa denominata B.1. (ridotta alla consegna di Porto Vesme di  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ed alla strutturazione dell'intervento per lotti funzionali.

Questa soluzione non prevede, quindi, oltre all'alimentazione dell'Iglesiente, nemmeno interazioni con gli invasi di Medau Zirimillis e Bau Pressiu (peraltro sempre tecnicamente conseguibile con successive pianificazioni) e sovrappone, quindi, alla regola gestionale dell'invaso di Cixerri anche la modulazione dei trasferimenti idrici dal subsistema Tirso – Flumendosa dei contributi irrigui di soccorso alla piana del Sulcis.

Il passaggio del nodo di Bau Pressiu sarà, per questa soluzione che non prevede l'integrazione idrica da parte di quest'ultimo invaso, assoggettato alle stesse considerazioni di opportunità esposte nel caso della soluzione A.1.1 limitatamente alle subalternative A.1.1.a, A.1.1.b e A.1.1.c

Stante l'assenza di obblighi sussidiari dell'invaso di Medau Zirimillis, nel caso dell'alternativa A.1.2. il tracciato

della condotta premente dall'invaso di Cixerri seguirà un allineamento più diretto interrompendo il carico idraulico mediante una vasca di carico in località Serpixeddu, posizionata più a sud est rispetto a Campanasissa ed ad una quota tale da consentire la ricaduta a gravità verso Monte Pranu.

Caratteristiche idrauliche e geometriche dei collegamenti costituenti l'alternativa A.1.2. (nella configurazione A.1.1.b relativamente al nodo do Bau Pressiu) sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella e più chiaramente riportati tra gli allegati.

ALTERNATIVA A1.2				
TRATTO	Q [mc/s]	Sollevamento (geodetico) [m]	DN [mm]	L [m]
<b>A_C (Sollevamento Cixerri-Vasca carico monte Serpixeddu)</b>	1,0	280	1000	7264
<b>C_H (Vasca carico monte Serpixeddu_diga Bau Pressiu)</b>	1,0		1000	11680
<b>H_M (Diga monte Pranu_Diga Bau Pressiu)</b>	1,0		1000	21150

#### ALTERNATIVA A.2

La soluzione progettuale denominata A.2 prevede uno schema distributivo che, dal punto di vista del tracciato, ricalca quello della soluzione A.1.1 ma con una potenzialità in termini di portata massima trasferibile raddoppiata e, per questo motivo, maggiormente in grado di assicurare caratteristiche di tempestività alle integrazioni irrigue ed idriche in generale.

A differenza della soluzione A.1.1, l'alternativa in esame destina la totalità del trasferimento oltre che all'invaso di Monte Pranu ed al soddisfacimento della dotazione dell'Iglesiente ma non integra gli invasi di Bau Pressiu e Medau Zirimillis. Questo schema distributivo comporta, necessariamente, di interrompere il sollevamento da Cixerri con una vasca di carico nei pressi dell'invaso di Medau Zirimillis (anche per non interdire la possibilità di eventuali futuri asservimenti) finalizzata al servizio a gravità di Ponte Murdas e dell'Iglesiente.

Anche in questo caso l'irrigazione di soccorso del basso Sulcis sarà assicurata direttamente dall'invaso di Cixerri e il passaggio del nodo di Bau Pressiu sarà assoggettato alle stesse considerazioni di opportunità esposte nel caso della soluzione A.1.1 limitatamente alle subalternative A.1.1.a, A.1.1.b e A.1.1.c

Caratteristiche idrauliche e geometriche dei collegamenti costituenti l'alternativa A.2 (nella configurazione A.1.1.b relativamente al nodo do Bau Pressiu) sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella e più chiaramente riportati tra gli allegati.

ALTERNATIVA A2				
TRATTO	Q [mc/s]	Sollevamento (geodetico) [m]	DN [mm]	L [m]
<b>A_E (Sollevamento Cixerri-Vasca carico Medau Zirimillis)</b>	2,0	150	1200	8507
<b>E_D (Vasca carico Medau Zirimillis_Sollevamento ponte Murtas)</b>	0,6		900	21985
<b>E_C (Vasca carico Medau Zirimillis_Sollevamento Medau Zirimillis)</b>	2,0		1200	30
<b>C_G (Sollevamento Medau Zirimillis_Vasca carico Campanasissa)</b>	2,0	165	1200	6930
<b>G_H (Vasca carico Campanasissa-Diga Bau Pressiu)</b>	2,0		1000	4015
<b>H_M (Diga Bau Pressiu - diga monte Pranu)</b>	2,0		1000	21150

**ALTERNATIVA B.1**

La soluzione progettuale denominata B.1 prevede uno schema distributivo completamente orientato verso ovest che lungo il tracciato a ritroso risalendo la valle del torrente Cixerri per raggiungere Monte Pranu assicura il soddisfacimento delle utenze dell'Iglesiente e del comparto industriale di Porto Vesme.

Questo tracciato, rispetto alle alternative A, necessita di un sollevamento sensibilmente inferiore a discapito di un maggiore sviluppo lineare.

La portata massima oggetto di trasferimento è pari a 1 m<sup>3</sup>/s.

Caratteristiche idrauliche e geometriche dei collegamenti costituenti l'alternativa B.1 sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella e più chiaramente riportati tra gli allegati.

<b>ALTERNATIVA B1</b>				
TRATTO	Q [mc/s]	Sollevamento (geodetico) [m]	DN [mm]	L [m]
<b>A_B ( Sollevamento Cixerri-Vasca Medau Becciu)</b>	1,0	152	1000	1472
<b>B_C (Vasca Medau Becciu-Partitore Villamassargia)</b>	1,0		1200	22132
<b>C_D (Partitore Villamassargia-Sollevamento ponte Murtas)</b>	0,6		800	5087
<b>C_C' (Partitore Villamassargia-Vasca di compenso Barega)</b>	1,0		1200	11194
<b>C'_E (Vasca di compenso Barega_Portovesme)</b>	1,0		1000	14714
<b>E_E' (Portovesme-San Giovanni Sergiù)</b>	1,0		800	5868
<b>E'_F (San Giovanni Sergiù_Monte Pranu)</b>	1,0		800	10645

**ALTERNATIVA B.2**

La soluzione progettuale denominata B.2 prevede uno schema distributivo del tutto analogo a quello descritto per l'alternativa B.1 ma con una dotazione idrica massima raddoppiata.

Caratteristiche idrauliche e geometriche dei collegamenti costituenti l'alternativa B.2 sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella e più chiaramente riportati tra gli allegati.

<b>ALTERNATIVA B2</b>				
TRATTO	Q [mc/s]	Sollevamento (geodetico) [m]	DN [mm]	L [m]
<b>A_B1 ( Sollevamento Cixerri-Vasca Sa genna de su cerbu)</b>	2,0	173	1200	3570
<b>B1_C (Vasca Sa genna de su cerbu-Partitore Villamassargia)</b>	2,0		1400	22900
<b>C_D (Partitore Villamassargia-Sollevamento ponte Murtas)</b>	0,6		800	5087
<b>C_C' (Partitore Villamassargia-Vasca di compenso Barega)</b>	2,0		1400	11194
<b>C'_E (Vasca di compenso Barega_Portovesme)</b>	2,0		1200	14714
<b>E_E' (Portovesme-San Giovanni Sergiù)</b>	2,0		1200	5868
<b>E'_F (San Giovanni Sergiù_Monte Prano)</b>	2,0		1000	10645

**ALTERNATIVA A.1.1 + B.1 ( limitata a porto vesme)**

Si è infine ritenuto utile valutare, tra le altre, l'alternativa derivante dalla composizione della soluzione A.1.1 con la B.1 limitando quest'ultima al raggiungimento dell'utenza di Porto Vesme (il soddisfacimento di Monte

Pranu è assicurato dalla linea A.1.1).

Questa soluzione coglie il risultato di raggiungere tutti gli obiettivi del trasferimento idrico e rendere frazionabile l'esecuzione delle opere in lotti stralcio funzionali coerenti con il dato della pianificazione economica.

Caratteristiche idrauliche e geometriche dei collegamenti costituenti quest'ultima alternativa (nella configurazione A.1.1.b relativamente al nodo do Bau Pressiu) sono sinteticamente riassunte nella seguente tabella e più chiaramente riportati tra gli allegati.

<b>ALTERNATIVA A1.1 - B.1 (limitato a Portovesme)</b>				
TRATTO	Q [mc/s]	Sollevamento (geodetico) [m]	DN [mm]	L [m]
<b>A_C (Sollevamento Cixerri-Vasca carico monte Serpixeddu)</b>	1,0	280	1000	7264
<b>C_H (Vasca carico monte Serpixeddu_diga Bau Pressiu)</b>	1,0		1000	11680
<b>H_M (Diga monte Pranu_Diga Bau Pressiu)</b>	1,0		1000	21150
<b>A_B ( Sollevamento Cixerri-Vasca Medau Becciu)</b>	1,0	152	1000	1472
<b>B_C (Vasca Medau Becciu-Partitore Villamassargia)</b>	1,0		1200	22132
<b>C_D (Partitore Villamassargia-Sollevamento ponte Murtas)</b>	0,6		800	5087
<b>C_C' (Partitore Villamassargia-Vasca di compenso Barega)</b>	1,0		1200	11194
<b>C'_E (Vasca di compenso Barega_Portovesme)</b>	1,0		1000	14714

#### 4.4.1 ANALISI DELLA FATTIBILITÀ TECNICA

Vengono qui descritte le diverse alternative progettuali analizzate dal punto di vista tecnico, fornendo un'indicazione preliminare sul dimensionamento delle condotte (per i quali i criteri di progettazione sono descritti paragrafo 4.2) e delle potenze dei sollevamenti.

Il calcolo ha tenuto conto delle quote del terreno (ricavate dal modello digitale del terreno) considerando per la posa della condotta un ricoprimento minimo di 1,4 m e delle quote di funzionamento delle vasche (quota massima e quota minima) indicate nel progetto originale.

Per ciascuna alternativa si riporta una tabella di sintesi dei principali parametri idraulici e strutturali calcolati e un'indicazione preliminare delle potenze richieste agli impianti di sollevamento.

Infine, i grafici illustrano lungo la tratta principale l'andamento:

- della linea piezometrica (m.c.a.) in condizioni di esercizio,
- del terreno (m),
- della pressione (bar) e
- del massimo carico ammesso – MAOH (m.c.a., funzione delle caratteristiche della condotta).

Negli allegati tecnici si sono riportate le planimetrie ed i profili delle stesse soluzioni.

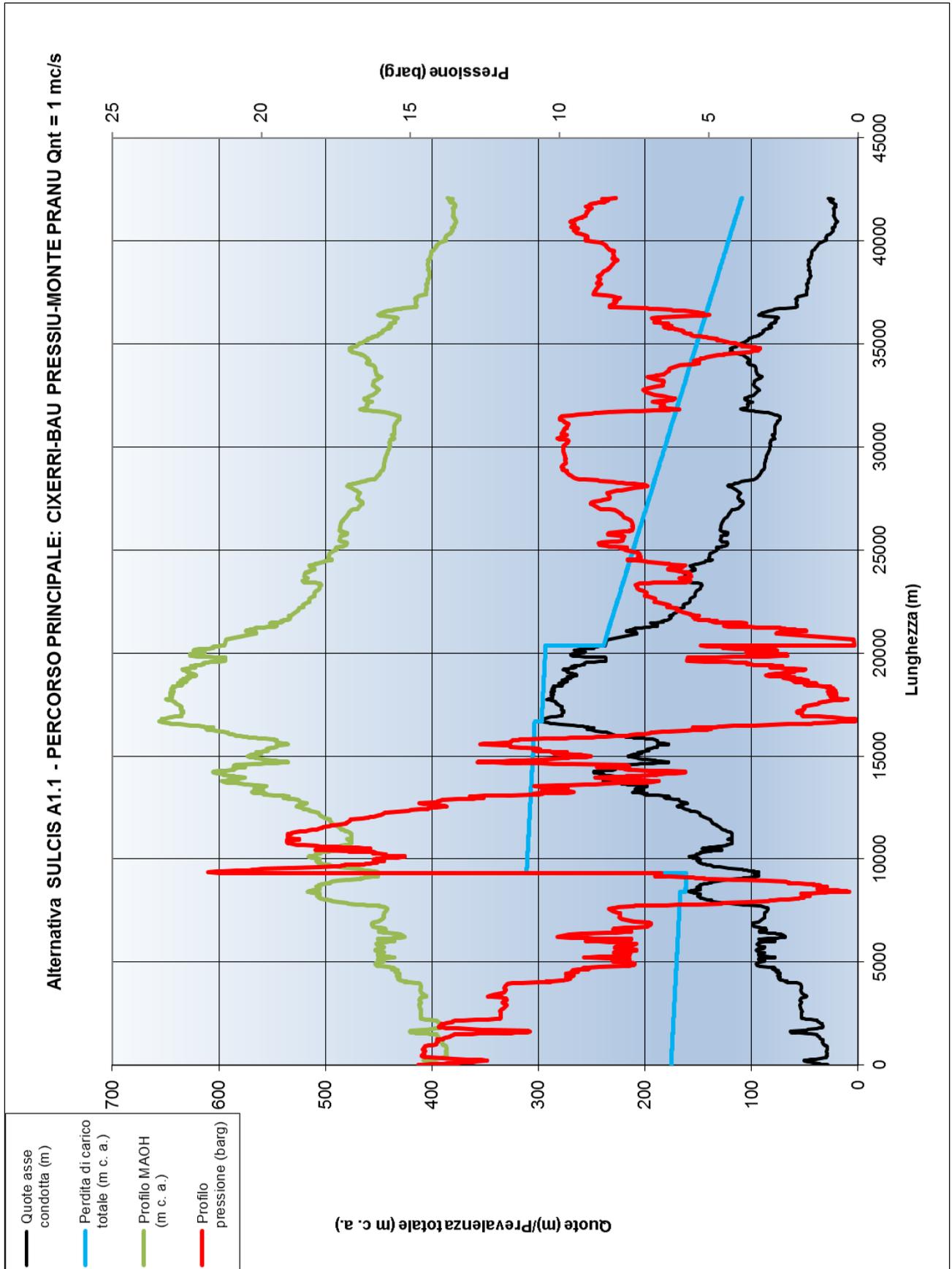
<b>SOLUZIONE A.1.1</b>						
TRATTO	LUNGHEZZA [m]	PORTATA [m <sup>3</sup> /s]	DIAMETRO [mm]	SPESSORE [mm]	V. MAX [m/s]	P MAX [bar]
TRATTO 1: SOLLEVAMENTO	7713	1.00	1000	10	1.27	14.74

CIXERRI-PARTITORE ZIRIMILLIS	MEDAU						
TRATTO 2: PARTITORE ZIRIMILLIS-VASCA ZIRIMILLIS	MEDAU MEDAU	702	1.00	1000	10	1.27	7.55
TRATTO 3: VASCA ZIRIMILLIS-SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS	MEDAU	886	1.00	1000	10	1.27	6.81
TRATTO 4: SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS-VASCA CAMPANASSISSA		7388	1.00	1000	10	1.27	21.80
TRATTO 5: VASCA CAMPANASSISSA-INVASO PRESSIU	BAU	3649	1.00	800	7.1	1.27	5.73
TRATTO 6: INVASO BAU PRESSIU- PARTITORE MONTE PRANU		21724	2.00	1000	10	2.54	10.08
TOT		42064 m					
TRATTO 3.1: STACCO SOLLEVAMENTO ZIRIMILLIS-CENTRALE MURTAS	MEDAU	21088	0.60	900	10	0.94	7.43
TRATTO 2.1: PARTITORE ZIRIMILLIS-INVASO ZIRIMILLIS	MEDAU MEDAU	1435	1.00	1000	10	1.27	7.66
TRATTO 2.2: PARTITORE ZIRIMILLIS-SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS (POSSIBILE RACCORDO)		269	1.00	1000	10	1.27	7.62

Sollevamenti: Alternativa SULCIS A1.1						Pot Totale (kW)
Da	Quota (m c.a.)	a	Quota (m c.a.)	Prevalenza (m c.a.)	P (kW)	
Sollevamento Cixerri	Z min = 27.50	Vasca Medau Zirimillis	Z max = 175.50	H max = 148.00	P max = 1,935.84	P max = 3,898.68
Sollevamento Medau Zirimillis	Z min = 161.09	Vasca Campanassissa	Z max = 311.15	H max = 150.06	P max = 1,962.84	

L'analisi del tratto principale parte dall'impianto di Cixerri dove è previsto un sollevamento di 1 m<sup>3</sup>/s (prevalenza massima di 148 m). Il tratto arriva alla vasca di Medau Zirimillis, (quota massima di funzionamento 165 m slm e minima 162 m slm) dopo il passaggio attraverso il partitore Medau Zirimillis che permette una potenziale deviazione di portata verso l'invaso Medau Zirimillis.

A valle della vasca di Medau Zirimillis, la condotta DN1000 prosegue fino al sollevamento Medau Zirimillis (prevalenza di circa 150 m) che permette di raggiungere la vasca Campanassissa (quota minima 297 m slm). Di qui il funzionamento è a gravità fino all'invaso di Bau Pressiu; la condotta che riparte dal detto invaso è in grado di convogliare fino a 2 m<sup>3</sup>/s (1 m<sup>3</sup>/s fornito dal lago) fino al recapito del partitore Monte Pranu.

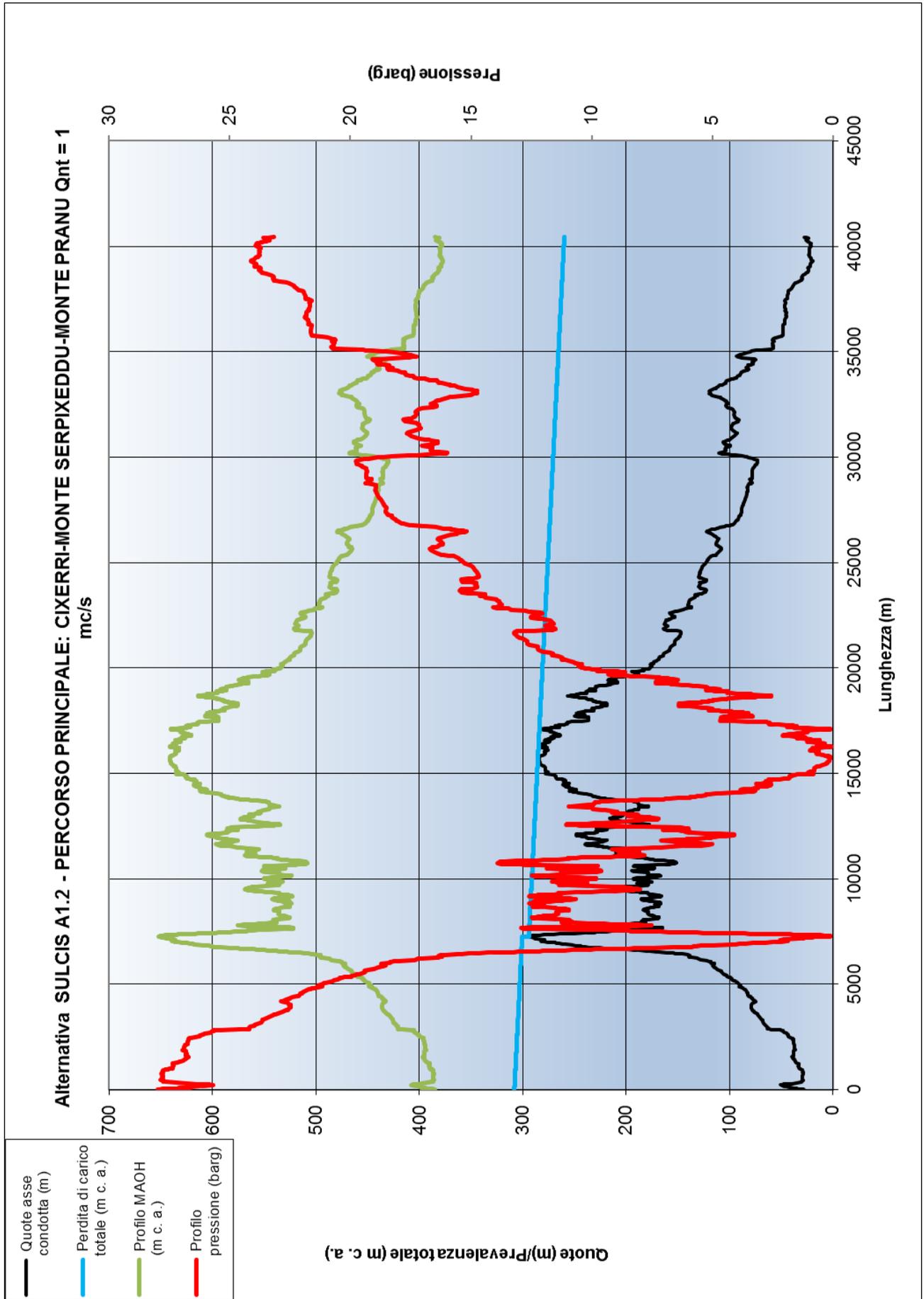


SOLUZIONE A.1.2						
TRATTO	LUNGHEZZA [m]	PORTATA [m <sup>3</sup> /s]	DIAMETRO [mm]	SPESSORE [mm]	V. MAX [m/s]	P MAX [bar]
TRATTO 1: SOLLEVAMENTO CIXERRI-VASCA MONTE SERPIXEDDU	7254	1.00	1000	10	1.27	27.99
TRATTO 2: VASCA MONTE SERPIXEDDU-PARTITORE MONTE PRANU	33175	1.00	1000	10	1.27	24.12
TOT	40429 m					

Alternativa SULCIS A1.2						Pot Totale (kW)
Da	Quota (m c.a.)	a	Quota (m c.a.)	Prevalenza (m c.a.)	P (kW)	
Sollevamento Cixerri	Z min = 27.50	Vasca Monte Serpixeddu	Z max = 308.00	H max = 280.50	P max = 3,668.94	P max = 3,668.94

L'alternativa progettuale A.1.2 prevede la posa di una condotta DN1000 che dal sollevamento Cixerri (1m<sup>3</sup>/s, prevalenza circa 280 m) affianca la condotta esistente fino alla Vasca Monte Serpixeddu.

A valle della vasca una condotta DN1000 convoglia la portata a gravità passando sul coronamento della diga di Bau Pressiu, fino al recapito finale del partitore Monte Pranu.



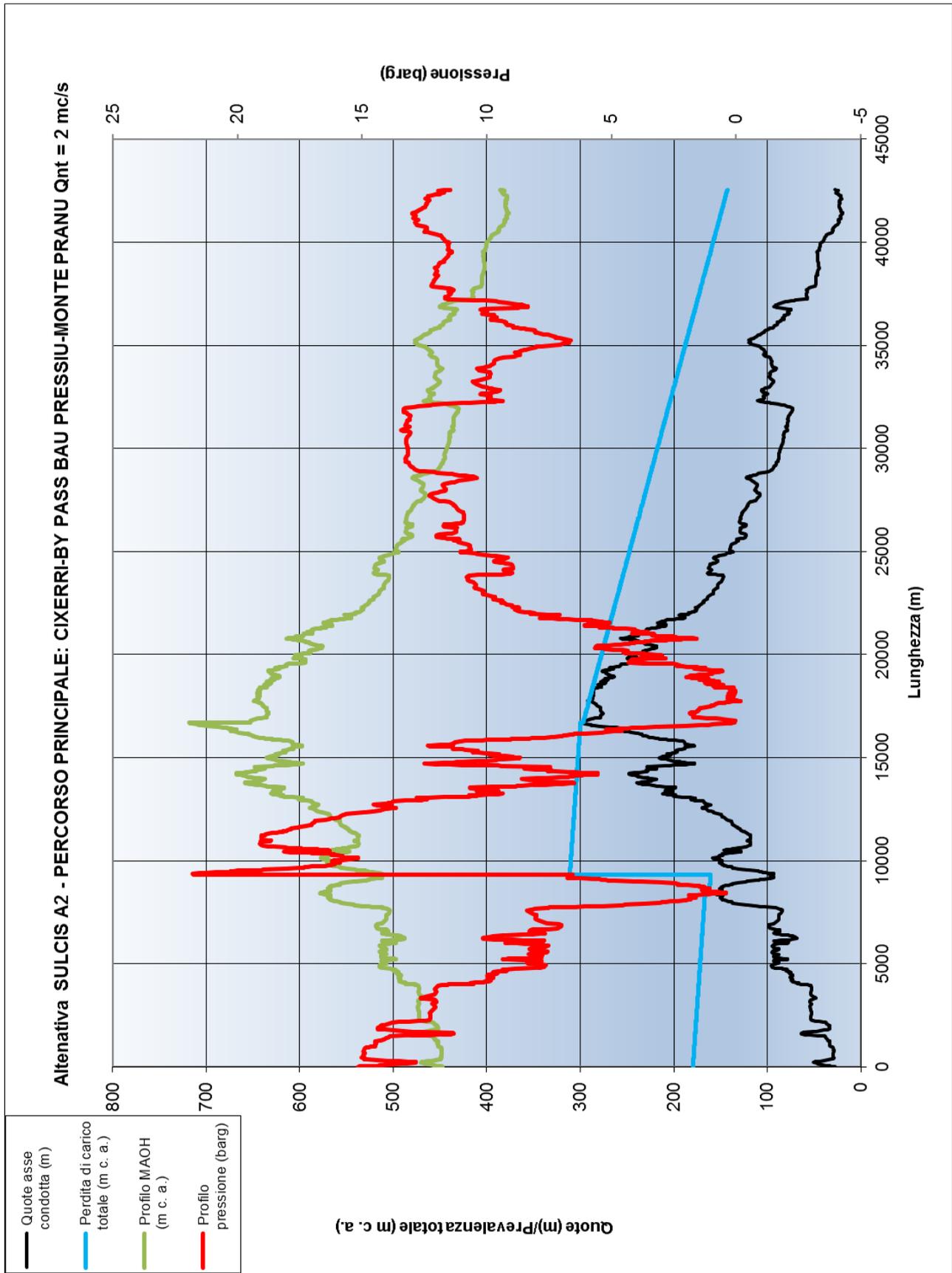
SOLUZIONE A.2						
TRATTO	LUNGHEZZA [m]	PORTATA [m <sup>3</sup> /s]	DIAMETRO [mm]	SPESSORE [mm]	V. MAX [m/s]	P MAX [bar]
TRATTO 1: SOLLEVAMENTO CIXERRI-PARTITORE MEDAU ZIRIMILLIS	7713	2.00	1200	10.0	1.77	15.15
TRATTO 2: PARTITORE MEDAU ZIRIMILLIS-VASCA MEDAU ZIRIMILLIS	702	2.00	1200	10.0	1.77	7.57
TRATTO 3: VASCA MEDAU ZIRIMILLIS-SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS	886	2.00	1200	10.0	1.77	6.78
TRATTO 4: SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS-VASCA CAMPANASSISSA	7388	2.00	1200	10.0	1.77	21.81
TRATTO 5: VASCA CAMPANASSISSA-PARTITORE MONTE PRANU	25839	2.00	1000	10	2.54	13.42
TOT	42529 m					
TRATTO 3.1: STACCO SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS-CENTRALE MURTAS	21088	0.60	900	10	0.94	7.43
TRATTO 2.1: PARTITORE MEDAU ZIRIMILLIS-INVASO MEDAU ZIRIMILLIS	1435	1.00	1000	10	1.27	7.66
TRATTO 2.2: PARTITORE MEDAU ZIRIMILLIS-SOLLEVAMENTO MEDAU ZIRIMILLIS (POSSIBILE RACCORDO)	269	1.00	1000	10	1.27	7.62

Sollevamenti: Alternativa SULCIS A2						Pot Totale (kW)
Da	Quota (m c.a.)	a	Quota (m c.a.)	Prevalenza (m c.a.)	P (kW)	
Sollevamento Cixerri	Z min = 27.50	Vasca Medau Zirimillis	Z max = 179.50	H max = 152.00	P max = 3,976.32	P max = 7,913.77
Sollevamento Medau Zirimillis	Z min = 160.64	Vasca Campanassissa	Z max = 311.15	H max = 150.51	P max = 3,937.45	

Dal punto di vista del tracciato la soluzione A2 ricalca il percorso della soluzione A1.1 fino all'invaso di Bau Pressiu che, contrariamente al caso precedente, viene by-passato.

L'analisi del tratto principale parte dall'impianto di Cixerri dove è previsto questa volta un sollevamento di 2 m<sup>3</sup>/s (prevalenza massima di 152 m). Il tratto arriva alla vasca di Medau Zirimillis, (quota massima di funzionamento 165 m slm e minima 162 m slm) dopo il passaggio attraverso il partitore Medau Zirimillis che permette una potenziale deviazione di portata verso l'invaso Medau Zirimillis.

A valle della vasca di Medau Zirimillis, la condotta DN1200 prosegue fino al sollevamento Medau Zirimillis (prevalenza di circa 150 m) che permette di raggiungere la vasca Campanassissa (quota minima 297 m slm). Di qui il funzionamento è a gravità fino al recapito del partitore Monte Pranu.



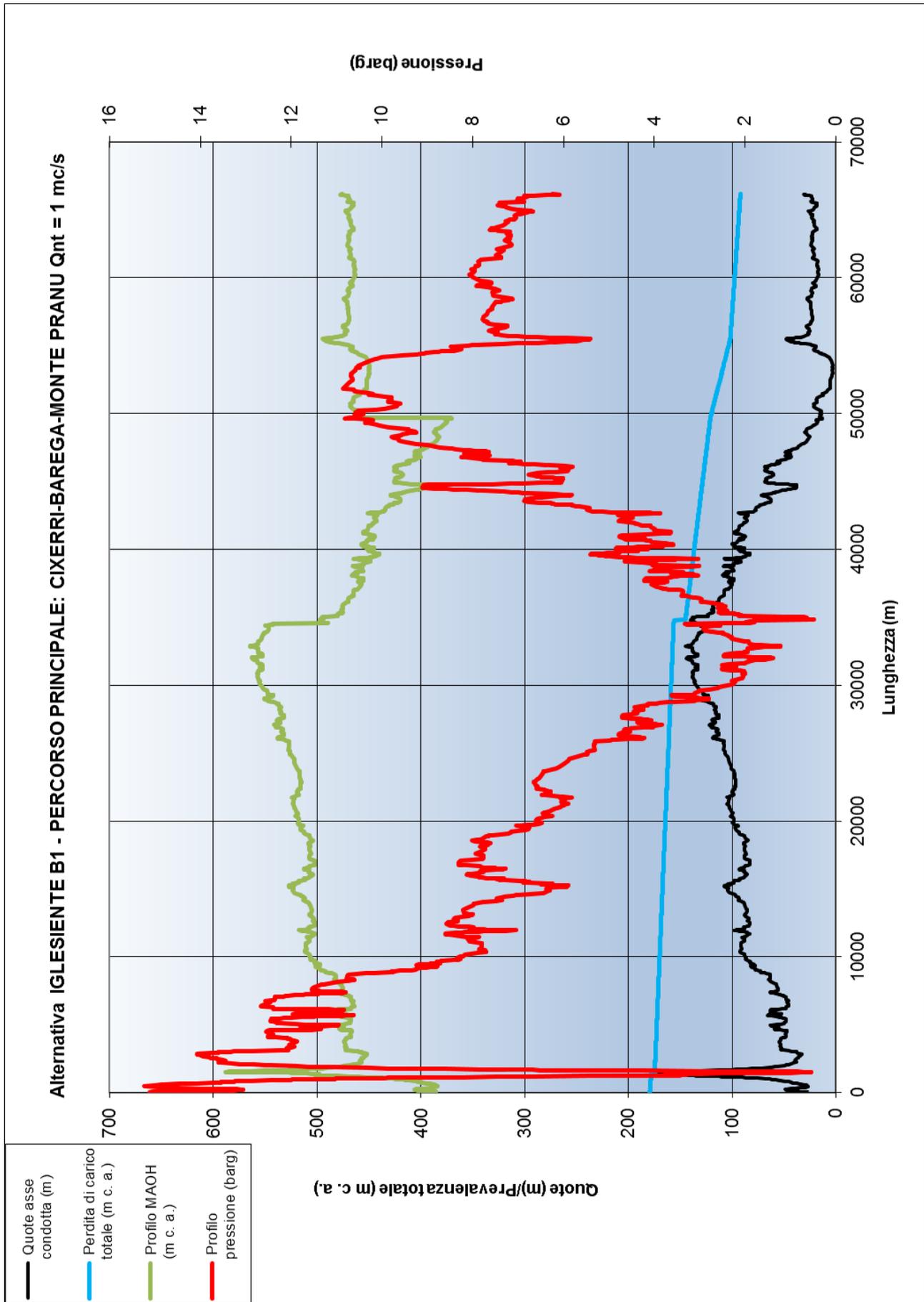
SOLUZIONE B.1						
TRATTO	LUNGHEZZA [m]	PORTATA [m <sup>3</sup> /s]	DIAMETRO [mm]	SPESSORE [mm]	V. MAX [m/s]	P MAX [bar]
TRATTO 1: SOLLEVAMENTO CIXERRI-VASCA MEDAU BECCIU	1463	1.00	1000	7.1	1.27	15.23
TRATTO 2: VASCA MEDAU BECCIU-PARTITORE VILLAMASSARGIA	22133	1.00	1200	10.0	0.89	14.08
TRATTO 3: PARTITORE VILLAMASSARGIA-VASCA COMPENSO BAREGA	11196	1.00	1200	10.0	0.89	6.44
TRATTO 4: VASCA COMPENSO BAREGA-DIRAMAZIONE INDUSTRIALE PORTOVESME	14880	1.00	1000	10	1.27	10.82
TRATTO 5: DIRAMAZIONE INDUSTRIALE PORTOVESME- VASCA SAN GIOVANNI SUERGIU	5832	0.80	800	7.1	1.60	10.85
TRATTO 6: VASCA SAN GIOVANNI SUERGIU-PARTITORE MONTE PRANU	10641	0.40	800	7.1	0.80	8.08
TOT	66149 m					
TRATTO 3.1: PARTITORE VILLAMASSARGIA-CENTRALE MURTAS	5086	0.60	800	7.1	1.20	6.42

Sollevamenti: Alternativa SULCIS B.1						Pot Totale (kW)
Da	Quota (m c.a.)	a	Quota (m c.a.)	Prevalenza (m c.a.)	P (kW)	
Sollevamento Cixerri	Z min = 27.50	Vasca Medau Becciu	Z max = 179.33	H max = 151.83	P max = 1,985.94	P max = 1,985.94

L'analisi del tratto principale parte dall'impianto di Cixerri dove è previsto un sollevamento di 1 m<sup>3</sup>/s (con prevalenza massima di circa 152 m). alla vasca di Medau Becciu.

A valle, la condotta DN1200 prosegue a gravità fino alla vasca di compenso denominata "Barega" (quota minima della vasca 145 m slm) dopo il passaggio attraverso il partitore Villamassargia che permette la deviazione di una portata (fino a 0.6 m<sup>3</sup>/s) verso la centrale Murtas; a valle della vasca "Barega" riparte una condotta DN1000 e dopo circa 15 km si prevede uno stacco che vada ad alimentare l'area industriale di Portovesme (derivazione di 0.2 m<sup>3</sup>/s).

Il tratto prosegue con una condotta DN800 prima fino alla vasca San Giovanni Suergio (derivazione di 0.4 m<sup>3</sup>/s) e infine al recapito del partitore Monte Pranu.



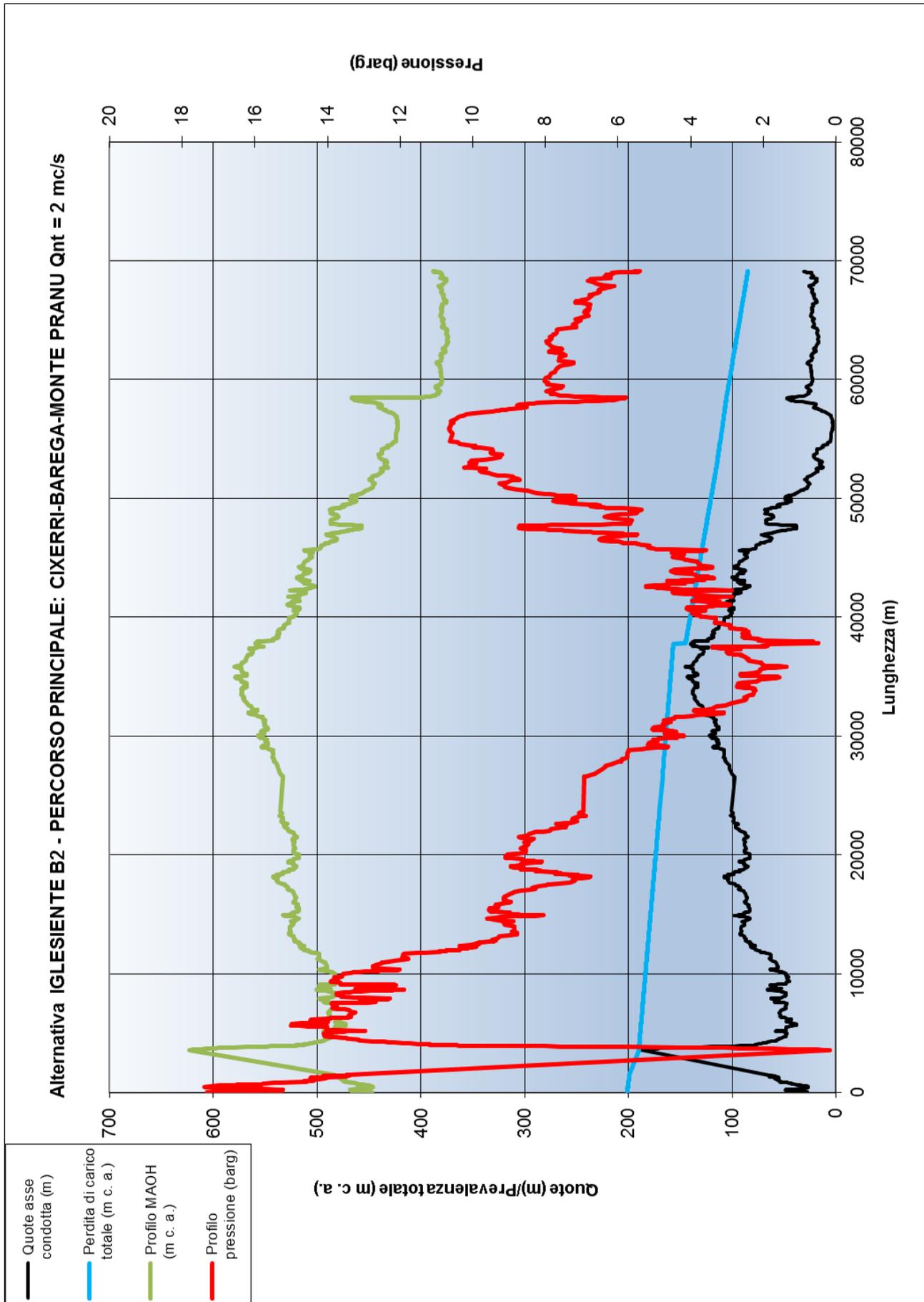
SOLUZIONE B.						
TRATTO	LUNGHEZZA [m]	PORTATA [m <sup>3</sup> /s]	DIAMETRO [mm]	SPESSORE [mm]	V. MAX [m/s]	P MAX [bar]
TRATTO 1: SOLLEVAMENTO CIXERRI-VASCA SA GENNA DE SU CERBU	3557	2.00	1200	10.0	1.77	17.40
TRATTO 2: VASCA SA GENNA DE SU CERBU-PARTITORE VILLAMASSARGIA	22999	2.00	1400	12.1	1.30	15.00
TRATTO 3: PARTITORE VILLAMASSARGIA-VASCA COMPENSO BAREGA	11196	2.00	1400	12.1	1.30	6.93
TRATTO 4: VASCA COMPENSO BAREGA-DIRAMAZIONE INDUSTRIALE PORTOVESME	14880	2.00	1200	10.0	1.77	10.25
TRATTO 5: DIRAMAZIONE INDUSTRIALE PORTOVESME- VASCA SAN GIOVANNI SUERGIU	5832	1.80	1200	10.0	1.59	10.66
TRATTO 6: VASCA SAN GIOVANNI SUERGIU-PARTITORE MONTE PRANU	10641	1.40	1000	10	1.78	8.04
TOT	66149 m					
TRATTO 3.1: PARTITORE VILLAMASSARGIA-CENTRALE MURTAS	5086	0.60	800	7.1	1.20	6.90

Sollevamenti: Alternativa SULCIS B.2						Pot Totale (kW)
Da	Quota (m c.a.)	a	Quota (m c.a.)	Prevalenza (m c.a.)	P (kW)	
Sollevamento Cixerri	Z min = 27.50	Vasca Sa Genna De Su Cerbu	Z max = 201.20	H max = 173.70	P max = 4,543.99	P max = 4,543.99

L'analisi del tratto principale parte dall'impianto di Cixerri dove è previsto un sollevamento di 2 m<sup>3</sup>/s (con prevalenza massima di circa 152 m). alla vasca di Sa Genna de Su Cerbu.

A valle, la condotta DN1400 prosegue a gravità fino alla vasca di compenso denominata "Barega" (quota minima della vasca 145 m slm) dopo il passaggio attraverso il partitore Villamassargia che permette la deviazione di una portata (fino a 0.6 m<sup>3</sup>/s) verso la centrale Murtas; a valle della vasca "Barega" riparte una condotta DN1200 e dopo circa 15 km si prevede uno stacco che vada ad alimentare l'area industriale di Portovesme (derivazione di 0.2 m<sup>3</sup>/s).

Il tratto prosegue con una condotta DN1200 prima fino alla vasca San Giovanni Suergio (derivazione di 0.4 m<sup>3</sup>/s) e con DN1000 i al recapito del partitore Monte Pranu.



#### 4.4.2 ASPETTI GEOLITOLOGICI E MATERIALI DI SCAVO

L'area interessata dalle ipotesi di progetto, partendo dalla diga di Genna is Abis, nel territorio comunale di Uta ed arrivando alla diga di Monte Pranu, nel territorio comunale di Tratalias, si inquadra all'interno della Sardegna meridionale, interessando più in particolare le regioni storiche del Sulcis e del basso Iglesiente. Si tratta di un'area molto estesa in cui il paesaggio è caratterizzato nel suo settore centrale da una morfologia montuosa, racchiusa a nord dalla piana valliva del fiume Cixerri e a sud dal comparto collinare e costiero del Sulcis.

Da un punto di vista geologico nell'area si riscontra una grande variabilità di litotipi, sia da un punto di vista litologico che cronologico, che comprende rocce sedimentarie, metamorfiche, intrusive ed effusive a rappresentare quasi tutti i periodi geologici dal Paleozoico al Quaternario. In generale, le aree pianeggianti e quelle di raccordo con i rilievi sono generalmente caratterizzate dalla presenza in affioramento dei litotipi più recenti, ascrivibili al Quaternario, rappresentati dai depositi alluvionali antichi ed attuali, prodottisi in seguito al trasporto e deposizione del materiale preso in carico da parte dei maggiori corsi d'acqua presenti.

Le aree più acclivi, per contro, sono caratterizzate dall'affioramento dei litotipi più competenti, di età terziaria e di origine vulcanica i più recenti, e di origine sedimentaria e metamorfica i più antichi, ascrivibili al Paleozoico.

##### Alternative di tracciato A

In linea generale si può dire che la parte iniziale del tracciato, a grandi linee il primo quarto, si sviluppa in aree pseudo pianeggianti, e interessa litologie recenti ed attuali, costituite dai depositi ghiaiosi-sabbiosi-limosi di origine alluvionale; si tratta di litologie terrigene più o meno addensate caratterizzate da spessori relativamente modesti, dell'ordine della ventina di metri. Man mano che si procede verso le aree a maggiore acclività, che interessano oltre il 25% dello sviluppo totale, si incontrano i litotipi ascrivibili al basamento metamorfico: si tratta di litologie sedimentarie paleozoiche fortemente deformate dall'orogenesi ercinica e che presentano spesso marcati caratteri di scistosità. Lasciata la regione montuosa, il progetto si sviluppa nuovamente su aree più o meno pianeggianti caratterizzate questa volta dalla presenza dei litotipi terziari, rappresentati dalle coperture vulcaniche in facies ignimbratica riconducibili all'intensa attività vulcanica calco alcalina oligo miocenica che ha interessato la regione del Sulcis, e ancora dalla presenza di depositi ghiaiosi sabbiosi limosi terrazzati antichi e recenti, ed attuali.

##### Alternative di tracciato B

Il tracciato in progetto, a grandi linee si sviluppa per la prima metà fiancheggiando i bordi della valle del Cixerri, impostandosi su litologie terrigene quaternarie e recenti, rappresentate da coltri ghiaiose-sabbiose-limose, sciolte e/o mediamente addensate, generalmente poco cementate, depositatesi ad opera dei corsi d'acqua e caratterizzate sostanzialmente da scheletro clastico.

La seconda metà si sviluppa invece inizialmente sulle litologie lapidee e compatte sedimentarie paleozoiche, caratteristiche delle successioni calcaree dell'iglesiente, per poi impostarsi per la restante parte sulle coperture vulcaniche oligo-mioceniche ignimbriche tipiche del Sulcis, interessando inoltre, anche per tratti rilevanti, i depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi antichi terrazzati tardo pleistocenici costituiti da sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, e i depositi sabbiosi eolici di età wurmiana che, oltre che in facies arenacea, si rinvencono anche come sabbie sciolte. Le litologie vulcaniche riolitiche in facies ignimbratica interessano

l'ultimo quarto del tracciato.

Le analisi economiche condotte nella valutazione del costo delle opere delle diverse alternative sono risultate condizionate dagli aspetti geolitologici e dal carattere qualitativo dei terreni attraversati nel modo seguente:

TIPO DI SCAVO	ALTERNATIVE				
	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2
Scavo in roccia dura	28%	36%	26	15%	16%
Scavi in roccia tenera	23%	21%	24	31%	30%
Scavo in materiale alluvionale	49%	43%	50	54%	54%

L'incidenza percentuale del tracciato contiguo a corsi idrici sottesi a zone minerarie per il quale si è considerato l'onere di bonifica è pari al 5%. Si precisa come le differenze tra le subalternative dell'alternativa A1.1 siano irrilevanti e pertanto i dati soprariportati per l'alternativa A1.1 siano da considerarsi validi per tutte le subalternative

Relativamente agli aspetti di caratterizzazione ambientale delle terre e rocce di scavo e alle correlate opportunità di utilizzo in sito delle stesse, la verifica preliminare dei tracciati considerati, come già indicato nella sezione di inquadramento programmatico degli interventi, non rileva per nessuna di queste condizioni di interferenza diretta con siti indicati dal SIN del Sulcis Iglesiente Guspinese e siti inquinati censiti.

Nell'ambito della fase propedeutica di redazione del previsto piano di utilizzo delle TRS, è attualmente in corso da parte del gruppo di progettazione, la ricerca ed acquisizione presso gli enti competenti della documentazione e delle banche dati disponibili presso questi ultimi, relativi alle pregresse indagini di caratterizzazione condotte nel contesto territoriale di interesse.

Dal quadro conoscitivo che potrà essere definito in seguito agli esiti di tale analisi potranno emergere elementi essenziali al fine della individuazione delle le esigenze di integrazione di indagine da proporre in sede di redazione del piano di utilizzo, finalizzate alla accertamento della sussistenza dei requisiti di qualità ambientale di cui all'art.4 del DPR 120/2017.

#### 4.4.3 ASPETTI AMBIENTALI

##### Alternative di tracciato A

L'alternativa progettuale relativa al tracciato "A" interessa tipologie ambientali differenti, presentando interazioni con territori pianeggianti ad utilizzazione agricola, settori montani e vallivi del Monte Arcosu e ambiti forestati. Il settore presenta un assetto ambientale eterogeneo con seriazione vgetazionale riconducibile alla Serie sarda, termo-mesomediterranea della sughera (*Galio scabri-Quercetum suberis*), alla Serie sarda, termo-mesomediterranea del leccio (*Prasio majoris-Quercetum ilicis*) e al Geosigmeto edafoigrofilo e planiziale (*Populenion albae, Fraxinus angustifoliae-Ulmenion minoris, Salicion albae*). Comprende una porzione territoriale comprendente nell'area vasta habitat e specie animali tutelate da direttive e convenzioni

internazionali, nonché settori ricompresi all'interno di aree tutelate a livello locale e sovra-locale.

Relativamente alla Rete Natura 2000 si evidenzia come parte del tracciato, corrispondente a poco meno di 10 km di estensione lineare, ricada all'interno dei limiti del SIC ITB041105 – “Foresta di Monte Arcosu”, e in tale area l'alternativa progettuale prevede in via prevalente scavi in presenza di roccia dura. Tale sito si caratterizza per l'alternanza di profonde valli e rilievi granitici ospitanti coperture forestali a *Quercus suber* e *Quercus ilex*, lembi di boschi di *Taxus baccata* e *Ilex aquifolium*, corsi d'acqua e vegetazione forestale ripariale, boscaglie a sclerofille sempreverdi; tali aspetti offrono siti strategici per l'etologia di un contingente eterogeneo di specie faunistiche che per il proprio status conservativo sono tutelate da convenzioni e direttive internazionali (tra le altre si citano la Dir. 92/43/CEE e la Dir. 2009/147/CE). Il sito ospita 13 Habitat di interesse comunitario, e si segnala inoltre come un importante crocevia per la conservazione di entità floristiche di rilievo geobotanico e conservazionistico. Relativamente agli Habitat di interesse comunitario definiti ai sensi della Direttiva 92/43/CEE “Habitat” si segnala come settori lineari dell'alternativa “A” interessino prevalentemente gli habitat a mosaico 5210 – “Matorral arborescenti a *Juniperus* spp.” e 5330 – “Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici”, caratterizzati da boscaglie di sclerofille sempreverdi. Sono interessati altresì gli habitat in forma singola e/o mosaicata 9340 – “Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*” e 9330 – “Foreste di *Quercus suber*”, mentre per l'habitat ripariale 92D0 – “Gallerie e forteti ripari meridionali (*Nerio-Tamaricetea* e *Securinegion tinctoriae*) e per l'habitat forestale 9320 – “Foreste di *Olea* e *Ceratonia*” si segnalano limitate interazioni lineari.

L'alternativa progettuale ricade per circa 4,5 km lineari all'interno dei limiti del Parco Naturale Regionale di Gutturu Mannu, istituito ai sensi della L. R. 31/1989, anche in questo caso con previsione di scavi in presenza di roccia dura. Il sito ricade per circa il 70% all'interno dei confini del SIC “Foresta di Monte Arcosu”, ed è analogamente caratterizzato da rilievi superiori ai 1000 metri di altitudine, con formazioni forestali di leccio, sughera, tasso e agrifoglio. Con il SIC sopra citato condivide gli Habitat di interesse comunitario e le specie faunistiche, rappresentando a tal riguardo uno dei più estesi areali occidentali del cervo sardo (*Cervus elaphus corsicanus*).

Si denota inoltre come una porzione del tracciato, corrispondente a circa 750 metri interessata da scavi in terreno sciolto, ricada in concomitanza del “Domo e Castello di Acquafredda”, area di notevole interesse pubblico e vincolata ai sensi dell'art. 136 e 157 del D. Lgs. 42/2004 e s.m.i.; in tale area si segnala inoltre una interazione congiunta dei tracciati A e B, per una estensione totale supplementare di circa 400 metri.

L'alternativa di progetto non ricade all'interno di IBA (*Important Bird Area*) o di Oasi di Protezione Faunistica. Per quanto attiene agli interventi previsti in relazione alla linea C correlati alla alternativa in considerazione, si rileva che l'area prevista per la realizzazione del campo fotovoltaico, interessa una superficie attualmente connotata da condizioni di scarsa sensibilità ecologica e degrado ambientale, in riferimento alla ricorrenza di un impianto di eucalipti, in via di progressivo spontaneo declino e alla diffusa presenza di accumuli abusivi di rifiuti di varia origine e natura.

In termini ambientali, si evidenziano aspetti di impatto positivo correlabili alle opere di progetto, per quanto attiene in particolare l'integrazione della linea nell'ambito dell'alternativa in argomento. In particolare quest'ultima infatti consente oltre al recupero di un significativo potenziale energetico associato al trasferimento della risorsa idrica da Bau Pressiu a Monte Pranu, il perseguimento di obiettivi di sostenibilità ambientale correlati la riduzione delle emissioni di carbonio attraverso l'incremento della produzione da fonti

energetiche rinnovabili. Tale orientamento è coerente sia con gli indirizzi strategici attualmente attribuiti ad ENAS da parte dell'amministrazione regionale, sia con le linee di azione strategiche individuate dal Piano Energetico, Ambientale Regionale reattivi allo sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili; l'integrazione dei sistemi energetici locali, smart grid e smart city.

### Alternative di tracciato B

L'alternativa progettuale relativa al tracciato "B" interessa settori prevalentemente pianeggianti con destinazione d'uso agricola, con marginali interazioni con coperture boscate e/o a macchia. La seriazione vegetazionale principale riscontrabile nel settore è la Serie sarda, termo-mesomediterranea della sughera (*Galio scabri-Quercetum suberis*), e localmente, laddove la frammentazione ecologica indotta dalle attività antropiche è limitata, l'assetto floro-vegetazionale attuale mostra la coerenza con tale seriazione di riferimento. A livello locale sono presenti le condizioni per l'affermazione di coperture boschive o arbustive ripariali del Geosigmeto edafoigrofilo e planiziale (*Populenion albae, Fraxinus angustifoliae-Ulmenion minoris, Salicion albae*), prevalentemente in settori a bassa trasformazione. Sono presenti ambienti faunistici tali da consentire siti idonei all'etologia di specie faunistiche ad ampia distribuzione.

Una porzione del tracciato, corrispondente a circa 1,8 km e interessata da scavi in terreno sciolto, ricade in concomitanza del "Domo e Castello di Acquafredda", area di notevole interesse pubblico e vincolata ai sensi dell'art. 136 e 157 del D. Lgs. 42/2004 e s.m.i.; in tale area si segnala inoltre una interazione congiunta dei tracciati A e B, per una estensione totale supplementare di circa 400 metri.

L'alternativa di progetto non ricade all'interno di aree della Rete Natura 2000, di Parchi Naturali Regionali, di IBA (*Important Bird Area*) o di Oasi di Protezione Faunistica.

### Confronto fra le due alternative

L'analisi delle alternative progettuali mostra come l'Alternativa "A" entri in interazione con taluni Habitat di interesse comunitario presenti all'interno del SIC – "Foresta di Monte Arcosu", e in particolare con gli habitat 5210 – "Matorral arboreescenti a *Juniperus* spp.", 5330 – "Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici", 9340 – "Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*", 9330 – "Foreste di *Quercus suber*", 92D0 – "Gallerie e forteti ripari meridionali (*Nerio-Tamaricetea* e *Securinegion tinctoriae*) e 9320 – "Foreste di *Olea* e *Ceratonia*". L'Alternativa "B" viceversa non presenta sovrapposizioni con aree della Rete Natura 2000 e con Habitat di interesse comunitario in esse contenuti. L'Alternativa "A" presenta interazioni con il Parco Naturale Regionale di Gutturu Mannu, mentre l'Alternativa "B" non presenta sovrapposizioni con Parchi Naturali Regionali. Entrambe le alternative mostrano sovrapposizioni con il "Domo e Castello di Acquafredda", area di notevole interesse pubblico e sottoposta a vincolo.

Relativamente alle interazioni con le componenti paesaggistiche con valenza ambientale si denota come entrambe le alternative entrino in interazione con aree naturali e sub-naturali; in particolare le sovrapposizioni lineari con i "Boschi" e con la "Vegetazione a macchia e in aree umide" sono superiori nella Alternativa progettuale "A". Analogamente, l'analisi delle interazioni con le aree semi-naturali, mostra una sovrapposizione maggiore della Alternativa "A".

Entrambe le Alternative progettuali non mostrano sovrapposizioni con altre superfici tutelate riscontrabili

nell'area vasta, quali IBA (*Important Bird Area*) o di Oasi di Protezione Faunistica.

#### 4.4.4 ASPETTI STORICO-ARCHEOLOGICI

##### Alternative di tracciato A

All'interno delle aree cantiere non si verifica la presenza di nessun bene paesaggistico dell'assetto storico culturale inserito nel repertorio regionale 2017.

Nella tabella seguente sono stati rappresentati i beni paesaggistici dell'assetto storico culturale posti entro una fascia rispettivamente di 90 e di 190 m dall'estremità esterna dell'area di cantiere.

FASCIA	TRACCIATO	TIPO BENE	DENOMINAZIONE	TIPOLOGIA	COMUNE
90 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	MEDAU MASSAS	INSEDIAMENTO SPARSO	SILQUA
90 m	Tracciato A-B	Bene Paesaggistico	NURAGHE SU MOLINU	NURAGHE	TRATALIAS
190 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	MEDAU COREMO	INSEDIAMENTO SPARSO	TRATALIAS
190 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	NURAGHE DE IS ANIMAS	NURAGHE	VILLAPERUCCIO
190 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	NURAGHE COMPLESSO NURAGICO TIRONGIAS	NURAGHE	VILLAPERUCCIO
190 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	NURAGHE SESSINI	NURAGHE	VILLAPERUCCIO
190 m	Tracciato A	Bene Paesaggistico	NURAGHE SESSINI	NURAGHE	VILLAPERUCCIO
190 m	Tracciato A-B	Bene Paesaggistico	MEDAU SAN VITO	INSEDIAMENTO SPARSO	TRATALIAS

##### Alternative di tracciato B

All'interno delle aree cantiere non si verifica la presenza di nessun bene paesaggistico dell'assetto storico culturale inserito nel repertorio regionale 2017.

Nella tabella seguente sono stati rappresentati i beni paesaggistici dell'assetto storico culturale posti entro una fascia rispettivamente di 90 e di 190 m dall'estremità esterna dell'area di cantiere.

FASCIA	TRACCIATO	TIPO BENE	DENOMINAZIONE	TIPOLOGIA	COMUNE
190 m	Tracciato A - B	Bene Paesaggistico	MEDAU SAN VITO	INSEDIAMENTO SPARSO	TRATALIAS
90 m	Tracciato A - B	Bene Paesaggistico	NURAGHE SU MOLINU	NURAGHE	TRATALIAS

FASCIA	TRACCIATO	TIPO BENE	DENOMINAZIONE	TIPOLOGIA	COMUNE
90 m	Tracciato B	Proposta di insussistenza di vincolo	MEDAU CASA MACCIONI	INSEDIAMENTO SPARSO	CARBONIA
190 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	MEDAU PIREDDA - PERDA PISCUA	INSEDIAMENTO SPARSO	CARBONIA
190 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	MEDAU BRAU	INSEDIAMENTO SPARSO	CARBONIA
190 m	Tracciato B	Bene culturale archeologico	IMMOBILE GISTERRU - MACQUARBA	INSEDIAMENTO	SAN GIOVANNI SUERGIU
190 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	NURAGHE PERTIAZZEDDA	NURAGHE	TRATALIAS
90 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	NURAGHE PERTIAZZEDDA	NURAGHE	TRATALIAS
190 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	NURAGHE PARTIAZZEDDA	NURAGHE	TRATALIAS
190 m	Tracciato B	Bene Paesaggistico	INSEDIAMENTO S'ACQUA SALIDA	INSEDIAMENTO	SAN GIOVANNI SUERGIU

#### 4.4.5 ASPETTI PAESAGGISTICI

##### Alternative di tracciato A

Con riferimento all'alternativa A, alcune delle opere previste, seppure per una limitata estensione, ricadono all'interno dell'ambito di paesaggio costiero n. 5 "Anfiteatro del Sulcis". Buona parte degli interventi ricadono invece all'interno degli ambiti di paesaggio interni n. 28 "Sulcis" e n. 29 "Valle del Cixerri".

La struttura dell'ambito di paesaggio n. 28 del Sulcis si caratterizza per l'articolazione territoriale in due componenti strettamente interconnesse tra loro: a est la dominante ambientale dei rilievi di Monte Arcosu – Monte Lattias e dalla valle del Gutturu Mannu; a ovest la regione dei bassopiani di Narcao, Mont'Essu e monte Murdegu.

La regione dei bassipiani si compone delle piane agricole sviluppate lungo le valli del rio Mannu di Narcao-Nuxis, del rio Canneddu di Perdaxius e dal Flumini Mannu di Santadi. Il paesaggio agricolo disegna, sulla superficie pianeggiante e debolmente inclinata dei rilievi, campi chiusi coltivati con la vite alternati da campi con poderi lasciati a seminativi in continuità ai pascoli, che nel corso del tempo hanno ridotto la vegetazione naturale arbustiva.

L'assetto geostrutturale dell'ambito della Valle del Cixerri (ambito n. 29) è impostato sulle evidenze geomorfologiche e litostatigrafiche esito dello sprofondamento tettonico terziario della Valle del Cixerri che da

origine all'ampia valle e allo sviluppo del sistema idrografico.

La struttura complessiva dell'ambito si è sviluppata in base alle relazioni funzionali esistenti fra il corso d'acqua, il corridoio infrastrutturale viario, ferroviario e i centri abitati localizzati in riferimento ai ai suoli e alla diversa predisposizione agli usi agricoli.

Il paesaggio è designato dal rio Cixerri nella parte centrale della valle, dai rilievi montuosi come quinte naturali e dalle superfici ondulate di raccordo alle conoidi pedemontane. La valle del Cixerri costituisce l'asse di collegamento, lungo la direttrice ovest, tra l'area del Sulcis e quella Cagliariitana.

Relativamente alle componenti paesaggistiche con valenza ambientale si evidenzia come le aree naturali e sub-naturali, rappresentate nel settore da Boschi (boschi di latifoglie; boschi misti di conifere e latifoglie) e da Vegetazione a macchia e in aree umide, interessano un tratto complessivo di circa 8,7 km.

Le aree semi-naturali, caratterizzate per la presenza nell'ambito d'intervento da Praterie (prati stabili, aree a pascolo naturale, cespuglietti e arbusteti, gariga, aree a ricolonizzazione naturale), interessano invece circa 2,7 km del tratto interessato dall'intervento.. Le aree ad utilizzazione agroforestale, rappresentate nel settore da aree agroforestali, aree incolte, colture specializzate ed arboree e impianti boschivi artificiali, interessano invece complessivamente circa 52.7 km. .

Nell'ambito di intervento sono presenti Beni paesaggistici tutelati ai sensi degli artt. 142 e 143 del D.Lgs. 42/2004.

Di seguito si riporta un prospetto riepilogativo esito della sovrapposizione del tracciato dell'alternativa in esame con i beni paesaggistici ed identitari.

Riferimento normativo	Bene paesaggistico o identitario	Tracciato A (metri)	Tracciato A-B (metri)
art. 142 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii.	I fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con R.D. 11.12.1933, n.1775 - Fascia di rispetto di 150m	10.757	8.592
	Laghi e territori contermini per una profondità di 300m dalla linea di battigia	9.142	
art. 143 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii	Fiumi, torrenti e corsi d'acqua - Fascia di rispetto di 150m	22.830	11.385
art. 143 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii.	Laghi naturali, invasi artificiali, stagni, lagune	97	
artt. 5 e 9 delle NTA del PPR	Aree dell'organizzazione mineraria	24.104	247
	Parco Geominerario Ambientale e Storico D.M. Ambiente 265/01	39.718	4.690

#### Alternative di tracciato B

Per quanto attiene l'alternativa B, porzioni d'intervento ricadono negli ambiti di paesaggio costiero n. 5 "Anfiteatro del Sulcis" e n.6 "Carbonia e Isole Sulcitane" mentre la restante parte è compresa all'interno dell'ambito di paesaggio interno n. 29 "Valle del Cixerri".

Relativamente alle componenti paesaggistiche con valenza ambientale si evidenzia come le aree naturali e sub-naturali, rappresentate nel settore da Boschi (boschi di latifoglie; boschi misti di conifere e latifoglie) e da Vegetazione a macchia e in aree umide, vedono le interazioni maggiori in concomitanza delle lavorazioni su

roccia dura, interessando un tratto complessivo di circa 2,3 km, inferiore rispetto all'alternativa A.

Le aree semi-naturali, rappresentate nel settore interessato dalla alternativa progettuale dalle Praterie (prati stabili, aree a pascolo naturale, cespuglietti e arbusteti, gariga, aree a ricolonizzazione naturale), dalle Sugherete e dai Castagneti da frutto, prevedono le lavorazioni su roccia dura, roccia tenera e terreno sciolto, per un totale di circa 4,2 km di interazione (superiore rispetto all'alternativa A), la maggior parte destinate a settori comprendenti la categoria delle praterie.

Le aree ad utilizzazione agroforestale, rappresentate nel settore da aree agroforestali, aree incolte, colture specializzate ed arboree e impianti boschivi artificiali, sono interessate da tutte le tipologie di scavo, e vedono le interazioni maggiori con le lavorazioni su terreno sciolto in aree agroforestali e aree incolte. Il tratto complessivo ricadente in aree ad utilizzazione agroforestale è di circa 64,4 km.

Nell'ambito di intervento sono presenti Beni paesaggistici tutelati ai sensi degli artt. 142 e 143 del D.Lgs. 42/2004.

Di seguito si riporta un prospetto riepilogativo esito della sovrapposizione del tracciato dell'alternativa in esame con i beni paesaggistici ed identitari.

Rispetto all'alternativa A si può osservare come un tratto complessivo di quasi 6 km dell'intervento ricada all'interno della fascia costiera.

Riferimento normativo	Bene paesaggistico o identitari	Tracciato A-B (metri)	Tracciato B (metri)
art. 142 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii.	I fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con R.D. 11.12.1933, n.1775 - Fascia di rispetto di 150m	8.592	11.021
	Laghi e territori contermini per una profondità di 300 m dalla linea di battigia		1.219
art. 143 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii	Fascia costiera		5.973
	Fiumi, torrenti e corsi d'acqua - Fascia di rispetto di 150m	11.385	15.997
art. 143 D.Lgs. 42/2004 e ss.mm.ii.	Laghi naturali, invasi artificiali, stagni, lagune		13
	Zone umide costiere		623
artt. 5 e 9 delle NTA del PPR	Aree dell'organizzazione mineraria	247	22.106
	Parco Geominerario Ambientale e Storico D.M. Ambiente 265/01	4.690	32.223

#### 4.4.6 STIMA DEI COSTI DI INVESTIMENTO

La stima dei costi d'investimento deriva, come già riportato, dall'applicazione delle analisi di costo delle macrocategorie di lavorazioni agli sviluppi quantitativi di ciascuna, valutati opportunamente per mezzo delle elaborazioni grafiche costituenti la presente fase di studio.

In particolare i costi parametrici applicati in relazione alla natura geologica dei suoli attraversati fanno riferimento agli sviluppi quantitativi riassunti nell'allegate cinque cartografie su base C.T.R. intitolate "Tracciati con indicazioni litologiche su base CTR"

Di seguito è riportata, distinta nelle differenti alternative di tracciato, la stima dei costi dei soli lavori con

esclusione delle somme a disposizione della Stazione Appaltante nell'ipotesi di utilizzo di condotte in acciaio con rivestimento esterno poliuretano ed interno di tipo avendo assunto quale dato economico di fornitura della tubazione quello il minore tra quelli derivanti dalle indagini di mercato condotte dall'RTP e da ENAS

Costo complessivo soluzioni progettuali con tubazioni in acciaio analizzate con i prezzi di fornitura derivanti dall'indagine di mercato preliminare promossa dal R.T.P (rivestimento esterno poliuretano 1000 micron e rivestimento interno epossidica 250 micron)										
SEZIONE DI SCAVO	Unità misura	Soluzione A2	Soluzione A1.1 A	Soluzione A1.1 B	Soluzione A1.1 C	Soluzione A1.1 D	Soluzione A1.2	Soluzione B1	Soluzione B2	Soluzione A1.2+B1*
TIPO_A (scavo in terreno agrario)	m	€ 15.763.751,37	€ 15.723.986,33	€ 15.657.968,13	€ 15.657.968,13	€ 15.657.968,13	€ 8.548.417,24	€ 24.617.406,84	€ 33.247.340,29	€ 28.799.321,31
TIPO_B (scavo con presenza di roccia tenera)	m	€ 8.677.490,84	€ 7.806.694,20	€ 7.806.694,20	€ 7.806.694,20	€ 7.806.694,20	€ 5.015.974,01	€ 14.862.573,67	€ 20.111.790,33	€ 18.140.375,90
TIPO_C (scavo con presenza di roccia dura)	m	€ 9.521.625,33	€ 8.003.119,97	€ 7.913.613,82	€ 7.913.613,82	€ 7.913.613,82	€ 7.919.119,63	€ 5.316.074,99	€ 8.034.758,91	€ 11.804.765,50
TIPO_H (scavo in terreno agrario con aggettamento)	m	€ 2.198.129,56	€ 2.106.738,84	€ 2.106.738,84	€ 2.106.738,84	€ 2.106.738,84	€ 1.618.626,25	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.618.626,25
TIPO_P su versante (presenza di roccia tenera)	m	€ 708.535,98	€ 637.823,16	€ 637.823,16	€ 637.823,16	€ 637.823,16	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_R su versante (presenza di roccia dura)	m	€ 5.364.285,40	€ 7.893.223,66	€ 9.686.872,93	€ 8.621.979,03	€ 7.345.251,41	€ 4.919.780,72	€ 0,00	€ 0,00	€ 4.919.780,72
TIPO_N su strada (presenza di roccia dura)	m	€ 1.524.105,12	€ 400.015,47	€ 0,00	€ 845.032,68	€ 265.010,25	€ 1.524.105,12	€ 0,00	€ 0,00	€ 1.524.105,12
TIPO_S sub-lacuale (presenza di roccia dura)		€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 979.809,30	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_Q1 (scavo galleria L=580m)	cad	€ 0,00	€ 3.558.108,12	€ 3.558.108,12	€ 3.558.108,12	€ 3.558.108,12	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
TIPO_Q2 (scavo galleria L=970m)	cad	€ 0,00	€ 4.686.055,54	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Sovrapprezzo per smaltimento in discarica speciale con apporto di nuovo materiale delle tratte potenzialmente interessate da contaminazione antropica (5% del volume scavato)	m	€ 578.382,58	€ 607.621,89	€ 607.621,89	€ 607.621,89	€ 607.621,89	€ 223.166,45	€ 338.252,33	€ 340.582,65	€ 561.418,78
Pezzi speciali (curve)	cad	€ 897.104,00	€ 787.696,00	€ 774.112,92	€ 799.592,92	€ 804.856,00	€ 647.400,00	€ 975.260,00	€ 1.379.768,00	€ 1.495.260,00
Blocchi ancoraggio curve orizzontali	cad	€ 514.541,48	€ 488.048,64	€ 475.570,42	€ 497.638,39	€ 497.638,39	€ 262.419,75	€ 281.990,87	€ 465.060,26	€ 513.306,79
Blocchi ancoraggio curve verticali	cad	€ 203.760,03	€ 179.630,71	€ 181.434,38	€ 191.193,22	€ 191.193,22	€ 123.274,08	€ 249.906,69	€ 352.740,39	€ 347.267,63
Sfiati	cad	€ 984.318,24	€ 1.038.070,49	€ 1.038.070,49	€ 1.092.202,28	€ 1.092.202,28	€ 725.022,27	€ 1.281.575,78	€ 1.307.708,58	€ 1.692.750,99
Scarichi alta pressione	cad	€ 251.708,86	€ 338.586,60	€ 338.586,60	€ 338.586,60	€ 338.586,60	€ 210.521,17	€ 332.351,85	€ 356.889,09	€ 451.653,63
Scarichi bassa pressione	cad	€ 1.453.614,34	€ 1.482.883,07	€ 1.482.883,07	€ 1.581.715,48	€ 1.581.715,48	€ 1.077.369,76	€ 1.810.908,31	€ 1.837.542,65	€ 2.451.038,70
Attraversamenti rii principali	cad	€ 215.420,40	€ 298.890,60	€ 298.890,60	€ 298.890,60	€ 298.890,60	€ 77.354,90	€ 432.542,40	€ 364.014,90	€ 438.657,70
Attraversamenti rii secondari	cad	€ 506.174,00	€ 583.157,90	€ 583.157,90	€ 583.157,90	€ 583.157,90	€ 288.477,40	€ 663.406,70	€ 696.378,10	€ 649.427,40
Attraversamenti strada sterrata	cad	€ 50.537,13	€ 54.130,54	€ 54.001,40	€ 56.923,80	€ 56.923,80	€ 26.181,08	€ 97.968,59	€ 104.822,35	€ 99.907,84
Attraversamenti strada vicinale	cad	€ 189.430,61	€ 196.731,55	€ 195.996,45	€ 197.944,72	€ 197.944,72	€ 151.863,37	€ 223.964,47	€ 262.148,99	€ 327.035,19
Attraversamenti strada asfaltata	cad	€ 79.610,25	€ 140.573,31	€ 143.999,58	€ 147.425,85	€ 140.573,31	€ 63.392,93	€ 193.216,02	€ 200.928,27	€ 206.017,63
Attraversamenti con spingitubo	cad	€ 410.680,38	€ 410.680,38	€ 616.020,57	€ 410.680,38	€ 410.680,38	€ 0,00	€ 410.680,38	€ 410.680,38	€ 410.680,38
Sola condotta		€ 50.093.206	€ 57.422.467	€ 54.158.165	€ 53.951.532	€ 53.073.002	€ 33.422.466	€ 52.088.080	€ 69.473.154	€ 76.451.397
Opere civili manufatti		€ 3.530.000	€ 4.800.000	€ 4.800.000	€ 4.800.000	€ 4.800.000	€ 2.465.000	€ 2.885.000	€ 2.885.000	€ 3.790.000
Opere elettromeccaniche manufatti		€ 2.362.000	€ 2.310.000	€ 2.310.000	€ 2.310.000	€ 2.310.000	€ 1.552.750	€ 1.235.000	€ 1.633.000	€ 2.330.000
Importo lavori		€ 55.985.206	€ 64.532.467	€ 61.268.165	€ 61.061.532	€ 60.183.002	€ 37.440.216	€ 56.208.080	€ 73.991.154	€ 82.571.397
Importo lavori (con relativi oneri sicurezza**)		€ 57.552.792	€ 66.339.376	€ 62.983.674	€ 62.771.255	€ 61.868.126	€ 38.488.542	€ 57.781.906	€ 76.062.906	€ 84.883.397
Opere valorizzazione energetica (con relativi oneri sicurezza**)		-	€ 9.580.960	€ 9.580.960	€ 9.580.960	€ 9.580.960	-	-	-	-
Costo complessivo (con relativi oneri sicurezza**)		€ 57.552.792	€ 75.920.336	€ 72.564.634	€ 72.352.215	€ 71.449.086	€ 38.488.542	€ 57.781.906	€ 76.062.906	€ 84.883.397
INCIDENZA TRATTE										
Opere valorizzazione energetica Monte Pranu (con relativi oneri sicurezza**)		-	€ 9.580.960	€ 9.580.960	€ 9.580.960	€ 9.580.960	-	-	-	-
Opere valorizzazione energetica Bau Pressiu (con relativi oneri sicurezza**)		-	€ 421.480	€ 421.480	€ 421.480	€ 421.480	-	-	-	-
Tratto partitore Medau Zirimilis_Sollevamento ponte Murtas (con relativi oneri sicurezza**)		-	€ 14.940.667	€ 14.940.667	€ 14.940.667	€ 14.940.667	-	-	-	-
Tratto rilascio diga Bau Pressiu-Diga Bau Pressiu (con relativi oneri sicurezza**)		-	€ 7.209.626	€ 4.091.172	€ 3.878.753	€ 2.970.214	-	-	-	-
Eventuale primo lotto (con relativi oneri sicurezza**)		€ 57.552.792	€ 43.767.603	€ 43.530.354	€ 43.530.354	€ 43.535.765	€ 38.488.542	€ 57.781.906	€ 76.062.906	€ 84.883.397
* Alternativa B1 interrotta a Portovesme										
** Dato da piano preliminare della sicurezza										

#### 4.4.7 STIMA DEI COSTI DI ESERCIZIO IN ASSENZA DI VALORIZZAZIONE ENERGETICA

In termini generali, coerentemente all'attuale livello di studio, la stima dei costi d'esercizio nelle diverse alternative progettuali in assenza di contributi di valorizzazione energetica è principalmente costituita dai costi di sollevamento della risorsa idrica, ritenendo in questa fase non significativi e, soprattutto, al fine del raffronto, equivalenti per le diverse alternative gli altri oneri.

I costi di sollevamento sono, evidentemente, dipendenti oltre che dalle caratteristiche idrauliche del sistema (portata e pressione) anche dal tempo per cui il sollevamento è esercitato, esprimibile anche come volume d'acqua sollevato nel corso dell'anno.

In tal senso si è ricavato dalle informazioni acquisibili dagli studi primari posti a base di gara il seguente riparto d'utilizzo dell'acqua proveniente dal sistema Tirso – Flumendosa.

OBIETTIVO	Descrizione	Volume annuo trasferimento (Mm <sup>3</sup> /anno)	Portata massima (l/s)
<b>Obiettivo 1</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici del Sulcis all'invaso di Monte Pranu	15	1000
<b>Obiettivo 2</b>	Integrazione/sostituzione fabbisogni schema NPRGA Sulcis a Bau Pressiu	1	*
<b>Obiettivo 3</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici irrigui nella piana del Sulcis (irrigazione di soccorso)	*	*
<b>Obiettivo 4</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici area industriale di Portovesme	3,5	200
<b>Obiettivo 5</b>	Integrazione dei fabbisogni idrici dell'Iglesiente (basso ed alto Cixerri)	6,5	800**
	<b>Totale</b>	26	2000

\* ricompresa nella massima di integrazione a Monte Pranu

\*\* di cui 600 l/s alla centrale di Ponte Murtas

In relazione ai volumi idrici sopra riassunti, indipendentemente dalla loro stagionalità e dalle caratteristiche idrauliche ed infrastrutturali ipotizzate nelle diverse alternative studiate, il sistema di trasferimento sarà gravato dai seguenti carichi energetici di esercizio, laddove qualora applicato il costo dell'energia (150 €/MWh) mantenuto identico a quello degli studi di fattibilità ENAS per una confrontabilità dei risultati, apre scenari di costi gestionali molto impegnativi.

CARATTERISTICA DEL SISTEMA IDRICO	ALTERNATIVE					
	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2 + B.1
Qmax direttrice Sulcis (mc/s)	1,0	1,0	2,0	0,0	0,0	1,0
Volume direttrice Sulcis (Mmc)	16,0	16,0	16,0	0,0	0,0	16,0
Qmax direttrice Iglesiente (mc/s)	1,0	0,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Volume direttrice Iglesiente (Mmc)	6,5	0,0	6,5	25,0	25,0	10,0
Dislivello Cixerri - Medau Zirimillis (m)	133,5		133,5			
DN tubazione (mm)	1000,0		1200,0			
Lunghezza tubazione (m)	8415,0		8415,0			
Sollevamento Cixerri - Medau Zirimillis (m)	144,23		149,74			
Dislivello Medau Zirimillis - Campanasissa (m)	133,5		152,0			
DN tubazione (mm)	1000,0		1200,0			
Lunghezza tubazione (m)	7547,0		8433,0			
Sollevamento Medau Zirimillis - Campanasissa (m)	144,25		168,28			
Dislivello Cixerri - Serpixeddu (m)		269,5				
DN tubazione (mm)		1000,0				
Lunghezza tubazione (m)		7254,0				
Sollevamento Cixerri - Serpixeddu (m)		278,75				
Dislivello Cixerri - Medau Becciu (m)				149,6		
DN tubazione (mm)				1000,0		
Lunghezza tubazione (m)				1464,0		
Sollevamento Cixerri - Medau Becciu (m)				151,45		
Dislivello Cixerri - Sa Genna de Su Cerbu (m)					165,5	
DN tubazione (mm)					1200,0	
Lunghezza tubazione (m)					3557,0	
Sollevamento Cixerri - Sa Genna de su Cerbu (m)					172,37	
Dislivello Cixerri - Medau Becciu (m)						149,6
DN tubazione (mm)						1000,0
Lunghezza tubazione (m)						1464,0
Sollevamento Cixerri - Medau Becciu (m)						151,45
Dislivello Cixerri - Serpixeddu (m)						269,50
DN tubazione (mm)						1000,00
Lunghezza tubazione (m)						7254,00
Sollevamento Cixerri - Serpixeddu (m)						278,75
Potenza del sistema idrico (MW)	2,4	1,9	2,6	1,6	1,9	2,6
Consumo elettrico del sistema idrico (MWh)	21.004,63	16.869,47	22.927,64	14.320,75	16.298,86	22.597,77

#### 4.4.8 STIMA DEI COSTI DI ESERCIZIO IN PRESENZA DI VALORIZZAZIONE ENERGETICA

Riscontrata la dimensione energetica gravante sulle ipotesi progettuali di trasferimento idrico tra i bacini, è necessario spostare l'attenzione sul potenziale produttivo che le stesse ipotesi intrinsecamente contengono e che rappresenta un'opportunità di valorizzazione dell'iniziativa.

La valorizzazione energetica del trasferimento idrico riguarda, evidentemente, solamente l'ipotesi realizzativa che transita attraverso il Sulcis (alternative di tipo A) ed in particolare è stata qui sviluppata con riferimento alla sola ipotesi di tracciato A.1.1.b stante la ricaduta piezometrica, compresa tra l'altura su cui è posta la vasca di Campanasissa e l'invaso di Monte Pranu, attraverso il lago di Bau Pressiu.

La valorizzazione energetica del trasferimento idrico è già stata oggetto di approfondita analisi da parte di ENAS nell'ambito degli studi propedeutici alla presente fase progettuale e definisce un beneficio di particolare valore in quanto prevalentemente destinata a determinare facilitazioni energetiche all'esistente schema di utenze irrigue sottese all'invaso di Monte Pranu a servizio dei compresori di Tratalias, San Giovanni Sergiu,

Giba e Masainas.

Nella sostanza, la valorizzazione delle potenzialità energetiche del sistema di trasferimento idrico tra i bacini del sistema Iglesiente - Sulcis, si incentra su due iniziative indipendenti l'una dall'altra:

- una centrale che produca i benefici idroelettrici del trasferimento idrico tra il serbatoio di Campanasissa ed il lago di Bau Pressiu;
- un centrale di turbinaggio/ sollevamento tra i bacini di Bau Pressiu e Monte Pranu, con annesso campo fotovoltaico nei pressi della diga di valle, che surroghi, in autoconsumo, tutto il fabbisogno energetico del sollevamento irriguo necessario oltre a fruire in termini di produzione idroelettrica della quota di surplus rispetto tali fabbisogni.

#### 4.4.8.1 LA CENTRALE IDROELETTRICA DI BAU PRESSIU

La valorizzazione energetica del trasferimento idrico tra la vasca di Campanasissa e l'invaso di Bau Pressiu è costituita da una centrale di produzione idroelettrica che ne sfrutta il salto geodetico di circa 60 metri.

Si tratta, per definizione dei tracciati delle varie alternative progettuali, di un'opzione attribuibile solamente al caso A.1.1., essendo quest'ultimo l'unico che interagisce con il bacino d'accumulo di Bau Pressiu.

Le condizioni al contorno che definiscono dimensione, tipo e resa della centrale sono, evidentemente, le geometrie del sistema ed i dati idraulici di funzionamento come di seguito riportato

CENTRALE DI BAU PRESSIU					
ALTERNATIVA	Volume annuo (mc)	H netto (m)	Q max (l/s)	Potenza (kW)	Tipo Turbina
A.1.1	15.000.000	44	1.000	324	Francis

La precisa valutazione dell'entità della valorizzazione energetica della centrale di Bau Pressiu necessiterebbe della piena conoscenza di logiche gestionali non attualmente note.

Se da un lato il tracciato della subalternativa valutata come più convincente (la A.1.1.b) presenta una linea dei carichi piezometrici che non offre margini energetici è altrettanto vero che non è dato di conoscere quanto del trasferimento idrico sia destinato all'integrazione potabile di Bau Pressiu e quindi al rilascio nell'invaso con il connesso margine di sfruttamento energetico.

In tal senso lo sviluppo del progetto di fattibilità tecnico ed economico ha stimato una producibilità energetica pari alla media delle due opzioni (1) e (2) rappresentate dallo scarico diretto in lago (ipotesi più fattiva dal punto di vista energetico e rappresentata negli elaborati grafici del PFTE) ed il mantenimento di una quota piezometrica residua a valle del turbinaggio (ipotesi possibile in presenza di un gruppo turbina tipo Francis) tale da assicurare l'alimentazione dell'acquedotto esistente a valle dell'invaso.

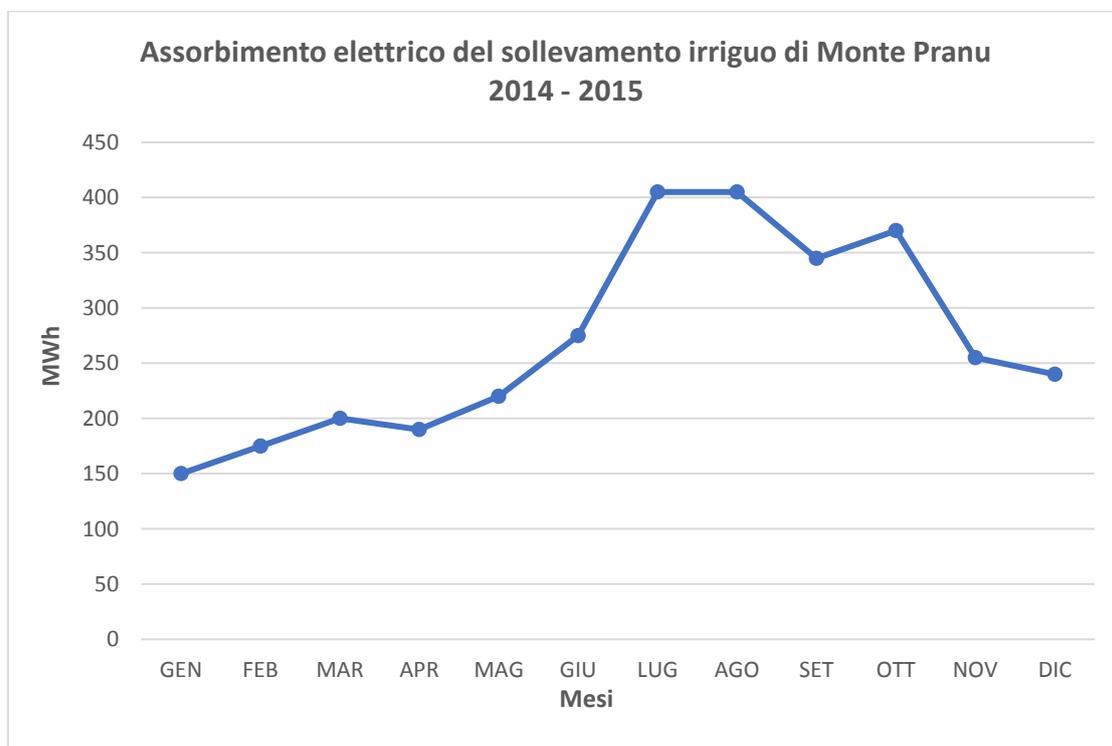
Quest'impostazione risulterà abbondantemente sovrastimata per la centrale di Bau Pressiu nel caso di una scelta gestionale che premi marcatamente il trasferimento idrico a Monte Pranu attraverso la subalternativa A.1.1.b ma, di contro, si produrrebbe un corrispondente miglioramento di produzione nella centrale a cessione dedicata di Monte Pranu. Sebbene in tal caso ne conseguirebbe una gestione piuttosto macchinosa al fine di differenziare i momenti di adduzione a Monte Pranu da Campanasissa (a prevalenza maggiore) da quelli di adduzione dal lago di Bau Pressiu (a prevalenza minore), si ritiene che al livello progettuale attuale si possa sostenere correttamente l'equipollenza energetica delle varie subalternative A.1.1, rinviando ad un momento

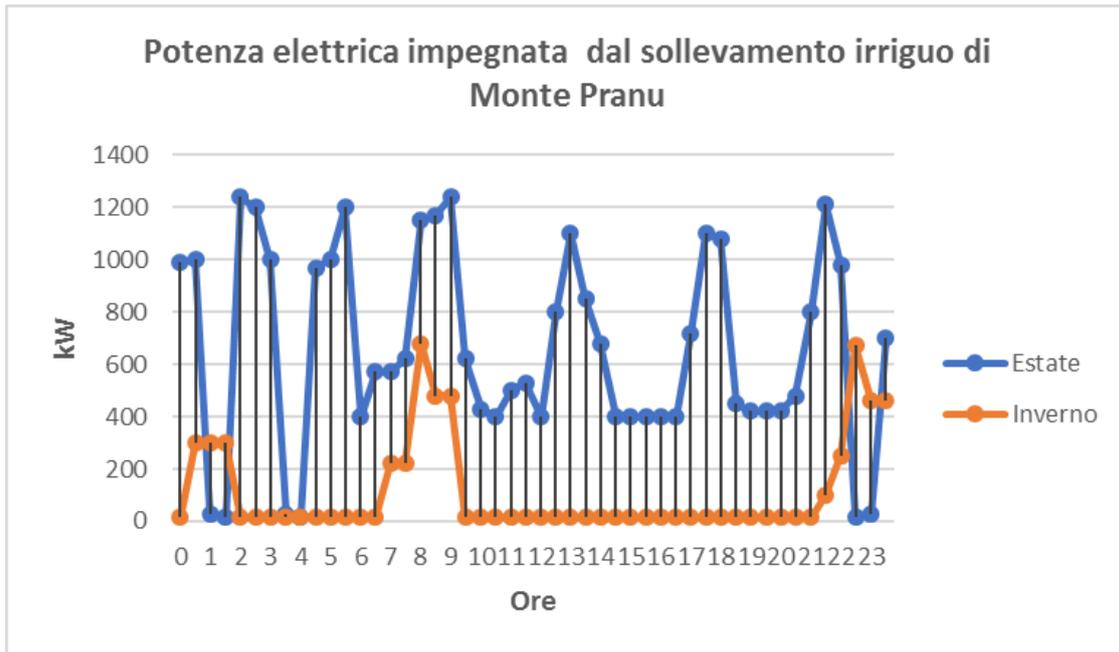
successivo l'opportunità o meno di prevedere la realizzazione della centrale di Bau Pressiu in funzione della subalternativa premiata.

CENTRALE DI BAU PRESSIU					
ALTERNATIVA	Volume annuo (mc)	Q media (l/s)	Potenza (1) (kW)	Potenza (2) (kW)	Produzione (kWh)
A.1.1	15.000.000	475,65	178,98	150,79	1.444.388
A.1.2	-	-	-	-	-
A.2	-	-	-	-	-
B.1	-	-	-	-	-
B.2	-	-	-	-	-
A1.2 + B1 rid.	-	-	-	-	-

#### 4.4.8.2 LA CENTRALE DI TURBINAGGIO/SOLLEVAMENTO ED IL CAMPO FOTOVOLTAICO DI MONTE PRANU

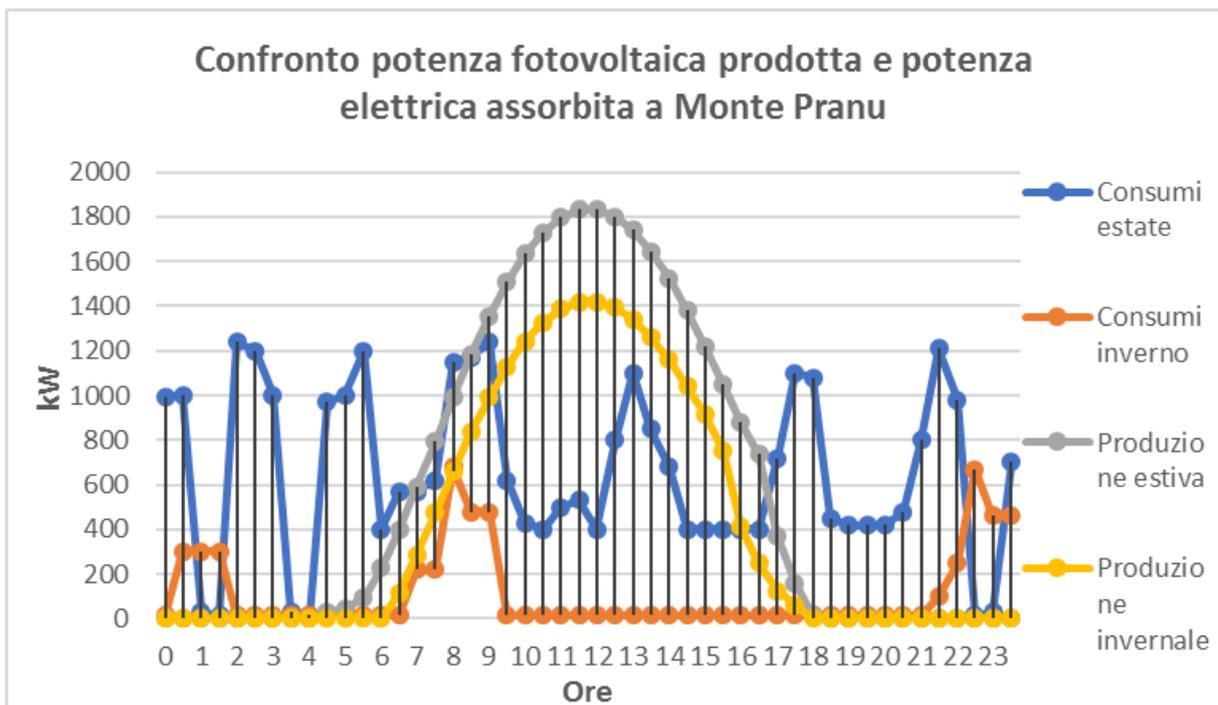
L'organizzazione dello schema di opere destinate alla valorizzazione economica nasce dalla constatazione di come lo schema dell'utilizzo idrico alimentato dalla diga di Monte Pranu sia notevolmente energivoro. In tale senso di seguito sono riportati i diagrammi dell'involuppo dei consumi elettrici massimi e dell'andamento orario della potenza impegnata estratti dai dati dei già citati studi cautelativamente assunti nel valore massimo tra i due anni campione.





Dal grafico precedentemente riportato è discesa la scelta progettuale di dimensionare il parco fotovoltaico in modo tale da coprire il fabbisogno del mese di massimo consumo (ovviamente luglio ed agosto trattandosi di utenze irrigue). Per sua stessa natura si tratta di energia prodotta e scambiata con il sistema di sollevamento irriguo pressoché totalmente in fascia F1 con potenza di picco, dati i rendimenti dei pannelli in commercio e la quota di autoconsumo, che deve raggiungere il valore di 2,5 MWp.

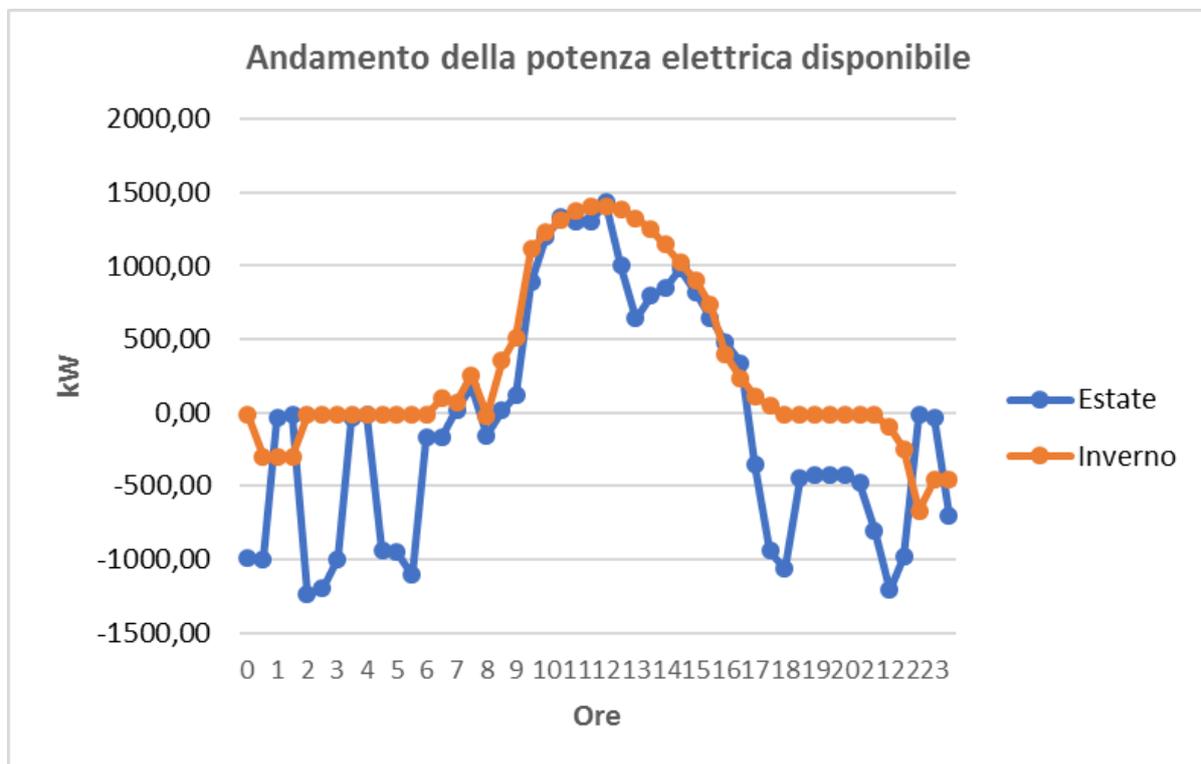
Se si considera un parco fotovoltaico di circa 18.000 m<sup>2</sup> di pannelli la curva della produzione generata geolocalizzata è così rappresentabile e sovrapponibile con quella della potenza elettrica assorbita dal sollevamento irriguo di Monte Pranu in precedenza esposta, sia nella configurazione estiva che in quella invernale.



Come si può notare l'utilizzo del codice di calcolo CLIMATE SAF PVGIS applicato alle coordinate 39°05'42.25" N e 8°35'12.31" (Tratalias) è un po' più conservativo relativamente al dato dell'efficienza reale in condizioni d'irraggiamento estivo rispetto ai valori sviluppati nello studio ENAS e suggerisce quale potenza reale il valore massimo di 1832 kW anche in relazione al decadimento nel tempo di tale parametro.

L'area compresa tra il grafico delimitato dalla linea grigia e quella blu consente di stimare, a passo di mezz'ora, la disponibilità di potenza da dedicare alle utenze di Monte Pranu in condizione estiva, mentre l'area compresa tra il grafico delimitato dalla linea gialla e quella arancio fornisce l'equivalente dato ma in condizioni invernali.

Riportando nel seguente grafico, invece, la differenza tra le curve omologhe per coerenza stagionale, si ricava per queste due condizioni campione il dato della potenza elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico e disponibile in quanto non impegnata istantaneamente per il sollevamento irriguo di Monte Pranu (+) o la quota di potenza elettrica da integrare in quanto carente (-).



Come riscontrabile da tale grafico l'impianto fotovoltaico rende disponibile in entrambi i periodi stagionali una certa entità di potenza elettrica al netto dei consumi della centrale di Monte Pranu:

- nel periodo estivo con un picco di 1.432 kW nella fascia oraria tra le 7,30 e le 17,00;
- nel periodo invernale con un picco di 1.404 kW nella fascia oraria tra le 7,30 e le 18,00;

Differentemente, la centrale di sollevamento di Monte Pranu risulta carente di fornitura elettrica nel periodo notturno:

- nel periodo estivo per potenze con un picco di 1.200 kW nella fascia oraria tra le 0,00 e le 7,30 e tra

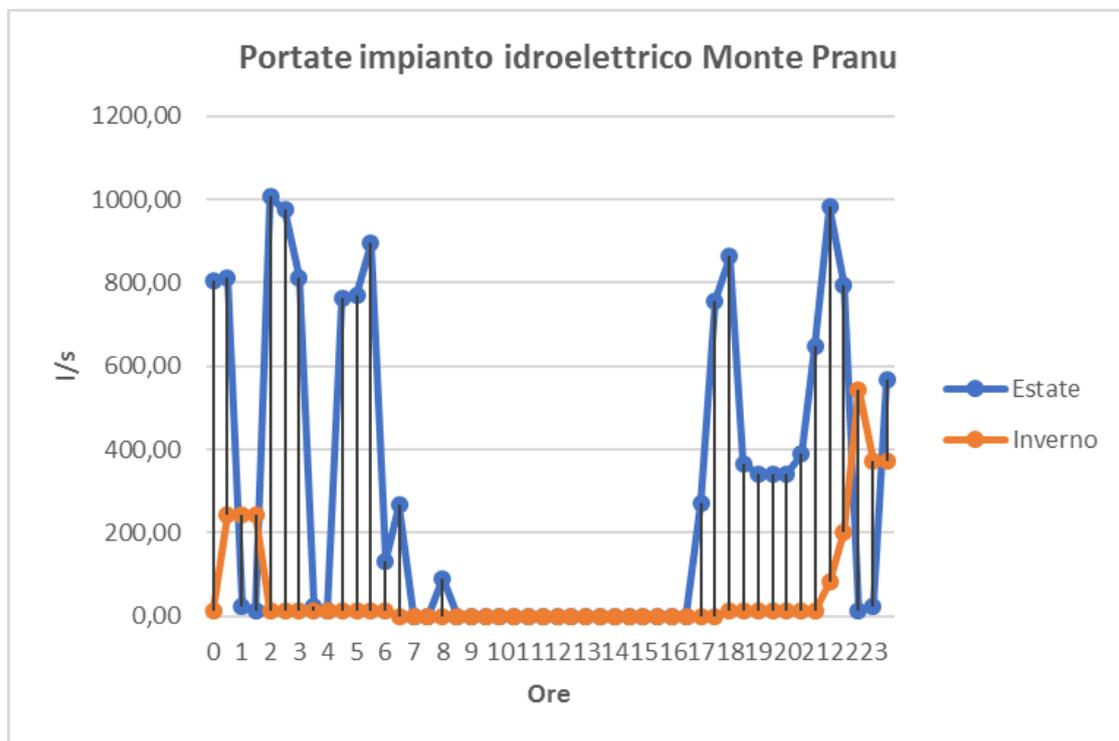
le 17,00 e le 24,00;

- nel periodo invernale per potenze con un picco di 300 kW nella fascia oraria tra le 0,00 e le 2,30 e tra le 21,00 e le 24,00 con un picco di 670 kW;

Sempre nell'ottica dell'autarchia di gestione elettrica delle attuali utenze di Monte Pranu, i due mesi campione evidenziano come nelle ore di carenza dell'alimentazione fotovoltaica si debba integrare il sistema con altre forme di sostegno energetico.

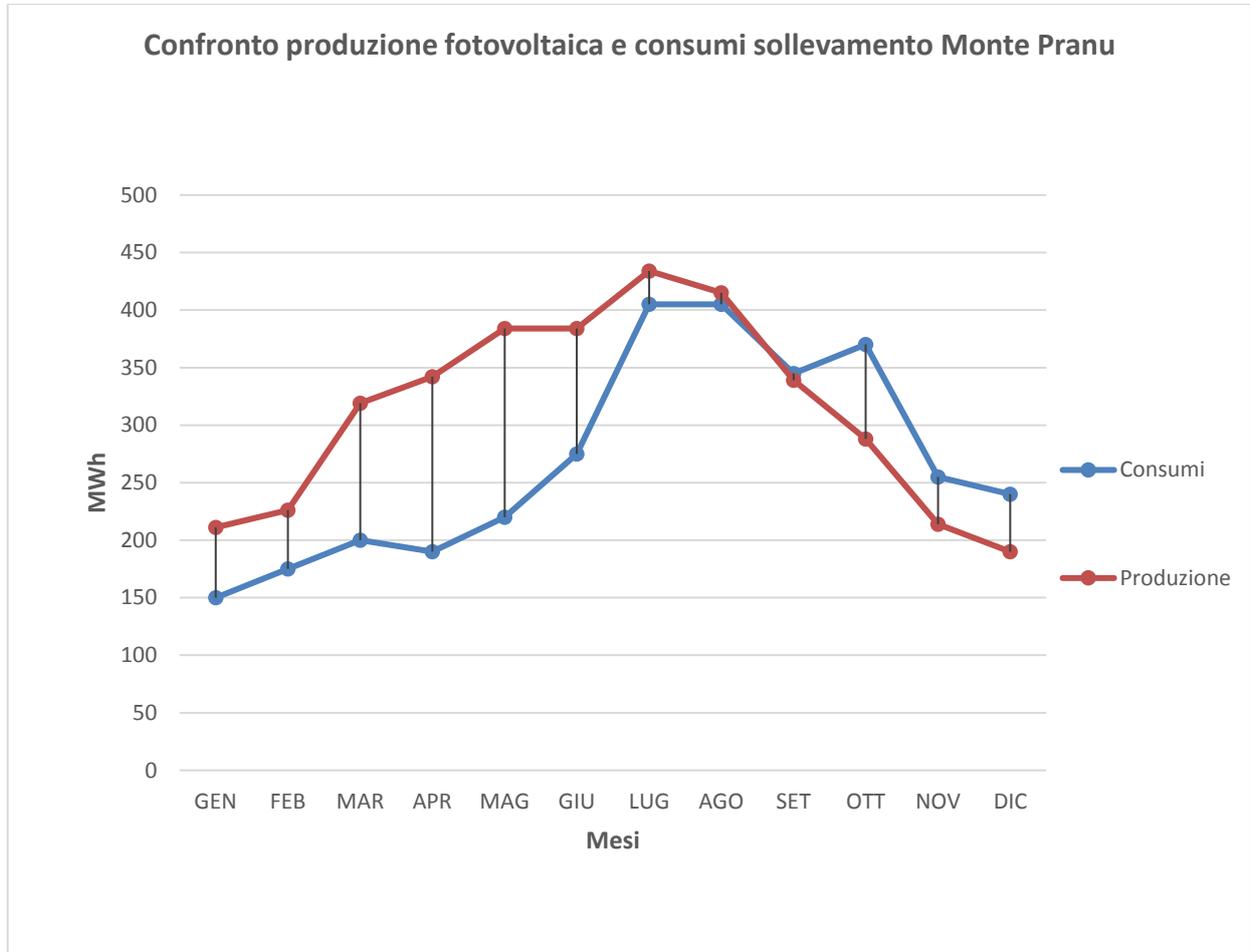
Tale contributo può essere assicurato attraverso lo sfruttamento delle potenzialità idroelettriche insite nel collegamento idraulico tra l'invaso di Bau Pressiu e quello di Monte Pranu, grazie al trasferimento idrico oggetto dello studio.

La necessità, in termini di portata media giornaliera nel periodo estivo e d in quello invernale, per coprire il fabbisogno energetico residuo con un impianto idroelettrico alimentato in cascata dall'invaso di Bau Pressiu è rappresentata nel seguente grafico.



I dati fanno riferimento alla condizione di media quota d'invaso sia per la diga di Bau Pressiu che per quella di Monte Pranu. Per quanto riguarda il rendimento della trasformazione idroelettrica, anche in relazione alla necessità di conservare a valle delle turbine un carico residuo necessario al raggiungimento della quota del lago di Monte Pranu (superiore di circa 25 m a quella dell'area di ubicazione della centrale fotovoltaica/turbinaggio posta appena a valle dell'opera di sbarramento) la scelta ricade inevitabilmente su turbine di tipo Francis per le quali è prudente non spingere il rendimento complessivo (idraulico, volumetrico, meccanico ed elettrico) oltre il valore del 80 % attesa anche la sensibilità della turbina Francis alla perdita di efficienza all'allontanarsi dalla portata dal valore ottimale di dimensionamento.

Gli schemi illustrati nei precedenti grafici qualora distribuiti su base annuale in ragione dello scostamento mensile tra la disponibilità di potenza fotovoltaica e di assorbimento delle pompe di Monte Pranu consentono di individuare il volume idrico mensile che dall'invaso più elevato devo trasferire a quello a quota inferiore per il sostegno del sollevamento irriguo così come quello che il surplus energetico nelle ore diurne mi consente di accumulare dall'invaso a quota inferiore a quello a quota superiore per un ulteriore utilizzo idroelettrico.



MESI	GIORNI	ENERGIA MONTE PRANU			ACQUA DA TURBINARE PER COPERTURA FABBISOGNO				ACQUA RISOLLEVABILE CON ESUBERO FOTOVOLTAICO			
		assorbita (sollev.) MWh	generata (fotov.) MWh	Diff. MWh	Volume necessario (mc/g)	Portata (l/s)	Volume da trasferire (mc)	Volume integrale (mc)	Volume disponibile (mc/g)	Portata (l/s)	Volume da trasferire (mc)	Volume integrale (mc)
GEN	31	150	211	61	3.512,73	88,71	108.894,50	108.894,50	28.503,55	719,79	883.610,02	883.610,02
FEB	28	175	226	51	4.098,18	103,49	114.749,04	223.643,54	23.830,84	601,79	667.263,41	1.550.873,43
MAR	31	200	319	119	4.683,63	118,27	145.192,66	368.836,20	55.605,28	1.404,17	1.723.763,81	3.274.637,24
APR	30	190	342	152	10.672,11	269,50	320.163,25	688.999,45	71.025,24	1.793,57	2.130.757,11	5.405.394,36
MAG	31	220	384	164	12.357,18	312,05	383.072,52	1.072.071,97	76.632,49	1.935,16	2.375.607,27	7.781.001,63
GIU	30	275	384	109	15.446,47	390,06	463.394,18	1.535.466,15	50.932,57	1.286,18	1.527.977,14	9.308.978,76
LUG	31	405	434	29	22.748,44	574,46	705.201,68	2.240.667,83	19.310,47	487,64	598.624,67	9.907.603,44
AGO	31	405	415	10	22.748,44	574,46	705.201,68	2.945.869,51	6.658,78	168,15	206.422,30	10.114.025,74
SET	30	345	339	-6	19.378,30	489,35	581.349,06	3.527.218,57	-	-	-	10.114.025,74
OTT	31	370	288	-82	20.782,53	524,81	644.258,33	4.171.476,90	-	-	-	10.114.025,74
NOV	30	255	214	-41	5.971,63	150,80	179.149,01	4.350.625,91	-	-	-	10.114.025,74
DIC	31	240	190	-50	5.620,36	141,93	174.231,20	4.524.857,11	-	-	-	10.114.025,74

laddove il quantitativo d'acqua potenzialmente risollevabile deve essere corretto al valore massimo delle

pompe in progetto pari a 800 l/s.

ACQUA REALMENTE RISOLLEVABILE				
Portata	Volume trasferito	Volume integrale	Energia eccedente	Integrale energia
(l/s)	(mc)	(mc)	(MWh)	(MWh)
719,79	883.610	883.610	0,0	0,0
601,79	667.263	1.550.873	0,0	0,0
800,00	982.080	2.532.953	51,2	51,2
800,00	950.400	3.483.353	84,2	135,4
800,00	982.080	4.465.433	96,2	231,6
800,00	950.400	5.415.833	41,2	272,8
487,64	598.625	6.014.458	0,0	272,8
168,15	206.422	6.220.880	0,0	272,8
-	-	6.220.880	0,0	272,8
-	-	6.220.880	0,0	272,8
-	-	6.220.880	0,0	272,8
-	-	6.220.880	0,0	272,8

Dall'analisi dei dati riportati nelle precedenti tabelle, per quanto possibile valutare stante l'attuale grave momento d'incertezza della politica d'incentivazione nazionale, la configurazione energetica più raccomandabile per la massimizzazione del beneficio è rappresentata da:

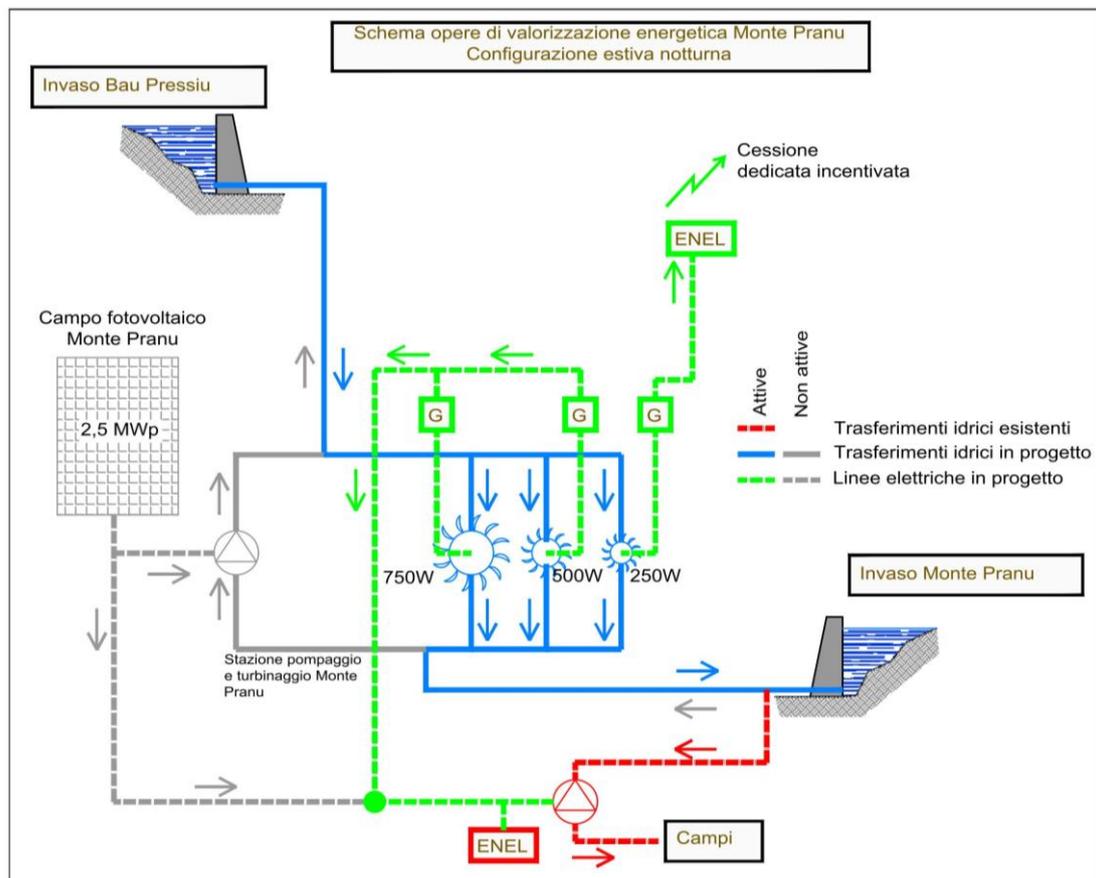
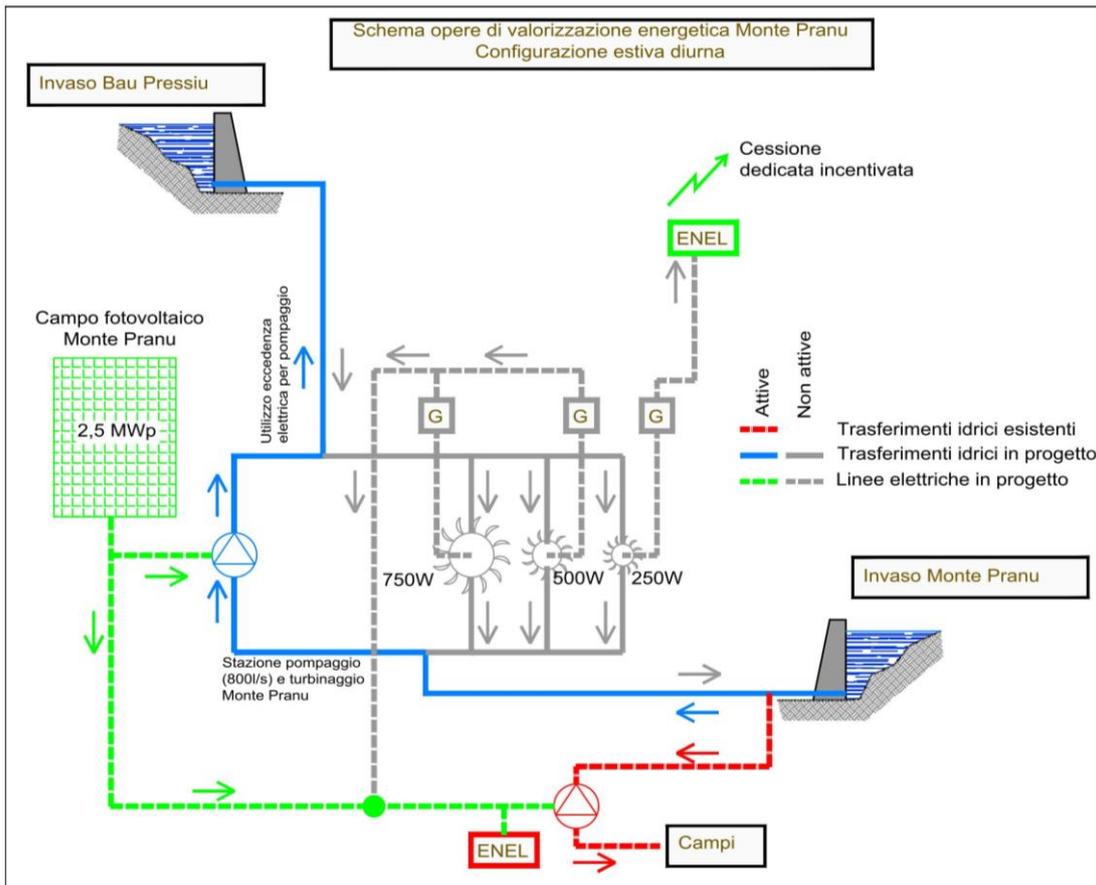
- un parco fotovoltaico da 2.500 kWp in grado di produrre circa 3.746 MWh;
- una centrale idroelettrica da 1.500 kW organizzata mediante tre turbine tipo Francis di cui una da 750 kW, una da 500 kW ed una da 250 kW. Questa suddivisione costituisce, a nostro avviso, un più performante adattamento all'attuale normativa tariffaria. In tal senso mentre le due centrali più grandi saranno dedicate, insieme all'energia prodotta dal parco fotovoltaico, all'autoconsumo con scambio delle eccedenze, l'energia prodotta con la minore sarà invece interamente ceduta alla rete alla tariffa incentivata omnicomprensiva per gli impianti di taglia inferiore a 250 kW.

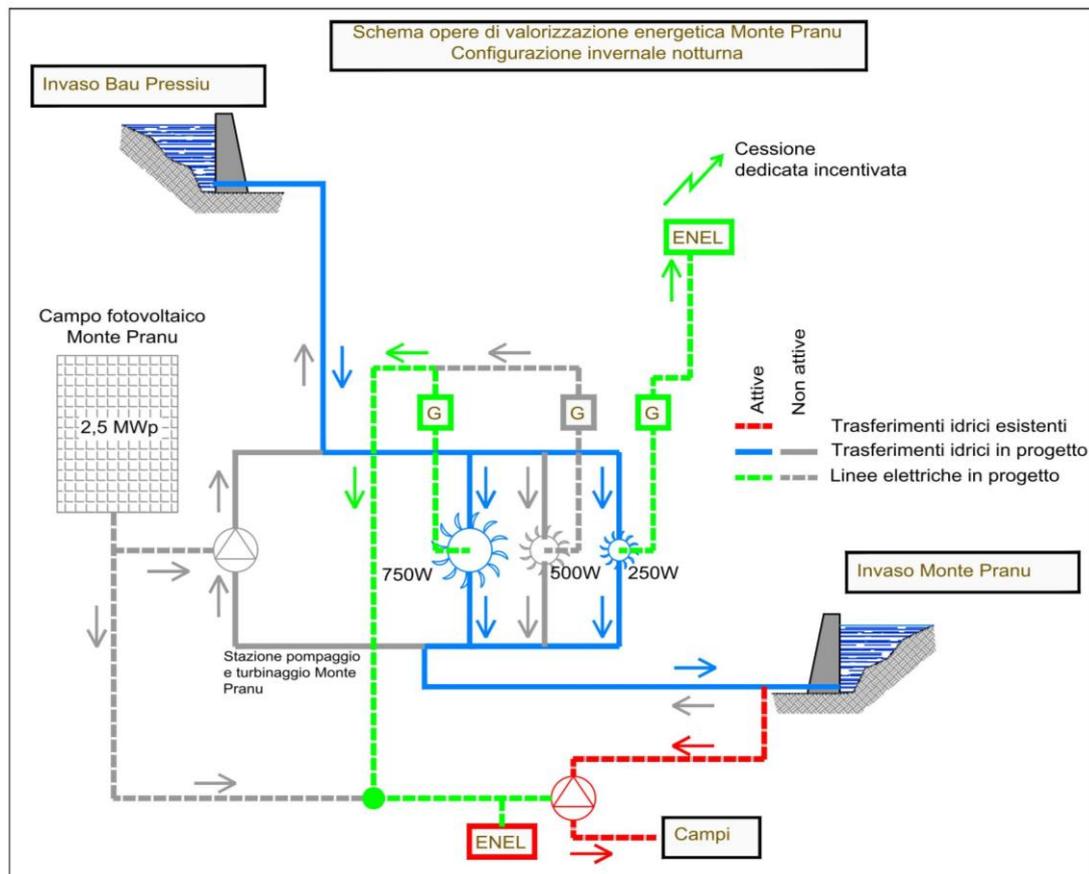
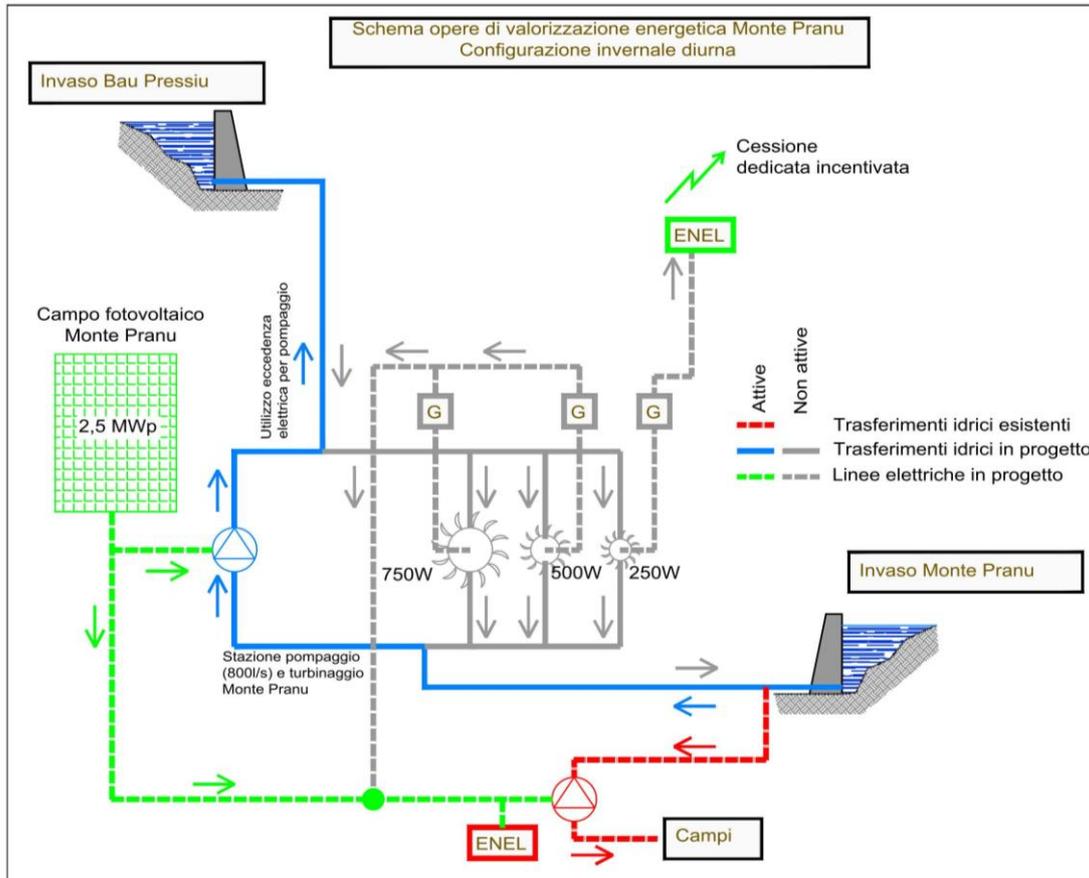
Alle turbine come sopra descritte saranno convogliati annualmente 22.220.880 mc di cui 16.000.000 derivanti dal trasferimento idrico tra i sub-bacini e 6.220.880 dal ripompaggio dal bacino di Monte Pranu per effetto del surplus energetico prodotta dalla centrale fotovoltaica. Tali volumi idrici saranno così destinati:

- 4.524.857 mc per il sussidio energetico del sollevamento irriguo di Monte Pranu alimentato dal campo fotovoltaico;
  - circa 6.000.000 mc alla produzione idroelettrica dedicata a tariffa incentivata per complessivi 2.100.000 kWh già al netto degli autoconsumi di centrale;
  - circa 11.600.000 mc allo scambio con la rete per complessivi 6.100.000 kWh, sempre al netto degli autoconsumi di centrale.
- una centrale di sollevamento alimentata dalla produzione energetica del parco giornalmente e sussidiata dalla centrale idroelettrica nelle ore notturne modulata attraverso 4+1 pompe da 200 l/s ciascuna per il risollevarmento dei volumi idrici necessari con la dovuta modularità.

Lo schema riepilogativo nelle diverse configurazioni di funzionamento risulta il seguente

:





Questa disposizione impiantistica sostenuta da bilancio d'investimento ampiamente positivo attualizzato sui 20 anni di simulazione come di seguito riportato, offre la possibilità di sfruttare un potenziale energetico, altrimenti perso, dalle previste infrastrutture di collegamento idrico tra i sub-sistemi idrici multisettoriali Tirso-Flumendosa-Campidano e Sulcis-Iglesiente come di seguito riepilogato

<b>SINETS DEI DATI DI CONSUMO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO</b>				
ALTERNATIVA	SOLLEVAM	IDROELTRICO	PRODUZIONE	IDROELTRICO
	TRASFERIM	BAU PRESSIU	FOTOVOLTAICA	M. PRANU
	(MWh)	(MWh)	(MWh)	(MWh)
A.1.1	- 21.004,63	1.444,39	3.746,00	4.169,97
A.1.2	- 16.869,47	-	-	-
A.2	- 22.927,64	-	-	-
B.1	- 14.320,75	-	-	-
B.2	- 16.298,86	-	-	-
A1.2 + B1 rid.	- 22.597,77	-	-	-

<b>BILANCIO ANNUALE DELL'INVESTIMENTO</b>	
Risparmi sollevamento irriguo Monte Pranu	€ 484.500,00
Ricavo idroelettrico a tariffa incentivata	€ 563.330,12
Vendita surplus energetico senza incentivo	€ 258.162,93
<b>SOMMANO</b>	<b>€ 1.305.993,06</b>
Costi di gestione parco fotovoltaico (1,5%)	€ 60.000,00
Costi di gestione idroelettrico (2%)	€ 120.000,00
Costi imprevidi (10% della gestione)	€ 18.000,00
Costi assicurativi	€ 20.000,00
Oneri fiscali sulla cessione energetica	€ 45.000,00
Ammortamento opere di valorizzazione	€ 688.167,00
<b>RESTANO</b>	<b>€ 354.826,06</b>

## 5 ANALISI MULTICRITERIALE DELLE ALTERNATIVE

Al fine di supportare la scelta dell'opzione di intervento preferibile si è proceduto all'applicazione di un'analisi a multi criteri. La metodologia di analisi tiene in adeguata considerazione i molteplici presupposti, sia in termini di efficacia nel perseguire gli obiettivi prefissati del progetto, che in termini di aspetti economici, ambientali e procedurali, che possono influenzare tale valutazione. Questi vengono sintetizzati attraverso un insieme di indicatori, i quali vengono successivamente normalizzati. L'identificazione della soluzione ottimale fra le varie alternative si ottiene attraverso una media ponderata dei valori normalizzati assunti dagli indicatori scelti (ad esempio attribuendo un valore dell'indicatore da zero a dieci), utilizzando opportuni pesi.

Nelle analisi multi criteriali di supporto al processo decisionale si possono distinguere tre fasi:

- la formulazione degli obiettivi che si intende perseguire;

- la valutazione delle alternative, ovvero la valutazione della loro efficacia in termini di raggiungimento degli obiettivi prefissati e dei punti di forza e di debolezza di ciascuna. La valutazione viene quindi effettuata in base a differenti criteri, quantificabili tramite indicatori;
- la scelta, ossia la selezione di una alternativa, tra quelle prese in considerazione, in base all'esito della valutazione effettuata.

La prima fase di elaborazione dell'analisi multicriterio richiede quindi la definizione dei criteri di valutazione afferenti sia al raggiungimento degli obiettivi prefissati del progetto (ed i relativi criteri/indicatori) e sia la valutazione per ogni alternativa di intervento degli specifici punti di forza e debolezza (anch'essi quantificati attraverso opportuni indicatori).

L'analisi a multicriteri rende quindi possibile la comparazione delle varie alternative, attribuendo agli indicatori dei coefficienti di importanza (pesi), in modo da riuscire ad assegnare ad ogni alternativa un numero che ne rappresenti la "prestazione" rispetto ai vari criteri o in altre parole la sua "utilità". Ogni ipotesi d'intervento viene quindi valutata e confrontata con le altre alternative progettuali.

Si definisce matrice di Valutazione, quella matrice che ha sulle righe le alternative e sulle colonne i criteri secondo cui vengono valutate le alternative. Ad esempio, nel caso di 3 criteri e 3 alternative:

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa 1			
Alternativa 2			
Alternativa 3			

Gli elementi di questa matrice identificano le prestazioni che ogni alternativa offre secondo ciascun criterio. La matrice può contenere elementi sia quantitativi che qualitativi. Nel caso qualitativo, i numeri assegnati definiscono soltanto che un'alternativa è preferibile, o non preferibile, rispetto ad un'altra o che un criterio è più o meno importante di un altro.

Per quanto riguarda la presente metodologia di analisi multi criteriata si sono innanzitutto definiti i singoli criteri di valutazione per i quali sono stati successivamente quantificati i rispettivi pesi relativi. La definizione dei criteri di valutazione è stata sviluppata attraverso il coinvolgimento dei componenti del Gruppo di Lavoro (GdL) di progettisti ed esperti del R.t., ciascuno dei quali si è espresso in relazione al proprio profilo tecnico-scientifico. Al termine del processo di confronto, sono stati identificati dieci criteri principali, ciascuno dei quali articolato in alcuni indicatori (sottocriteri). Le tabelle seguenti riassumono i criteri e i relativi indicatori (sottocriteri).

<b>CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE</b>		
<b>Criteri</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Pesi relativi (%)</b>
Criterio 1	Efficacia dell'intervento complessivo nel raggiungere gli obiettivi prefissati	var
Criterio 2	Costo di realizzazione dell'intervento complessivo	var
Criterio 3	Efficacia nel raggiungere gli obiettivi con il 1° lotto finanziato	var
Criterio 4	Costo di esercizio/sostenibilità energetica	var
Criterio 5	Criticità geolitologica ed interferenze con siti di bonifica	var
Criterio 6	Impatti ambientali (interferenza aree parco e SIC, paesaggio, ecosistemi, siti archeologici, ecc.)	var
Criterio 7	Vincoli amministrativi alla realizzazione ed esercizio del sistema	var
Criterio 8	Sostenibilità energetica ambientale e programmatica (PEARS)	var
Criterio 9	Impatti sulla qualità delle acque degli invasi	var
	Totale	100

Per ogni criterio vengono definiti degli indicatori ed a ciascun indicatore è attribuito un valore. Le funzioni degli indicatori sono composte da diverse grandezze che sono misurate per ogni obiettivo/sottocriterio che compone l'alternativa. Il risultato ottenuto viene quindi normalizzato (giudizio da 0 a 10) in modo relativo.

A tal fine, una volta che si hanno a disposizione solo dati quantitativi, prima di procedere all'ordinamento secondo il metodo selezionato, è necessario effettuare una normalizzazione dei dati contenuti nella matrice di valutazione. Questi infatti non sono confrontabili tra loro essendo frutto di misurazioni di grandezze differenti, effettuate con scale che presentano necessariamente relazioni le une con le altre. In caso contrario i risultati dei calcoli non avrebbero senso quantitativo né sarebbero confrontabili.

Per la normalizzazione esistono diverse tecniche che sono generalmente basate su calcoli algebrici. Le principali, sono:

- i. Zero-max o Zero-min: questi metodi assegnano valore 1 all'alternativa migliore ma non zero alla peggiore e quindi si riescono a mantenere inalterati i rapporti;
- ii. Somma: questo metodo consiste nella divisione dei valori per la loro somma, mantiene quindi inalterati sia le differenze che i rapporti e la somma di tutti i valori normalizzati risulta uguale a 1;
- iii. Min-max: questo metodo normalizza i valori nell'intervallo tra 0 e 1, estremi compresi; non lascia, quindi, inalterati né i rapporti né le differenze tra gli elementi, tende piuttosto ad aumentarne la dispersione. Il fatto che i valori 0 e 1 siano sempre presenti fa sì che si perda l'informazione su quanto valga l'alternativa migliore o peggiore per ogni criterio.

Nel la presente analisi si è adottato in via prioritaria il primo metodo ricorrendo al terzo solamente nei casi di non applicabilità/significatività dei primi due.

Per quanto riguarda il Criterio 1, gli obiettivi dell'intervento generale sono già stati sintetizzati nella tabella sotto riportata. Si riportano altresì nella tabella seguente i pesi relativi attribuiti al conseguimento dei singoli obiettivi

specifici, sulla base dei quali si può valutare il raggiungimento dell'obiettivo generale.

<b>Criterio 1: Indicatore di efficacia dell'opzione nel conseguimento degli obiettivi</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Contributo relativo (%)</b>
1.1	Integrazione dei fabbisogni idrici del Sulcis all'invaso di Monte Pranu	32
1.2	Integrazione/sostituzione fabbisogni schema NPRGA Sulcis a Bau Pressiu	12
1.3	Integrazione dei fabbisogni idrici irrigui nella piana del Sulcis (irrigazione di soccorso)	8
1.4	Integrazione dei fabbisogni idrici area industriale di Portovesme	12
1.5	Integrazione dei fabbisogni idrici dell'Iglesiente (basso ed alto Cixerri)	16
1.6	Riduzione consumo energia elettrica per gli attuali utilizzi irrigui	20
	Totale	100

Per quanto riguarda il Criterio 2 il valore dell'indicatore viene definito attribuendo il massimo valore dell'indicatore all'opzione che implica il costo di investimento minore e per le altre alternative un valore inferiore rapportato linearmente al costo.

<b>Criterio 2: Indicatore di costo di realizzazione dell'intervento complessivo</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
2.1	Costo di realizzazione dell'intervento complessivo (Euro)	$\text{Criterio}_2 = 10 * (\min C / C_i)$

Per quanto riguarda il Criterio 3 il valore dell'indicatore viene definito in maniera analoga a quanto già stabilito per il Criterio 1. Per il Criterio 4 il valore dell'indicatore viene definito in maniera analoga al Criterio 2, ovvero per il costo di investimento.

<b>Criterio 4: Indicatore di costo per energia elettrica</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
4.1	Costo di energia specifico complessivo (Euro/m <sup>3</sup> )	$\text{Criterio}_4 = 10 * (\min C_s / C_s_i)$

Per il Criterio 5, ai fini della valutazione si tengono conto dei seguenti indicatori pesati tra di loro ciascuno con peso di 1/3.

<b>Criterio 5: Indicatore per gli aspetti geolitologici e processi di contaminazione</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>

5.1	Estesa di condotte su versanti in roccia con creazione di nuova pista	(10/3) (min-max Km / Km i)
5.2	Estesa di attraversamenti di alvei o conoidi con bacini minerari	(10/3) (min-max Km / Km i)
5.3	Volumi complessivi di TRS oggetto di movimentazione	(10/3) (min-max Km / Km i)

Per la definizione degli indicatori di tipo ambientale e territoriale si sono considerati gli impatti degli interventi previsti nell'ambito delle differenti alternative. Utilizzando le indicazioni fornite dalle elaborazioni cartografiche propedeutiche riportate in allegato alla presente, si sono individuati le interferenze di tipo ambientale che variano al variare della opzione analizzata, individuando così, con una scelta che si è cercato di rendere oggettiva, i seguenti indicatori di impatto.

Per il Criterio 6, ai fini della valutazione si tengono conto dei seguenti indicatori pesati tra di loro ciascuno con peso di 1/3.

<b>Criterio 6: Indicatore di impatto ambientale, storico e paesaggistico</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
6.1	Interferenza con aree di tutela ambientale (km)	(10/3) (min-max Km / Km i)
6.2	Interferenza con "Beni paesaggistici tutelati" (km)	(10/3) (min-max Km / Km i)
6.3	Interferenza con beni paesaggistici dell'assetto storico culturale (n)	(10/3) (min-max n / n i)

Per il Criterio 7, ai fini della valutazione si è tenuto conto dei seguenti aspetti potenzialmente interferenti con l'iter approvativo dell'intervento.

<b>Criterio 7: Vincoli amministrativi alla realizzazione ed esercizio</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
7.1	Assoggettamento a procedura: VIA - assoggettabilità a VIA	0 - 5
7.2	Gestione delle acque degli invasi	0 - 5

Per il Criterio 8, ai fini della valutazione si tengono conto dei seguenti indicatori pesati tra di loro ciascuno con peso di 1/3.

<b>Criterio 8: Sostenibilità energetica</b>		
<b>Indicatore</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
8.1	Produzione CO <sub>2</sub>	(10/3) (min-max Km / Km i)
8.2	Energia autoprodotta KWh	(10/3) (min-max Km / Km i)

8.3	Coerenza con il PEARS	(10/3) (min-max Km / Km i)
-----	-----------------------	----------------------------

Per il Criterio 9, ai fini della valutazione si tengono conto dei seguenti indicatori pesati tra di loro ciascuno con peso di 1/3.

<b>Criterio 9: Impatti sulla qualità delle acque degli invasi</b>		
<b>Parametro</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Valore (n)</b>
9.1	Impatto potenziale sulla specifica destinazione - cambio di categoria	(10/3) (min cat / cat i)
9.2	Impatto potenziale sui livelli di criticità per il fosforo - cambio di livello	(10/3) (min cat / cat i)
9.3	Compatibilità dei sistemi di potabilizzazione esistenti	(10/3) (0 - 5)

La definizione delle caratteristiche delle alternative per ciascuno dei criteri e sottocriteri è stata sviluppata dai progettisti e dai responsabili delle analisi geologiche, territoriali ed ambientali. Essi hanno fornito le valutazioni relative agli impatti attesi per le diverse alternative misurando tali impatti in una forma sia numerica che sintetica.

È utile notare che ciascun criterio è valutato in termini relativi tra una opzione e un'altra. Ciò significa che i benefici ed impatti che corrispondono ai punteggi da 1 a 10 per ciascun criterio/sottocriterio vanno intesi come un confronto relativo tra le alternative in cui l'alternativa con il maggior beneficio o minor impatto prende valore 10, mentre quelle con benefici inferiori o maggiori impatti prendono valori ovvero punteggi intermedi tra 0 e 10. È quindi possibile che diverse alternative condividano lo stesso punteggio per dati sottocriteri, se il livello previsto dei benefici ed impatti non è sostanzialmente diverso da alternativa ad alternativa rispetto all'opzione preferibile per il sottocriterio esaminato. Il motivo per cui sia i benefici che gli impatti sono associati ai punteggi in questo modo è che ciò consente di minimizzare il rischio che sottocriteri per i quali gli effetti sono diversi da alternativa ad alternativa, ma non rilevanti in assoluto, finiscano per condizionare il punteggio complessivo della valutazione. I valori che ciascuna alternativa assume per ogni criterio sono quindi direttamente confrontabili tra loro e vengono riuniti in modo da ricavare un unico valore. Tale valore rispecchia la prestazione generale dell'alternativa. Stimati i pesi e definiti i punteggi normalizzati, la valutazione complessiva delle alternative si ottiene attraverso la loro ponderazione (Weighted Sum Model).

La classifica finale risulta essere la sintesi complessiva, frutto della metodologia insita nelle analisi multicriteria, dell'importanza relativa di ciascun criterio. Poiché i punteggi sono stati attribuiti in modo che il beneficio più elevato o l'impatto minore corrisponda a un livello più alto, l'alternativa preferibile sarà quella che otterrà la valutazione complessiva più alta.

Al fine di valutare la sensibilità dell'analisi al variare dei pesi relativi attribuiti ai differenti criteri il GdL ha definito due differenti scenari. Nel primo scenario, scenario A, vengono globalmente attribuiti pari importanza al conseguimento degli obiettivi (complessivi e di 1° lotto) ed agli altri criteri sia di costo che di impatto e criticità. Nello scenario B vengono invece maggiormente equilibrati i pesi dei differenti criteri. I valori dei pesi attribuiti ai criteri nei due differenti scenari sono riportati nella tabella seguente.

<b>CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE</b>			
<b>Criteri</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Scenario A Pesi relativi (%)</b>	<b>Scenario B Pesi relativi (%)</b>
Criterio 1	Efficacia dell'intervento complessivo nel raggiungere gli obiettivi prefissati	36	25
Criterio 2	Costo di realizzazione dell'intervento complessivo	13	10
Criterio 3	Efficacia nel raggiungere gli obiettivi con il 1° lotto finanziato	9	10
Criterio 4	Costo di esercizio / energia	9	10
Criterio 5	Criticità geolitologica ed interferenze con siti di bonifica	9	5
Criterio 6	Impatti ambientali	9	10
Criterio 7	Vincoli amministrativi alla realizzazione ed esercizio del sistema	5	10
Criterio 8	Sostenibilità energetica ambientale e programmatica (PEARS)	5	10
Criterio 9	Impatti sulla qualità delle acque degli invasi	5	10
	Totale	100	100

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori stimati per i singoli indicatori (sottocriteri) nelle differenti alternative.

<b>Criterio 1: Efficacia dell'opzione nel conseguimento degli obiettivi</b>						
<b>Alternative:</b>						
<b>Indicatore</b>	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
1.1	32	16	32	16	32	32
1.2	12	12	12			12
1.3	8	8	8			8
1.4				12	12	12
1.5	16		16	16	16	16
1.6	20					
Totale	88	36	68	44	60	80

**Critero 2: Costo di realizzazione dell'intervento complessivo (MIn Euro)**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
2.1	72,564	38,488	57,552	57,781	76,062	85,883

**Critero 3: Efficacia nel raggiungere gli obiettivi con il 1° lotto finanziato**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
3.1	16	16	16			16
3.2	12	12	12			12
3.3	8	8	8			8
3.4						
3.5				16	16	
3.6	20					
Totale	56	36	36	16	16	36

**Critero 4: Costo di esercizio/energia (Euro/m3)**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
4.1	0.124	0.169	0.153	0.086	0.098	0.136

**Critero 5: Aspetti geolitologici e processi di contaminazione**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
5.1	4	5	2.5	1	0.5	6.0
5.2	4.8	4.8	4.8	6	6	8.6
5.3	940000	556282	889229	1077156	1262272	1412431

**Critero 6: Impatto ambientale, storico e paesaggistico**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
6.1	15	13	12	0	0	13
6.2	53	35	51	49	47	83
6.3	0	0	0	4	5	4

**Criterion 7: Vincoli amministrativi alla realizzazione ed esercizio**
**Alternative:**

Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
7.1	0	0	0	2	2	0
7.2	1	4	4	4	4	4

**Criterion 8: Sostenibilità energetica ambientale e programmatica (PEARS)**
**Alternative:**

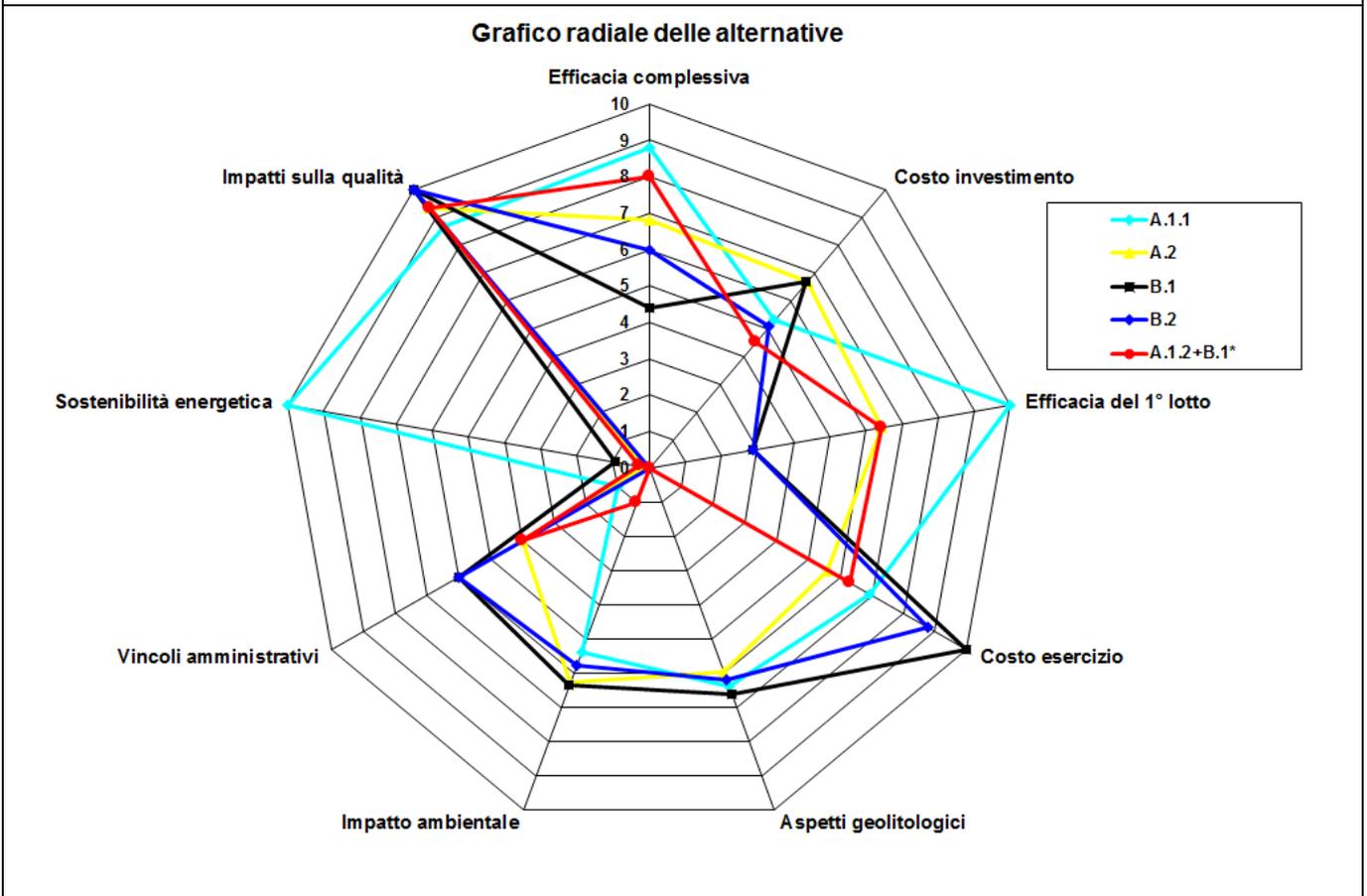
Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
8.1	5967	6441	10367	9280	10562	10153
8.2	9097	0	0	0	0	0
8.3	1	0	0	0	0	0

**Criterion 9: Impatti sulla qualità delle acque degli invasi**

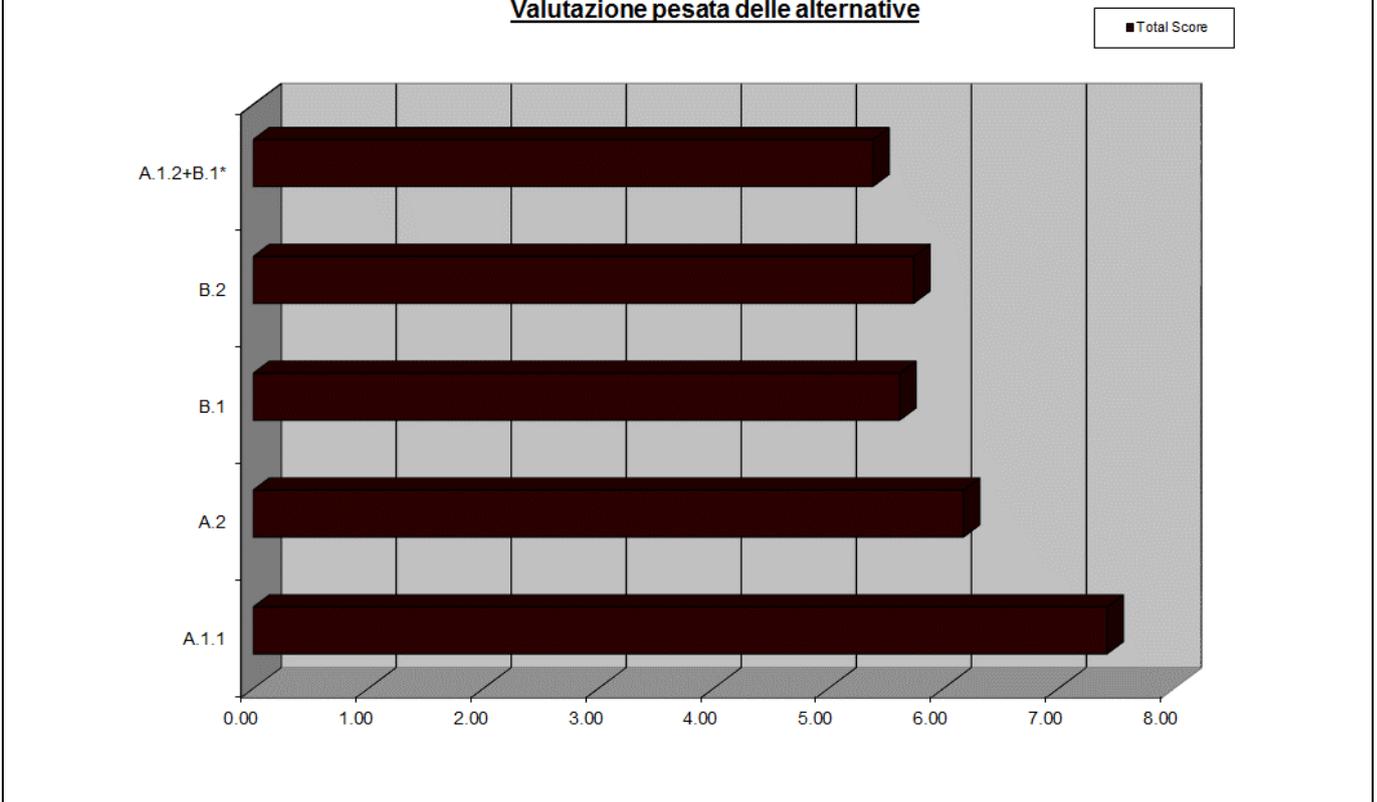
Indicatore	A.1.1	A.1.2	A.2	B.1	B.2	A.1.2+B.1*
9.1	0	0	0	0	0	0
9.2	0	0	0	0	0	0
9.3	3	4	4	5	5	4

Si riportano nel seguito in forma grafica i risultati dell'analisi effettuata secondo i pesi assegnati dal Gruppo di Lavoro tecnico nei due differenti scenari.

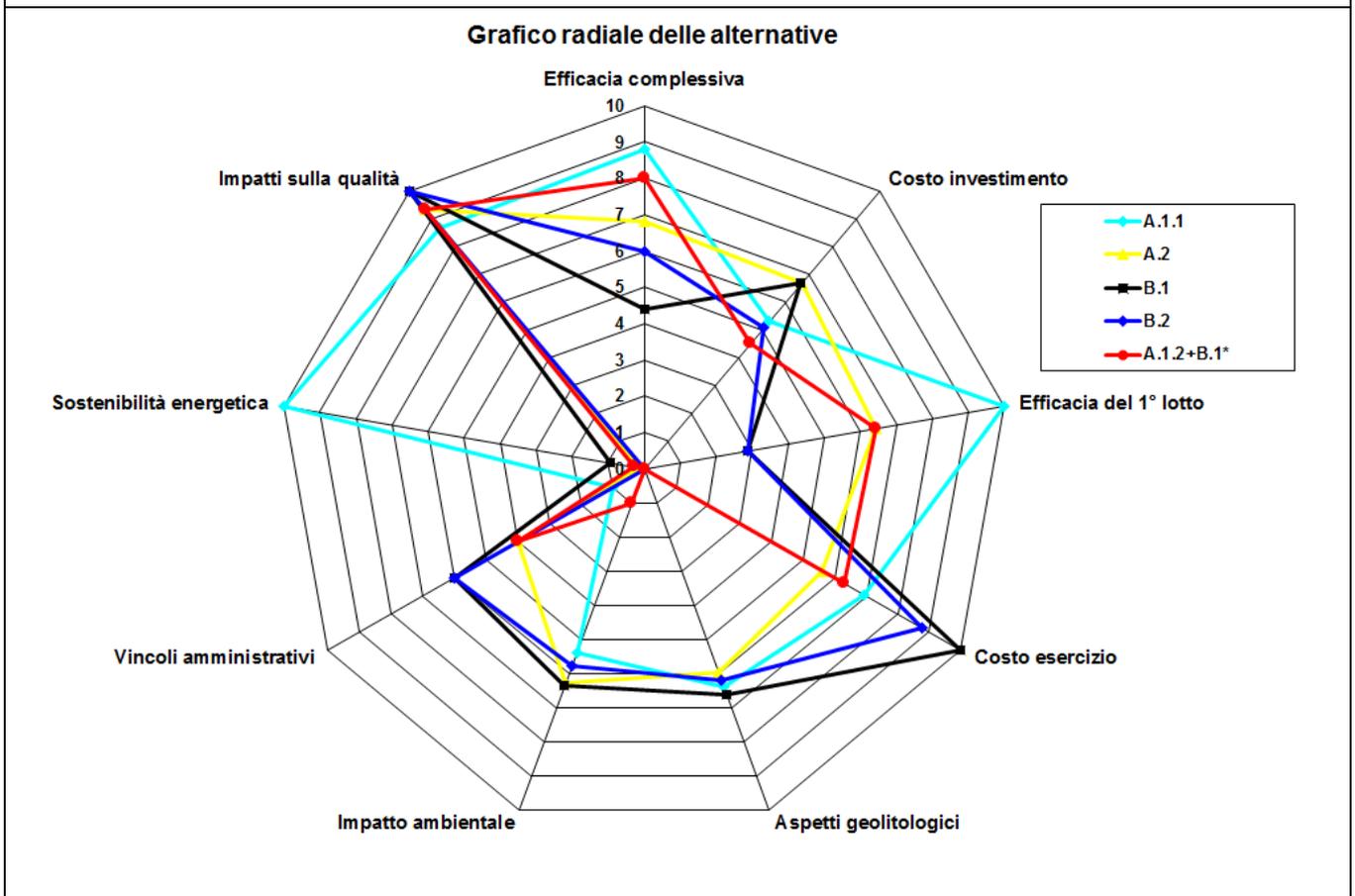
**SCENARIO A) - Grafico radiale delle alternative**



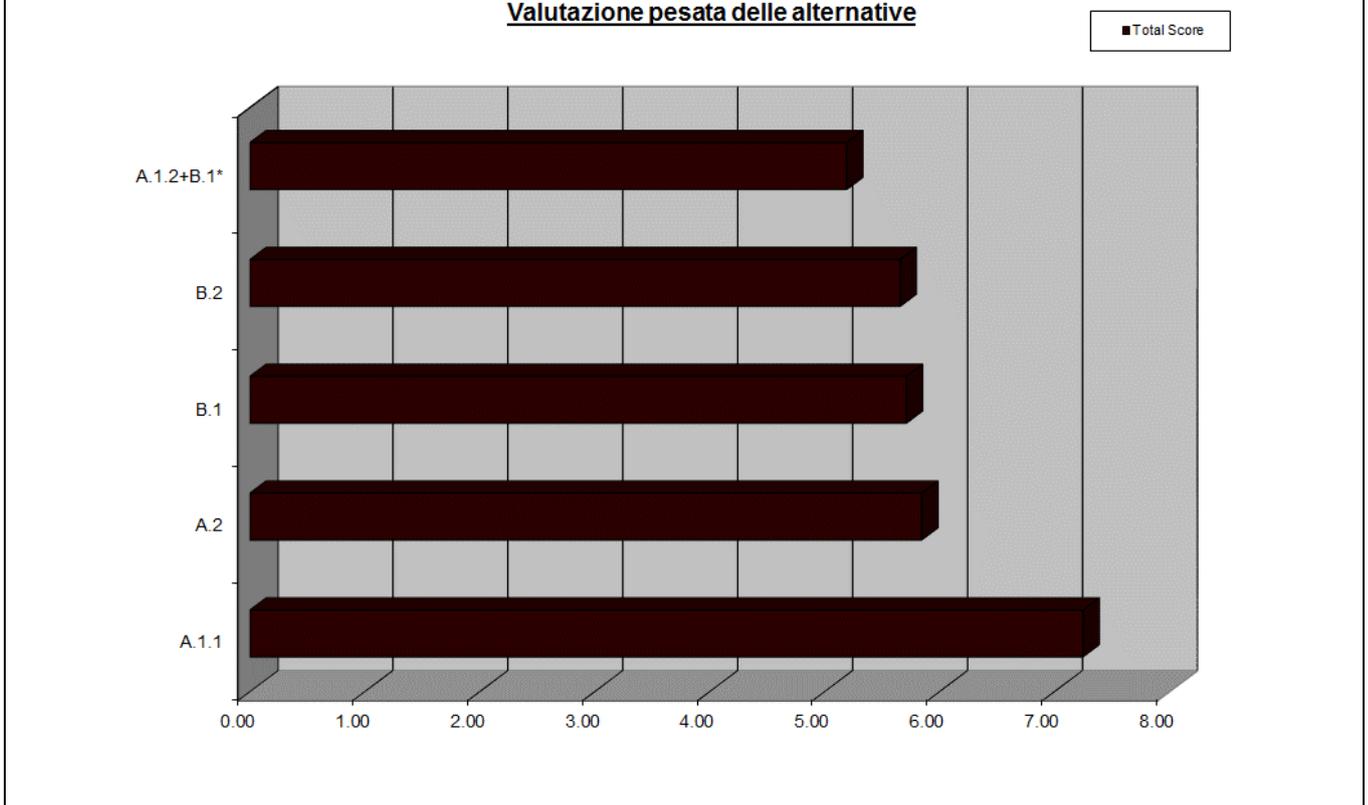
**Valutazione pesata delle alternative**



**SCENARIO B) - - Grafico radiale delle alternative**



**Valutazione pesata delle alternative**



Le indicazioni dell'analisi effettuata secondo i pesi assegnati dal gruppo di lavoro hanno individuato una classifica che vede prevalere l'Alternativa A.1.1 sia nello scenario A) che nello scenario B.

Nello scenario A si osserva che i punteggi acquisiti dalle diverse alternative, individuano un evidente prevalenza dello scenario A.1.1, mentre per le altre alternative non si individua una classifica precisa. L'alternativa preferibile si distacca dalla seconda e dalle altre per circa di 1/1,5 punti.

Nello scenario B si evidenzia per l'alternativa A.1.1. una preferibilità analoga rispetto allo scenario precedente.