Politecnico di Torino

Politecnico di Torino

Ingegneria Energetica e Nucleare

Progettazione e gestione di impianti energetici

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Ottobre 2022

Valutazione del potenziale energetico da fonte rinnovabile e cogenerazione ad alto rendimento per un piccolo Comune montano

Relatore:

Elena Comino

Candidato:

Alberto Caramello

Correlatore:

Maurizio Rosso

a Nonno Riccardo

PREFAZIONE

ORIGINI

Questo lavoro nasce da un grande numero di passioni differenti accumunate dal filo conduttore degli impianti idroelettrici.

Tra tutti questi la geografia è sicuramente quella più importante. Fin da quando ero piccolo sono stato affascinato dallo studio del territorio e dalla conoscenza del maggior numero possibile di località.

Legata solidamente a questa, un'altra mia grande passione è la montagna. Pratico abitualmente escursionismo per legare insieme questi interessi.

Su queste solide basi già durante i primi anni di università è nato l'interesse per il mini-idroelettrico montano e la sua integrazione con le comunità più isolate o in via di abbandono.

Oltre all'idroelettrico, un'altra branca della produzione energetica di cui mi sono appassionato è la cogenerazione ad alto rendimento con tutte le sue versioni possibili: cicli ORC, applicazione al teleriscaldamento.

La tesi magistrale nasce quindi come continuazione naturale:

- Degli studi effettuati nei corsi di fonti rinnovabili, impianti di cogenerazione e progettazione di impianti energetici.
- Della tesi triennale "sfruttamento a scopo idroelettrico delle infrastrutture acquedottistiche montane".
- Del percorso che mi ha visto dapprima frequentare il corso a scelta "impianti idroelettrici" al primo anno della magistrale, successivamente svolgere il tirocinio presso lo Studio Rosso Ingegneri Associati che si occupa anche di progettazione di piccoli impianti idroelettrici ed infine lavorare su questi temi presso lo stesso studio.

In aggiunta l'argomento nasce anche come approfondimento dei progetti di mini impianti idroelettrici realizzati dallo studio nel Comune di Chiomonte ai quali ho contribuito. Questi sono sia di tipo acquedottistico che ad acqua fluente e rappresentano per taglia e tipologia un punto di riferimento per la produzione di energia rinnovabile alla scala di piccola comunità energetica.

CONTESTO

Questo studio si colloca in un contesto temporale ed energetico nel quale si stanno sviluppando i seguenti temi:

- Formazione delle comunità energetiche indipendenti dalla rete elettrica e termica.
- Sviluppo di piccoli impianti su vettori energetici non convenzionali o di scarto (biomasse, acquedotti, cascami termici).
- Incentivazione della cogenerazione CAR.
- Grande aumento del costo dei combustibili e dell'energia elettrica.
- Realizzazione del green deal Europeo fit for 55 che impone una rapida transizione verso produzione di energia rinnovabile.

La sensibilizzazione verso questi temi sta portando sempre più investitori alla ricerca di opportunità nel settore delle fonti energetiche rinnovabili di piccola taglia, fino ad oggi ignorate. Questo studio punta a dare una visione delle opportunità tipologiche che possono presentarsi in una realtà montana, per poterlo successivamente estendere su larga scala.

ABSTRACT

In un periodo storico di transizione energetica che mira al raggiungimento degli obiettivi sottoscritti per il 2030 e 2050, sta crescendo rapidamente l'interesse verso lo sfruttamento energetico di fonti non convenzionali e sostenibili attraverso impianti di "mini-generazione". L'ambiente montano risulta il punto idoneo allo sviluppo di queste tecnologie per l'abbondanza di risorse fino ad oggi ignorate perché di piccola entità e difficilmente raggiungibili. La ricerca di queste nuove risorse alimenta un'altra nuova frontiera in questo ambito: le comunità energetiche le quali risultano molto idonee al territorio montano per una minore interconnessione con le regioni più urbanizzate, per la ridotta dimensione dell'agglomerato da collegare e soprattutto per un valore maggiore di energia producibile pro-capite.

Questo studio si pone come punto di collegamento tra questi due settori di sviluppo sondando le potenzialità energetiche presenti sul territorio. Si procede quindi con il dimensionamento vero e proprio degli impianti fornendo infine un'analisi di fattibilità sia energetica che economica.

Il contesto di ricerca è il Comune di Chiomonte, nella media Valle Susa, nel quale si sta diffondendo un crescente fermento in tema di energia rinnovabile e già da più di vent'anni si è investito sulla produzione mini-idroelettrica. Per effettuare una trattazione efficace strettamente legata al territorio è stato necessario approfondire attraverso inquadramenti geografici, socio-economici ed energetici.

Ci si è soffermati su una ricostruzione accurata dei fabbisogni di energia elettrica e termica del Comune in modo da poterla successivamente confrontare con l'energia producibile. L'attenzione viene quindi rivolta principalmente verso la risorsa idrica, poiché abbondante sul territorio in varie forme: rii secondari, sorgenti e reti acquedottistiche e di maggior interesse personale.

Successivamente si è proceduto analizzando le altre fonti presenti: eolica, fotovoltaica e biomassa legnosa per una conversione in cogeneratori ad alto rendimento allacciati ad una rete di teleriscaldamento. Quest'ultima tecnologia sfrutta una risorsa a bassissima emissione di CO_2 fossile che massimizza l'efficienza nella produzione combinata di energia elettrica e termica.

Il nocciolo della trattazione è basato sul dimensionamento di questi impianti con lo scopo di ottenere un valore attendibile di producibilità e comprendere se l'investimento sia complessivamente interessante seppur la visione a lungo termine del Comune di Chiomonte sia quella di valorizzare al massimo le risorse. Segue la presentazione di un confronto tra tutti i dati ottenuti per scegliere le soluzioni che possano essere definite perseguibili. Infine viene eseguito un bilancio tra la produzione ed i fabbisogni di energia a Chiomonte per comprendere se la disponibilità sia sufficiente alla richiesta.

Il bilancio energetico è risultato ampiamente positivo in termini di elettricità complessiva annuale e la generazione termica soddisfa ampiamente il base-load delle utenze con la necessità di soli impianti di integrazione.

Anche il bilancio economico ha dato un esito positivo poiché entro la vita utile di 30 anni, l'investimento viene completamente ripagato e si ottiene un ricavo di entità paragonabile. Questi risultati possono essere utilizzati come punto di partenza per eventuali studi futuri che approfondiscano il dimensionamento della comunità energetica forti di una sostenibilità energetica ed economica degli impianti di generazione.

SOMMARIO

PREFAZIONE ..... **- 3 -**

ORIGINI ..... - 3 -

CONTESTO ..... - 4 -

ABSTRACT ..... **- 5 -**

SOMMARIO ..... **- 7 -**

1. INTRODUZIONE ..... **- 10 -**

1.1. MOTIVAZIONE ..... - 10 -

1.2. OBIETTIVO DEL LAVORO ..... - 10 -

1.3. METODOLOGIA DI RICERCA ..... - 11 -

1.4. OGGETTO DELLA TESI ..... - 11 -

2. STRUTTURA DELLA RICERCA ..... **- 12 -**

2.1. INQUADRAMENTI ..... - 12 -

2.1.1. Inquadramento territoriale ..... *- 12 -*

2.1.1.1. Valle Susa ..... - 12 -

2.1.1.2. Chiomonte ..... - 17 -

2.1.2. Inquadramento socio-economico ..... *- 22 -*

2.1.2.1. Popolazione ..... - 22 -

2.1.2.2. Economia ..... - 22 -

2.1.3. Inquadramento energetico ..... *- 23 -*

2.1.3.1. Fabbisogno energetico allo stato di fatto ..... - 23 -

Energia Elettrica ..... - 24 -

Energia termica ..... - 26 -

2.1.3.2. Produzione energetica ..... - 29 -

Impianti idroelettrici esistenti ..... - 29 -

Impianti progettati dallo studio Rosso ..... - 37 -

2.1.4. Visione a medio e lungo termine del tema energetico del Comune ..... *- 44 -*

2.2. RISORSA IDRICA ..... - 45 -
2.2.1. Sondaggio delle potenzialità di tutta la risorsa idrica ..... - 45 -
2.2.1.1. Impianti ad acqua fluente ..... - 46 -
Impianti sulla Dora ..... - 46 -
Impianti su affluenti secondari ..... - 48 -
2.2.1.2. Impianti su acquedotto ..... - 52 -
2.2.1.3. Impianti a bacino ..... - 56 -
2.2.2. Dimensionamento degli impianti proposti e quantificazione dell'energia producibile ..... - 57 -
2.2.2.1. Impianti Acqua fluente ..... - 57 -
Metodologia per il calcolo della portata naturale ..... - 58 -
Metodologia per la valutazione rischio ambientale connesso alle derivazioni: metodologia ERA ..... - 61 -
Caso studio "Grange Soubeyrand – Complesso condominiale del Frais" ..... - 63 -
Vasca di carico acquedotto Frais – Prato Richard ..... - 90 -
Complesso condominiale Frais – Prato Richard ..... - 98 -
2.2.2.2. Impianti su acquedotto ..... - 106 -
Acquedotto del Frais ..... - 106 -
Acquedotto del Frais variante ..... - 113 -
Acquedotto Ramats ..... - 118 -
2.3. ALTRE RISORSE ..... - 123 -
2.3.1. Sondaggio delle potenzialità e dimensionamento di tutte le altre FER ..... - 123 -
2.3.1.1. Impianti eolici ..... - 123 -
Eolico Costa Brumeri ..... - 125 -
Eolico Cresta Quattro Denti ..... - 130 -
2.3.1.2. Impianti fotovoltaici (Progetto preliminare Comune di Chiomonte) ..... - 132 -
2.3.2. Sondaggio delle potenzialità e dimensionamento degli impianti CAR per teleriscaldamento ... - 134 -
2.3.2.1. Disponibilità del cippato ..... - 134 -
2.3.2.2. Disponibilità del gas naturale ..... - 135 -
2.3.2.3. Impianti a cippato ..... - 136 -
Impianto Chiomonte ..... - 136 -
Impianto Frais ..... - 144 -
Impianto Frais (Versione progettuale sviluppata dal Comune di Chiomonte) ..... - 148 -
2.3.2.4. Impianti a gas naturale ..... - 151 -

Impianto Chiomonte ..... - 151 -

2.4. COMPARAZIONE TRA TUTTE LE FONTI ESAMINATE E SCELTA DELLE PIÙ INTERESSANTI ..... - 158 -

2.4.1. Risorsa Idrica ..... - 158 -

2.4.2. Risorsa Idrica (Progetto Studio Rosso Ingegneri Associati) ..... - 160 -

2.4.3. Risorsa Eolica ..... - 161 -

2.4.4. Risorsa Fotovoltaica (Progetto preliminare Comune di Chiomonte) ..... - 162 -

2.4.5. Cogenerazione ad alto rendimento ..... - 163 -

3. RISULTATI DELLA RICERCA ..... - 165 -

3.1. RISULTATI OTTENUTI SUL BILANCIO DEL COMUNE ..... - 165 -

3.1.1. Energia elettrica ..... - 165 -

3.1.2. Energia termica ..... - 169 -

3.1.3. Bilancio economico ..... - 171 -

4. CONCLUSIONI ..... - 172 -

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ..... - 174 -

6. SITOGRAFIA ..... - 176 -

7. RIFERIMENTI FIGURE ..... - 178 -

8. INDICE DEI SIMBOLI ..... - 179 -

9. RINGRAZIAMENTI ..... - 181 -

1. INTRODUZIONE

1.1. MOTIVAZIONE

Questo studio punta a fornire una risposta agli obiettivi in tema di energia ed a sfruttare le opportunità fornite sia dal territorio che dalle istituzioni locali:

- Tra gli obiettivi, quello che sta riscuotendo più interesse è il raggiungimento dell'autosufficienza energetica per le comunità montane.
- L'interesse per il territorio montano che viene progressivamente abbandonato col passare degli anni se non è meta turistica invernale o di villeggiatura. Questo è un problema che affligge le località di media montagna o di passaggio le quali vedono i residenti spostarsi progressivamente verso le grandi città per cambiare lo stile di vita.
- Il raggiungimento di una considerevole produzione di energia non necessariamente con pochi impianti molto grandi ma anche con un maggior numero di essi di più piccole dimensioni che sfruttano fonti diverse e si integrano meglio in un territorio pregevole e già urbanizzato.
- L'interesse per impianti mini-idroelettrici che oggi sono molto efficienti, hanno un buon mercato e sono versatili. Le aziende produttrici stanno facendo ricerca per ampliare ulteriormente questo settore rendendolo tecnologia d'avanguardia. Da non trascurare è una generale benevolenza da parte dell'opinione Comune.
- Una grande quantità di soluzioni perseguibili poiché le fonti possono essere tante ma nascoste: piccoli rii affluenti, rete acquedottistica esistente, disponibilità di biomassa legnosa, disponibilità di vento.
- Disponibilità di fondi economici comunali da investire in opere per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

1.2. OBIETTIVO DEL LAVORO

Questo studio punta principalmente a verificare la fattibilità energetica ed economica di impianti mini-idroelettrici e successivamente a sondare la possibile aggiunta di soluzioni FER e CAR per indirizzare un Comune di media montagna verso la costituzione di una comunità energetica sempre più indipendente dalla rete. Si cerca di mettere in luce i pro e i contro dello sfruttamento idroelettrico per fornire un confronto con le

altre risorse esaminate su questo territorio. Infine, evidenziando le soluzioni più interessanti, si cerca di quantificare il beneficio ottenibile sul bilancio energetico, sociale ed economico di questo piccolo ecosistema.

1.3. METODOLOGIA DI RICERCA

Questo studio mira alla ricerca delle potenzialità energetiche già presenti all'interno di un territorio, che devono quindi essere cercate, esaminate ed infine sfruttate al meglio. Gli strumenti di ricerca più sfruttati sono quindi:

- Indagini condotte sul campo come rilievi topografici, misurazioni di portata, misurazioni della velocità del vento e misurazioni dei fabbisogni di calore.
- Metodologie di calcolo imparate nei corsi svolti per il dimensionamento e l'analisi di fattibilità di impianti energetici.
- Testi di energetica per sostenere le metodologie di calcolo utilizzate.
- Interviste condotte per raccogliere informazioni sui fabbisogni energetici del centro abitato preso in considerazione.
- Analisi statistiche e portali web per stimare i fabbisogni energetici del centro abitato e contestualizzare il territorio esaminato nell'ambito circostante.

1.4. OGGETTO DELLA TESI

La tesi è caratterizzata da uno studio di prefattibilità di varie tipologie di impianti mini-idroelettrici per il Comune di Chiomonte. Tra tutte le tipologie esaminate si scelgono quelle più perseguibili e si procede con il dimensionamento degli impianti scelti. Si quantifica l'energia ottenibile dalla risorsa acqua per valutare l'effettivo interesse energetico ed economico.

Allo studio di prefattibilità segue un sondaggio di tutte le altre fonti quali eolico, fotovoltaico e cogenerazione CAR per il teleriscaldamento.

Si procede con una comparazione tra tutte le fonti prese in esame nello studio per scegliere quelle più interessanti, con la possibilità di confermare anche più di un intervento.

Infine si quantifica l'impatto di questi nuovi impianti sul bilancio energetico ed economico del Comune a breve termine ed a lungo termine mettendo in luce quanto la produzione prevista influisca in percentuale sui consumi di questo Comune.

2. STRUTTURA DELLA RICERCA

2.1. INQUADRAMENTI

2.1.1. Inquadramento territoriale

2.1.1.1. Valle Susa

La valle di Susa, situata nel Piemonte occidentale, si sviluppa da est verso ovest per una lunghezza di 60 km rappresentando la maggiore via di comunicazione tra l'area di Torino e la regione francese Auvergne-Rhone-Alpes. Questa funge da confine tra la sezione delle Alpi Cozie a sud e quella delle Alpi Graie a nord. La conformazione della valle si articola in 3 sezioni ben distinte:

- Il fondovalle è caratterizzato da una forma ad U molto ampia e pressoché pianeggiante tra i comuni di Avigliana e Susa dove si presenta una biforcazione tra la val Cenischia a Nord piuttosto ampia e le formazioni moreniche di Meana e Gravere verso Sud-ovest.
- La media valle ha una forma più stretta a V fino al Comune di Salbertrand con una pendenza decisa e rive scoscese e boscate.
- In prossimità della piana di Oulx si presenta una seconda grande biforcazione tra la valle di Bardonecchia ad ovest e quella di Cesana a sud ovest. Qui la conformazione torna ad essere ampia ed il bacino idrografico molto esteso sviluppandosi sia verso nord che verso sud.

La valle si estende complessivamente per 1.200 km^2, ma lo sviluppo della superficie non è uniforme tra le varie sezioni. Infatti questa si presenta molto stretta nella parte iniziale fino al Comune di Bussoleno e nella parte di media valle; nella zona di Susa e nell'alta valle invece il bacino idrografico diventa molto ampio distribuendosi con una forma a raggiera.

I centri abitati principali si distribuiscono nei punti nevralgici del territorio:

- Bussoleno: localizzato tra l'imbocco e Susa, rappresenta il centro industriale più importante della valle e funge da punto di interscambio dei trasporti sui valichi del Moncenisio, del Monginevro e del Frejus.
- Susa: localizzata al centro della valle, è l'insediamento più importante e strategico. Fondato in epoca romana rappresenta il punto di passaggio nevralgico per i trasporti ed il turismo.

- Oulx: localizzata nell'omonima piana, è il punto di accesso a tutte le località turistiche dell'alta valle diventate ancora più famose ed importanti dopo le olimpiadi invernali di Torino 2006.
- Sestriere, Cesana Torinese, Claviere, Bardonecchia: località di alta montagna famose in tutto il mondo per gli sport invernali, sono il vero motore della valle e del turismo invernale di tutto il Piemonte.

Il bacino idrografico della Dora Riparia presenta la sua massima estensione in prossimità della testa della valle, infatti si divide in 4 valloni principali:

- Vallone di Rochemolles
- Valle Stretta
- Val Thuras
- Val Argentera

Questi contribuiscono in modo determinante all'alimentazione della Dora che riceve da qui la maggior parte della portata fino alla confluenza del Cenischia nel Comune di Susa, il maggior affluente di sinistra della Dora Riparia. Da qui il fiume non riceve più apporti considerevoli fino alla sua confluenza col fiume Po nel Comune di Torino. Il fiume presenta quindi due punti principali di accrescimento nell'alta valle e nella zona di Susa.

Nel tratto di media e bassa valle, la quasi totale assenza di affluenti e la caratteristica dei versanti influisce sullo studio del possibile sfruttamento della risorsa idrica presente.

La valle è contraddistinta da 5 catene montuose principali:

- Catena Rocciamelone-Charbonel
- Catena Bernauda-Pierre Menue-Ambin
- Catena Chaberton-Tabor-Galibier
- Catena Bric Froid-Rochebrune-Bel Traversier
- Catena Bucie-Grand Queyron-Orsiera

Per tutto il suo sviluppo fino all'abitato di Susa la valle è incastonata tra le due catene del Rocciamelone a nord e quella dell'Orsiera a sud. La val Cenischia funge da divisorio con la catena dell'Ambin che prosegue sul versante nord fino alla testa della valle in prossimità di Bardonecchia. Le due catene dello

Chaberton e del Bric Froid si sviluppano nella parte sud ovest della valle dove questa si apre nei tre valloni del Monginevro, Thuras ed Argentera.

La presenza di così tanti massicci differenti influisce sulla morfologia del territorio che da fondovalle fino alle cime più alte cambia continuamente forma, con un susseguirsi continuo di restringimenti ed allargamenti.

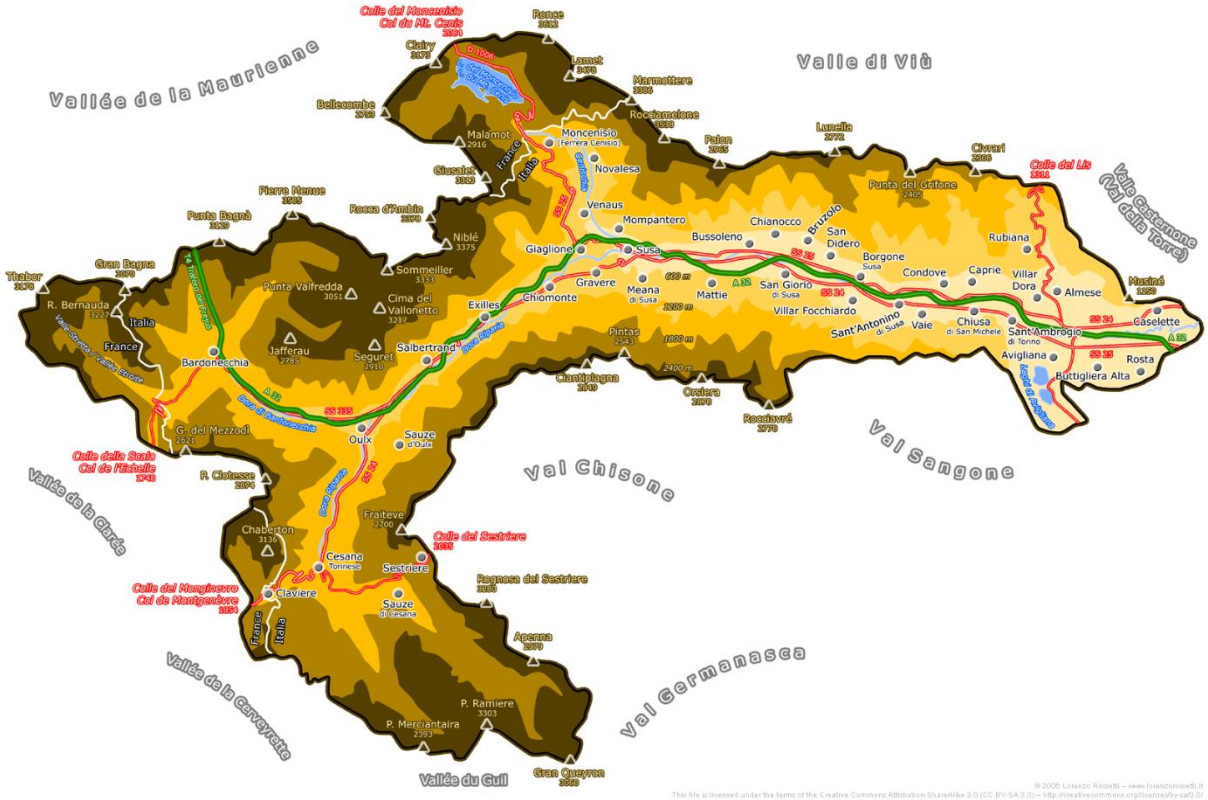


Figura 1 - Carta orografica della Valle Susa

La vegetazione della valle presenta caratteristiche comuni alle regioni geografiche delle Alpi Marittime e di quelle Cozie. Nella bassa valle, sul versante esposto a nord, prevalgono le latifoglie d'alto fusto come il castagno alle quote più basse ed il faggio a quelle maggiori. Salendo ancora, prevalgono le aghifoglie come il larice, che viene progressivamente sostituito dal pino cembro. Sul versante opposto invece, più soleggiato e secco, cresce una vegetazione di roverella anche in questo caso progressivamente sostituita dal pino silvestre.

Nella mezza valle la vegetazione prevalente è di aghifoglie, principalmente larici e pini. Nel Parco Naturale del Gran Bosco di Salbertrand, esposto completamente a nord, prevalgono invece i larici. Il territorio dell'alta valle si divide drasticamente tra i versanti esposti a sud e quelli a nord con una vegetazione del tutto simile agli altri tratti. Solo nei territori dell'estremo sud-ovest, corrispondenti alle

valli Thuras ed Argentera, la vegetazione risulta rigogliosa poiché più protetta dall'insolazione; questa risulta invece molto più forte nel tratto tra Salbertrand e Bardonecchia.

L'agricoltura si sviluppa principalmente nel fondovalle dove il terreno presenta pendenze più dolci e la larghezza della valle concede più spazio alle coltivazioni. Nel tratto tra Avigliana e Susa si intervallano terreni dedicati alla coltura del mais con quelli dedicati ai cereali, altri terreni sono dedicati allo sfruttamento del pioppo. Negli anni, sempre più terreni vengono abbandonati con un relativo rimboschimento. Sui versanti esposti a sud sopravvivono ancora terrazzamenti dedicati alle piante da frutto e sporadicamente a qualche vite.

Superate le formazioni moreniche di Susa ed entrando nel tratto Chiomontino l'agricoltura è quasi del tutto assente, solo nel tratto compreso tra i comuni di Gravere e Chiomonte, ed in quota minore ad Exilles, sono presenti piccoli appezzamenti dedicati alla produzione di fieno.

Anche nell'alta valle l'unica zona debolmente sfruttata risulta la piana di Oulx anche in questo caso in progressiva diminuzione.

Figura 2 - Bassa Valle Susa in direzione nord-ovest dalla Sacra di San Michele

L'industria, ancor più del settore agricolo, si concentra nel fondovalle per un più facile accesso alla rete dei trasporti in particolare alla ferrovia del Frejus, per l'approvvigionamento e l'esportazione dei prodotti. I principali poli industriali si estendono tra i comuni di Almese ed Avigliana nella bassa valle e tra Borgone

e Bussoleno salendo verso monte. Si ricordano tra le altre aziende la Z. ind. Siderurgica, la Azimut per la produzione di Yatch di lusso e la Irem per la costruzione di turbine idroelettriche.

La valle si configura come un corridoio fondamentale per i trasporti di tutta la nazione. La ferrovia Torino-Modane veicola la maggior parte delle merci provenienti da Lione e dalla maggioranza dei territori francesi che insieme alla linea costiera ligure rappresentano le uniche due ferrovie transfrontaliere con la Francia. Il traffico merci è molto intenso mentre quello passeggeri è per lo più concentrato nei comuni di fondovalle. I grandi treni passeggeri internazionali sono per la maggior parte in transito nelle stazioni della valle.

L'autostrada A32 collegata al tunnel del Frejus fornisce un corridoio di passaggio anche ai veicoli su gomma diretta nell'Europa dell'ovest. In aggiunta, su questa infrastruttura, circola anche la maggior parte del traffico turistico fino all'abitato di Oulx.

La valle è caratterizzata dalla presenza delle strade statali di importanza nazionale ss24 del Monginevro e di della ss25 del Moncenisio che mettono in comunicazione l'Italia con la Francia attraverso gli omonimi valichi. Queste strade oltre ad essere importanti vie di comunicazione per il trasporto di merci sono anche meta di traversate turistiche e località per le attività montane.

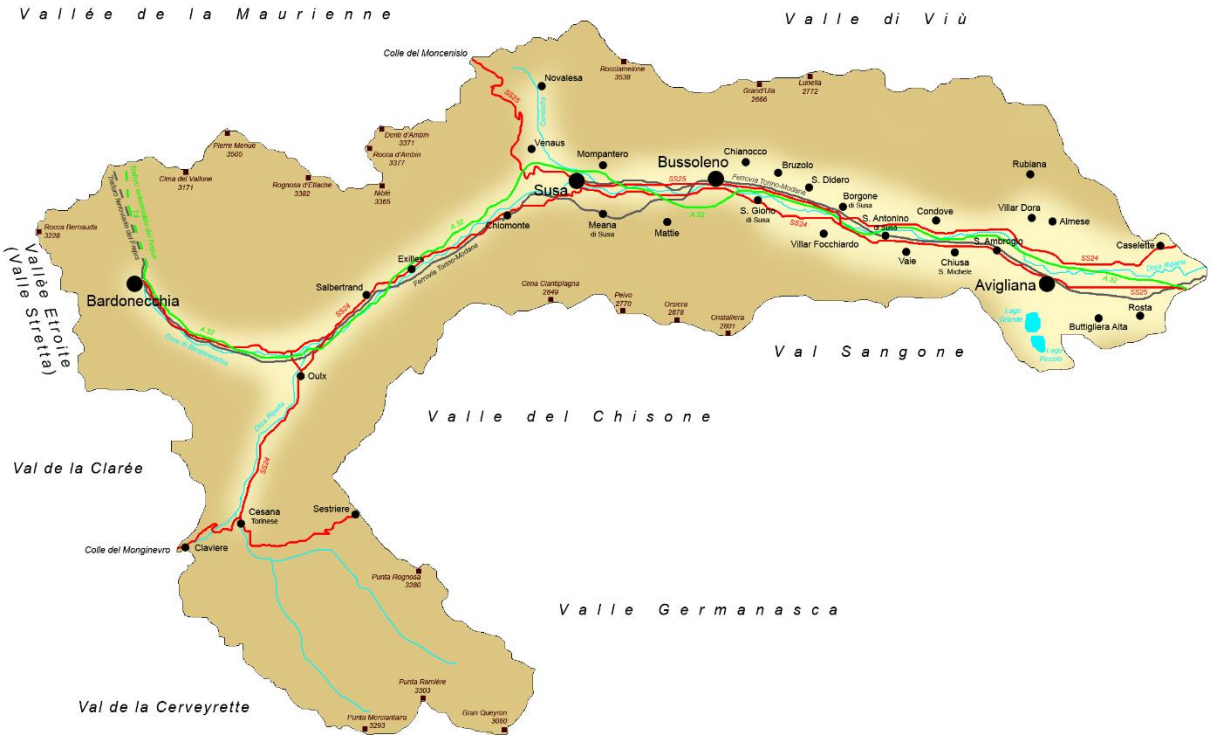


Figura 3 - Carta stradale della Valle Susa

Le olimpiadi di Torino 2006 hanno rappresentato un vero e proprio boom per il territorio della valle Susa per quanto riguarda i trasporti, le infrastrutture, il turismo e soprattutto la visibilità, ma hanno anche scatenato dello scontento per una parte della popolazione sfociando a volte anche in proteste violente.

Gli interventi di maggior importanza hanno riguardato il potenziamento dell'autostrada A32 per l'accesso alle località dell'alta valle, sede delle gare olimpiche, e la strada statale del Monginevro pesantemente rinnovata nel tratto tra Susa ed il confine francese del Colle del Monginevro.

Le maggiori controversie sono però scaturite per la costruzione della ferrovia alta velocità - alta capacità TAV Torino-Lione che interessa in particolare la bassa val di Susa ed il Comune di Chiomonte per lo scavo del tunnel di base del Frejus. Il cantiere nel Comune di Chiomonte e la sua incidenza sull'opinione pubblica, influirà nella trattazione di questo studio e verrà approfondito in seguito nella sezione del bilancio socio-economico.

2.1.1.2. Chiomonte

Si presenta adesso il Comune di Chiomonte, oggetto di studio. Questo piccolo paese montano sorge su una formazione quasi pianeggiante sul versante sud della valle ad un'altitudine di circa 750 m. Il letto della Dora Riparia giace 90 m più in basso alla base di una ripida scarpata boscata. Il centro abitato è costituito da 3 agglomerati: il capoluogo che sorge dove appena indicato, la frazione del Frais posta sul versante sud alla quota di 1.480 m s.l.m. e quella di Ramats sul versante nord a quota di 950 m s.l.m.circa.

Figura 4 - Versante Sud ed abitato di Chiomonte capoluogo

Il Comune si estende per una superficie di circa 27 km^2, un valore abbastanza piccolo per un centro montano e presenta una popolazione di 870 abitanti.

L'idrografia del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza, sul fondovalle, del Fiume Dora Riparia, che presenta caratteri tipici dei corsi d'acqua montani. I principali rii laterali che scorrono all'interno del territorio comunale di Chiomonte sono: Rio Combascura, Rio Mollières, Rio Rumiana e Rio Gelassa i quali sorgono tutti in destra idrografica sul versante sud. Questa caratteristica conferisce loro una buona portata durante tutto l'anno e non si presentano infatti periodi di totale secca. Sul versante nord invece, scorre il torrente Clarea confinante col Comune di Giaglione e pochi rii a carattere torrentizio nella zona dell'abitato di Ramats. Sui rii appena indicati si baserà lo studio per lo sfruttamento idroelettrico della risorsa.

Da evidenziare il Grand Pertus, una galleria artificiale lunga 433 m scavata per attraversare la cresta dei Quattro Denti a quota 2.040 m s.l.m. circa. Questa opera costruita tra il 1526 ed il 1533 dal minatore Colombano Romean, nativo di Chiomonte, serviva per convogliare le acque provenienti dal vallone Tiraculo della punta Niblè all'interno dell'impluvio di Chiomonte per alimentare le frazioni di Cels e Ramats. Questa opera fornisce acqua ai rii Paturan e Meirana aumentando in parte la portata molto scarsa dovuta all'esposizione sud ed una costituzione molto rocciosa.

Figura 5 - Portale sud Gran Pertus

Il Comune risulta incastonato tra il massiccio dell'Ambin a nord che culmina con la vetta della Rocca D'Ambin a quota 3.377 m s.l.m. e il massiccio del Ciantiplagna a sud a quota 2.849 m.

Il versante nord presenta una pendenza molto accentuata ed affioramenti continui di roccia che riducono molto lo sviluppo della vegetazione. Il versante sud invece risulta molto più dolce e qui la vegetazione è molto più rigogliosa a prevalenza di aghifoglie.

Anche la tipologia della vegetazione risulta completamente diversa tra i due versanti, a nord ed a bassa quota, dove è più soleggiato e secco, si sviluppano prevalentemente piccoli arbusti, invece salendo di altitudine, cresce la roverella progressivamente sostituita dal pino silvestre. A sud prevalgono i castagni ed i faggi a bassa quota mentre si presenta una quasi totalità di larici a quote maggiori.

Figura 6 - Versante nord nel Comune di Chiomonte

Figura 7 - Versante sud nel Comune di Chiomonte

Dal punto di vista infrastrutturale Chiomonte presenta una miscellanea di opere diverse. La statale ss24 del Monginevro ha plasmato la conformazione del capoluogo poiché questa via di comunicazione porta un grande traffico veicolare con un conseguente aumento delle opportunità per le attività commerciali e la villeggiatura. La presenza della stazione ferroviaria su una linea di importanza strategica per tutta la nazione consente un mezzo di trasporto facile che lo collega a Torino e crea altre opportunità di lavoro.

Sul versante opposto sorgono opere sicuramente più impattanti dal punto di vista paesaggistico: i due viadotti dell'autostrada Torino Bardonecchia con un'altezza che raggiunge gli 80 metri hanno costituito fonte di dibattiti negli anni passati per un'indiscutibile deturpamento del paesaggio montano. Questi si sono ulteriormente acuiti con l'apertura del cantiere del tunnel di base della TAV Torino Lione situato in prossimità del viadotto di valle dell'autostrada A32.

Figura 8 - Viadotto della A32 nel Comune di Chiomonte

2.1.2. Inquadramento socio-economico

2.1.2.1. Popolazione

Oggi la valle conta circa 90.000 abitanti ed i centri principali si concentrano nel tratto compreso tra Avigliana e Susa, dove la conformazione del territorio ne ha favorito l'insediamento. Proprio questi due comuni risultano i più popolosi con 12.000 e 6.000 abitanti. Segue un ampio numero di altri centri con una popolazione compresa tra i 1.000 ed i 5.000 abitanti. Nella media valle invece, gli insediamenti sono molto più piccoli e radi, come nel caso di Chiomonte che oggi conta circa 900 abitanti in continua diminuzione. Questo è dovuto da diversi fattori:

- La popolazione si è progressivamente spostata verso le grandi città per trovare lavoro e condizioni di vita migliori
- La costruzione dell'autostrada ha ridotto drasticamente il passaggio del traffico attraverso il territorio comunale che un tempo rappresentava fonte di reddito
- Le olimpiadi del 2006 hanno imposto un grande sviluppo delle località dell'alta valle che hanno successivamente raccolto la maggior parte dei villeggianti e dei turisti togliendo l'attenzione dalle altre località della media valle

L'alta valle è contraddistinta da centri di antica fondazione come Oulx, Cesana Torinese e Bardonecchia che si sono notevolmente ingranditi nel '900 con lo sviluppo del turismo invernale e centri sorti unicamente per questo fine, come Sestriere, Claviere e Sauze d'Oulx.

2.1.2.2. Economia

Il settore primario in forte riduzione come in tutte le valli alpine occidentali è caratterizzato dall'agricoltura dallo sfruttamento delle biomasse forestali e dalla pastorizia. Il terreno un tempo improduttivo per solo il 16,3% grazie ad un eccellente esposizione, oggi viene progressivamente abbandonato. L'agricoltura si concentra solamente nel fondovalle e sul basso versante nord. Lo sfruttamento delle biomasse invece è abbastanza florido soprattutto nella media valle dove si raggiungono volumi interessanti nell'ordine delle 100.000 tonnellate anno. Sopravvivono colture isolate di castagni da frutto, che si diffondono principalmente sul versante sud. Di grande importanza è invece l'allevamento del bestiame, principalmente bovini, ovini e caprini.

Il settore secondario è principalmente sviluppato nel settore chimico, meccanico e tessile concentrate ovviamente nella bassa valle, come precedentemente descritto. Nel settore meccanico l'ambito idroelettrico è tra i più sviluppati con impianti di interesse nazionale come quello di Venaus.

Il settore terziario è totalmente incentrato sul turismo che si concentra nelle località descritte.

2.1.3. Inquadramento energetico

2.1.3.1. Fabbisogno energetico allo stato di fatto

Calcolare i consumi energetici di un Comune è una pratica molto difficile, poiché necessita di conoscere quali siano le utenze di tutto il territorio e di che tipo: residenziali, industriali o servizi. Si deve per forza passare attraverso delle stime talvolta poco attendibili che rendono il risultato poco significativo. Se disponibili, è necessario basarsi su dati emessi da enti affidabili che svolgono sistematicamente studi e visure.

Non avendo trovato dati inerenti al Comune interessato si è proceduto cercandoli in realtà simili in modo da poter fare un adeguato paragone considerando i parametri che influiscono sui consumi sia termici che elettrici.

L'ARPAE, Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente Emilia – Romagna, ha emesso un documento riportante i consumi energetici per singolo Comune per l'anno 2018, utile a desumere una buona stima per quello di Chiomonte. Il criterio di scelta di un candidato equivalente da cui partire per eseguire la stima è basato sulla similitudine di:

- Altitudine
- Numero di abitanti
- Gradi giorno
- Territorio in cui si colloca

La ricerca ha evidenziato il Comune di Sestola in provincia di Modena come quello più idoneo per le caratteristiche riportate di seguito:

	Altitudine	Numero di abitanti	Gradi giorno	Territorio
Sestola	1.020	2.452	3.419	Versante esposto a nord - media montagna - appennino
Chiomonte	750	870	3.479	Versante esposto a nord – media montagna - alpi

Tabella 1 - Confronto comuni Sestola e Chiomonte

L'altitudine maggiore del Comune di Sestola, che prevedrebbe un clima più rigido se posto nello stesso territorio di Chiomonte, viene compensata dal fatto che complessivamente gli appennini presentano temperature più miti rispetto alle alpi. Questo implica una perfetta corrispondenza dei gradi giorno che rappresentano un buon indicatore della similarità. Segue una tabella riassuntiva dei consumi totali di energia termica ed elettrica per il Comune di Sestola:

Consumi energetici comune di Sestola [MWh]						
th	el	tot		gradi giorno		popolazione
46796	7235	54030		3419		2452

Tabella 2 - Riassunto caratteristiche Comune di Sestola

Energia Elettrica

Per stimare il fabbisogno di energia elettrica si esegue una media pesata sulla popolazione di Chiomonte come segue:

$$E_{el\ Chiomonte} = \frac{Pop_{Chiomonte}}{Pop_{Sestola}} \cdot E_{el\ Sestola}$$

Si ottiene un valore di $E_{el\ Chiomonte}$ = **2.612.000 kWh/y.**

Questo valore corrisponde ad un consumo elettrico pro capite di **3.000 kWh/y**, appena sotto la media nazionale di **4.880 kWh/y,** il che è prevedibile a causa delle caratteristiche montane ed al ridotto numero di abitanti della località.

Per ottenere un andamento veritiero dei carichi elettrici del Comune durante l'anno, ci si basa su un dato medio nazionale di variabilità pari ad **1,6** con massimo durante il mese di Agosto e minimo nel mese di Febbraio.

Si formula un andamento sinusoidale che abbia come rapporto degli estremi proprio **1,6** e che sottenda un'energia pari al fabbisogno di **2.612.000 kWh/y.**

	E normalizzata	E men [MWh/m]	P med[kW]
gennaio	0.69	179.6	249.5
febbraio	0.66	173.1	240.4
marzo	0.69	179.6	249.5
aprile	0.75	196.0	272.2
maggio	0.83	217.8	302.4
giugno	0.92	239.5	332.7
luglio	0.98	255.9	355.4
agosto	1.00	261.3	362.9
settembre	0.98	255.9	355.4
ottobre	0.92	239.5	332.7
novembre	0.83	217.8	302.4
dicembre	0.75	196.0	272.2

Tabella 3 - Curva dei carichi elettrici annuale

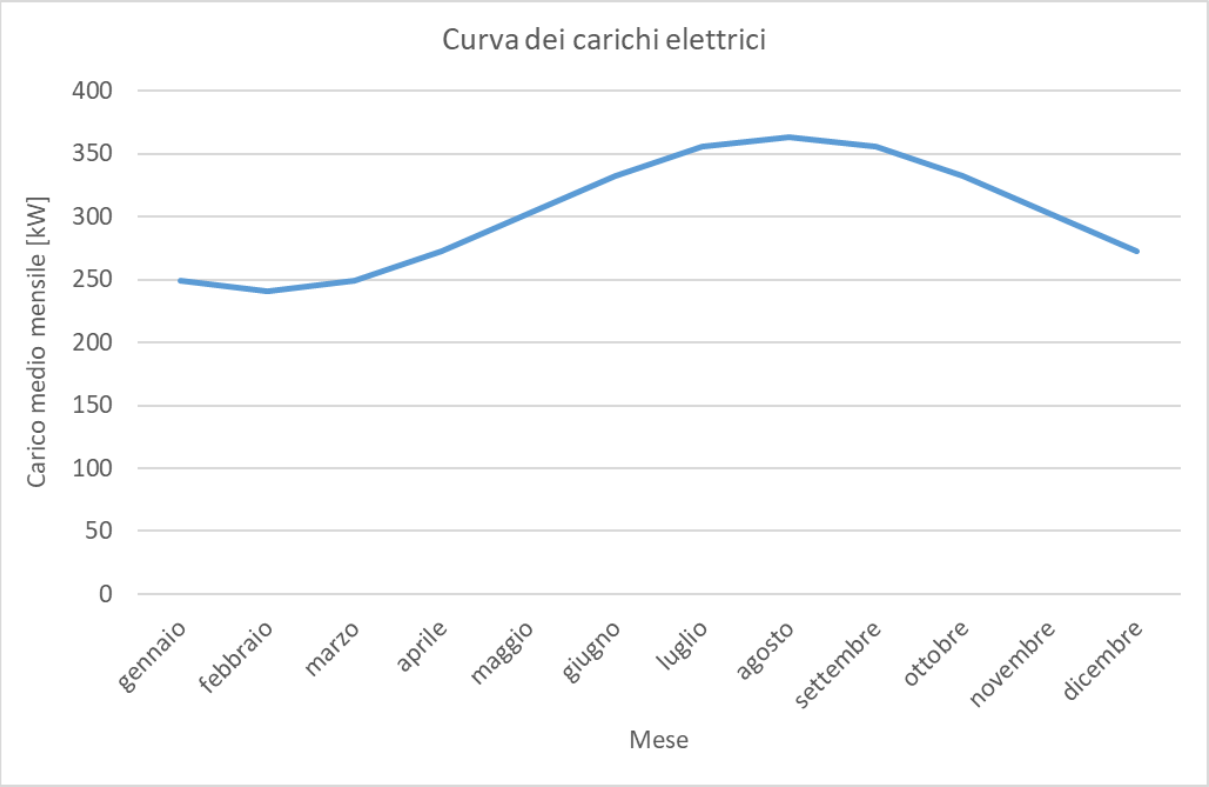


Figura 9 - Curva dei carichi annuale

Successivamente, dalla curva dei carichi elettrici si estrae la curva di durata da abbinare a quella termica per il dimensionamento degli impianti di cogenerazione e teleriscaldamento.

Energia termica

Il fabbisogno termico segue una strada leggermente diversa, poiché deve essere circoscritto ad agglomerati abitati che siano raggiungibili dalla stessa rete di fornitura del calore per cui si dimensiona l'impianto di teleriscaldamento. Si esegue quindi una media pesata sulla popolazione del solo Chiomonte capoluogo che conta circa **600** abitanti. In aggiunta si pesano anche i gradi giorno indicatori affidabili della richiesta termica:

$$E_{th\ Chio\ capo} = \frac{Pop_{Chiomonte\ capo}}{Pop_{Sestola}} \cdot \frac{GG_{Chiomonte\ capo}}{GG_{Sestola}} \cdot E_{th\ Sestola}$$

Si ottiene un valore di $E_{th\ Chiomonte\ capo}$ = **11.652.000 kWh/y.**

Per verificare l'attendibilità del dato si vuole ricavare il coefficiente di consumo specifico annuo per metro quadrato, confrontabile con i valori medi delle abitazioni montane. Ci si aspetta che nel Comune indicato la classe energetica delle abitazioni si attesti tra la F e la G, che corrisponde ad un intervallo compreso tra **150 e 200 kWh/m^2.**

Si ipotizza che nel capoluogo ci siano circa **400 abitazioni** per una superficie media di **180 m^2**. Con la formulazione seguente è possibile ricavare il fabbisogno termico specifico:

$$e_{th\ spec} = \frac{E_{th\ Chiomonte\ capo}}{n_a \cdot S_a}$$

Con:

$e_{th\ spec}$ = fabbisogno termico specifico,

n_a = numero di abitazioni;

S_a = superficie media abitazioni;

Il risultato ottenuto vale **161,8 kWh/m^2** e rientra nelle classi F e G previste.

L'andamento del fabbisogno termico è direttamente proporzionale al salto termico che intercorre tra gli ambienti interni e quello circostante. E' quindi possibile ricavare quest'ultimo dalla variazione delle temperature esterne registrate a Chiomonte durante tutto l'anno.

Si sono quindi cercate le stazioni meteo più vicine al luogo interessato per poter ricavare dati climatici il più affidabili possibili. Sono emersi valori inerenti le località di Luserna san Giovanni in Valle Pellice e Oulx nell'alta Valle Susa.

Le tabelle ottenute riportano le temperature massima media e minima media per ogni mese. Si è ricavata una tabella analoga per Chiomonte interpolando linearmente tra le altitudini di Luserna San Giovanni e Oulx che si trovano rispettivamente a 478 e 1121 m s.l.m.

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva ottenuta:

CHIOMONTE	Mesi												Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
T. max. media (°C)	3.3	4.9	8.7	12.9	18.3	21.8	24.8	23.1	19.3	12.9	7.8	4.9	13.6
T. min. media (°C)	-6.4	-5.3	-1.2	2.7	6.5	10.3	12.3	11.6	9.0	3.9	-0.9	-3.9	3.2
T med.	-1.5	-0.2	3.7	7.8	12.4	16.1	18.6	17.4	14.1	8.4	3.5	0.5	8.4

Tabella 4 - Andamento temperature medie Chiomonte

I valori di temperatura media mensile vengono ordinati in modo decrescente per ricostruire la curva di durata. E' quindi necessario trovare la temperatura dell'ambiente esterno alla quale si stabilisca un equilibrio termico con gli ambienti interni delle abitazioni. Sottraendo alla temperatura di equilibrio appena descritta i valori di quella esterna si ottiene il dislivello termico responsabile delle dispersioni termiche e quindi direttamente proporzionale ai consumi:

ore	temp media esterna [°C]	temp di equilibrio [°C]	salto di temp positivo [°C]
0	-2.0	16.0	18.0
365	-1.5	16.0	17.5
1095	-0.2	16.0	16.2
1825	0.5	16.0	15.5
2555	3.5	16.0	12.5
3285	3.7	16.0	12.3
4015	7.8	16.0	8.2
4745	8.4	16.0	7.6
5475	12.4	16.0	3.6
6205	14.1	16.0	1.9
6935	16.1	16.0	0.0
7665	17.4	16.0	0.0
8395	18.6	16.0	0.0
8760	19.0	16.0	0.0

Tabella 5 - Salto termico tra ambienti interni ed esterni

Ovviamente per salti termici negativi viene imposto il valore 0 poiché in questi periodi non è necessario fornire calore. Si esegue quindi la normalizzazione della serie per poter conteggiare anche l'apporto dell'acqua calda sanitaria ipotizzata come il 20% del massimo fabbisogno termico. Infine viene normalizzata nuovamente la serie come segue:

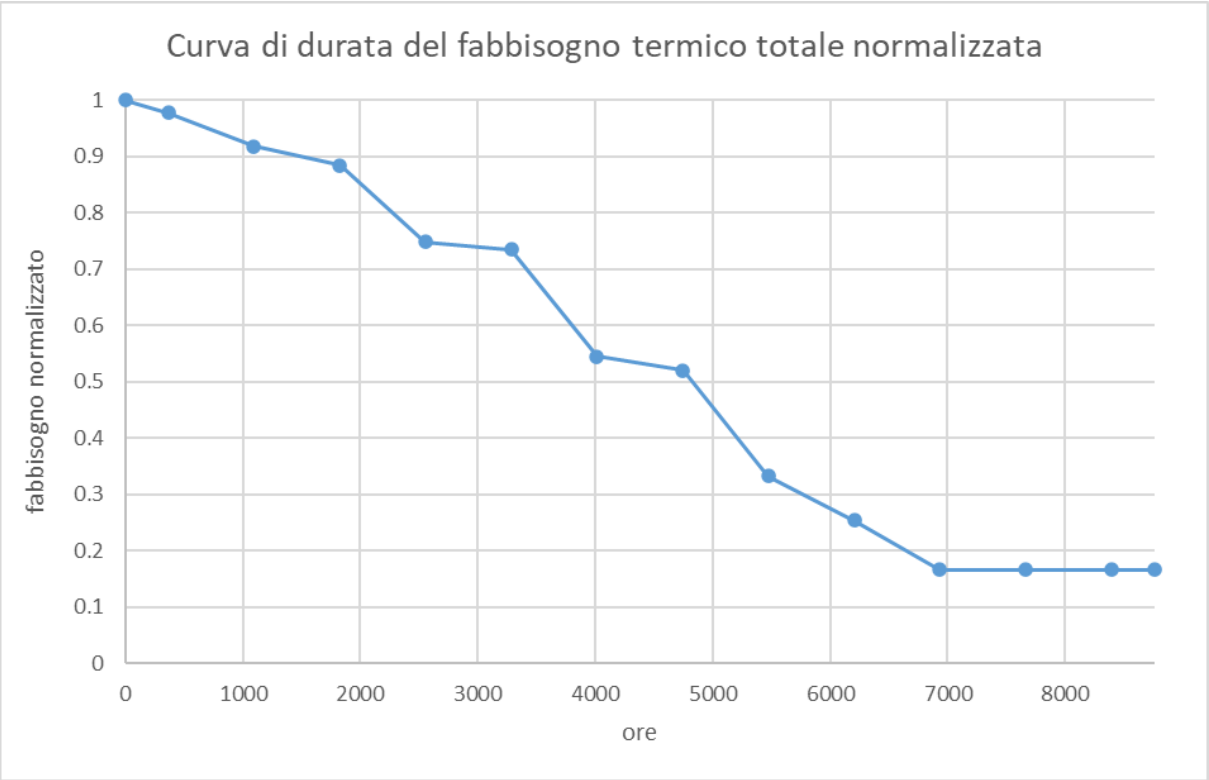


Figura 10 - Curva di durata del fabbisogno termico totale normalizzata

E' quindi possibile ricavare i valori di potenza che rispettano contemporaneamente la curva di durata e che sottendono un'energia proprio equivalente al fabbisogno termico del Comune pari a **11.652.000 kWh/y:**

Ore	Potenza term norm	Energia term [MWh]	Potenza term [MW]
0	1.00		2.49
365	0.98	897.4	2.43
1095	0.92	1719.8	2.28
1825	0.88	1635.3	2.20
2555	0.75	1481.3	1.86
3285	0.73	1345.3	1.83
4015	0.55	1161.4	1.36
4745	0.52	966.5	1.29
5475	0.33	773.7	0.83
6205	0.25	532.7	0.63
6935	0.17	382.0	0.41
7665	0.17	302.6	0.41
8395	0.17	302.6	0.41
8760	0.17	151.3	0.41
tot		**11651.8**	

Figura 11 - Ricavo della curva di durata della potenza termica

Per concludere si riporta il grafico riassuntivo delle curve di durata dei fabbisogni termici per Chiomonte capoluogo e fabbisogni elettrici per l'intero Comune:

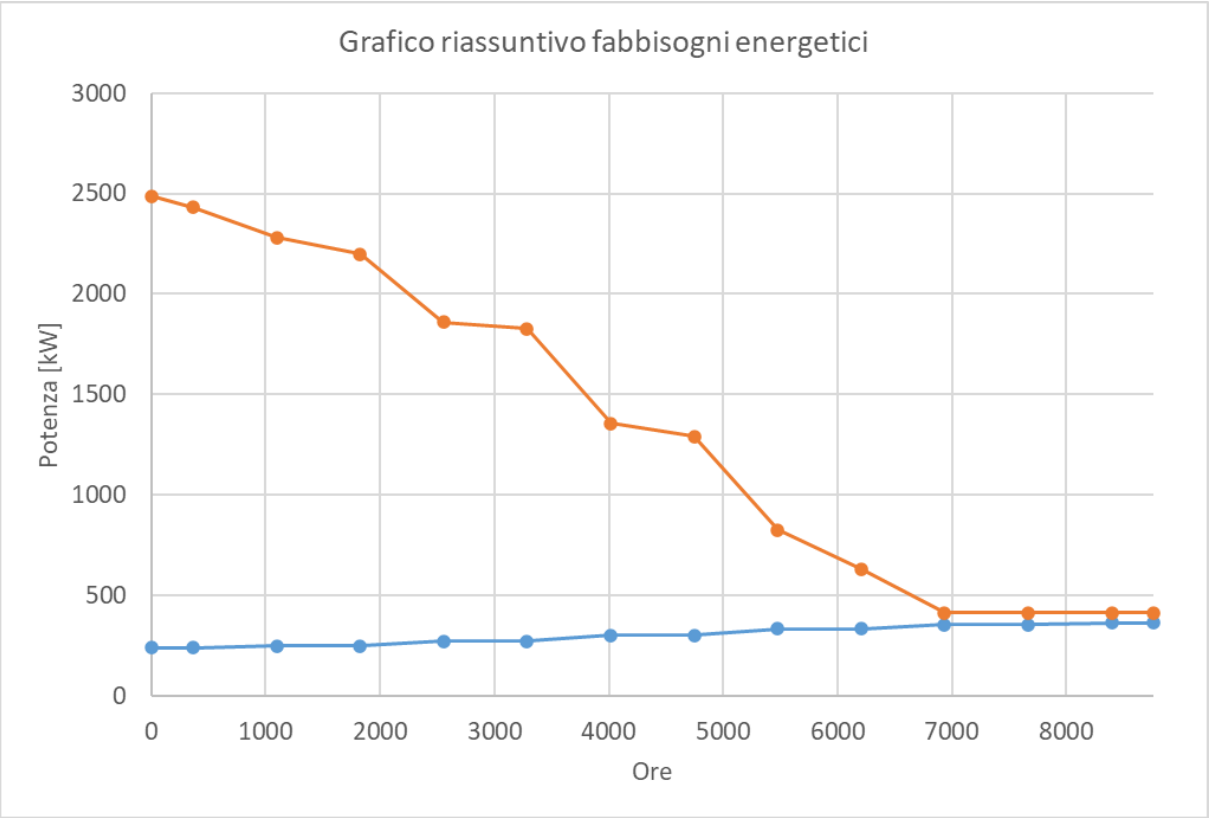


Figura 12 - Grafico riassuntivo fabbisogni energetici

2.1.3.2. Produzione energetica

La produzione energetica della valle è completamente sbilanciata verso le fonti rinnovabili ed in particolare sull'idroelettrico di grande potenza. La produzione da fonte eolica è limitata ad un unico piccolo impianto di taglia attorno ai 20 kW localizzato nel Comune di Oulx nella frazione di Gad. Solo in questa località e nel tratto della media valle si registrano dati di ventosità interessanti limitando molto l'applicazione di questa tecnologia. La produzione fotovoltaica è limitata a piccoli impianti su abitazioni e capannoni industriali rendendo impossibile stimare l'energia generata. Solo dagli ultimi anni si stanno diffondendo piccoli impianti sugli edifici pubblici presenti in tutti i comuni come le scuole elementari, palestre, edifici della proloco e case di cura con potenze comunque mai superiori ai 100 kWp. Parchi fotovoltaici di grandi dimensioni sono completamente assenti anche nella bassa valle, seppur il terreno sia favorevole.

Non si evidenzia la presenza di generazione convenzionale termoelettrica che si concentra attorno alla città metropolitana di Torino con grossi cicli combinati a gas naturale.

Impianti idroelettrici esistenti

La Valle Susa è caratterizzata da tre sezioni distinte di grande produzione idroelettrica:

- Impianto a bacino di Rochemolles-Bardonecchia nell'alta valle
- Impianto a bacino di Venaus
- Impianti sulla Dora Riparia nel tratto compreso tra Oulx e Susa

Gli impianti a bacino sono tendenzialmente caratterizzati da una potenza installata superiore rispetto a quelli ad acqua fluente ma riescono ad assicurare una producibilità energetica inferiore a causa della limitata quantità di acqua disponibile imposta dalla capienza del bacino. La potenza complessivamente installata in valle supera abbondantemente i **500 MW,** rendendola una delle più pesantemente sfruttate in Italia sia per taglia che per dimensione degli impianti.

Impianto di Rochemolles - Bardonecchia

E' costituito da 2 gruppi, il primo dalla potenza complessiva di 20,5 MW ed un secondo da 3 MW dedicato a turbinare le acque potabili per l'acquedotto di valle. A regime l'impianto è in grado di produrre 42 GWh anno, il fabbisogno di consumo di oltre 15.000 famiglie, evitando l'emissione in atmosfera di circa 30.000 t di CO_2 ogni anno.

Figura 13 - Lago di Rochemolles

Impianto di Moncenisio - Venaus

"*La centrale idroelettrica sfrutta una parte delle acque del lago del Moncenisio, in territorio francese. Mediante la galleria di derivazione in pressione, lunga 7.930 metri, l'acqua raggiunge la vasca di carico a quota 1858 metri s.l.m., presso le Grange Martina nel territorio di Venaus; lungo il percorso, inoltre, vengono raccolte, tramite l'immissione in pozzo, le acque del Rio Bar, del Rio Berta, del Rio Clanero e quelle del torrente Clarea, convogliate tramite un canale di gronda.*

Un particolare impianto, poi, porta al lago le acque del torrente Cenischia che, sgorgando ad un livello inferiore all'invaso, non sarebbero state altrimenti utilizzabili.

Le acque che si accumulano durante il giorno nel lago di S. Nicolao (quota 1719 metri s.l.m.), nella notte vengono immesse in una galleria della centrale preesistente, parallela a quella già descritta, e portate fino alla località Passore (1650 metri s.l.m.), denominata Piansuffi.

Figura 14 - Condotta forzata centrale di Venaus

Qui la stazione di pompe spinge l'acqua per 250 metri nella tubazione e sempre grazie a questa spinta percorre poi a ritroso la galleria della nuova centrale, fino a defluire nel lago. Riprendendo il percorso dell'acqua che verrà direttamente sfruttata nella centrale di Venaus, dalla vasca di carico, questa si immette in una tubazione ancorata sul fianco della

montagna per i 2/3 della sua lunghezza, mentre la parte restante è scavata nella roccia, quasi in verticale, fino a raggiungere la caverna a quota 618 metri s.l.m.

La caverna ha dimensioni imponenti: 50 m. x 25 m. di superficie ed un'altezza di 23 m.
E' collegata all'esterno da tre gallerie: una per l'uscita dell'elettrodotto, una per il deflusso delle acque e una di servizio.
In questa cavità avviene la trasformazione dell'energia idraulica in elettrica, grazie al salto di 1.304 m. che l'acqua subisce, mediante due gruppi generatori costituiti ciascuno da una turbina Pelton ad asse verticale da 120 MW ciascuna ed un alternatore.
Affinché l'energia prodotta non subisca forti dispersioni nel trasporto su lunghe distanze, essa è elevata a 380.000 V mediante due trasformatori da 140.000 MVA ciascuno, installati nella stazione elettrica all'aperto.
A questa stazione fanno capo le due linee da 380.000 V che collegano l'impianto di produzione, una alla stazione di distribuzione di Piossasco (TO), l'altra all'impianto francese di Villarodin (F).
L'acqua fuoriuscita dalle turbine verrà successivamente sfruttata dalla piccola centrale di Mompantero, ma per ovviare alla disparità di portata si è reso necessario un impianto di accumulo (o di compenso), costituito sia dal vecchio bacino dalla capacità di 40.000 metri cubi, sia da quello nuovo dalla capacità di 160.000 metri cubi".

(riferimento: SITOGRAFIA [3]).

Figura 15 - Bacini di compenso centrale di Venaus

Impianti ad acqua fluente sulla Dora Riparia

Nel tratto di valle interessato dal presente studio sono presenti 3 impianti tutti ad acqua fluente che ricevono le portate attraverso una derivazione captata con traversa in alveo.

Il primo impianto di Pont Ventoux – Susa risulta slegato dai 2 impianti seguenti; infatti le portate captate nel Comune di Oulx procedono in caverna fino in val Clarea per poi essere turbinate e restituite in prossimità dell'abitato di Susa con un'opera separata.

Sull'asta Salbertrand-Susa i 2 impianti sono in "cascata" poiché le portate turbinate nell' impianto di monte vengono convogliate, con aggiunta di un'integrazione proveniente dall'alveo della Dora, nell'impianto di Valle e la restituzione avviene alle soglie dell'abitato di Susa.

Impianto Pont Ventoux – Susa

L'impianto utilizza l'acqua della Dora Riparia e parzialmente quella del suo affluente di sinistra Clarea la quale viene convogliata tramite un canale derivatore di 14 Km al serbatoio di Clarea con una capacità utile di 560.000 m^3. Nella centrale in caverna di Venaus sono posizionati due gruppi di produzione con potenza di 78,5 MW ciascuno, uno binario turbina-alternatore ed uno ternario turbina-alternatore-pompa, che turbinano una portata massima di 33 m^3/s con un salto utile di 515 m. La capacità produttiva è di circa 350 GWh/anno. A valle della centrale l'acqua viene restituita nel serbatoio delle Gorge di Susa da 440.000 m^3 con un canale di 1,6 Km, grazie al quale, nelle ore notturne, l'acqua può essere ri-pompata nel serbatoio di Clarea, così da poterla utilizzare per la produzione di energia pregiata nelle ore diurne, quando la domanda è maggiore.

Figura 16 - Serbatoio delle Gorge di Susa

Impianto Salbertrand – Chiomonte

L'impianto ad acqua fluente utilizza l'acqua della Dora Riparia e dei tre rii minori Pontetto, Galambra e Clarea con un salto di 326 m. Nella centrale di Chiomonte erano installati tre gruppi di generazione con potenza di 4,5, 4,5 e 6,0 MW poi sostituiti nel periodo 2020-2021, raggiungendo una potenza di 9,2 MW odierni a pieno regime.

Figura 17 - Centrale idroelettrica di Chiomonte

Impianto Chiomonte – Susa

L'impianto ad acqua fluente utilizza l'acqua della Dora Riparia in aggiunta alle portate provenienti dalla centrale Salbertrand – Chiomonte posta a monte. Il salto vale circa 115 m e la potenza raggiunge i 7,6 MW. Anche in questo caso l'impianto è stato interessato da un grande lavoro di revamping che ha previsto la sostituzione dei due gruppi di generazione.

Il mantenimento in esercizio di questi 2 impianti assicura anche importanti funzioni di pubblica utilità per il territorio come la salvaguardia delle servitù irrigue, il presidio idrogeologico ed il servizio antincendio. La potenza totale degli impianti è di 16,8 MW. Dal 2021, a seguito del periodo interessato dagli interventi di riqualificazione, i due impianti hanno funzionato a pieno regime.

Figura 18 - Centrale idroelettrica di Susa

Impianti progettati dallo studio Rosso

Impianti su acquedotto

Impianto idropotabile "Orsiera – Grange Burin – Touron"

Questo impianto si configura come un potenziamento di uno esistente sulla rete di Chiomonte capoluogo. La configurazione attuale prevede la captazione di una portata sorgiva media di circa 20 l/s a quota 1509 m s.l.m. convogliata in una condotta da 125 mm fino ad una vasca rompitratta posta a circa 1120 m s.l.m. e successivamente al locale centrale posto a quota 817 m s.l.m. Questa soluzione limita il salto lordo a 303 m che a causa del ridotto diametro della condotta si riduce sensibilmente a causa delle perdite di carico; la potenza resa dalla vecchia turbina è di 40 kW.

L'intervento di potenziamento prevedrà la sostituzione della condotta esistente con una da 200 mm in acciaio per diminuire le perdite di carico, la quale seguirà un altro percorso per evitare l'ingresso di aria nella tubazione, problema che si presentava già precedentemente. Si rimuoverà la vasca rompitratta per innalzare il salto utile a tutto il dislivello disponibile passando da 303 m a 695 m. La portata rimarrà pressoché la stessa poiché vincolata alle sorgenti captate.

Contestualmente alla rimozione della vasca rompitratta si prevede l'installazione di una vasca anti incendio alla quota di 1120 m s.l.m. che attinga le portate dalla nuova condotta forzata. Nello stesso punto si prevede l'installazione di una diramazione che alimenti la frazione di Grange Burin posta a qualche centinaia di metri dal nuovo tracciato.

La potenza resa dall'impianto salirà a circa 120 kW netti, triplicando così il valore del precedente.

E' previsto un futuro aumento della portata grazie alla captazione di una quarta sorgente denominata Carbonella a quota 1600 m s.l.m. convogliata alla vasca di carico principale posta a quota 1509 m s.l.m. Questa captazione incrementerà la portata disponibile fino a 24 l/s con un relativo aumento di potenza fino a 160 kW circa.

L'intervento sfrutta la presenza dell'edificio adibito a vasca di accumulo per aggiungere un nuovo locale dove sarà alloggiata la turbina Pelton da 160 kW nominali. La macchina è studiata per poter trattare acque potabili che vengono infatti rilasciate dalla turbina alla rete acquedottistica. Normalmente l'energia posseduta dalle portate addotte alle vasche di accumulo montane viene tutta dissipata, il suo sfruttamento si configura quindi come una soluzione economicamente ed energeticamente interessante.

Figura 19 - Foto inserimento dell'ampliamento centrale di Touron

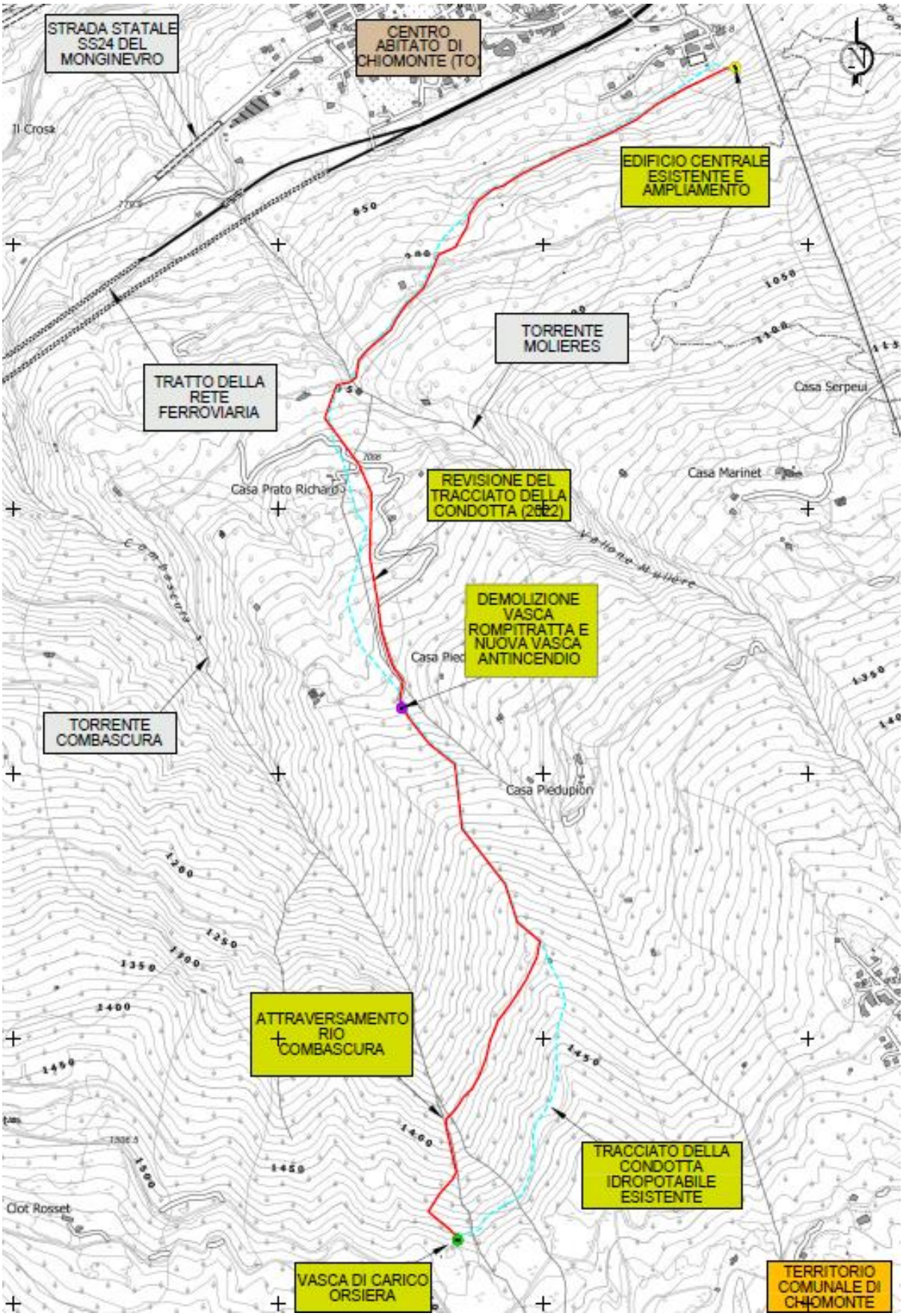


Figura 20 - Planimetria generale degli interventi impianto di Touron

Impianti ad acqua fluente

Impianto sul rio Combascura

Questo impianto è caratterizzato dalla captazione delle portate di un rio secondario che confluisce nella Dora Riparia interamente nel Comune di Chiomonte. L'opera di presa di tipo Coanda sarà installata su una traversa posta nell'alveo a quota 980 m s.l.m. circa.

Figura 21 - Luogo di installazione opere di presa impianto Combascura

Le quote di presa e rilascio sono state fissate in base a due motivazioni principali:

- Possedere un bacino idrografico che assicuri una portata sufficiente all'alimentazione di una turbina, dovendo sottostare all'obbligo di rilascio di deflusso minimo vitale.
- Rispettare le limitazioni di lunghezza massima di tratto sotteso imposte dalla metodologia ERA della direttiva derivazioni del fiume Po.

Questi vincoli hanno portato ad imporre una portata massima di 50 l/s ed un dislivello lordo di 235 m circa.

Si tratta comunque di valori interessanti per un impianto mini-idroelettrico che raggiungerà una potenza di 85 kW.

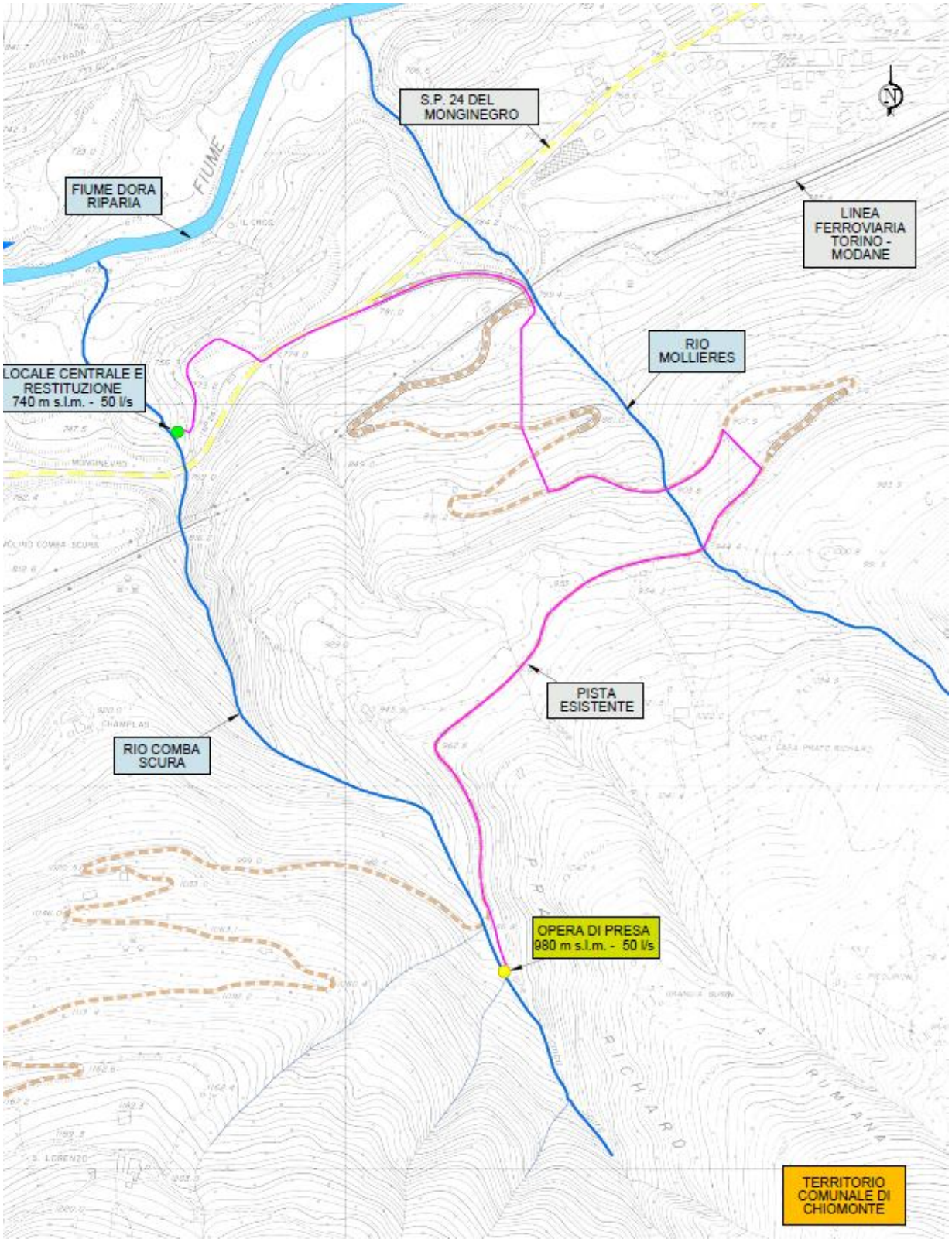


Figura 22 - Planimetria di dettaglio impianto Combascura

Impianto sul rio Mollieres

L'impianto in esame si presenta come gemello di quello precedente poiché sorge sul rio adiacente e presenta caratteristiche molto simili. L'opera di presa Coanda sorgerà ugualmente su una traversa posta in alveo e la quota sarà circa 953 m s.l.m.

Figura 23 - Luogo di installazione opere di presa impianto Mollieres

Per la loro vicinanza e per semplificare i lavori di scavo, le due condotte verranno posate in parte parallelamente. Anche per questo progetto le quote di presa e rilascio sono state fissate per rispettare i medesimi vincoli. La portata risultante sarà di 70 l/s e il dislivello lordo 144 m. La potenza ottenibile si aggirerà attorno ai 85 kW e quella installata sui 95 kW risultando molto simile al suo impianto gemello del Combascura.

Questi tre impianti in progetto forniranno al Comune di Chiomonte una potenza di circa 330 kW ed una producibilità complessiva di circa 1,6 GWh.

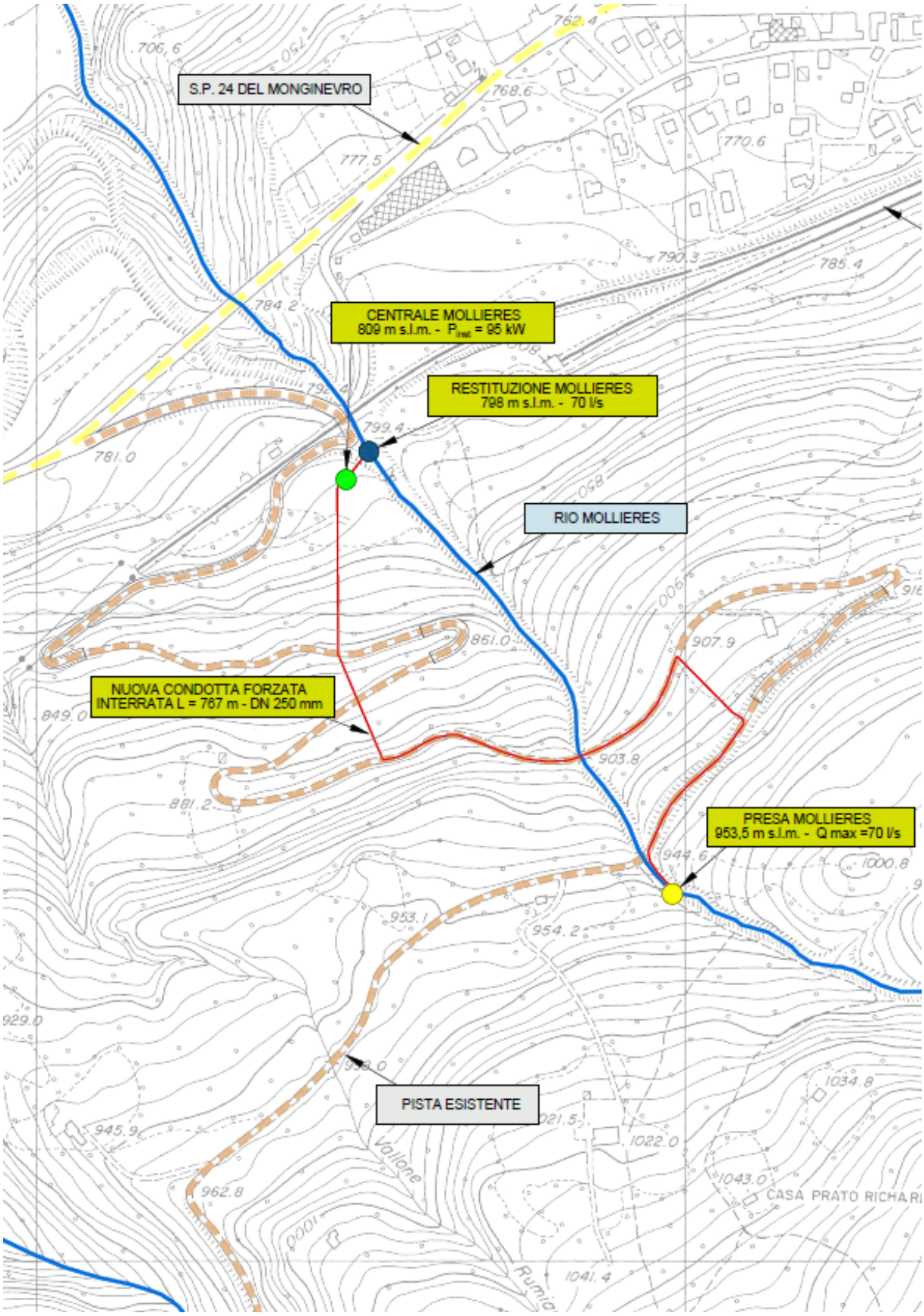


Figura 24 - Planimetria di dettaglio impianto di Mollieres

2.1.4. Visione a medio e lungo termine del tema energetico del Comune

Allo stato attuale la produzione elettrica per il Comune di Chiomonte è limitata all'impianto sulla rete acquedottistica del capoluogo denominato Touron. Questo impianto progettato tra il 1994 ed il 1998 è entrato in servizio nel 2002 e funziona ancora oggi con una producibilità che si attesta attorno ai 300.000 kWh annui. In ordine cronologico, partendo dal breve termine, il progetto di potenziamento dell'opera prevede di innalzare la potenza installata fino ai 160 kW con una producibilità di 1.100.000 kWh. Successivamente entrerebbero in servizio gli impianti Mollieres e Combascura con una producibilità rispettivamente di 195.000 e 285.000 kWh.

Al 2025 la generazione sul territorio comunale aumenterebbe del 500% con la sola generazione idroelettrica raggiungendo i 1.600.000 kWh. Con il presente studio si punta a rafforzare ulteriormente la produzione con l'obiettivo primario di raggiungere una producibilità pari al fabbisogno di 2.600.000 kWh. La sfida non sembra impossibile, poiché sono presenti ancora tante risorse sul territorio da essere esaminate. Solo a quel punto sarebbe possibile ipotizzare l'instaurazione di una comunità energetica locale che miri all'autosufficienza. La proiezione al 2050, altra data faro per la transizione energetica globale, prevede una generazione ampiamente sviluppata e diversificata su varie fonti tutte sostenibili, che soddisfino in ogni istante le richieste e che siano complessivamente sovrabbondanti consentendo la cessione verso la rete nazionale.

Per quanto riguarda la produzione termica l'obiettivo è duplice: sfruttare la biomassa legnosa locale per minimizzare l'emissione di CO_2 fossile in atmosfera e soddisfare la maggior parte dei fabbisogni. Allo stato dell'arte è praticamente impossibile dimensionare un impianto economicamente sostenibile che copra completamente anche i picchi. Quando viene fornito il 60 % dell'energia richiesta la soluzione è da considerarsi ben riuscita. In una visione a lungo termine si ipotizza la coesistenza della rete di teleriscaldamento e degli impianti di integrazione a legna o pellet per ogni abitazione progressivamente sostituiti da una generazione solare termica. Un'altra soluzione per la riduzione degli impianti di integrazione, di efficienza minore rispetto a quelli cogenerativi di grandi dimensione, è l'ottimizzazione delle curve di carico termico attraverso sistemi di accumulo che disaccoppiano temporalmente l'istante in cui viene prodotta e consumata l'energia e riducono i picchi di richiesta.

2.2. RISORSA IDRICA

2.2.1. Sondaggio delle potenzialità di tutta la risorsa idrica

Prima di analizzare singolarmente le possibili applicazioni idroelettriche, è necessario fornire una visione d'insieme della risorsa presente sul territorio per comprendere l'effettiva fattibilità delle opere.

La fonte energetica più importante è costituita dalla Dora Riparia che scorre all'interno del territorio comunale in direzione nord-est con una pendenza media del 2,5%. Le portate medie annuali oscillano tra i 4 ed i 25 m^3/s con il picco localizzato nel mese di Maggio-Giugno. Le portate in questo tratto sono influenzate anche da 2 importanti derivazioni a scopo idroelettrico poste più a monte nel territorio di Oulx e Salbertrand a servizio degli impianti precedentemente descritti di Pont Ventoux e Chiomonte.

Non sono presenti laghi naturali né nel fondovalle né sui versanti vallivi. Si evidenzia la presenza di un piccolo bacino artificiale nell'abitato del Frais per la produzione di innevamento artificiale per la stagione sciistica.

Gli affluenti della Dora si concentrano principalmente in destra orografica; questo è dovuto a due principali fattori: l'esposizione nord del versante che lo rende sicuramente più umido ed una pendenza più dolce che allunga la distanza tra il fondovalle e la cresta di displuvio aumentando l'estensione dei bacini idrografici sottesi. I rii sono i già citati Combascura e Mollieres con l'aggiunta di altri corsi d'acqua d'entità ancora minore tra cui il rio Maioles al confine col territorio di Gravere.

In sinistra, il pendio ha caratteristiche completamente diverse presentando rocce affioranti, pendenze molto più arcigne e vegetazione molto più rada. Qui i rii sono a carattere torrentizio e per alcuni periodi dell'anno sono in secca. Il più importante è il rio Paturan che scorre al confine col Comune di Exilles, sorgendo in prossimità della Cresta dei Quattro Denti e dirigendosi verso la frazione di Champriond. E' alimentato in parte dal Gran Pertus durante i mesi primaverili ma per il resto dell'anno presenta portate davvero esigue dell'ordine di 2-3 l/s.

La rete acquedottistica rappresenta una fonte di energia interessante. Sul territorio se ne evidenziano tre principali che alimentano i relativi tre centri abitati. La maggiore è quella al servizio del capoluogo, alimentata da una decina di sorgenti divise in due gruppi, il gruppo Orsiera a quota di 1500 m s.l.m. circa in prossimità della frazione del Frais ed il gruppo di valle situato ad una quota compresa tra i 1000 ed i 1100 m s.l.m. appena sopra l'abitato. La rete del Frais invece è costituita da 3 sorgenti a quote comprese tra 1600 e 1850 m s.l.m. che confluiscono in un'unica condotta di adduzione. Quella di Ramats risulta ancora più semplice poiché alimentata da un'unica sorgente a quota 1470 m s.l.m.

2.2.1.1. Impianti ad acqua fluente

Impianti sulla Dora

Le tipologie di impianti potenzialmente applicabili all'alveo della Dora in questo territorio sono principalmente di due tipi:

- **Tipologia 1**: Derivazione di una portata con una traversa in alveo, convoglio delle acque attraverso un canale fino alla vasca di carico e successiva condotta forzata fino al locale centrale. La portata viene poi restituita integralmente al corso d'acqua.

Figura 25 – Tipologia 1: opere di presa impianto ad acqua fluente di Montjovet

Figura 26 – Tipologia 1:Vasca di carico, condotte forzate, locale centrale e opere di restituzione in alveo

- **Tipologia 2**: Impianto in corpo di una traversa abbattibile per la formazione di un dislivello. La portata viene di fatto derivata e restituita a ridosso della traversa implicando una sottensione minima. Nel caso di emergenze o piene del corso d'acqua, abbattendo lo sbarramento, si elimina qualunque ostacolo al deflusso delle portate.

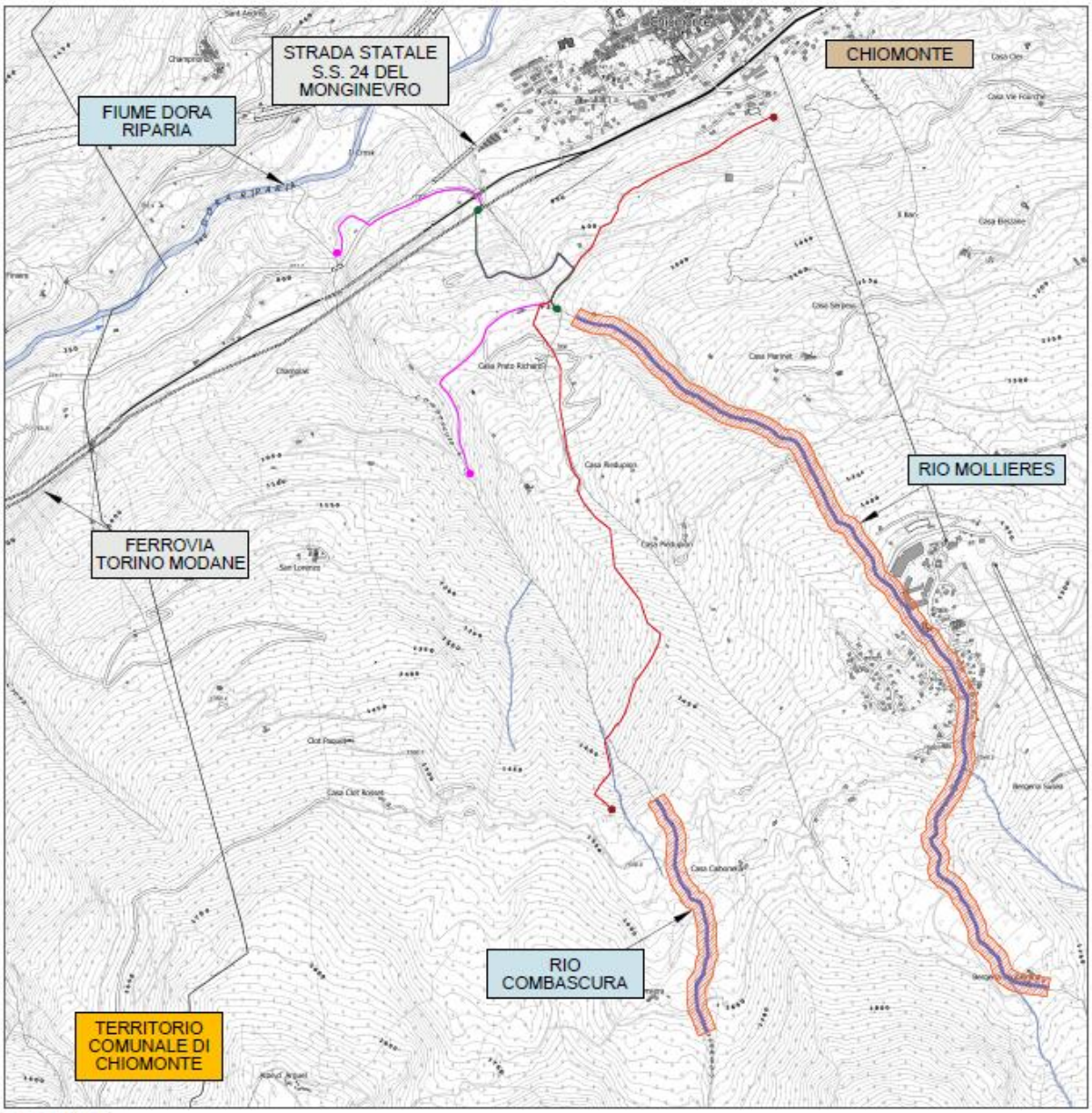
Figura 27 – Tipologia 2: impianto in corpo traversa con gommone abbattibile

La prima tipologia di impianto risulta incompatibile col territorio comunale, infatti per renderlo energeticamente ed economicamente interessante sarebbe necessario un dislivello sicuramente superiore ai 100 m. Nel tratto ipoteticamente sotteso da questo impianto è già presente la centrale idroelettrica di Chiomonte con le relative opere di restituzione e presa che rendono questa soluzione non perseguibile. In generale impianti di questo tipo sviluppano potenza comprese tra 1 e 10 MW elettrici, valori che esulano dal range previsto per questo lavoro e richiedono studi più accurati e approfonditi.

La seconda tipologia seppur produca per portate dell'ordine dei 10 m^3/s solamente qualche centinaio di kW necessita di grandi strutture accoppiate a studi idrologici ed idraulici preparatori molto approfonditi. Anche questa tipologia quindi esula dal tema di questo lavoro incentrato su impianti mini e micro idroelettrici.

Impianti su affluenti secondari

Degli affluenti che insistono sul territorio comunale di Chiomonte si deve subito distinguere tra quelli sul versante nord e quelli sud. Come già citato precedentemente, i rii sul versante nord sono di dimensione veramente esigua e presentano lunghi periodi di totale secca. Si è quindi deciso di non indagare oltre la fattibilità di impianti su quei corsi d'acqua. Ci si è invece concentrati sul versante sud che essendo già oggetto di studio per la realizzazione di vari impianti ad acqua fluente può presentare ulteriori opportunità.



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	IMPIANTO TOURON (ACQUEDOTTO)
	IMPIANTO COMBASCURA
	IMPIANTO MOLLIERES
	TRATTO DEI RII OGGETTO DI RICERCA

Figura 28 - area di ricerca impianti ad acqua fluente

I tratti evidenziati sono stati definiti in base ai seguenti vincoli:

- A monte, superata l'altitudine di circa 1700 m s.l.m. la portata dei rii diventa assolutamente insufficiente a causa alla ridotta estensione del bacino idrografico che insiste sulla sezione di chiusura in esame. In aggiunta il pendio diventa troppo arcigno e la vegetazione si infittisce.

- A valle l'asta è già sfruttata dagli altri impianti oppure sono presenti opere idrauliche, per non sovra sfruttare il territorio si è deciso di non indagare oltre.

Il tratto del rio Combascura non risulta interessante poiché poco esteso, eventuali impianti non avrebbero un dislivello sufficiente a sviluppare potenze significative. Questo bacino è già pesantemente sfruttato ed è più difficilmente raggiungibile dai mezzi di cantierizzazione provenienti dalla strada asfaltata del Frais.

La sezione esaminata sul Mollieres invece è oggetto delle ipotesi di sfruttamento della risorsa. Questo bacino presenta caratteristiche più idonee alla posa di condotte e la costruzione di locali adibiti alle opere idrauliche. Nella parte di monte presenta pendenze dolci ed un terreno libero dalla vegetazione che semplifica la costruzione. Questo tratto attraversa l'abitato del Frais dove l'accesso dei mezzi è facilitato ed è possibile utilizzare il sedime stradale per l'installazione della condotta.

La parte di valle si sviluppa su un terreno più pendente e difficile perché coperto da boschi di larici. Si copre però un grande dislivello e le portate sono più abbondanti perché captate a quote inferiori.

Definite le caratteristiche dei due settori nei quali può essere diviso il tratto interessato si presentano le soluzioni ipotizzate:

Tratto di monte

1)Grange Soubeyrand-Complesso condominiale del Frais

Opera di presa: Località Grange Soubeyrand, 1700 m s.l.m.

Locale centrale: Complesso condominiale Frais, 1481 m s.l.m.

Dislivello: 219 m

Tratto di valle

2)Vasca di carico del Frais-Prato Richard

Opera di presa: Vasca di carico Frais, 1555 m s.l.m.

Locale centrale: Prato Richard, 977 m s.l.m.

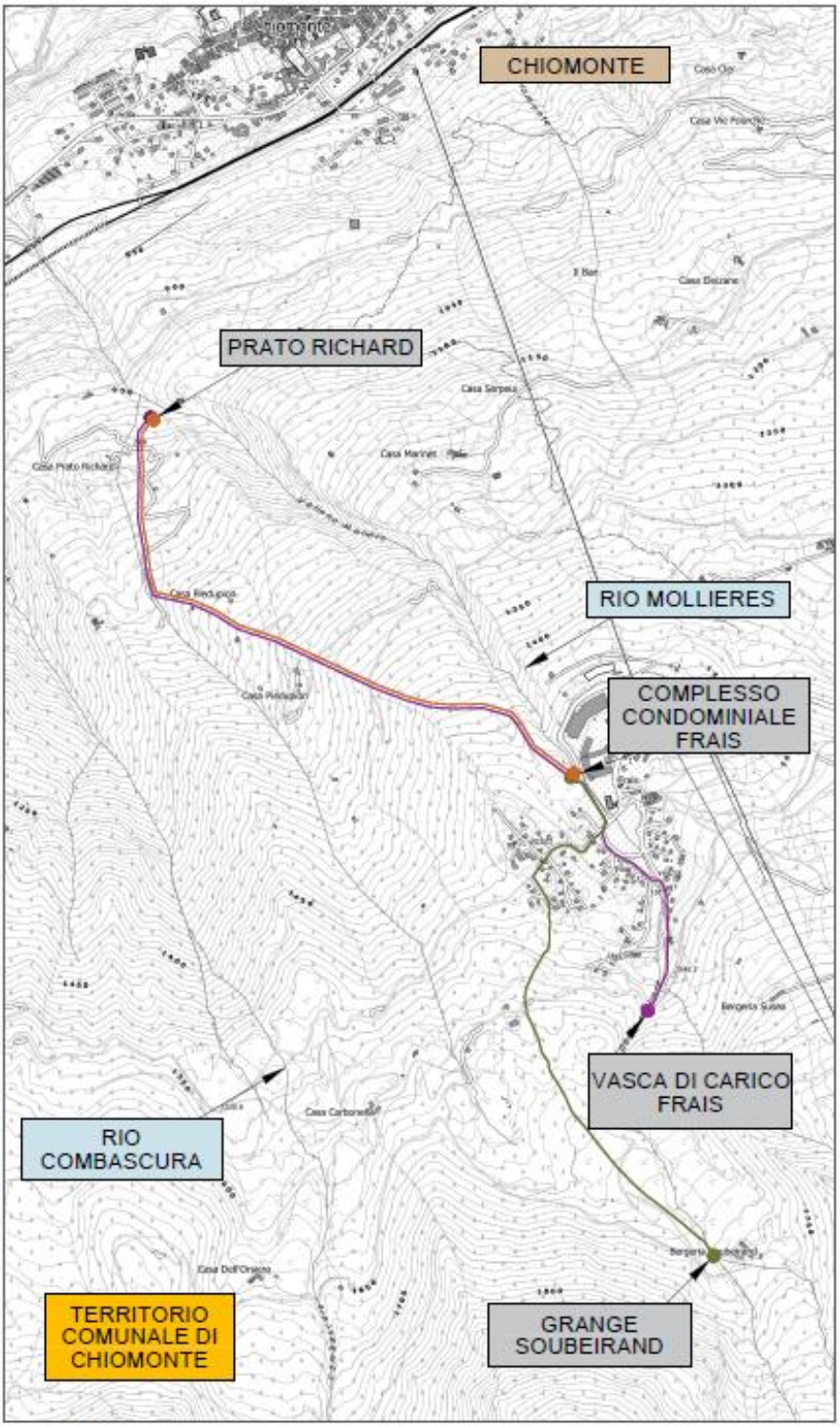
Dislivello: 578 m

3)Complesso condominiale del Frais-Prato Richard

Opera di presa: Complesso condominiale del Frais, 1482 m s.l.m.

Locale centrale: Prato Richard, 977 m s.l.m.

Dislivello: 505 m



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	IMPIANTO GRANGE SOUBEIRAND - COMPLESSO CONDOMINIALE FRAIS
	IMPIANTO COMPLESSO CONDOMINIALE FRAIS - PRATO RICHARD
	IMPIANTO VASCA DI CARICO FRAIS - PRATO RICHARD

Figura 29 - Impianti sull'asta del Rio Mollieres

2.2.1.2. Impianti su acquedotto

Una rete acquedottistica montana è costituita da una serie di sorgenti di acque sotterranee che vengono convogliate ad un serbatoio di accumulo attraverso delle condotte anche in forte pressione se si devono superare ingenti dislivelli. Quando questi diventano insostenibili per i materiali delle tubature, si installano delle vasche rompitratta che azzerano il carico piezometrico. Il serbatoio d'accumulo regola la portata da convogliare alla sottostante rete di distribuzione che veicola l'acqua alle utenze nella maggior parte dei casi per gravità.

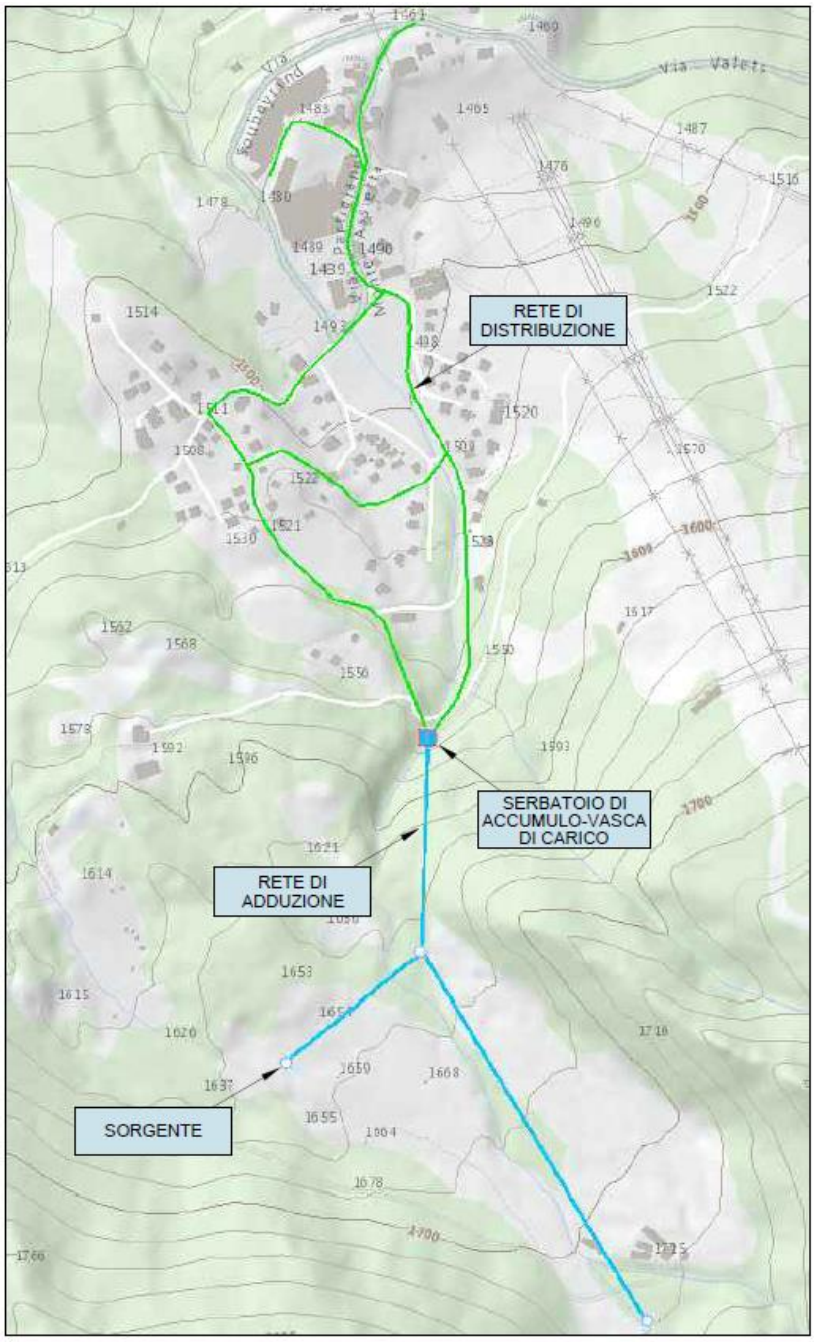
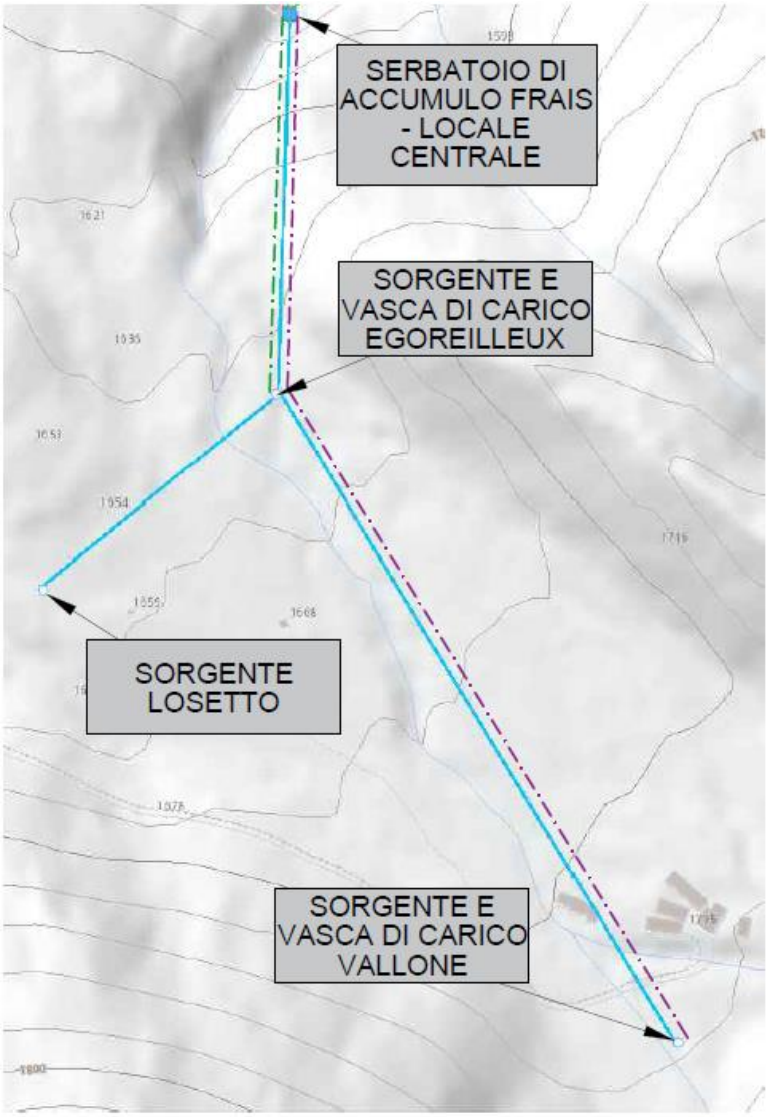


Figura 30 - Rete acquedottistica del Frais

Il ramo della rete a servizio del capoluogo alimentato dal gruppo di sorgenti Orsiera è già sfruttato da circa 20 anni con l'impianto Touron. Un'ulteriore macchina che sfrutti le sorgenti di valle non produrrebbe sufficiente energia per i ridotti dislivello e portata.

L'attenzione si sposta quindi verso le reti a servizio delle frazioni di Frais in primo luogo e Ramats.

Per la frazione del Frais si ipotizza di sfruttare la rete di adduzione al serbatoio di accumulo con due possibili varianti. Sono presenti tre sorgenti ad alimentare questa sezione, la maggiore in località Vallone a quota 1800 m s.l.m. e le altre due Egoreilleux e Losetto alla quota di circa 1600 m s.l.m.



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	TRACCE RETE DI ADDUZIONE ESISTENTE
	TRACCIA CONDOTTA FORZATA IMPIANTO VALLONE
	TRACCIA CONDOTTA FORZATA IMPIANTO EGOREILLEUX

Figura 31 - Impianti previsti sulla rete di adduzione del Frais

4)Impianto Vallone – Serbatoio accumulo Frais

Opera di presa: Sorgente Vallone, 1800 m s.l.m.

Locale centrale: Vasca di carico del Frais, 1555 m s.l.m.

Dislivello: 245 m

5)Impianto Egoreilleux – Serbatoio accumulo Frais

Opera di presa: Sorgente Vallone, 1645 m s.l.m.

Locale centrale: Vasca di carico del Frais, 1555 m s.l.m.

Dislivello: 90 m

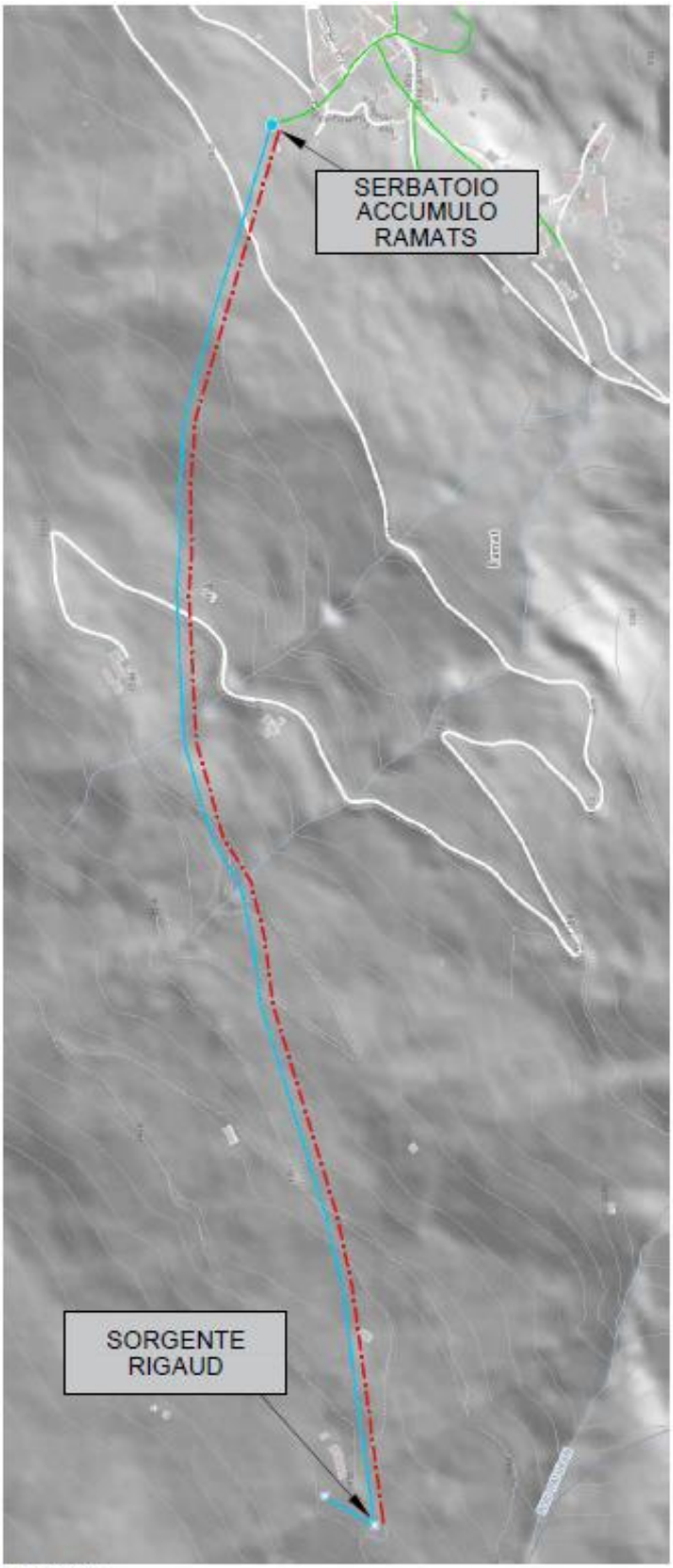
Anche per la rete di Ramats si prevede di sfruttare il tratto tra le sorgenti e il serbatoio di accumulo. Il dislivello in questo caso è molto più abbondante ma a causa della ridotta dimensione della frazione le portate sono parecchio inferiori. L'opera di presa in prossimità delle sorgenti denominate Rigaud 1 e Rigaud 2 è a quota 1470 m s.l.m. mentre il centro abitato servito si trova a circa 950 m s.l.m.

6)Impianto Rigaud – Serbatoio accumulo Ramats

Opera di presa: Sorgente Rigaud, 1470 m s.l.m.

Locale centrale: Vasca di carico del Rigaud, 1038 m s.l.m.

Dislivello: 432 m



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
—	TRACCIA CONDOTTA FORZATA IMPIANTO RAMATS

Figura 32 – Impianto previsto sulla rete di adduzione di Ramats

2.2.1.3. Impianti a bacino

La valle Susa accoglie sul suo territorio due grandi bacini artificiali creati con l'edificazione di imponenti dighe in materiale sciolto a gravità nel caso del Moncenisio ed in calcestruzzo armato a gravità nel caso di Rochemolles. Per l'impianto di Pont Ventoux sono stati realizzati due bacini di accumulo per poter sfruttare le caratteristiche di generazione-pompaggio dei macchinari di centrale. Il bacino di monte in val Clarea è stato creato con un terrapieno a terrazzamenti mentre quello di valle nelle Gorge di Susa è sbarrato da una diga in calcestruzzo armato ad arco gravità.

Il territorio è quindi già abbondantemente coperto di bacini artificiali soprattutto in prossimità del Comune perso in considerazione da questo lavoro. Per quanto riguarda l'alveo della Dora la costruzione di sbarramenti sul territorio comunale è da escludersi per l'interferenza con le opere idrauliche di presa alla centrale ad acqua fluente di Chiomonte, per la troppa vicinanza con il bacino di accumulo delle Gorge di Susa e la sua posizione compresa nel tratto sotteso dagli impianti sia di Chiomonte che di Pont Ventoux. La presenza dei viadotti autostradali dell'A32, di tutti questi grossi impianti idroelettrici con componenti dismesse e vetuste visibili dall'abitato e soprattutto il cantiere della TAV Torino-Lione scoraggerebbero l'opinione Comune alla costruzione di nuove opere estremamente impattanti. La taglia di queste opere esulerebbe comunque dal tema di questo studio e necessiterebbe di competenze ben maggiori in termini di meccanica strutturale e idraulica.

Il territorio è sprovvisto di valloni laterali confluenti nella Dora che consentano l'installazione di qualunque tipo di bacino anche di taglia inferiore. La val Clarea risulterebbe potenzialmente idonea ma è interamente nel territorio comunale di Giaglione ed accoglie già il bacino di accumulo di monte di Pont Ventoux.

Un approfondimento sugli impianti a bacino viene quindi escluso.

Figura 33 - Assenza di valloni laterali sul versante sud del territorio comunale

2.2.2. Dimensionamento degli impianti proposti e quantificazione dell'energia producibile

2.2.2.1. Impianti Acqua fluente

Per effettuare il dimensionamento di un impianto ad acqua fluente è necessario quantificare le portate disponibili durante tutto l'anno, solo a questo punto si può procedere con le stime di producibilità ed infine con un piano economico approssimato che quantifichi la bontà dell'investimento. Si procede illustrando le metodologie utilizzate per il dimensionamento, applicate ad una delle soluzioni, la quale viene usata come esempio dimostrativo. Successivamente vengono presentati i punti chiave del calcolo delle altre soluzioni che hanno seguito la stessa procedura presentata inizialmente.

Metodologia per il calcolo della portata naturale

La valutazione delle portate medie sul bacino oggetto di studio è stata condotta facendo riferimento alla metodologia indicata dal Piano di Tutela delle Acque. Secondo tale metodologia le portate del regime ordinario (portata media annuale, portate della curva di durata) sono desunte sia dall'analisi statistica delle serie storiche dei valori misurati nelle stazioni idrometriche storiche, sia dall'applicazione di formule di regionalizzazione, denominate formule SIMPO, sviluppate per l'intero bacino del Po, e parzialmente ricalibrate sui bacini di interesse. Un ulteriore quadro conoscitivo sul regime dei deflussi deriva dall'applicazione del modello idrologico sul periodo recente.

Formule SIMPO

Nel campo della regionalizzazione delle portate naturali, le formule SIMPO, aventi struttura semplice e flessibile, permettono di conseguire guadagni, in termini di rispondenza ed affidabilità, anche con aggiornamenti delle stesse a scala locale.

Le formule, ottenute mediante modelli statistici a regressione multipla per ricercare le leggi di dipendenza delle portate da fattori fisico-climatici, calibrate sulla base dei risultati dell'analisi sui dati storico-statistici, consentono di determinare i valori caratteristici di deflusso per qualsiasi sezione del reticolo idrografico del bacino padano, noti i dati fisio-climatici di base.

Al bacino elementare è stato quindi applicato tale sistema statistico di regionalizzazione, derivato dall'elaborazione dei dati relativi alle stazioni di misura presenti sull'intero bacino del Po.

Tale sistema ha fornito le espressioni per il calcolo dei contributi specifici di portata riferiti ai valori caratteristici del deflusso (portata media annua, portate medie mensili e valori della scala di durata delle portate), formule che legano tali valori di portata alle principali grandezze del bacino idrografico; superficie, altitudine media e afflusso medio annuo.

Le caratteristiche strutturali delle espressioni proposte sono:

- riferimento al valore del deflusso per unità di superficie del bacino sotteso (q in l/s/km^2);
- numero limitato di variabili indipendenti, cioè non intercorrelate;
- principali parametri climatici e geografici presumibilmente utilizzati: afflusso (A in mm), altitudine media del bacino sotteso (H in m.sm.), temperatura media del bacino sotteso (T in °C), superficie degli invasi e delle aree glaciali (S in km^2)
- struttura delle formule: lineare o esponenziale;
- calibratura anche in base a misure istantanee di portata disponibili.

Le formule SIMPO sono state sviluppate differenziando il bacino padano in tre zone:

- Zona A: zona "alpina", comprendente tutti i bacini idrografici in sinistra e destra Po dal sistema Sarca-Mincio fino al sistema Tanaro-Bormida-Orba compreso.
- Zona B: zona dell'"asta del Po", comprendente tutte le porzioni di bacino residue di pianura affluenti direttamente all'asta del Po.
- Zona C: zona "appenninica", comprendente tutti i bacini in destra Po dallo Scrivia al Panaro.

Si riportano di seguito le espressioni per il calcolo dei contributi specifici di portata riferiti ai valori caratteristici relativi alla zona A (alpina) del bacino padano:

qMEDA = a+b*(-24,5694 + 0,00860*H + 0,03416*A) (l/s/km2)
qGEN = a+b* (14,16232 – 0,00683*H + 0,36918*DS) (l/s/km2)
qFEB = a+b* (16,49263 – 0,00824*H + 0,37478*DS) "
qMAR = a+b* (22,74646 – 0,01111*H + 0,46902*DS) "
qAPR = a+b* (13,85406 – 0,01101*H + 1,15662*DS) "
qMAG = a+b* (-9,83665 + 0,00797*H + 1,63288*DS) "
qGIU = a+b* (-34,9228 + 0,02826*H + 1,62190*DS) "
qLUG = a+b* (-24,4942 + 0,02066*H + 1,04446*DS) "
qAGO = a+b* (-16,0687 + 0,00955*H + 0,95881*DS) "
qSET = a+b* (-13,0179 + 0,00232*H + 1,21272*DS) "
qOTT = a+b* (-4,54832 – 0,00479*H + 1,33784*DS) "
qNOV = a+b* (16,50714 – 0,01604*H + 1,25843*DS) "
qDIC = a+b* (18,06197 – 0,01030*H + 0,56036*DS) "
q10 = a+b* (5,06749 * S-0,057871 * DS 0,965037) (l/s/km2)
q91 = a+b* (1,29772 * S 0,009539 * DS 0,976926) "
q182 = a+b* (0,54425 * S 0,049132 * DS 0,980135) "
q274 = a+b* (0,18670 * S 0,069105 * DS 1,108675) "
q355 = a+b* (0,07560 * S 0,068232 * DS 1,234733) "

con:

- S = superficie del bacino (km^2);
- H = altitudine media del bacino (m s.l.m.);
- A = afflusso meteorico medio annuo sul bacino (mm);
- DS= deflusso medio annuo specifico ($l/s/km^2$) = $q_{MEDA.}$

- a e b= coefficienti di omogeneizzazione diversi per ogni mese

La valutazione della congruenza dei valori di portata stimati attraverso le formule di regionalizzazione sopradescritte è stata condotta sia confrontando questi ultimi con i valori statistici calcolati dai dati misurati alle stazioni idrometriche storiche, sia confrontandoli con altre fonti conoscitive a disposizione, in particolare le valutazioni di regime idrologico condotte in base ai risultati del modello idrologico applicato sul periodo recente.

Similitudine idrologica

Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Piemonte riporta all'interno dei suoi elaborati la suddivisione del territorio Piemontese in numerosi sottobacini elementari per i quali sono stati calcolati i parametri fisici e idrologici rappresentativi del tratto di bacino sotteso.

La metodologia proposta prevede l'identificazione del bacino in esame chiuso alla sezione più prossima a quella considerata e tramite una metodologia di similitudine idrologica il calcolo dei valori di portata media mensile e annuale alla sezione di localizzazione dell'opera di presa. Nel caso in cui il bacino considerato non sia presente tra quelli elementari la metodologia proposta prevede di utilizzare come bacino di riferimento per la similitudine idrologica quello adiacente a quello in esame avente caratteristiche di esposizione e superficie similari.

Curva delle durate

La curva di durata delle portate indica il n° di giorni dell'anno in cui la portata Q è stata uguagliata o superata: è ottenuta dal diagramma cronologico delle portate riportando i valori delle Q in ordine decrescente (frequenza cumulata di superamento attraverso l'applicazione delle formule SIMPO o della metodologia della similitudine idrologica e possibile ricomporre tale curva tramite la sua ricostruzione semi-empirica a partire dal valore dei suoi 5 dati caratteristici. L'obiettivo è dunque quello di ricomporre la curva data per il bacino in esame una volta definita la metodologia (SIMPO o similitudine idrologica) da applicare al caso specifico.

Schematicamente il procedimento adottato è il seguente:

- parametrizzazione dei valori caratteristici della curva di durata Q10, Q91, Q182, Q274, Q355 del bacino di riferimento;
- calcolo dei coefficienti del bacino in esame tramite similitudine idrologica;
- definizione della metodologia adottata;
- ricostruzione semi-empirica della curva di durata delle portate mediante definizione delle leggi matematiche che meglio interpolano i dati discreti noti.

L'analisi matematica dei dati discreti formati dai cinque valori noti permette di ricavare due leggi analitiche in grado di rappresentare bene la curva di durata delle portate. In particolare, per i valori massimi di portata (Q1 – Q90) il tipo di relazione che lega il valore ai numeri di giorni di durata è di tipo esponenziale, mentre per i valori di portate medie e minime (Q90 – Q365) la legge analitica è di tipo polinomiale di ordine 3.

Queste leggi analitiche, ricostruite mediante interpolazione ai minimi quadrati dei valori noti, consentono di raggiungere un coefficiente di regressione pari ad 1.

Metodologia per la valutazione rischio ambientale connesso alle derivazioni: metodologia ERA

Lo strumento utilizzato al fine di sviluppare l'analisi della fattibilità dell'intervento sotto l'aspetto della compatibilità con la Direttiva Derivazioni è pertanto l'Allegato 1 - L*'applicazione della metodologia ERA alla valutazione delle derivazioni idriche da acque superficiali.*

Una derivazione d'acqua rappresenta una specifica pressione all'interno dell'insieme di tutte le potenziali pressioni agenti su un corpo idrico; per l'applicazione della metodologia "ERA", occorre procedere all'individuazione di quelle pressioni caratterizzabili come "potenzialmente significative", cioè in grado di indurre influenze percepibili sullo stesso corpo idrico.

L'analisi delle pressioni presenti su un corpo idrico e il confronto con il suo stato consente poi di confermare la significatività della pressione, qualora lo stato misurato ai sensi del D. Lgs 152/2006 evidenzi che gli obiettivi ambientali fissati non siano stati raggiunti.

Per il caso particolare delle derivazioni d'acqua, va precisato che la pressione indotta dalle derivazioni sui corpi idrici comporta non soltanto l'impatto diretto dal punto di vista della sottrazione della risorsa, ma soprattutto una serie d'impatti indiretti sulle condizioni morfologiche, chimiche, fisiche e biologiche dei corpi idrici medesimi.

Un altro aspetto essenziale è costituito dal fatto che la valutazione di un prelievo non può prescindere dalla preesistenza di altri prelievi già in essere o autorizzati. Le soglie introdotte nell'Elaborato 2 del PdGPo fissano la condizione di "significatività potenziale" di una particolare pressione e definiscono altresì, per quanto assunto con la Direttiva, la condizione di "rilevanza" del relativo impatto del cumulo delle derivazioni insistenti su un determinato corpo idrico. Per "cumulo di derivazioni" si intende sia un insieme di nuove derivazioni, sia l'aggiungersi di una o più nuove derivazioni all'insieme delle derivazioni già presenti o autorizzate.

Nel caso di prelievi sul corpo idrico limitati ad usi con restituzione integrale delle portate prelevate, la cui pressione sulla componente idrologica è descritta da due diversi indicatori, il livello d'impatto complessivo delle derivazioni è desumibile utilizzando le seguenti tabelle:

Rapporto tra lunghezza del tratto sotteso"S" e lunghezza del corpo idrico "L"	*Rapporto tra la portata massima derivabile "D" e la portata media naturalizzata "Qn" del corpo idrico*		
	D/Qn > 1	0,5 < D/Qn < 1	D/Qn < 0,5
S/L > 0,15	**Rilevante**	**Moderato**	**Lieve**
0,075 < S/L < 0,15	**Moderato**	**Moderato**	**Lieve**
S/L < 0,075 e S ≤ 1000 m	**Lieve**	**Lieve**	**Lieve**

Tabella 6 - Nuovo impianto collocato su un corpo idrico non ancora impattato da altre centrali idroelettriche

Rapporto tra lunghezza del tratto sotteso"S" e lunghezza del corpo idrico "L"	*Rapporto tra la portata massima derivabile "D" e la portata media naturalizzata "Qn" del corpo idrico*		
	D/Qn > 1	0,5 < D/Qn < 1	D/Qn < 0,5
S/L > 0,30	**Rilevante**	**Moderato**	**Lieve**
0,15 < S/L < 0,30	**Moderato**	**Moderato**	**Lieve**
S/L < 0,15	**Lieve**	**Lieve**	**Lieve**

Tabella 7 - Nuovo impianto collocato su un corpo idrico già impattato da altre centrali idroelettriche

La valutazione è quindi condotta attraverso un percorso riconducibile allo schema della tabella seguente che consente di valutare il rischio ambientale che una derivazione induce, da sola o cumulata ad altre, sullo stato ambientale del corpo idrico o dei corpi idrici interessati osservando in quale delle tre aree di rischio ambientale di "*Attrazione*" (A), di "*Repulsione*" (R) o di "*Esclusione*" (E) ricade l'intervento, e ricorrendo eventualmente alla valutazione di approfondimento nel caso di attribuzione all'area "*Repulsione*".

Attrazione ("A")	non presenta rischi particolari per la qualità ambientale del corpo idrico. L'impatto delle componenti chimica, fisica e biologica è presumibilmente trascurabile e di norma si rendono perciò necessarie solo le valutazioni specifiche legate alla tipologia d'impatto.. La derivazione può essere considerata compatibile nel rispetto di specifiche prescrizioni, ove necessarie
Repulsione ("R")	esistono fondati rischi di una sua interferenza con la qualità ambientale del corpo idrico. Va pertanto effettuata una valutazione più approfondita, che indaghi in dettaglio ulteriori fattori ambientali. La derivazione può essere considerata compatibile con l'applicazione di particolari misure volte alla mitigazione degli impatti e nel rispetto di specifiche prescrizioni, tese a garantire il non deterioramento della classe di ognuno degli elementi di qualità ambientale per il raggiungimento degli obiettivi ambientali definiti per il corpo idrico/i corpi idrici interessati
Esclusione ("E")	è ragionevolmente certo il suo effetto negativo sulla qualità ambientale del corpo idrico. La derivazione non può esser considerata compatibile in via ordinaria. L'intervento è realizzabile solo nel caso in cui nel Piano di gestione sia stato riconosciuto al corpo idrico interessato il possesso dei requisiti per l'applicazione delle deroghe previste ai commi 5 e 7 dell'art. 4 della DQA come recepiti dall'art. 77 del D. Lgs. 152/2006.

Tabella 8 - Effetti delle differenti aree in cui può ricadere una derivazione secondo metodologia ERA

Quale esito della valutazione di un intervento sarà quindi l'appartenenza ad una delle tre aree ERA, identificando il rischio ambientale indotto dalle alterazioni delle componenti idrologiche e idromorfologiche e intersecando le informazioni con lo stato ambientale: l'identificazione è ottenuta mediante la matrice ERA illustrata in Tabella 9.

*Stato/potenziale ecologico del CI (*)*	*Impatto generato dall'intervento*		
	Lieve (non c'è scadimento di qualità)	**Moderato** (potrebbe esserci scadimento qualità)	**Rilevante** (c'è scadimento di qualità)
Elevato	**R (* *)**	**E**	**E**
Buono	**R**	**R (* *)**	**E**
Sufficiente	A	**R**	**R (* *)**
Scarso	A	**R**	**R (* *)**
Cattivo	A	**R**	**R (* *)**

(*) La nuova derivazione o le nuove derivazioni incidenti su un corpo idrico che, anche a causa delle pressioni derivanti dai prelievi in atto, comportino un incremento potenzialmente significativo della pressione ambientale, sono da considerarsi non compatibili.*

Tabella 9 - Matrice ERA

Esistono comunque fondati rischi d'interferenza con la qualità ambientale del corpo idrico; si deve procedere pertanto con una seconda fase di valutazione più approfondita per la classe Repulsione, che indaghi in dettaglio l'impatto della derivazione sulle componenti di qualità idromorfologica e su quelli chimico-fisici e biologici dello stato ambientale del corpo idrico.

Caso studio "Grange Soubeyrand – Complesso condominiale del Frais"

In questo paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione delle metodologie descritte, compiendo tutti i passaggi che conducono a definire la curva di durata delle portate disponibili per l'utilizzo idroelettrico del Rio Mollieres per l'impianto di Grange Soubeyrand. Quindi si giunge alla quantificazione della taglia e dell'energia producibile ed infine un piano economico semplificato per inquadrare i costi ed i ricavi ottenibili.

Formule SIMPO

I parametri caratteristici dei bacini del Rio Mollieres utilizzati per l'applicazione della metodologia SIMPO sono riportati nella seguente tabella:

	S **(km²)**	**H media** **(m s.l.m.)**	**Afflusso** **(mm)**	**Q_{MEDA}** **(l/s)**	**q_{meda}** **(l/s/km²)**
RIO MOLLIERES	2,87	2132	743	54,9	19,1

Tabella 10 - Parametri caratteristici del Bacino del Rio Mollieres alla sezione di presa Grange Soubeyrand

L'altitudine media **H media** è stata ricava dalla formula empirica:

$$H_{media} = 0{,}5 \cdot (0{,}9 \cdot H_{max} + H_{min}).$$

L'afflusso meteorico utilizzato deriva dal valore del Rio Gelassa, corso d'acqua di cui è stato misurato il valore con pluviometro ed è adiacente al Rio Mollieres.

Il valore di q_{meda} è stato ricavato dalla formula SIMPO sopra indicata:

$$q_{meda} = a + b \cdot (-24{,}5694 + 0{,}00860 \cdot H + 0{,}03416 \cdot A) \left(\frac{l}{s \cdot km^2}\right)$$

L'applicazione delle formule SIMPO al bacino in oggetto ha permesso di ricavare i valori caratteristici di portata con le formule sopra indicate:

Portata media mensile (l/s)												
	gen	**feb**	**mar**	**apr**	**mag**	**giu**	**lug**	**Ago**	**set**	**ott**	**nov**	**dic**
RIO MOLLIERES	19,1	17,5	23,1	35,9	110,3	161,8	113,5	65,0	43,5	31,2	18,4	19,6

Tabella 11 - Valori medi mensili di portata alla sezione di presa

La portata media annua naturale defluente alla sezione di presa, calcolata mediando i valori mensili, è pari a **54,9** l/s per il Rio Mollieres.

Similitudine idrologica

Nel caso specifico non è presente nel PTA della Regione Piemonte un'analisi di dettaglio per il rio Mollieres, mentre è presente un'analisi a livello di bacino elementare per il rio Gelassa, corso d'acqua adiacente al rio Mollieres, avente caratteristiche geografiche del tutto similari al bacino in esame.

In figura è riportato il sottobacino del Rio Gelassa, con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'immissione in Dora (codice 1415-3).

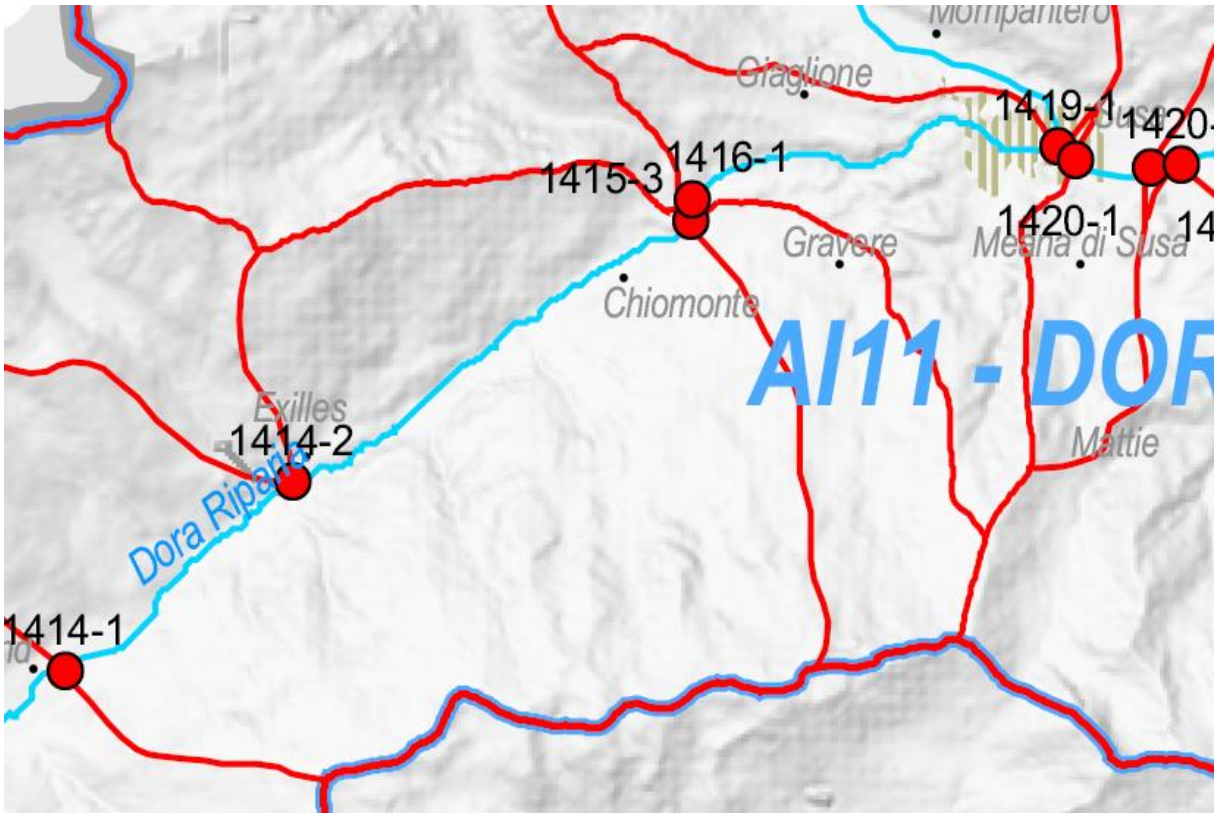


Figura 34 - Sezioni di chiusura dei bacini misurati della media Valle Susa

Di seguito vengono elencati i dati caratterizzanti il bacino.

Denominazione corpo idrico				Rio Gelassa
Codice punto PTA				1415-3
Caratteristiche geografiche	Superficie bacino		km^2	11,57
	Perimetro bacino		km	17
	Localizzazione geografica (coordinate baricentro bacino)		UTM-x	344416
			UTM-y	4996463
	Orientamento prevalente			NO
Caratteristiche fisiche	Quota massima		m s.l.m.	2664
	Quota minima		m s.l.m.	695
	Quota media		m s.l.m.	1545
	Pendenza media bacino		%	38,9
	Curva ipsografica (percentili)	2.50%	m s.l.m.	2561
		5%	m s.l.m.	2484
		10%	m s.l.m.	2337
		25%	m s.l.m.	1947
		50%	m s.l.m.	1436
		75%	m s.l.m.	1059

		90%	m s.l.m.	882
		95%	m s.l.m.	830
	Lunghezza asta		km	7,5
	Pendenza media asta		%	22,9

Tabella 12 - Caratteristiche del bacino idrografico del Rio Gelassa

Sempre sugli elaborati del PTA, per il corpo idrico preso come riferimento, sono indicati i valori caratteristici delle portate di regime ordinario, e quelli della curva di durata delle portate, che derivano dall'analisi statistica delle portate caratteristiche dei regimi ordinari e di magra.

Rilevato che il bacino in studio è dunque adiacente a quello di riferimento e che tutti e due risultano esposti sullo stesso versante a condizioni meteoclimatiche simili, avendo caratteristiche fisiche analoghe, si è deciso di utilizzare per la similitudine idrologica i dati caratterizzanti il bacino del rio Gelassa; quindi noti i valori di portata alla sezione di chiusura del rio Gelassa sono stati ricavati quelli relativi alla sezione di ubicazione dell'opera di presa sul rio Mollieres pesando sulla superficie.

S (km^2)	**H (m s.l.m.)**	**Afflusso (mm)**	**QMEDA (m^3/s)**	**Deflusso (mm)**	**coeff. deflusso**	**qmeda ($l/s/km^2$)**
11,6	1545	743	0,2	455	0,61	14,44

Tabella 13 - Valori caratteristici del regime ordinario per il bacino del Rio Gelassa

($l/s/km^2$)	**K gen**	**K feb**	**K mar**	**K apr**	**Kmag**	**K giu**	**K lug**	**K ago**	**K set**	**K ott**	**K nov**	**K dic**
	0,7	0,6	0,9	0,9	1,8	2,2	1,6	0,9	0,5	0,5	0,7	0,7

Tabella 14 - Fattore correttivo mensile

Q10 (m^3/s)	**Q91 (m^3/s)**	**Q182 (m^3/s)**	**Q274 (m^3/s)**	**Q355 (m^3/s)**	**q355 ($l/s/km^2$)**
0,67	0,21	0,10	0,05	0,03	2,35

Tabella 15 - Valori caratteristici della curva di durata delle portate

Applicando il secondo metodo, con la formula:

$$Q_{Mollieres} = K_{Gelassa} \cdot q_{meda\ Mollieres} \cdot S_{Mollieres}$$

che consente di definire il regime medio mensile alla sezione di interesse per similitudine idrologica, i valori di portata sono i seguenti:

	Portata media mensile (l/s)											
	gen	**feb**	**mar**	**apr**	**mag**	**giu**	**lug**	**ago**	**set**	**ott**	**nov**	**dic**
RIO MOLLIERES	38,5	33,0	49,5	49,5	98,9	120,9	87,9	49,5	27,5	27,5	38,5	38,5

Tabella 16 - Valori medi mensili di portata alle sezioni di presa PTA Rio Mollieres

La portata media annua naturale defluente alla sezione di presa, calcolata con la metodologia di regionalizzazione, è pari a **55,0 l/s** per il Rio Mollieres.

Scelta della metodologia di riferimento

Il confronto delle due metodologie consente di verificare un'ottima corrispondenza dei dati; il valore medio annuo è praticamente identico, mentre per quanto riguarda la distribuzione dei valori medi mensili durante l'anno si osserva che i massimi nei mesi centrali sono ottenuti con l'uso dei parametri mensili del PTA.

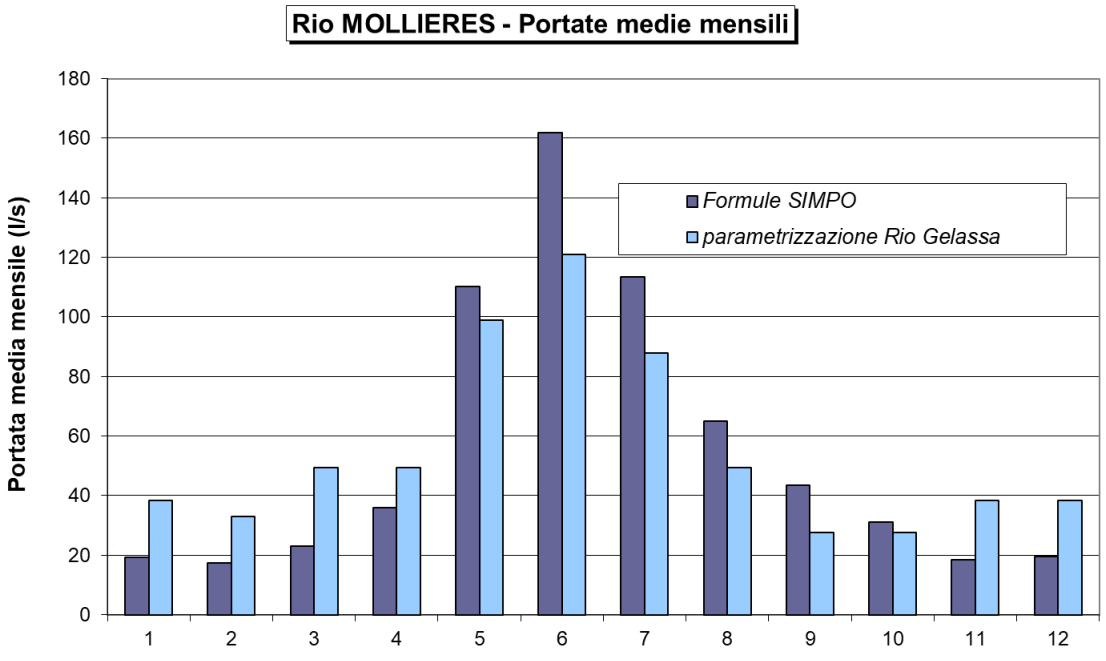


Figura 35 - Regime idrologico medio mensile alla sezione di chiusura Grange Soubeyrand Rio Mollieres: confronto metodologie.

Vista la buona concordanza con i dati, si assume come regime idrologico medio alla sezione di presa del Rio Mollieres quello calcolato per similitudine idrologica preferito alle formule SIMPO

a partire dai dati caratteristici del Rio Gelassa con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'immissione nel fiume Dora, in quanto essi consentono un adattamento delle formulazioni alla situazione locale, pur avendo origine da un approccio di base che deriva da procedimenti di regionalizzazione.

Curva naturale delle portate

I parametri caratteristici della curva di durata del Rio Mollieres derivano quindi da quelli del Rio Gelassa secondo la formula:

$$Q_{D\ Mollieres} = \frac{S_{Mollieres}}{S_{Gelassa}} \cdot Q_{D\ Gelassa}$$

e sono riportati:

	Q_{10} (l/s)	**Q_{91} (l/s)**	**Q_{182} (l/s)**	**Q_{274} (l/s)**	**Q_{355} (l/s)**
GRANGE SOUBEIRAND	166,2	52,1	24,8	12,4	7,4

Tabella 17 - Dati caratteristici della curva di durata delle portate

Sulla base di quanto illustrato viene riportata di seguito la curva di durata delle portate naturali del corso d'acqua con bacino idrografico chiuso alle sezioni di presa.

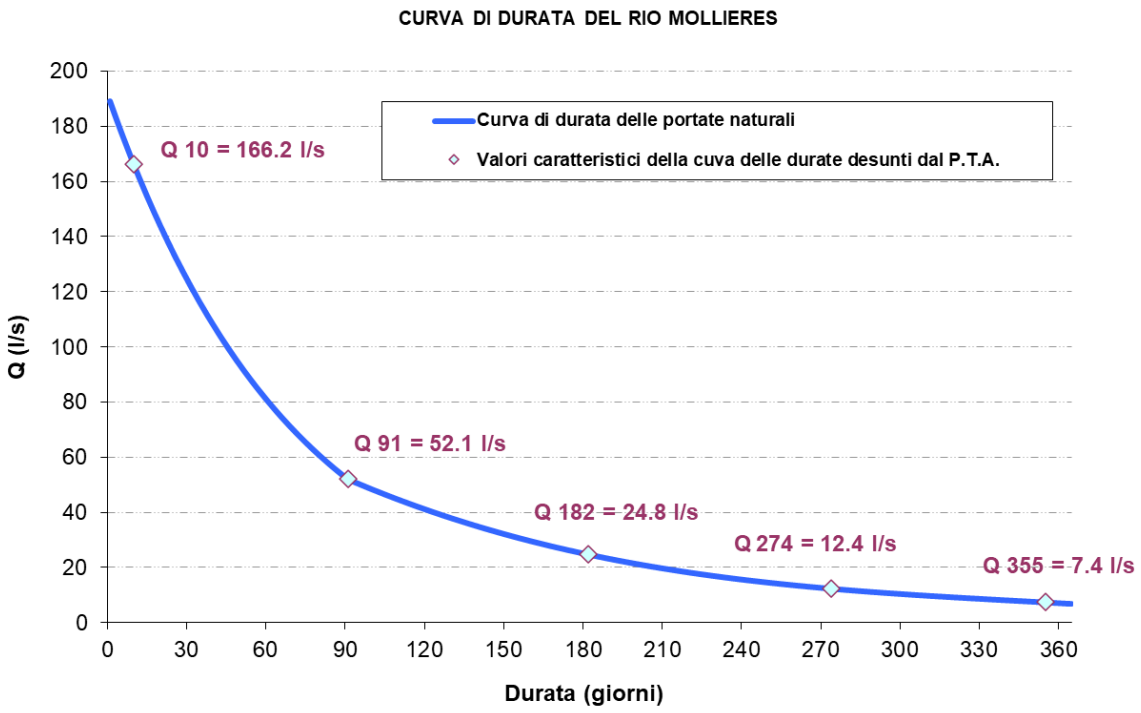


Figura 36 - Curva di durata delle portate naturali defluenti alla sezione di presa Grange Soubeyrand sul Rio Mollieres.

La definizione della curva di durata delle portate naturali consente di definire un differente valore di portata media annua, calcolato su base giornaliera, il quale è leggermente superiore e più preciso rispetto al valore di portata media annua calcolato su base mensile.

Derivazioni idriche esistenti – diritti di Terzi

Dall'analisi del catasto derivazioni delle risorse idriche della Regione Piemonte è emersa la presenza di una derivazione a monte della presa sul rio analizzato.

Questa derivazione anche se classificata come presa da acque superficiali, in realtà preleva le acque dalla sorgete del Vallone per rifornire la rete acquedottistica della frazione del Frais. Non vengono quindi sottratte portate al Rio Mollieres.

Si rimanda all'immagine successiva per il posizionamento delle derivazioni esistenti autorizzate.

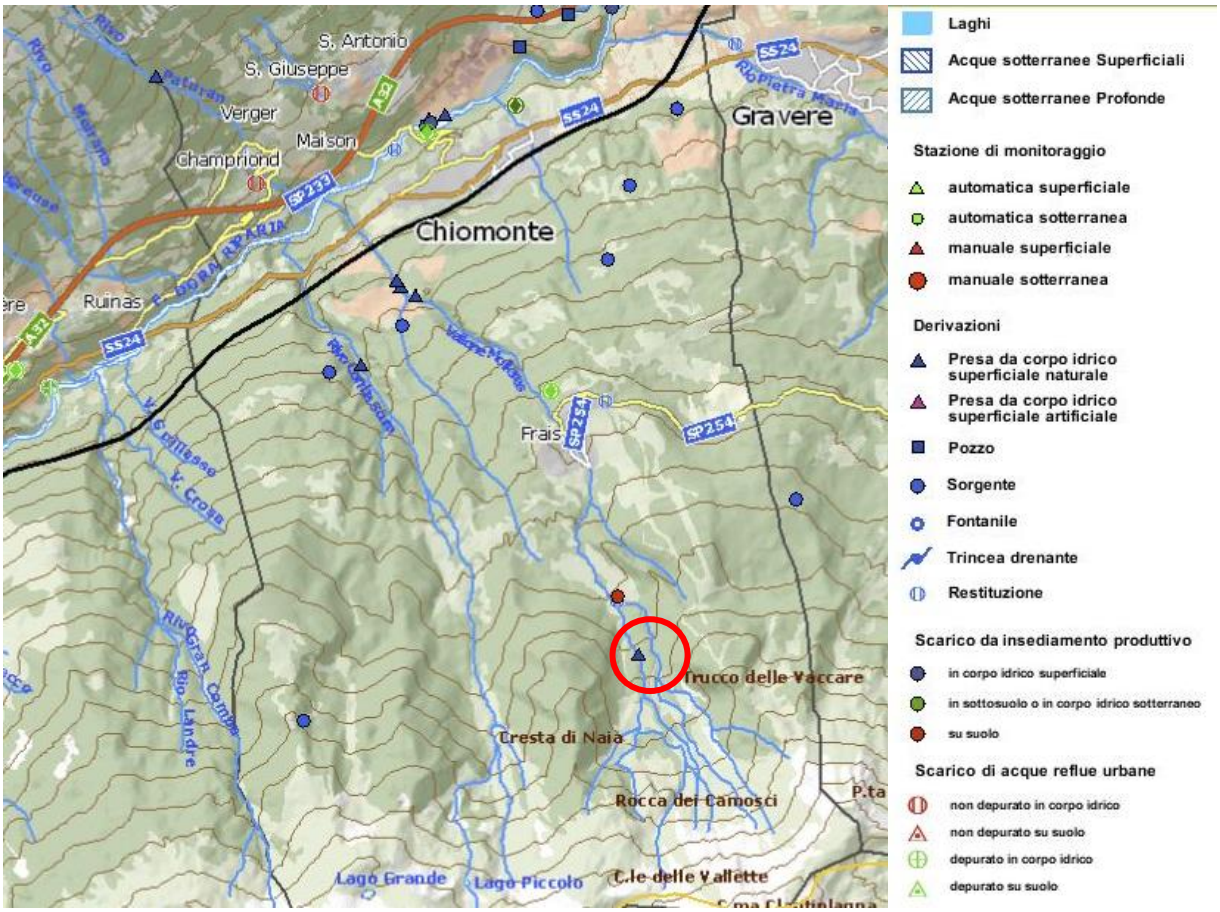


Figura 37 – Sorgente Vallone evidenziata sul Catasto derivazioni idriche.

D.P.G.R. N. 14/R/2021 "Disposizioni per l'implementazione del deflusso ecologico"

Come riportato in premessa, il mutato quadro normativo attualmente vigente rende necessario il presente approfondimento legato ai rilasci conseguentemente all'emanazione del Decreto del Presidente della Giunta regionale 27 dicembre 2021, n. 14/R: "*Disposizioni per l'implementazione del deflusso ecologico"*, finalizzato a garantire la tutela delle specie acquatiche compatibilmente con un equilibrato utilizzo della risorsa idrica e, in generale, concorrere a raggiungimento e al mantenimento degli obiettivi ambientali dei corpi idrici fissati nel Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po, (PdGPo).

Ambito di applicazione di metodologia

Il Regolamento definisce il *"deflusso ecologico (DE)"* il regime idrologico che, in un tratto idraulicamente omogeneo di un corso d'acqua, appartenente ad un corpo idrico così come definito nel Piano di Gestione del distretto idrografico vigente, è conforme col raggiungimento degli obiettivi ambientali definiti ai sensi dell'articolo 4 della DQA.

Il DE si applica a tutti i prelievi di acqua pubblica da corpi idrici naturali e fortemente modificati, così come definiti nel PdGPo, tenuto conto dei fattori correttivi idrologici e ambientali.

Il DE si compone di:

una componente idrologica, stimata in base a peculiarità del regime idrologico di un tratto idraulicamente omogeneo di un corso d'acqua, appartenente ad un corpo idrico;

una componente ambientale stimata attraverso i fattori correttivi che tengono conto delle caratteristiche morfologiche dell'alveo (M), dei fenomeni di scambio idrico con la falda (A), dei fattori ambientali (Z) riguardanti la naturalità (N), la qualità dell'acqua (Q) e la fruizione (F) e le esigenze di modulazione della portata a valle dei prelievi (T) per tenere conto del regime naturale del corpo idrico e degli obiettivi ambientali definiti ai sensi degli articoli 4 e 13 della DQA, nel rispetto di quanto disciplinato dal d.lgs. 152/06.

Il DE non può essere inferiore a 20 l/s nelle aree idrografiche Basso Tanaro, Bormida, Orba, Scrivia, Curone, Borbore, Belbo e Banna e a 50 litri al secondo nelle restanti aree idrografiche, come individuate dal Piano di tutela delle acque di cui alla D.C.R. n. 117-10731 del 13 marzo 2007 e riportate nell'allegato A. La quantificazione della componente idrologica del DE e del DMV di base è effettuata secondo le modalità specificate nell'allegato B.

I valori dei fattori correttivi della componente ambientale del DE da utilizzare, riguardanti la naturalità (N), la qualità dell'acqua (Q), la fruizione (F) e le esigenze di modulazione della portata residua a valle dei prelievi (T), sono riportati, per ogni corpo idrico, nell'allegato C.

Calcolo del Deflusso Ecologico

Il deflusso ecologico (DE) in una determinata sezione del corpo idrico è calcolato con la formula seguente:

$$DE = k \cdot q_{meda} \cdot S \cdot M \cdot A \cdot Z \cdot T$$

Il parametro **k** esprime la percentuale della portata media annua naturale che deve essere considerata nel calcolo della componente idrologica del deflusso minimo vitale. I valori del parametro k, variabili tra 0 e 1 estremi esclusi e diversificati per aree omogenee in relazione ai regimi idrologici di magra, in coerenza con gli esiti degli studi finalizzati alla redazione del Piano di tutela delle acque del 2007, sono così stabiliti:

Area idrografica (PTA 2007)[2]	Fattore k
Gesso, Stura di Demonte, Grana Mellea, Maira, Varaita, Alto Po, Pellice, Chisone, Sangone, Chisola, Dora Riparia, Stura di Lanzo, Malone, Orco, Basso Po in sponda sinistra fino alla confluenza Dora Baltea	**0,15**
Dora Baltea, Basso Sesia, Toce, Alto Sesia, Ticino lacuale, Basso Po in sponda sinistra dalla confluenza Dora Baltea fino alla confluenza Sesia	**0,13**
Cervo, Agogna, Terdoppio	**0,11**
area idrografica afferente al Ticino sub lacuale, esclusa l'asta principale, Basso Po in sponda dalla confluenza Sesia al confine regionale	**0,10**

Tabella 18 - Fattore di area idrografica

Per la derivazione in oggetto occorre quindi assumere **k = 0,15**

- La portata specifica media annua naturale di un corso d'acqua per unità di superficie del bacino ($\mathbf{q_{meda}}$) è determinata calcolando la portata media annua naturale specifica della sezione di prelievo, a partire dai dati di q_{meda} elaborati da Arpa Piemonte e riportati, per ogni corpo idrico, nell'appendice "PORTATE MEDIE NATURALI" dell'Allegato 3A del Piano di Tutela delle Acque "BILANCIO IDRICO REGIONALE DELLE ACQUE SUPERFICIALI" (aggiornamento 2021).

Per la derivazione in oggetto, la q_{MEDA} è pari a **19,1 l/s km^2**,

Il parametro **S** rappresenta la superficie del bacino idrografico sotteso dalla sezione di presa nella quale è calcolato il DE. Nel caso specifico S è pari a **2,87 km^2.**

Il valore del fattore morfologico **M** da applicare per il calcolo del DMV di base è quello descritto nella seguente tabella:

Categoria	Valore del fattore correttivo
classe morfologica 1	0,90
classe morfologica 2	1,10
classe morfologica 3	1,10
classe morfologica 4	1,30

Tabella 19 - fattore morfologico M

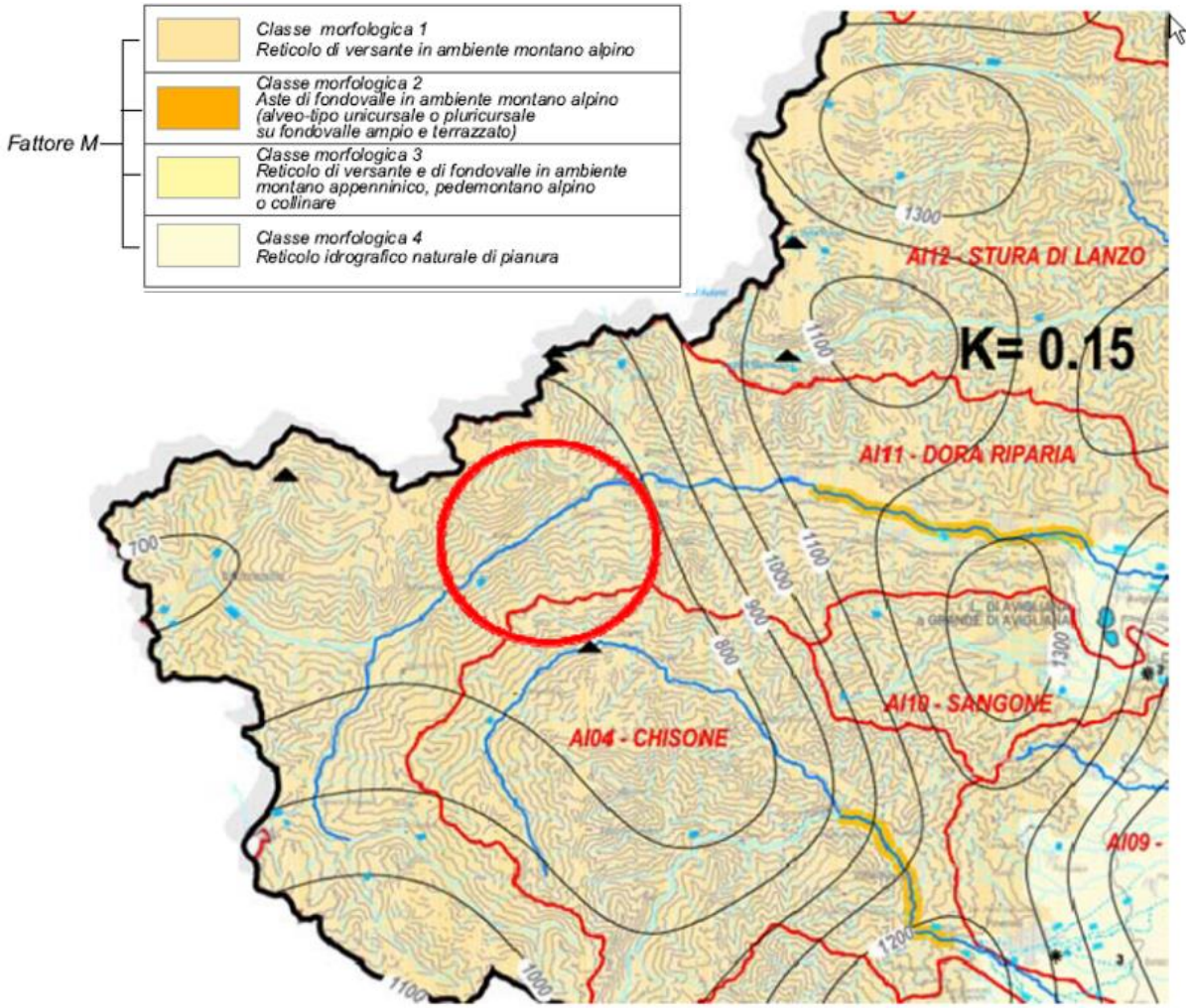


Figura 38 - Estratto da Tavola A 2.12. della Cartografia del P.T.A.

Per la derivazione in oggetto, appartenente alla Classe Morfologica 1, il fattore M è da assumersi pari a 0,90.

Il fattore **A** di interscambio con la falda determina una correzione nei tratti di corsi d'acqua evidenziati nella successiva tabella, ai quali si applica il valore riportato.

Area idrografica	Corso d'acqua	Tratto interessato	Classe di interscambio
AI01 Alto Po	Po	da confluenza Rio Albeta a confluenza Rio Torto	4
AI03 Pellice	Pellice	da confluenza Chisone a confluenza Po	5
AI07 Grana-Mellea	Grana-Mellea	da ponte stradale Caraglio-Bernezzo a ponte strada provinciale Centallo- Tarantasca	4
AI15 Dora Baltea	Dora Baltea	da ponte strada statale n. 26 della Valle d'Aosta a confluenza roggia Nuova dei Cagnoni	4
AI17 Basso Sesia	Sesia	da confluenza Cervo a confluenza roggia Lampora	1
A21 Stura di Demonte	Stura di Demonte	da bealera Leona a ponte strada provinciale n. 45 Fossano-Salmour	1
A22 Gesso	Gesso	da confluenza canale Vermenagna a confluenza Stura di Demonte	5
AI32 Ticino	Ticino	da ponte di Oleggio a ponte ferrovia Novara-Busto Arsizio	1

Tabella 20 - Fattore di interscambio A

Negli altri casi, così come per la derivazione in oggetto, si applica il fattore di interscambio A = 1.

Un discorso specifico va fatto per il parametro Z, il quale rappresenta il massimo tra i fattori di naturalità, qualità e fruizione. La Regione Piemonte avvalendosi del supporto tecnico-scientifico di ARPA Piemonte ha individuato i corpi idrici sui quali si prevede la necessità di applicare i parametri correttivi del Deflusso ecologico, con una prima quantificazione dei fattori ambientali, riguardanti la naturalità (N), la qualità dell'acqua (Q) e la fruizione (F). I valori sono riportati nella tabella di cui all'allegato C (art. 4, c.2) del R.R. 14/R/2021, di cui si riporta un estratto relativo al corpo idrico classificato di interesse .

Codice CI	Denominazione	Regione Idrografica Omogena - Fattore T	Valore Q	Valore N	Valore F	Valore Z max (Q,N,F)
04SS1N905PI	VALLONE DELLA VALLETTA_107-Scorrimento superficiale-Molto piccolo	Gruppo C	1	1,1	1	1,1
04SS2N906PI	VALLONE DELL'ARMA_107-Scorrimento superficiale-Piccolo	Gruppo C	1	1,1	1,3	1,3
04SS2N909PI	VALLONE DI S.ANNA_107-Scorrimento superficiale-Piccolo	Gruppo C	1	1,1	1	1,1
04SS1N911PI	VALLONE MULIERE_107-Scorrimento superficiale-Molto piccolo	Gruppo E	1	1	1	1
04SS2N912PI	VALLONE RIO FREDDO_107-Scorrimento superficiale-Piccolo	Gruppo C	1	1,1	1	1,1
06SS1T913PI	VALMAGGIORE_56-Scorrimento superficiale-Molto piccolo	Gruppo F	1	1,3	1	1,3

Tabella 21 - Fattore di naturalità Z

Per il corso d'acqua in studio, rif. 04SS1N911PI il valore Z deve essere assunto pari a 1.

E' possibile individuare la regione idrografica omogenea di appartenenza al fine di definire la variabilità del fattore **T** legato alla variabilità stagionale del Deflusso Ecologico.

	A- COLLINA H (esclusa asta Tanaro)	B- APPENNINO	C- ALPI MERIDIONALI	D- ALPI C.S.	E- ALPI OCCIDENTALI	F- PREALPI/SETTORI BASSA QUOTA (esclusa asta PO)
GEN	1,0	1,0	1.0	0,7	0,7	1.0
FEB	1,0	1,0	1.0	0,7	0,7	1.0
MAR	2,0	2,0	1,0	1,0	0,9	1,0
APR	2,0	2,0	2,0	1,0	0,9	1,8
MAG	2,0	1,0	2,0	1,8	2,0	1,8
GIU	0.7	1,0	2,0	1,8	2,0	1,8
LUG	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7
AGO	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7
SET	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7
OTT	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7
NOV	1,0	1,0	0.7	1,0	0,9	1,0
DIC	1,0	1,0	1.0	0,7	0,7	1,0

Tabella 22 – Fattore di stagionalità del deflusso ecologico T

Si adotta pertanto la variabilità stagionale propria della regione idrografica di appartenenza (E):

- dicembre – gennaio – febbraio **T = 0,7**
- maggio - giugno **T = 2,0**
- marzo – aprile – luglio – agosto – settembre – ottobre – novembre **T = 0,9**

Applicando la metodologia e i valori specifici esplicitati ai punti precedenti, il valore di Deflusso Ecologico per la derivazione in studio è rappresentato dai valori riportati di seguito:

GRANGE SOUBEIRAND			
mese	fattore	DE Teorico	DE
	T	l/s	l/s
gennaio	0.7	7.79	50
febbraio	0.7	7.79	50
marzo	0.9	10.02	50
aprile	0.9	10.02	50
maggio	2	22.26	50
giugno	2	22.26	50
luglio	0.9	10.02	50
agosto	0.9	10.02	50
settembre	0.9	10.02	50
ottobre	0.9	10.02	50
novembre	0.9	10.02	50
dicembre	0.7	7.79	50

Tabella 23 - Valori mensili di deflusso ecologico alla sezione di chiusura di Grange Soubeyrand

Si evidenzia che essendo il valore di DE comunque sempre inferiore al minimo valore di DE ammissibile, occorrerà comunque sempre assumere il valore di 50 l/s quale valore di DE di riferimento.

Portata disponibile per l'utilizzo idroelettrico

Applicando le formulazioni proposte dalla normativa, con riferimento al seguente capitolo sul DMV, si perviene ai valori di Deflusso Ecologico che risultano inferiori al valore minimo di 50 l/s fissato dalla vigente normativa quale minimo valore da assumere. Tale valore viene quindi utilizzato come portata istantanea da rilasciare sul bacino nel punto di presa. La definizione del DE consente l'immediata quantificazione della risorsa idrica utilizzabile, ad uso idroelettrico, sottraendola dalla quantità naturale defluente.

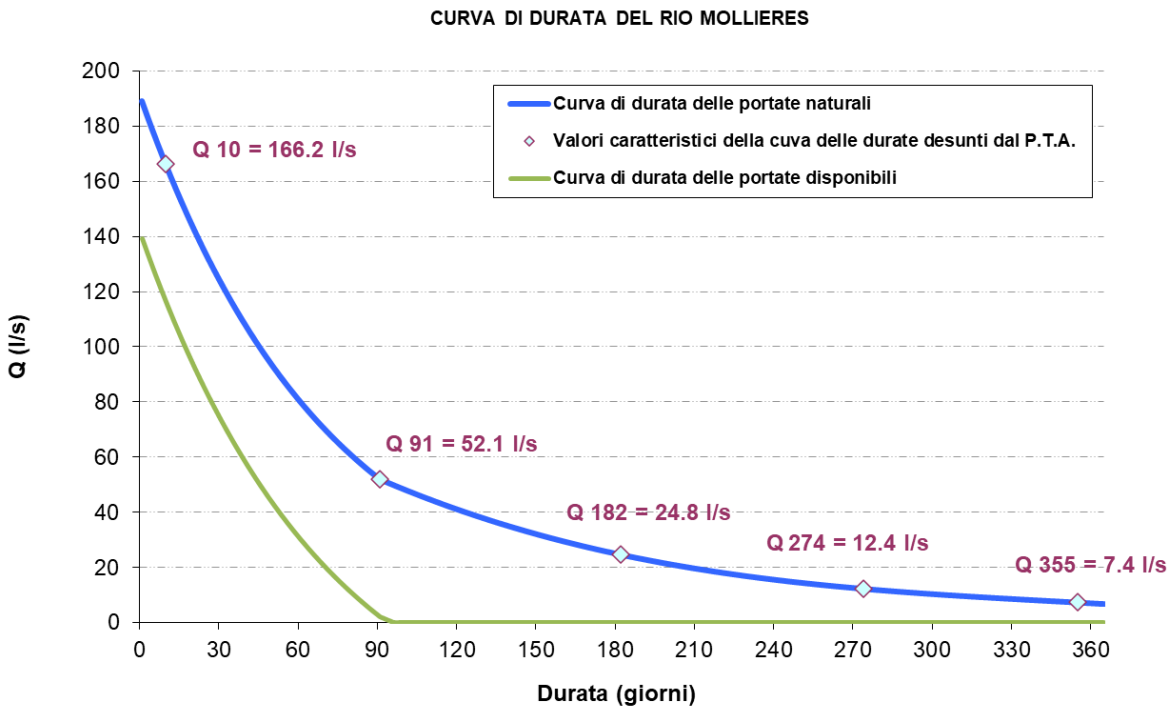


Figura 39 - Curva di durata delle portate disponibili per l'uso idroelettrico alla sezione di presa Grange Soubeyrand del Rio Mollieres.

I grafici evidenziano una disponibilità di portata sul Mollieres per almeno tre mesi l'anno (Q_{91}).

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima di derivazione e portata nominale

Il valore massimo derivabile e il conseguente valore di portata media derivabile derivano dall'analisi del regime idrologico delle portate e dai relativi obblighi di rilascio e di rispetto dei diritti di terzi, già in essere prima del rilascio della concessione in oggetto. Per la scelta del dato di progetto, inoltre, è stata valutata la configurazione ottimale in termini di energia producibile, la quale consenta la compatibilità con la Direttiva Derivazioni (rapporto tra massima portata derivabile e portata media naturalizzata del corpo idrico) e rispetta i limiti di portata massima imposti dalla Regione Piemonte.

I vincoli da rispettare sono riassunti di seguito:

- Portata massima imposta da Regione Piemonte = 70 l/s.

- Portata massima imposta dal rapporto del metodo ERA $0{,}5 < \frac{Q_d}{Q_n} < 1$ che risulta pari a 55 l/s.
- Rispetto del DMV di 50 l/s per tutta la curva di durata.

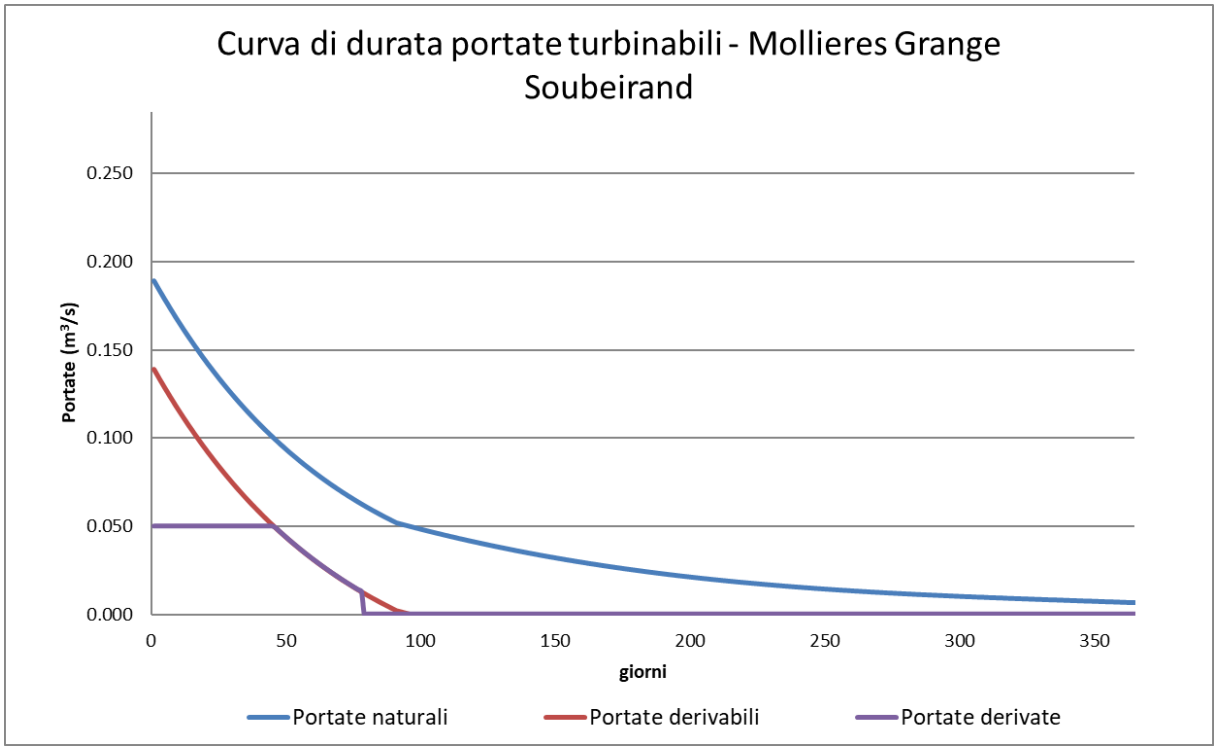


Figura 40 - Curva di durata portate turbinabili

La portata ottenuta è = **50 l/s.**

Dalla curva delle portate derivate è possibile ricavare la portata nominale dell'impianto pari alla media dei valori giornalieri necessaria alla quantificazione della potenza nominale di concessione = **9 l/s.**

Determinazione del salto idraulico lordo per l'impianto idroelettrico

Il salto idraulico lordo necessario per la definizione della potenza nominale di concessione si basa sulla differenza di quota tra il livello nella vasca di carico (1700 m s.l.m.) e la quota asse turbina (1481 m s.l.m.) = **219 m.**

Potenza nominale di concessione

La potenza nominale di concessione dell'impianto è definita in funzione del salto lordo e della portata media turbinata, secondo la relazione di seguito esplicitata:

$$P_{NOM} = Q_{nom} \cdot \Delta H_{lordo} \cdot 9{,}81$$

La potenza nominale dell'impianto idroelettrico è pertanto pari a **19,0 kW**.

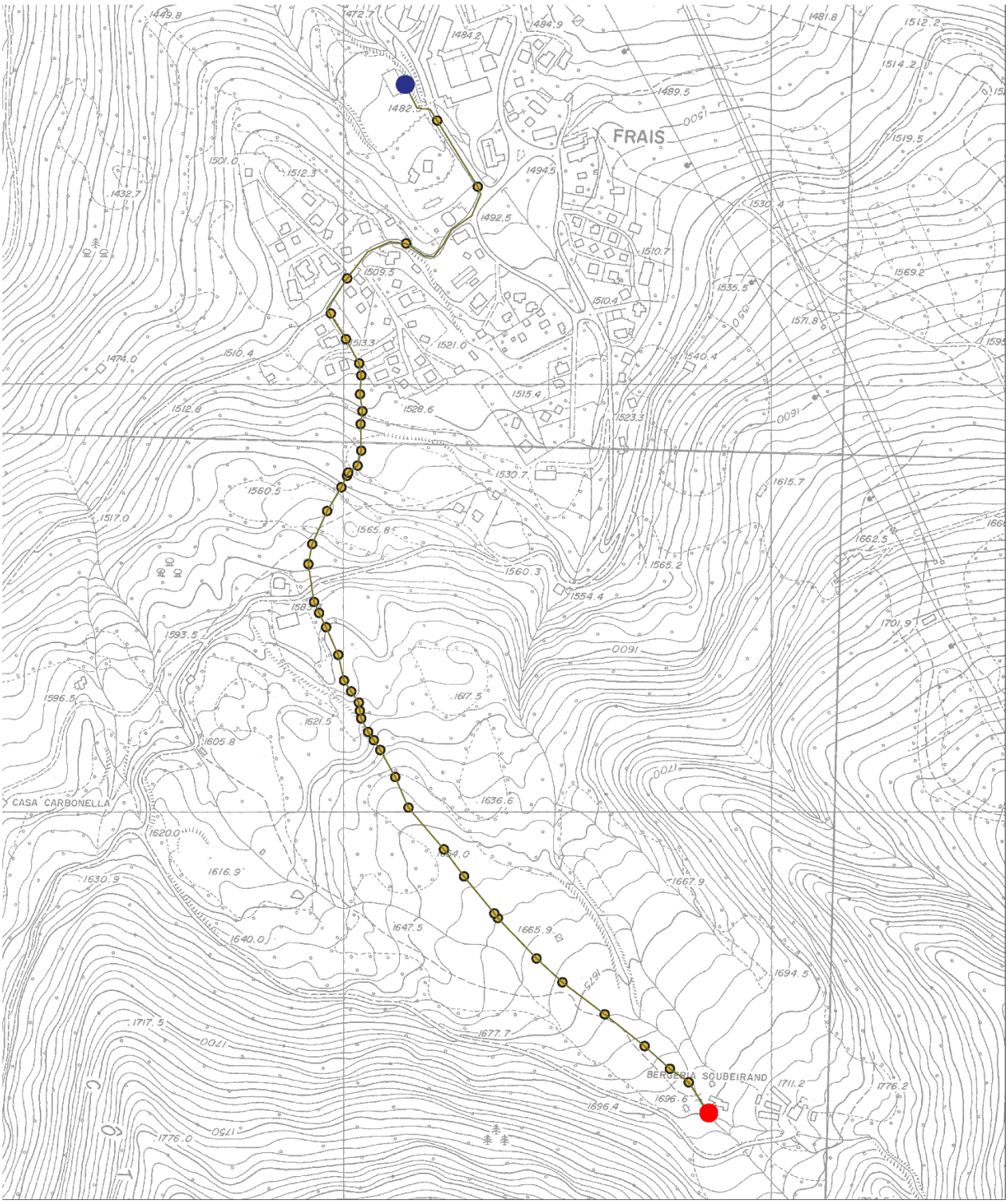
L'utilizzo della risorsa idrica a scopo energetico presuppone il rilascio, da parte dell'Autorità concedente, del disciplinare di concessione a derivare, a seguito di istanza presentata ai sensi del D.P.G.R. N.10/R.

In particolare, con riferimento alla potenza nominale media di concessione pari a **19 kW**, il prelievo oggetto di analisi ai sensi dell'Art.34 è assoggettato alla procedura semplificata ("*Sono concessi con la procedura di cui al presente articolo: […] b) i prelievi per produzione di energia a servizio di impianti di potenza nominale media annua inferiore o uguale a 50 kW*"). Il prelievo risulta quindi compatibile con la soglia massima imposta.

Lunghezza della condotta

La condotta è stata tracciata seguendo a piedi il versante e cercando il terreno più praticabile possibile. Con l'aiuto di un GPS portatile è stato possibile memorizzare dei punti georiferiti che servissero successivamente come base per il tracciamento definitivo. La condotta così ipotizzata misura **1.593 m.**

Si riporta una planimetria del tracciato previsto:



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	WAYPOINT GENERATI CON GPS PORTATILE CHE DESCRIVONO IL TRACCIATO CONDOTTA
	OPERA DI PRESA
	LOCALE CENTRALE

Figura 41 - Tracciato impianto Grange Soubeyrand

Perdite di carico

Le perdite di carico sono state ricavate mediante la formulazione per moto assolutamente turbolento di Darcy:

$$p_{tot} = \beta \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_{tot}$$

Con:

p_{tot} = Perdite;

β = Beta di Darcy;

Q = Portata;

D = Diametro interno;

L_{tot} = lunghezza condotta;

Si prevede l'utilizzo di condotte in PEAD materiale composito a bassa scabrezza, per cautela si considera un valore riferito a tubazioni in acciaio già usurate per quantificare le perdite a fine vita dell'impianto. Il valore utilizzato di Gauckler – Strickler è **80**. La formulazione di Darcy necessita del parametro β, è stato quindi necessario convertire da Gauckler – Strickler con la formulazione:

$$\beta = \frac{10{,}3}{k^2 \cdot D^{\frac{1}{3}}}$$

Con:

k = coefficiente di Gauckler – Strickler;

D = Diametro interno;

Diametro della condotta

Per ricavare il diametro ottimale della condotta forzata è necessario sviluppare una funzione di costo che debba essere minimizzata. I due costi contrapposti sono rappresentati dal materiale e dallo scavo al crescere del diametro, dai mancati ricavi dovuti alle perdite di carico al decrescere di quest'ultimo.

E' possibile esprimere la funzione di costo considerando più o meno variabili, quello che ci si aspetta è comunque un andamento pseudo parabolico che presenti un minimo in prossimità di un

valore che debba essere scelto come ottimo. Nel caso si presentino due valori molto simili entrambi vicini al minimo della funzione la scelta può essere condotta in base a parametri specifici. In questo caso si procederà scegliendo sempre la soluzione che minimizza in senso assoluto le perdite di carico rappresentata dal diametro maggiore.

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 150 ed i 350 mm. La prima tabella riassume il costo dovuto all'acquisto della condotta:

$$C_{tot} = c_{spec} \cdot L_{con}$$

diam nom [mm]	diam real [mm]	costo spec [€/m]	costo tot [€]
150	160.3	69.3	110395
200	209.1	93.4	148786
250	263	136	216648
300	312.1	168.1	267783
350	343	203.2	323698

Tabella 24 - Costo della condotta

Si analizzano quindi i ricavi mancati dovuti alla potenza persa per le perdite di carico:

$$R_{mancati} = p \cdot g \cdot Q_{tot} \cdot \eta_{tot} \cdot h \cdot y \cdot c_{energia}$$

Con:

$R_{mancati}$ = Ricavi mancati;

p = Perdite;

g = Accelerazione g;

Q_{tot} = Portata in condotta [m^3/s];

η_{tot} = Rendimento di macchina;

h = ore di funzionamento annue;

y = anni di funzionamento;

perdite [m]	P persa [kW]	giorni ipotetici fun	E persa [kWh/y]	E persa 30 y [kWh]	ricavi mancati [€]
111.5	45.1	70	75735	2272052	361029
27.0	10.9	70	18351	550535	87480
8.0	3.2	70	5401	162042	25748
3.2	1.3	70	2167	65021	10332
1.9	0.8	70	1311	39338	6251

Tabella 25 - Ricavi mancati per perdite di carico

Infine si conteggia il costo dello scavo necessario per la posa; Si è ipotizzato un costo costante al variare del diametro poiché per taglie così piccole la dimensione della trincea non dipende dalla condotta perché deve rispettare una profondità minima ed una larghezza imposta dal tipo di benna utilizzata dall'escavatore.

costo scavo [€]	tot [€]
150000	621424
150000	386266
150000	392396
150000	428115
150000	479948

Tabella 26 - Costo scavo e totale funzione di costo

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 200 e 250 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **250 mm.**

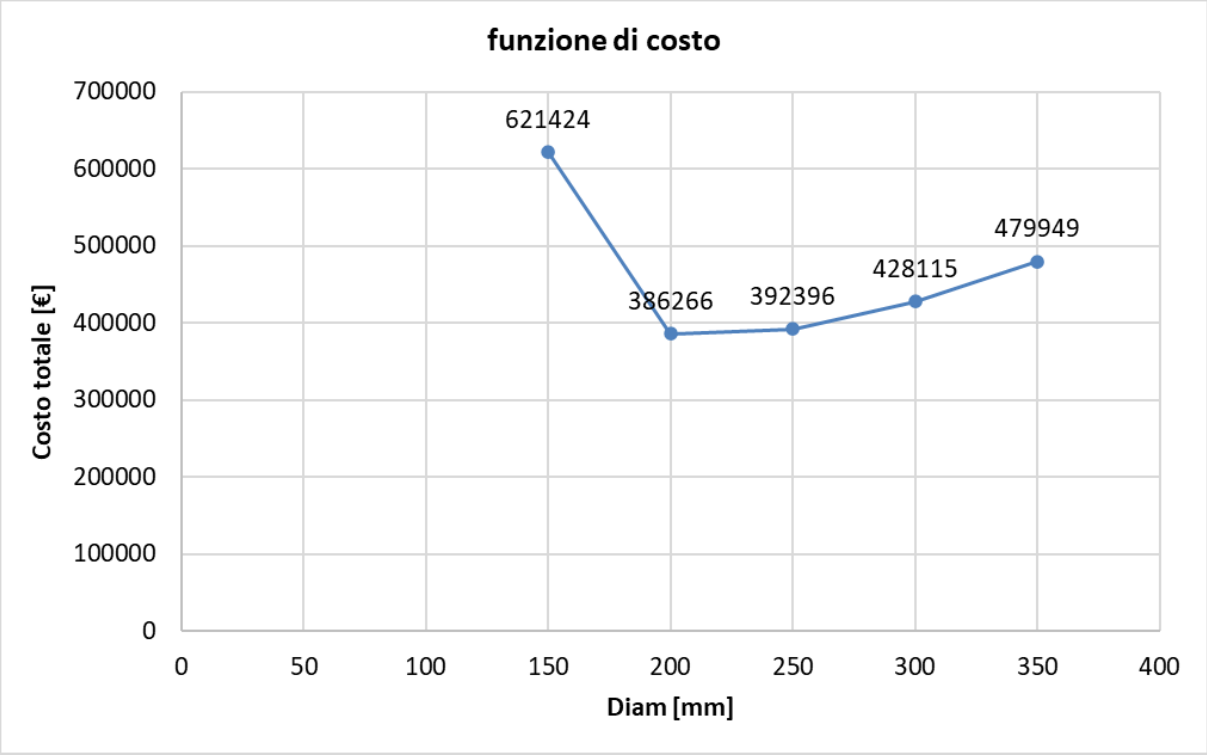


Figura 42 - Funzione di costo Grange Soubeyrand

Rendimenti di macchina

I piccoli impianti idroelettrici considerati in questo studio sono costituiti da una turbina di tipo Pelton molto spesso ad asse verticale e con un numero di getti compreso tra 4 e 6. A questa viene calettato un alternatore tramite un corto albero di trasmissione. Non vengono mai previsti organi

di riduzione o moltiplicazione. Per la quantificazione della potenza disponibile ai morsetti del generatore e quindi l'energia producibile si considerano i rendimenti di turbina e quello dell'alternatore.

Per le applicazioni correnti si sono utilizzati i valori tipici di mercato per le taglie selezionate: **(93 kW)**

$$\eta_{turb} = \mathbf{0,85}$$

$$\eta_{alt} = \mathbf{0,97}$$

Prezzi minimi garantiti per il ritiro dell'energia elettrica da fonti rinnovabili

L'energia prodotta dall'impianto viene ceduta alla rete elettrica nazionale con il riconoscimento di un prezzo minimo garantito emesso dall'ente ARERA per l'anno 2022:

Prezzi minimi garantiti per l'anno 2022

Fonte	Quantità di energia elettrica ritirata su base annua	Prezzo minimo garantito [€/MWh]
Biogas e biomasse, esclusi i biocombustibili liquidi a eccezione degli oli vegetali puri tracciabili ex regolamento europeo CE n. 73/09	fino a 2.000.000 kWh	**96.3**
Gas da discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biocombustibili liquidi a eccezione degli oli vegetali puri tracciabili ex regolamento europeo CE n. 73/09	fino a 1.500.000 kWh	**51.1**
Eolica	fino a 1.500.000 kWh	**51.1**
Solare fotovoltaica	fino a 1.500.000 kWh	**40.7**
Geotermica	fino a 1.500.000 kWh	**53.4**
Idrica	fino a 250.000 kWh	**158.9**
	oltre 250.000 kWh e fino a 500.000 kWh	**109.0**
	oltre 500.000 kWh e fino a 1.000.000 kWh	**68.5**
	oltre 1.000.000 kWh e fino a 1.500.000 kWh	**59.2**
Fonti rinnovabili diverse dalle fonti sopra elencate	fino a 1.500.000 kWh	**40.7**

Figura 43 - Prezzi minimi garantiti per l'anno 2022

Applicazione del metodo ERA al caso studio

Per entrare nella matrice che quantifica il tipo di pressione esercitata sul territorio con l'installazione del nuovo impianto è necessario definire i due rapporti seguenti:

$$S/_L = \frac{1{,}36\ Km}{6{,}59\ Km} = \mathbf{0,21}$$

$$D/Q_n = \frac{50\ l/s}{55\ l/s} = \mathbf{0,91}$$

Rapporto tra lunghezza del tratto sotteso"S" e lunghezza del corpo idrico "L"	*Rapporto tra la portata massima derivabile "D" e la portata media naturalizzata "Qn" del corpo idrico*		
	D/Qn > 1	0,5 < D/Qn < 1	D/Qn < 0,5
S/L > 0,30	**Rilevante**	**Moderato**	**Lieve**
0,15 < S/L < 0,30	**Moderato**	**Moderato**	**Lieve**
S/L < 0,15	**Lieve**	**Lieve**	**Lieve**

Figura 44 - matrice delle pressioni esercitate

La pressione ricavata dalla tabella è di tipo moderato, si entra quindi nella matrice che identifica gli stati autorizzativi per l'opera in esame. Con riferimento al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – 2021 – "Classificazione Stato di Qualità e Obiettivi ambientali dei corpi idrici piemontesi" lo Stato Ecologico per il Vallone di Mollieres viene cautelativamente assunto pari a "BUONO", con riferimento agli obiettivi 2027.

*Stato/potenziale ecologico del CI (*)*	*Impatto generato dall'intervento*		
	Lieve (non c'è scadimento di qualità)	**Moderato** (potrebbe esserci scadimento qualità)	**Rilevante** (c'è scadimento di qualità)
Elevato	**R (* *)**	**E**	**E**
Buono	**R**	**R (* *)**	**E**
Sufficiente	A	**R**	**R (* *)**
Scarso	A	**R**	**R (* *)**
Cattivo	A	**R**	**R (* *)**

(*) La nuova derivazione o le nuove derivazioni incidenti su un corpo idrico che, anche a causa delle pressioni derivanti dai prelievi in atto, comportino un incremento potenzialmente significativo della pressione ambientale, sono da considerarsi non compatibili.*

Figura 45 - matrice degli stati autorizzativi

Il nuovo impianto idroelettrico sul Vallone di Mollieres in Comune di Chiomonte ricade si sensi della metodologia ERA in area di **REPULSIONE (**)**, i cui effetti sono riportati in Tabella 27: la derivazione può essere considerata compatibile nel rispetto di specifiche prescrizioni. Gli asterischi comportano che l'opera possa ricadere in area di esclusione qualora comporti un incremento potenzialmente significativo della pressione ambientale oltre a quella già causata dall'impianto già in atto a valle dello stesso.

Repulsione ("R")	esistono fondati rischi di una sua interferenza con la qualità ambientale del corpo idrico. Va pertanto effettuata una valutazione più approfondita, che indaghi in dettaglio ulteriori fattori ambientali. La derivazione può essere considerata compatibile con l'applicazione di particolari misure volte alla mitigazione degli impatti e nel rispetto di specifiche prescrizioni, tese a garantire il non deterioramento della classe di ognuno degli elementi di qualità ambientale per il raggiungimento degli obiettivi ambientali definiti per il corpo idrico/i corpi idrici interessati

Tabella 27 - criteri dell'area di repulsione

Potenza ed energia disponibile

La potenza teorica lorda della risorsa è quantificabile come:

$$P_{lorda} = \Delta H_{lordo} \cdot Q_{max} \cdot g = \mathbf{107,4\ kW}$$

La potenza netta massima disponibile ai morsetti del generatore viene calcolata a partire dalla potenza lorda corretta dai valori di rendimento della condotta, turbina e generatore:

$$P_{netta} = P_{lorda} \cdot \eta_{cond} \cdot \eta_{turb} \cdot \eta_{gen} = \mathbf{85,0\ kW}$$

Il rendimento della condotta risultato dalle perdite di carico è pari a **0,96.**

Si prevede di installare un gruppo turbina-alternatore con una potenza massima di targa pari ad almeno il 110% della potenza netta massima disponibile equivalente a **93,5 kW.** Si provvederà quindi ad individuare la prima taglia commerciale disponibile che soddisfi queste specifiche tecniche.

La metodologia di calcolo dell'energia prodotta ha una risoluzione giornaliera, vengono quindi sommate le aliquote per ottenere il valore totale annuale:

$$E = \sum_{i=1}^{365} g \cdot \eta_{tot} \cdot Q \cdot \Delta H_{netto} \cdot h$$

Con:

η_{tot} = rendimento del gruppo turbina alternatore;
h = ore di esercizio giornaliere dell'impianto calcolato per il giorno i-esimo (h).

Il valore di energia disponibile è pari a **133.000 kWh.**

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Corpo idrico di presa: Rio Mollieres

- Corpo idrico di restituzione: Rio Mollieres
- Superficie bacino alla presa: 1 2,87 km^2
- Portata media corpo idrico alla presa 55 l/s
- Quota Pelo Morto Superiore: 1700 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 1481 m s.l.m.
- Quota restituzione: 1481 m s.l.m.
- Salto lordo: 219 m
- Diametro reale interno 263 mm
- Rilascio Deflusso Ecologico 50 l/s
- Portata derivata media: 9,0 l/s
- Portata derivata massima: 50,0 l/s
- Potenza nominale: 19,0 kW
- Potenza installata: 90 kW
- Producibilità media annua attesa: **133.000 kWh**

Piano economico sintetico

E' necessario premettere che l'opera analizzata si configura come un investimento eseguito dal Comune di Chiomonte al fine di valorizzare il più possibile la risorsa idrica presente, producendo energia pulita forte di fondi già pronti ad essere utilizzati in questo ambito. L'ente Comune non ha quindi gli stessi scopi che potrebbe avere un investimento eseguito da un privato che prevede un rientro economico sicuro entro la vita utile d'impianto e comunque sempre entro i 15 anni.

Questa tipologia di impianti, i quali possono funzionare per un piccolo numero di giorni all'anno e risentono dell'economia di scala sfavorevole a causa della piccolissima taglia, normalmente non sarebbero mai economicamente interessanti tranne pochissimi casi. Quello presente risulta un'eccezione poiché lo scopo dell'investimento è differente.

Il calcolo del piano economico è strutturato a risoluzione annuale per un orizzonte temporale di **30 anni** pari alla vita utile stimata dell'impianto. I costi ed i ricavi sono quantificati secondo la formulazione seguente:

$$R_{netto} = R_{el} - i \cdot C_{O\&M} - C_{ass} - IRES - IRAP - IMU$$

Con:

i = fattore di inflazione;

$C_{O\&M}$ = Costi di manutenzione e conduzione;

C_{ass} = Costo dell'assicurazione;

$IRES$ = imposta sui redditi della società;

$IRAP$ = imposta regionale sulle attività produttive;

IMU = imposta municipale propria;

I ricavi $R_{i\ energia}$ si ottengono:

$$R_{el} = c_{el} \cdot E_{el}$$

Il fattore di inflazione i si assume aumentare di **0,50%** all'anno.

Il costo di manutenzione viene ricavato dalla formula:

$$C_{man} = c_{spe\ man} \cdot E_{el}$$

Il costo specifico c_{spe} viene assunto **0,015 €/kWh** prodotti. Il costo della conduzione e assicurazione vengono ipotizzati come la metà dei costi manutentivi.

Per la categoria impianti idroelettrici non si prevede la sottoscrizione di un prestito ma tutta l'opera sia a carico del Comune. Nel conteggio dei costi non compaiono quindi le rate di quest'ultimo.

Per l'applicazione delle imposte al flusso di cassa operativo deve essere sottratto l'ammortamento che conduce al profitto ante imposte. Per gli impianti idroelettrici in esame accade che quest'ultimo valore sia negativo proprio perché vengono prodotti bassissimi ricavi. Sebbene sia evidente che l'investimento isolato sia quindi insostenibile, per la realtà presa in esame risulta comunque perseguibile.

Per poter sviluppare l'andamento del flusso di cassa cumulativo è necessario conoscere il costo iniziale dell'impianto. Per ipotizzarlo si è sviluppata una formulazione che meglio approssimi l'andamento al variare della taglia dell'impianto:

$$C_{tot} = L_{tot} \cdot c_{scavo} \cdot k_{pen} \cdot f(P)$$

Con:

c_{scavo} = costo specifico dello scavo;

k_{pen} = coefficiente difficoltà pendio;

$f(P)$ = funzione della taglia di impianto;

La funzione di taglia dell'impianto $f(P)$ è stata definita empiricamente ed ha carattere esponenziale come segue:

$$f(P) = 27.670 \cdot P^{-0,345}$$

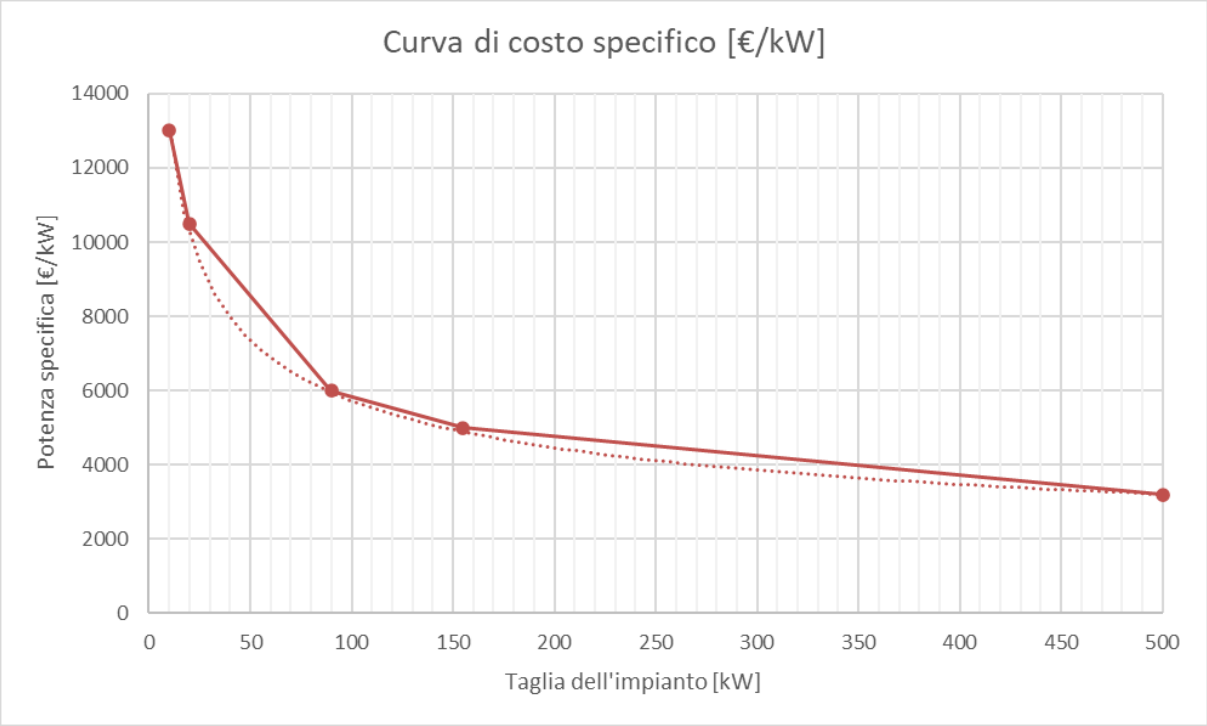


Figura 46 - Curva di costo specifico impianti mini idroelettrici

	L [m]	scavo spec [€/m]	diff pendio	taglia	tot [€]
Soubeirand	1593	100	1	90	686576
Vasca di carico	2340	100	1.6	95	920684
Condomini	1639	100	1.6	95	808524
Frais	752	100	1.2	20	287112
Frais variante	251	100	1.2	10	155149
Ramats	1500	100	1.4	20	406872
Touron	3000	100	1.6	162	1254893
Mollieres	800	100	1.1	78.7	570917
Combascura	1365	100	1.1	83.5	652162

Tabella 28 - tabella riassuntiva costi totale d'impianto

L'impianto di Grange Soubeyrand oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **687.000 €**, Il ricavo $R_{i\,netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **16.850 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **-190.000 €.**

Il tempo di ritorno è quindi sicuramente maggiore alla vita utile dell'impianto rendendo l'investimento non remunerativo. I valori seguenti, per rappresentare un investimento interessante devono attestarsi almeno attorno all'7-8%:

- **ROI = 2,49%** indice di redditività del capitale investito. Calcolato come rapporto tra risultato operativo e capitale investito netto.
- **ROE = 2,45%** è l'indicatore del grado di remunerazione del rischio affrontato dall'imprenditore e dai soci. Calcolato come rapporto tra utile netto e patrimonio netto

Si rimanda al capitolo di confronto tra tutte le soluzioni per la quantificazione dei benefici ottenibili dalla costruzione di un impianto di questa tipologia.

Vasca di carico acquedotto Frais – Prato Richard

Formule SIMPO e similitudine idrologica

I parametri caratteristici dei bacini del Rio Mollieres utilizzati per l'applicazione della metodologia SIMPO sono riportati nella seguente tabella:

	S (km²)	**H media (m s.l.m.)**	**Afflusso (mm)**	**Q_{MEDA} (l/s)**	**q_{meda} (l/s/km²)**
VASCA DI CARICO FRAIS	3,11	2060	743	57,6	18,5

Tabella 29 - Parametri caratteristici del Bacino del Rio Mollieres alla sezione di presa Vasca di carico acquedotto Frais

Di seguito la tabella riassuntiva delle portate medie per le metodologie SIMPO e simulazione idrologica:

	l/s	l/s
	Simpo	PTA
Q_{GEN}	21.6	40.3
Q_{FEB}	20.1	34.5
Q_{MAR}	26.6	51.8
Q_{APR}	39.2	51.8
Q_{MAG}	114.5	103.6
Q_{GIU}	165.7	126.7
Q_{LUG}	116.2	92.1
Q_{AGO}	66.4	51.8
Q_{SETT}	44.2	28.8
Q_{OTT}	32.2	28.8
Q_{NOV}	21.1	40.3
Q_{DIC}	22.5	40.3
	57.5	**57.6**

Tabella 30 - Tabella riassuntiva metodologia SIMPO e similitudine idrologica vasca di carico Frais

La portata media annua naturale defluente alla sezione di presa, calcolata mediando i valori mensili, è pari a circa **58 l/s** per entrambe le metodologie.

Curva naturale delle portate

I parametri caratteristici della curva di durata del Rio Mollieres per la sezione di chiusura in esame sono quindi:

	Q_{10} (l/s)	Q_{91} (l/s)	Q_{182} (l/s)	Q_{274} (l/s)	Q_{355} (l/s)
VASCA DI CARICO FRAIS	180,0	56,4	26,9	13,4	8,1

Tabella 31 - Dati caratteristici della curva di durata delle portate alla vasca di carico Frais

Viene riportata di seguito la curva di durata delle portate naturali:

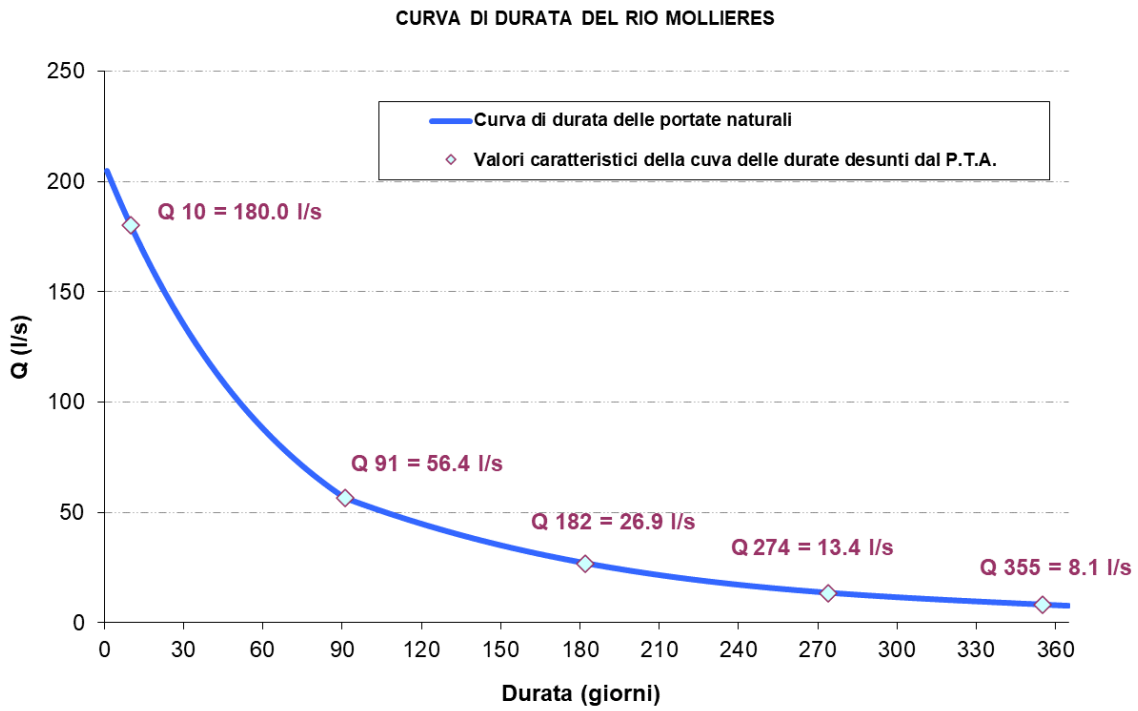


Figura 47 - Curva di durata delle portate naturali defluenti alla sezione di presa Vasca di carico Frais sul Rio Mollieres.

Derivazioni idriche esistenti – diritti di Terzi

Dall'analisi del catasto derivazioni delle risorse idriche della Regione Piemonte è emersa la presenza di una derivazione a valle della presa sul rio analizzato.

Questa derivazione preleva le portate direttamente dal rio Mollieres a quota 1500 m s.l.m. nell'abitato del Frais per alimentare un laghetto artificiale a quota 1470 m s.l.m. localizzata nella conca di partenza degli impianti di risalita. Questo bacino fornisce l'acqua per l'innevamento artificiale della stazione sciistica locale. La portata media derivata è di **7,5 l/s.**

Calcolo del Deflusso Ecologico

Il deflusso ecologico (DE) è rappresentato dai valori riportati di seguito:

VASCA DI CARICO FRAIS			
mese	fattore T	DE Teorico l/s	DE l/s
gennaio	0.7	8.16	50
febbraio	0.7	8.16	50
marzo	0.9	10.49	50
aprile	0.9	10.49	50
maggio	2	23.32	50
giugno	2	23.32	50
luglio	0.9	10.49	50
agosto	0.9	10.49	50
settembre	0.9	10.49	50
ottobre	0.9	10.49	50
novembre	0.9	10.49	50
dicembre	0.7	8.16	50

Tabella 32 - Valori mensili di deflusso ecologico alla sezione di chiusura Vasca di carico Frais

Si evidenzia che essendo il valore di DE comunque sempre inferiore al minimo valore di DE ammissibile, occorrerà comunque sempre assumere il valore di 50 l/s quale valore di DE di riferimento.

Portata disponibile per l'utilizzo idroelettrico

Applicando le formulazioni proposte dalla normativa, con riferimento al seguente capitolo sul DMV, si perviene ai valori di Deflusso Ecologico che risultano inferiori al valore minimo di 50 l/s fissato dalla vigente normativa quale minimo valore da assumere.

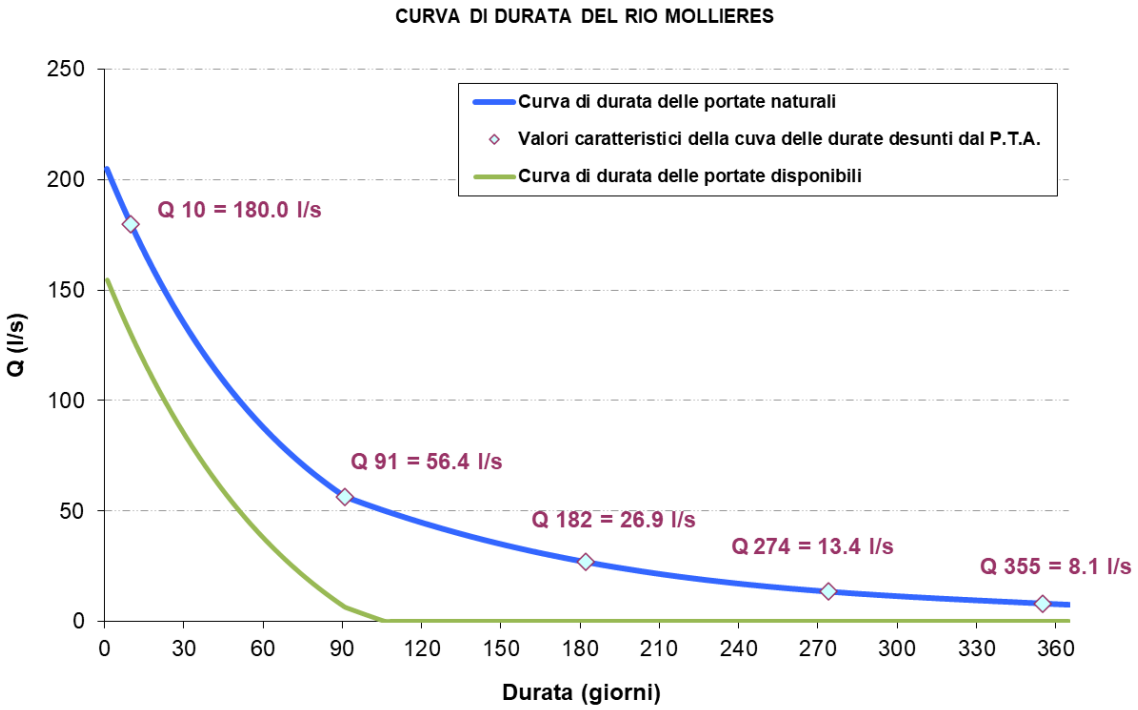


Figura 48 - Curva di durata delle portate disponibili per l'uso idroelettrico alla sezione di presa Vasca di carico Frais del Rio Mollieres.

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima di derivazione e portata nominale

Il valore massimo derivabile e il conseguente valore di portata media derivabile derivano dall'analisi del regime idrologico delle portate e dai relativi obblighi di rilascio e di rispetto dei diritti di terzi già in essere prima del rilascio della concessione in oggetto.

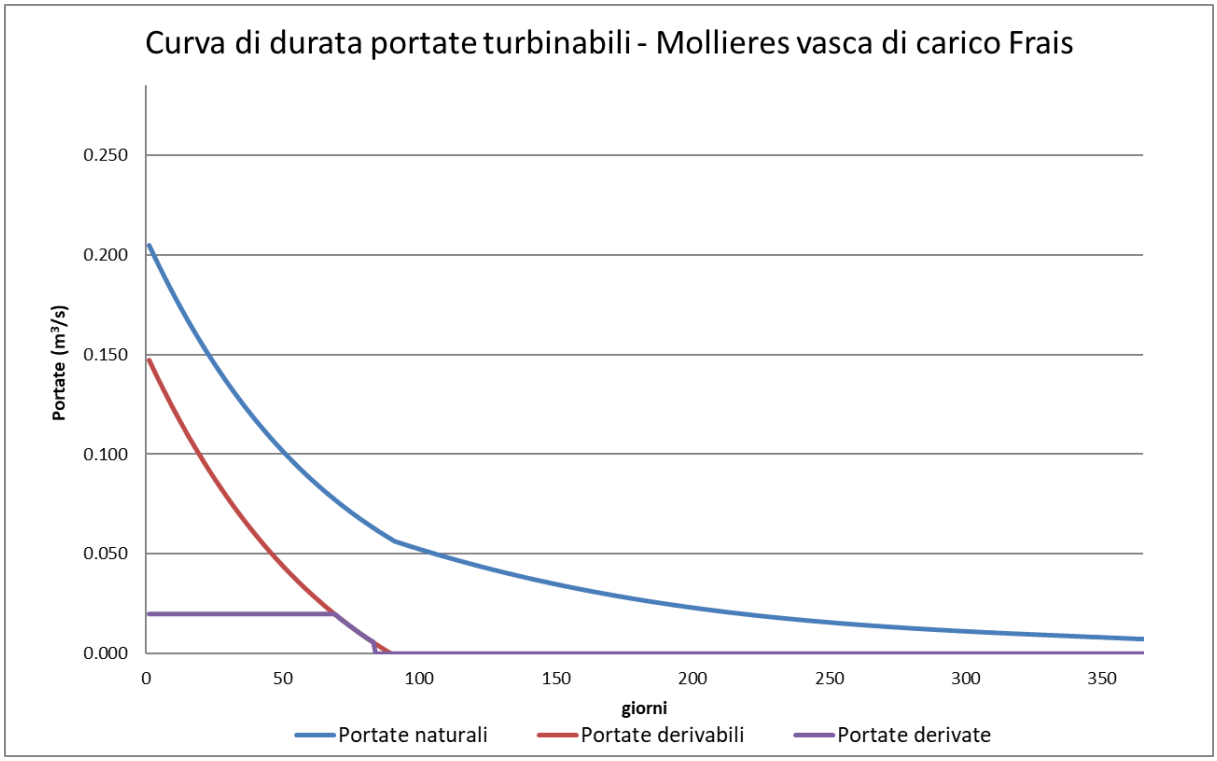


Figura 49 - Curva di durata portate turbinabili

La portata ottenuta è = **20 l/s.**

Dalla curva delle portate derivate è possibile ricavare la portata nominale dell'impianto pari a = **4,2 l/s.**

Diametro della condotta.

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 100 ed i 350 mm.

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 150 e 200 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **200 mm.**

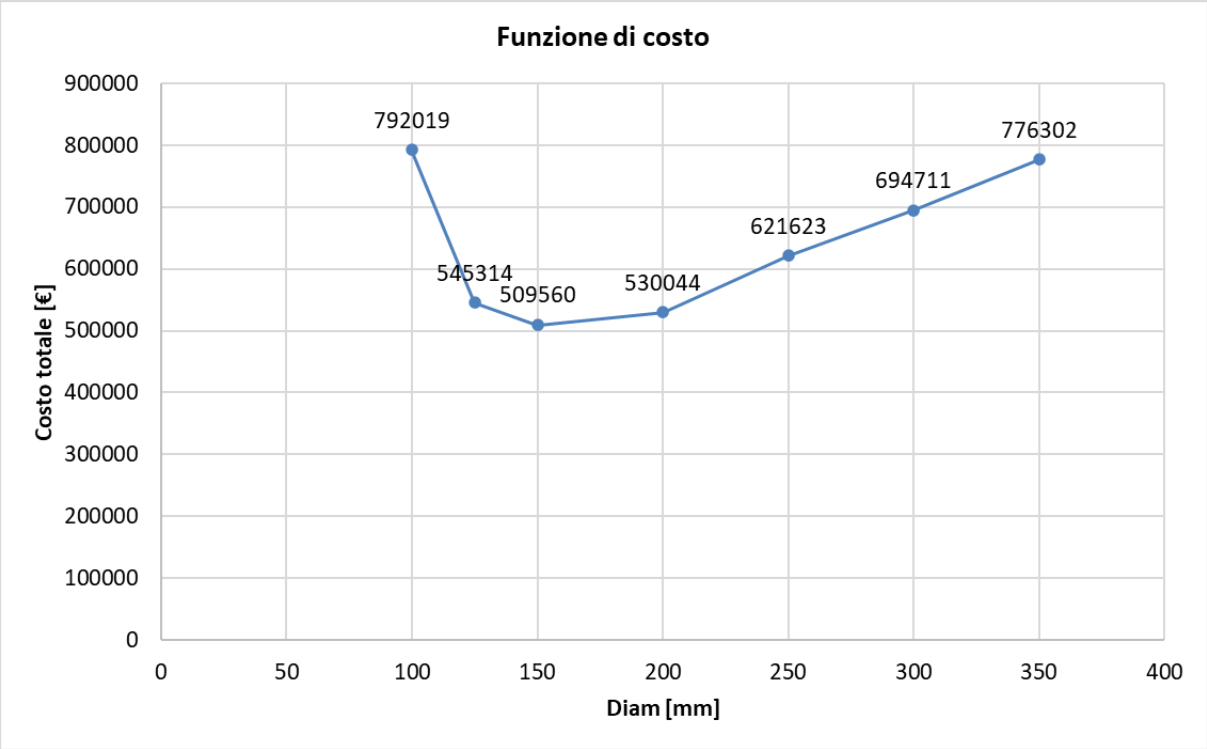


Figura 50 - Funzione di costo Vasca di carico Frais

Applicazione del metodo ERA al caso studio

Per entrare nella matrice che quantifica il tipo di pressione esercitata sul territorio con l'installazione del nuovo impianto si definiscono i due rapporti seguenti:

$$S/_L = \frac{2{,}16\ Km}{6{,}59\ Km} = \mathbf{0,33}$$

$$D/_{Q_n} = \frac{20\ l/s}{57{,}6\ l/s} = \mathbf{0,35}$$

La pressione ricavata dalla tabella è di tipo lieve, si entra quindi nella matrice che identifica gli stati autorizzativi per l'opera in esame.

Il nuovo impianto idroelettrico sul Vallone di Mollieres in Comune di Chiomonte ricade si sensi della metodologia ERA in area di **REPULSIONE.** Lo stato autorizzativo è quindi migliore rispetto all'impianto di Grange Soubeyrand.

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Corpo idrico di presa: Rio Mollieres
- Corpo idrico di restituzione: Rio Mollieres
- Superficie bacino alla presa: 3,11 km^2
- Portata media corpo idrico alla presa 57,6 l/s
- Quota Pelo Morto Superiore: 1555 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 977 m s.l.m.
- Quota restituzione: 960 m s.l.m.
- Salto lordo: 578 m
- Lunghezza condotta 2.340 m
- Diametro reale interno 209,1 mm
- Rendimento turbina 0,85
- Rendimento alternatore 0,97
- Rilascio Deflusso Ecologico 50 l/s
- Portata derivata media: 4,2 l/s
- Portata derivata massima: 20,0 l/s
- Potenza nominale: 24,1 kW
- Potenza teorica lorda: 113,4 kW
- Potenza installata: 102 kW
- Potenza massima disponibile ai morsetti 92,2 kW
- Producibilità media annua attesa: **171.000 kWh**

Piano economico sintetico

L'impianto di Vasca di carico Frais oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **921.000 €**, il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **21.800 €** ed il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **-279.000 €.**

- **ROI = 2,40%**
- **ROE = 2,36%**

Complesso condominiale Frais – Prato Richard

L'impianto seguente è una variante del precedente "Vasca di carico Frais-Prato Richard" con quota di presa ridotta ma seguendo lo stesso tracciato. Anche le portate derivate saranno diverse a causa della variata localizzazione della captazione.

Formule SIMPO e similitudine idrologica

I parametri caratteristici dei bacini del Rio Mollieres utilizzati per l'applicazione della metodologia SIMPO sono riportati nella seguente tabella:

	S **(km²)**	**H media** **(m s.l.m.)**	**Afflusso** **(mm)**	**Q_{MEDA}** **(l/s)**	**q_{meda}** **(l/s/km²)**
CONDOMINI FRAIS	3,55	2023	743	64,6	18,2

Tabella 33 - Parametri caratteristici del Bacino del Rio Mollieres alla sezione di presa Condomini Frais

Di seguito la tabella riassuntiva delle portate medie per le metodologie SIMPO e simulazione idrologica:

	l/s	**l/s**
	Simpo	PTA
Q_{GEN}	25.1	45.2
Q_{FEB}	23.6	38.7
Q_{MAR}	31.3	58.1
Q_{APR}	44.8	58.1
Q_{MAG}	127.7	116.2
Q_{GIU}	183.6	142.1
Q_{LUG}	128.8	103.3
Q_{AGO}	73.4	58.1
Q_{SETT}	48.8	32.3
Q_{OTT}	35.9	32.3
Q_{NOV}	24.7	45.2
Q_{DIC}	26.4	45.2
	64.5	**64.6**

Tabella 34 - Tabella riassuntiva metodologia SIMPO e similitudine idrologica ai Condomini Frais

La portata media annua naturale defluente alla sezione di presa, calcolata mediando i valori mensili, è pari a **65 l/s** per entrambe le metodologie.

Curva naturale delle portate

I parametri caratteristici della curva di durata del Rio Mollieres per la sezione di chiusura in esame sono quindi:

	Q_{10} (l/s)	Q_{91} (l/s)	Q_{182} (l/s)	Q_{274} (l/s)	Q_{355} (l/s)
CONDOMINI FRAIS	205,4	64,4	30,7	15,3	9,2

Tabella 35 - Dati caratteristici della curva di durata delle portate Condomini Frais

Viene riportata di seguito la curva di durata delle portate naturali:

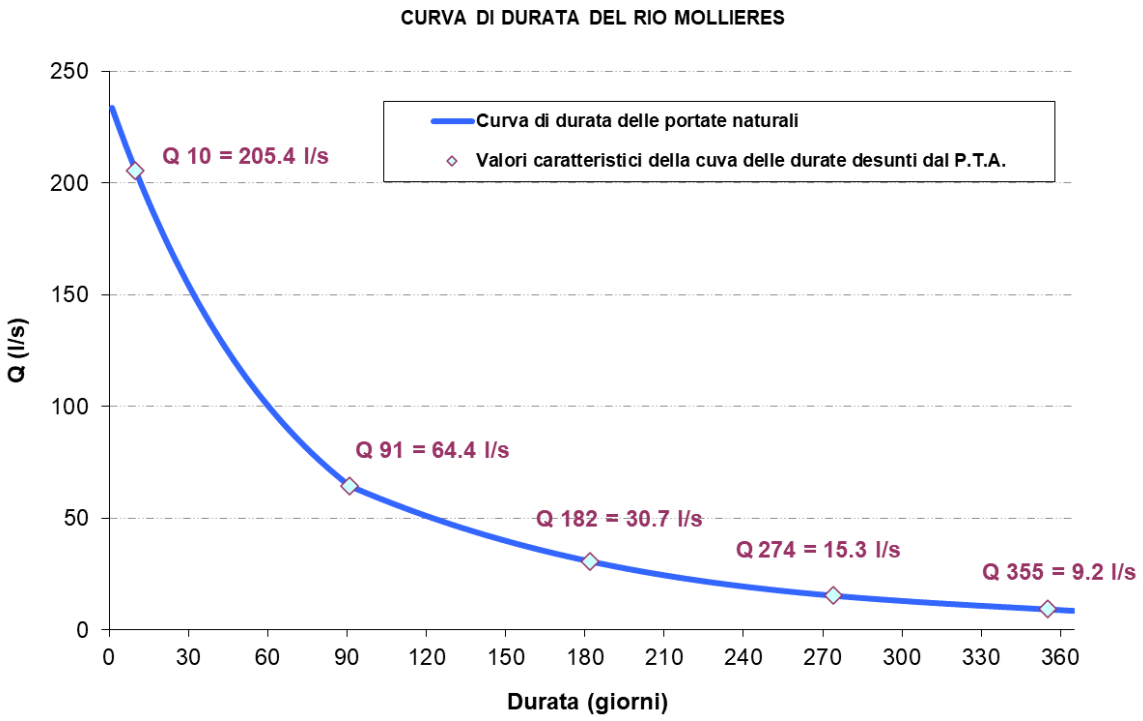


Figura 51 - Curva di durata delle portate naturali defluenti alla sezione di presa Condomini Frais sul Rio Mollieres.

Derivazioni idriche esistenti – diritti di Terzi

E' necessario considerare la derivazione per innevamento artificiale anche se localizzata a monte della presente captazione poiché quelle portate non sono più presenti in alveo.

Calcolo del Deflusso Ecologico

Il deflusso ecologico (DE) è rappresentato dai valori riportati di seguito:

CONDOMINI FRAIS			
mese	fattore	DE Teorico	DE
	T	l/s	l/s
gennaio	0.7	9.15	50
febbraio	0.7	9.15	50
marzo	0.9	11.77	50
aprile	0.9	11.77	50
maggio	2	26.15	50
giugno	2	26.15	50
luglio	0.9	11.77	50
agosto	0.9	11.77	50
settembre	0.9	11.77	50
ottobre	0.9	11.77	50
novembre	0.9	11.77	50
dicembre	0.7	9.15	50

Tabella 36 - Valori mensili di deflusso ecologico alla sezione di chiusura Condomini Frais

Si evidenzia che essendo il valore di DE comunque sempre inferiore al minimo valore di DE ammissibile, occorrerà comunque sempre assumere il valore di 50 l/s quale valore di DE di riferimento.

Portata disponibile per l'utilizzo idroelettrico

Applicando le formulazioni proposte dalla normativa, con riferimento al seguente capitolo sul DMV, si perviene ai valori di Deflusso Ecologico che risultano inferiori al valore minimo di 50 l/s fissato dalla vigente normativa quale minimo valore da assumere.

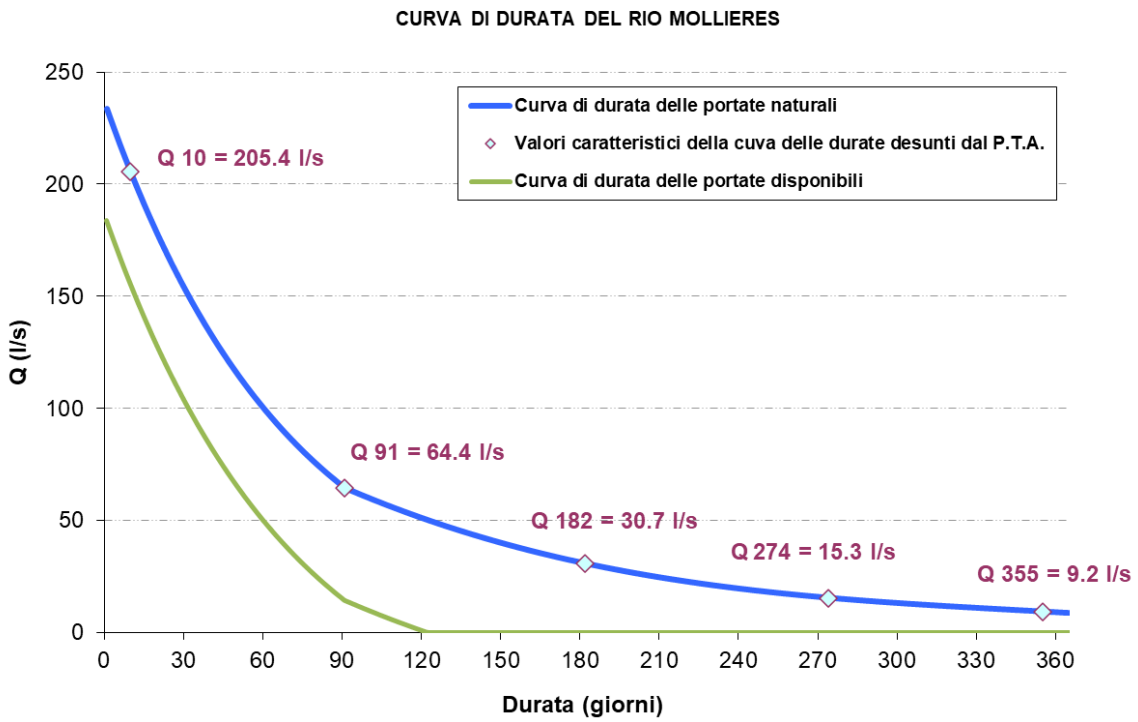


Figura 52 - Curva di durata delle portate disponibili per l'uso idroelettrico alla sezione di presa Condomini Frais del Rio Mollieres.

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima di derivazione e portata nominale

Il valore massimo derivabile e il conseguente valore di portata media derivabile derivano dall'analisi del regime idrologico delle portate e dai relativi obblighi di rilascio e di rispetto dei diritti di terzi già in essere prima del rilascio della concessione in oggetto.

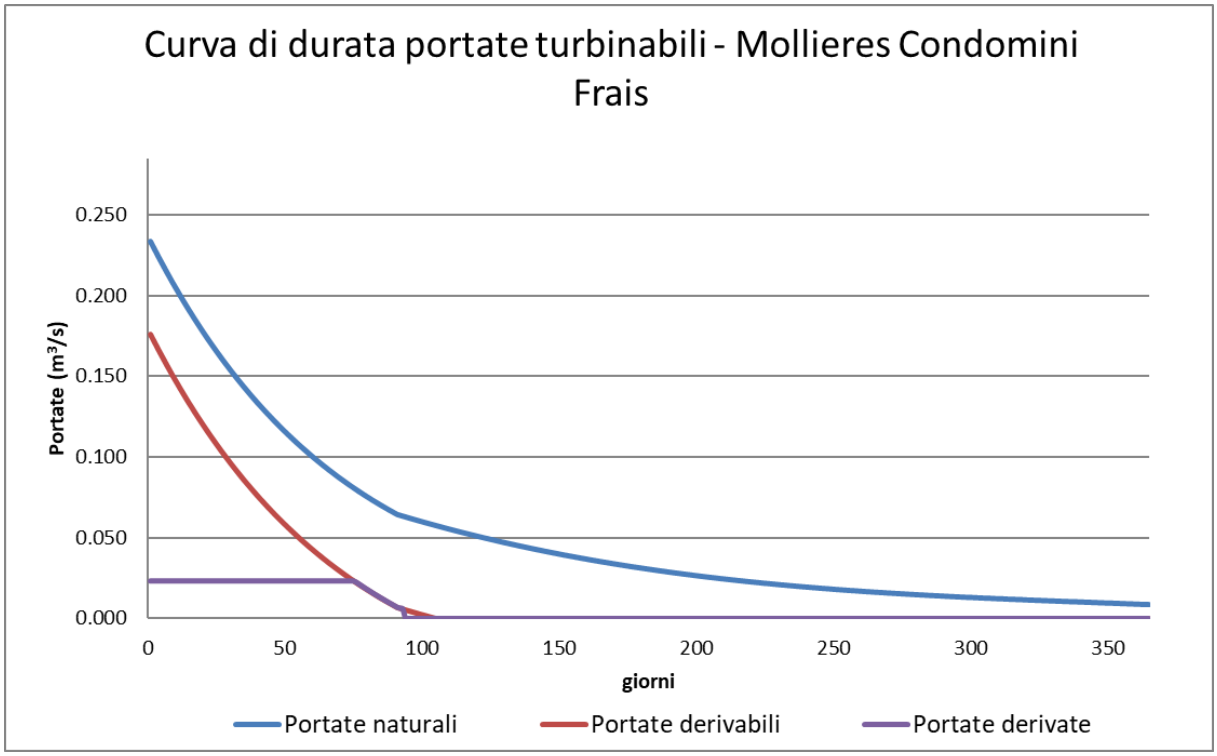


Figura 53 - Curva di durata portate turbinabili

La portata ottenuta è = **23 l/s.**

Dalla curva delle portate derivate è possibile ricavare la portata nominale dell'impianto pari a = = **5,4 l/s.**

Diametro della condotta.

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 150 ed i 350 mm.

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 150 e 200 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **200 mm.**

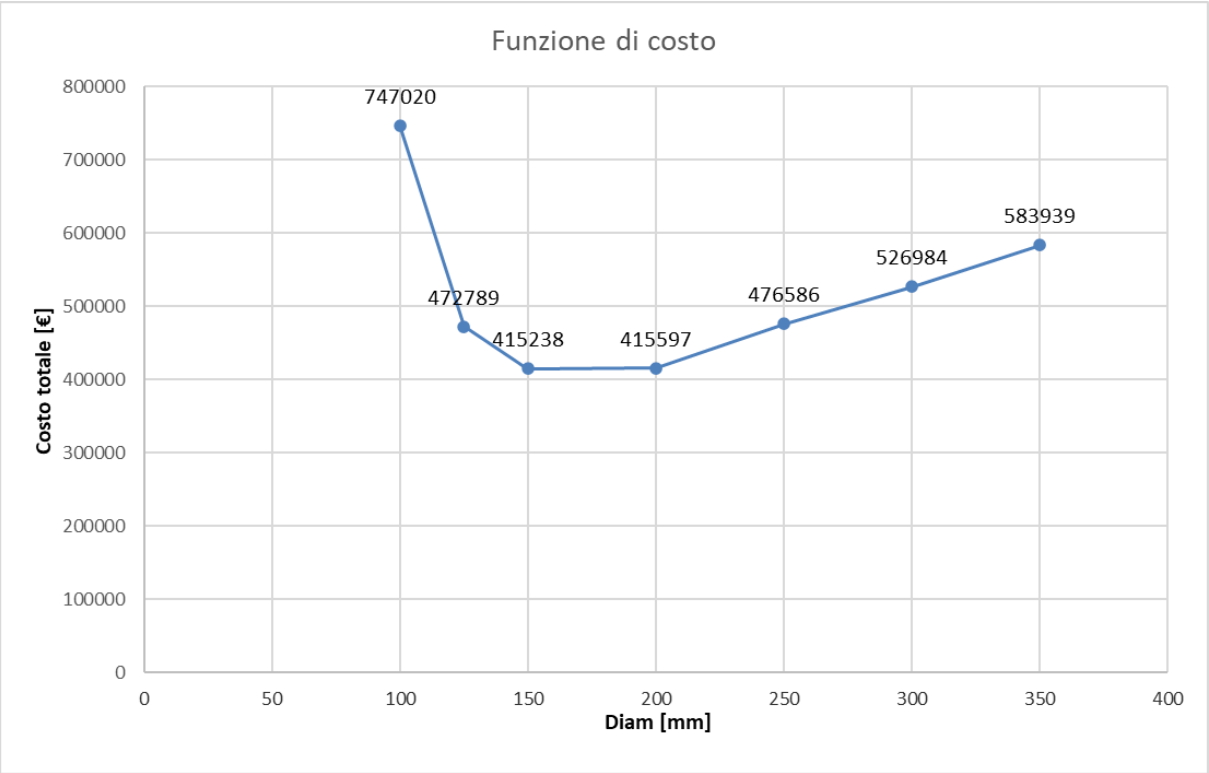


Figura 54 - Funzione di costo Condomini Frais

Applicazione del metodo ERA al caso studio

Per entrare nella matrice che quantifica il tipo di pressione esercitata sul territorio con l'installazione del nuovo impianto si definiscono i due rapporti seguenti:

$$S/_L = \frac{1{,}47\ Km}{6{,}59\ Km} = \mathbf{0,22}$$

$$D/_{Q_n} = \frac{23\ l/s}{64{,}6\ l/s} = \mathbf{0,36}$$

La pressione ricavata dalla tabella è di tipo lieve, si entra quindi nella matrice che identifica gli stati autorizzativi per l'opera in esame.

Il nuovo impianto idroelettrico sul Vallone di Mollieres in Comune di Chiomonte ricade si sensi della metodologia ERA in area di **REPULSIONE.**

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Corpo idrico di presa: Rio Mollieres
- Corpo idrico di restituzione: Rio Mollieres
- Superficie bacino alla presa: 1 3,55 km^2
- Portata media corpo idrico alla presa 64,6 l/s
- Quota Pelo Morto Superiore: 1482 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 977 m s.l.m.
- Quota restituzione: 960 m s.l.m.
- Salto lordo: 505 m
- Lunghezza condotta 1639 m
- Diametro reale interno 209,1 mm
- Rendimento turbina 0,85
- Rendimento alternatore 0,97
- Rilascio Deflusso Ecologico 50 l/s
- Portata derivata media: 5,4 l/s
- Portata derivata massima: 23,0 l/s
- Potenza nominale: 26,7 kW
- Potenza teorica lorda: 113,9 kW
- Potenza installata: 102 kW
- Potenza massima disponibile ai morsetti 92,5 kW
- Producibilità media annua attesa: **190.000 kWh**

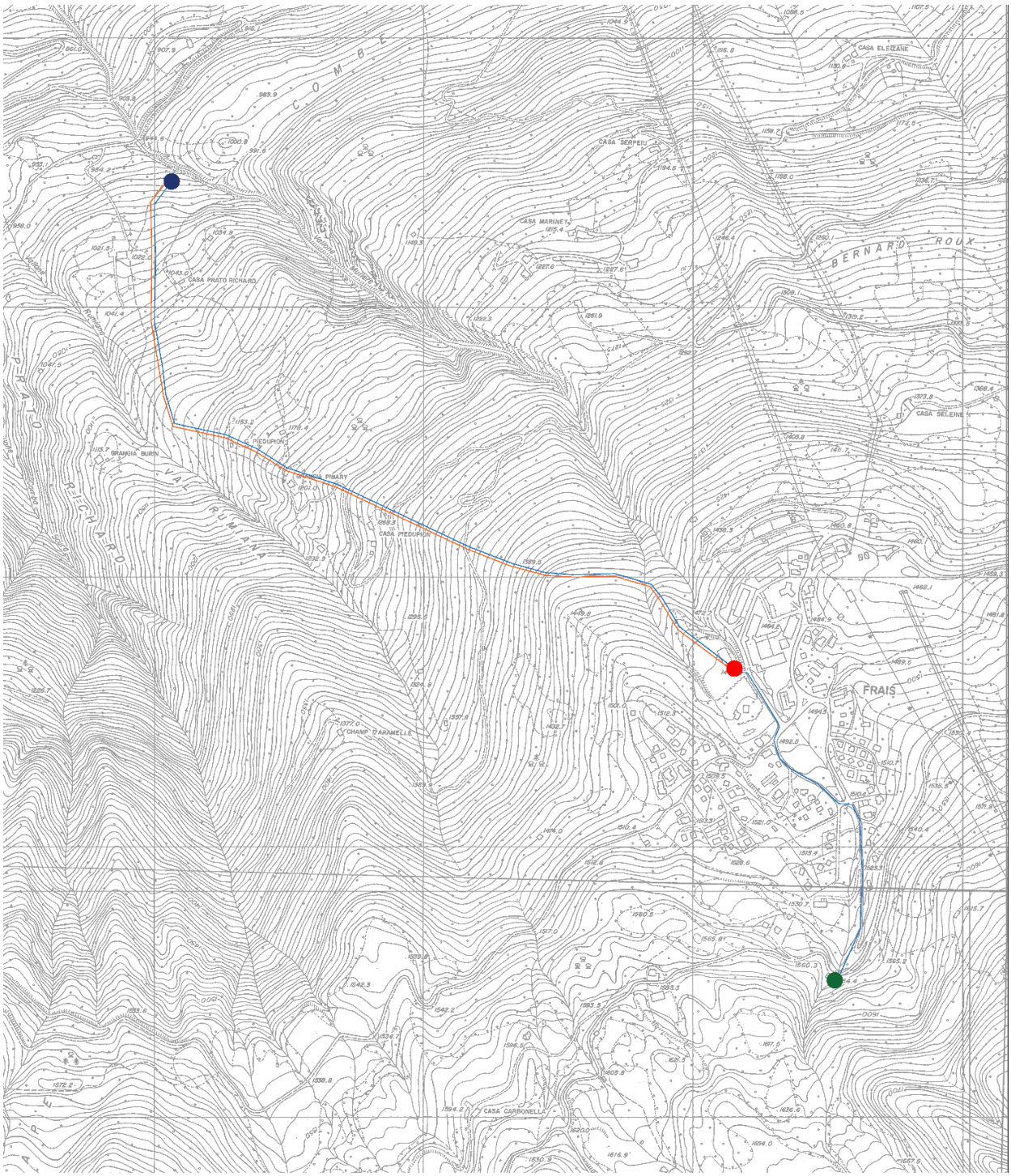
Piano economico sintetico

L'impianto di Condomini Frais oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **809.000 €**, Il ricavo $R_{i\,netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **24.200 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **-95.100 €.**

- ***ROI** = **3,03%**.*
- ***ROE** = **2,99%***

Planimetria riassuntiva tracciati

Si riporta una planimetria dei tracciati delle due varianti Vasca di carico Frais e Condomini Frais:



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	OPERA DI PRESA IMPIANTO VASCA DI CARICO FRAIS
	OPERA DI PRESA CONDOMINI FRAIS
	LOCALE CENTRALE COMUNE

Figura 55 - Tracciati delle varianti Frais ad acqua fluente

2.2.2.2. Impianti su acquedotto

In questo paragrafo vengono riportati gli impianti su acquedotto che fondamentalmente differiscono da quelli ad acqua fluente nell'andamento annuale delle portate ma che conservano la stessa tipologia di condotte e turbina per la conversione dell'energia. E' quindi necessario inizialmente conoscere la disponibilità delle sorgenti captate e formulare una funzione che approssimi nel modo più significativo possibile le variazioni di portata. Si procede analizzando nei dettagli i passaggi di calcolo di una soluzione che viene utilizzata come esempio anche per le altre che sono state esaminate allo stesso modo.

Acquedotto del Frais

Curva di durata delle portate

I parametri caratteristici della sorgente Vallone che alimenta l'impianto indicato sono indicati nella tabella seguente:

	[m]		
QUOTA	1800		
	Q min [L/s]	Q max [l/s]	Q med [l/s]
PORTATA	2.1	9.5	6

Tabella 37 - Tabella riassuntiva parametri caratteristici sorgente del Vallone

Solitamente la funzione che meglio approssima la curva di durata di un corso d'acqua o di una sorgente è di tipo esponenziale. Questo tendenza è stata rispettata per il Rio Mollieres sul quale si prevede di installare gli impianti ad acqua fluente. La sorgente indicata presenta valori estremi che non sono compatibili con un andamento esponenziale che abbia come media 6 l/s. Si ipotizza un andamento che segue una polinomiale di quarto grado la quale rispetta tutti i vincoli della sorgente:

giorni	Q [l/s]	Volumi [m^3]
1	9.5	
10	9.5	7387.2
91	8.75	63860.4
182	6.5	59950.8
274	3.5	39744
355	2.1	19595.52
365	2	1771.2
	Volumi tot [m^3/y]	192309
	Check Q med [l/s]	**6.1**

Tabella 38 - Parametrizzazione ipotetica curva di durata sorgente Vallone

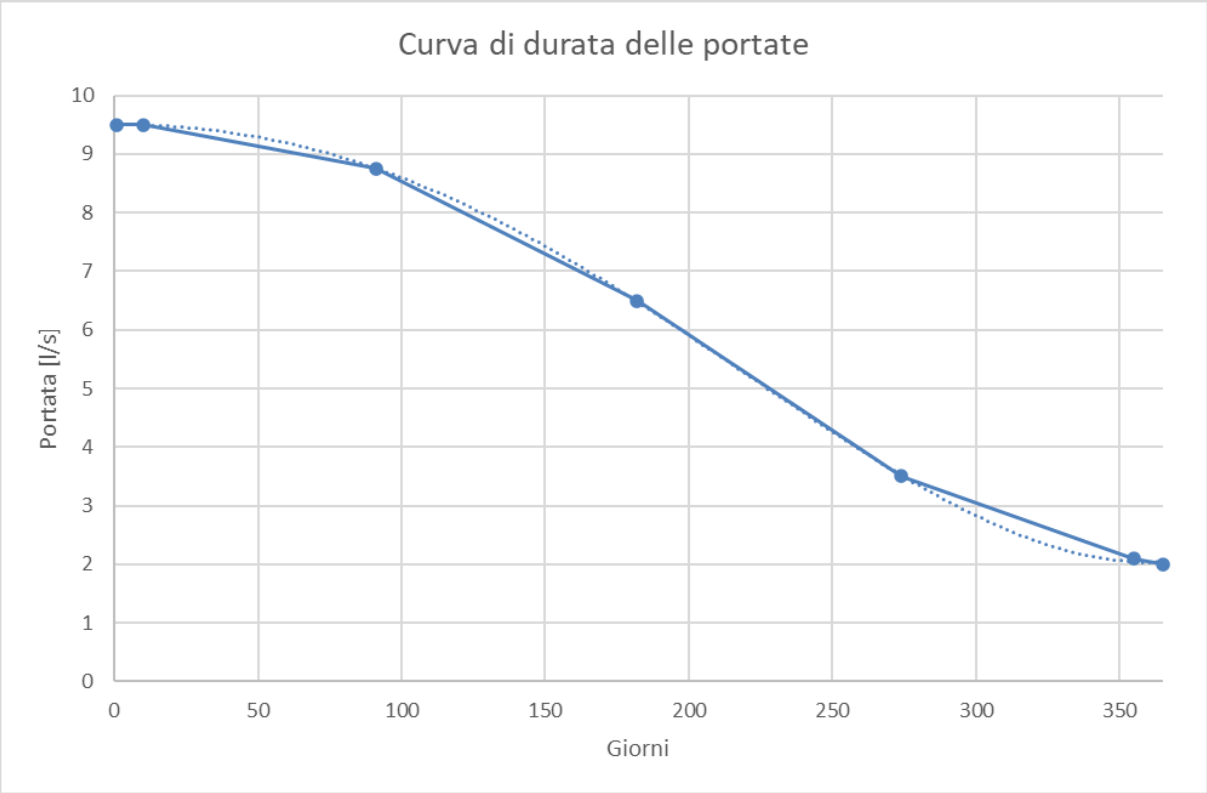


Figura 56 - Curva di durata delle portate acquedotto Frais

La funzione che approssima meglio i valori è:

$$y = 0.00000073x^4 - 0.00020723x^3 - 0.07835828x^2 + 0.11854572x + 9502.32870901$$

Ne segue che si possa ricostruire il valore di portata che giace sulla polinomiale per tutti i giorni dell'anno e procedere con l'analisi di producibilità a risoluzione giornaliera applicata per gli impianti ad acqua fluente.

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima dell'impianto e portata nominale

La portata massima dell'impianto può essere definita come un valore compreso tra 80 e 100 % della portata massima della sorgente per poter sfruttare per il maggior numero possibile di giorni all'anno le portate rilasciate e contemporaneamente esercire la macchina per il maggior numero possibile di ore a massimo rendimento. Come nel caso di impianti ad acqua fluente la portata nominale è la media di tutte quelle giornaliere.

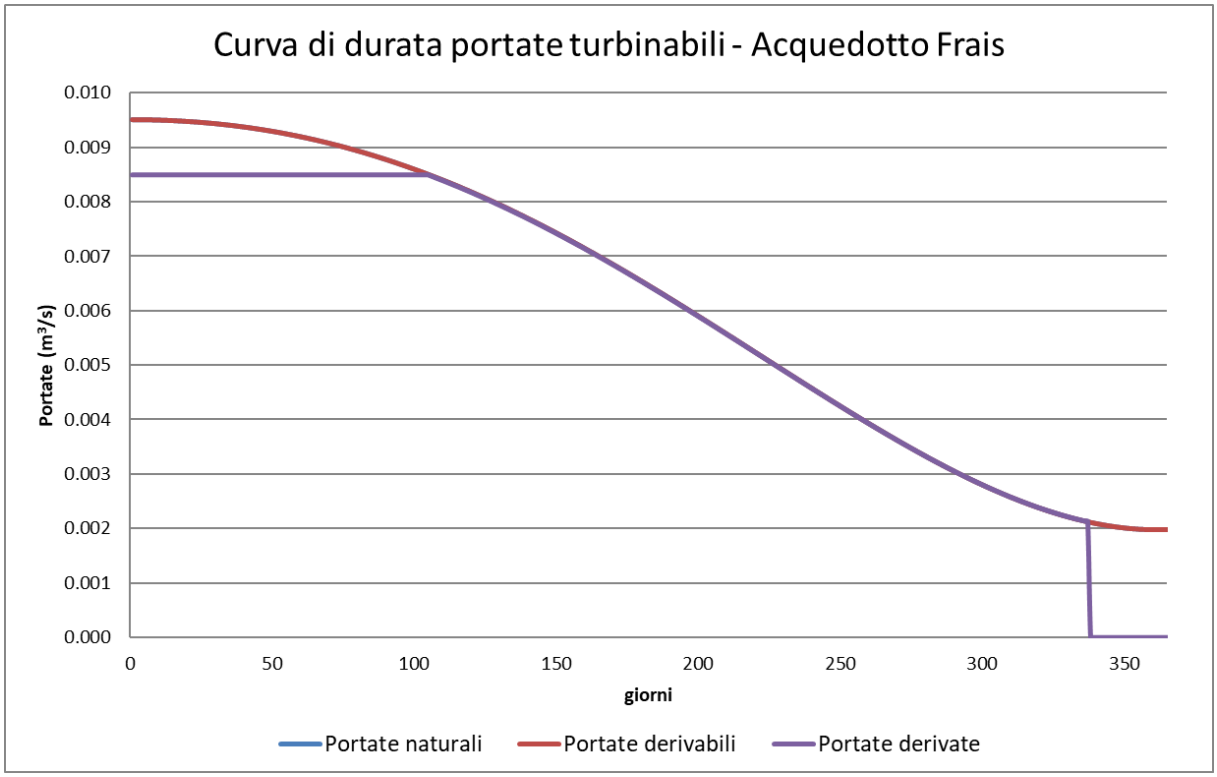


Figura 57 - Curva di durata portate turbinabili

La portata massima scelta è = **8,5 l/s.**

La portata nominale necessaria alla quantificazione della potenza nominale di concessione = **5,8 l/s.**

Determinazione del salto idraulico per l'impianto idroelettrico

Il salto idraulico lordo necessario per la definizione della potenza nominale di concessione si basa sulla differenza di quota tra il livello nella vasca di carico (1800 m s.l.m.) e la quota asse turbina (1555 m s.l.m.) = **245 m.**

Potenza nominale di concessione

La potenza nominale di concessione dell'impianto è definita in funzione del salto lordo e della portata media turbinata, secondo la relazione di seguito esplicitata:

$$P_{NOM} = Q_{nom} \cdot \Delta H_{lordo} \cdot 9{,}81$$

La potenza nominale dell'impianto idroelettrico è pertanto pari a **13,8 kW**.

L'utilizzo della risorsa idrica a scopo energetico presuppone il rilascio, da parte dell'Autorità concedente, del disciplinare di concessione a derivare, a seguito di istanza presentata ai sensi del D.P.G.R. N.10/R.

In particolare, con riferimento alla potenza nominale media di concessione pari a **13,8 kW**, il prelievo oggetto di analisi risulta quindi compatibile con la soglia massima imposta di **50 kW.**

Lunghezza della condotta

Gli impianti su acquedotto presentano una fase progettuale più semplice poiché generalmente è possibile posare la nuova condotta sul tracciato di quella esistente o comunque si conoscono già le condizioni del versante e le modalità di scavo già utilizzate nel precedente. Il terreno interessato dagli impianti a servizio della rete acquedottistica del Frais è a debole pendenza e scarsamente vegetato consentendo l'esecuzione di uno scavo parallelo alla condotta esistente. La condotta così ipotizzata misura **752 m.**

Figura 58 - Versante interessato dalla posa della nuova condotta per l'impianto acquedotto Frais

Diametro della condotta

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 100 ed i 250 mm.

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 125 e 150 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **150 mm.**

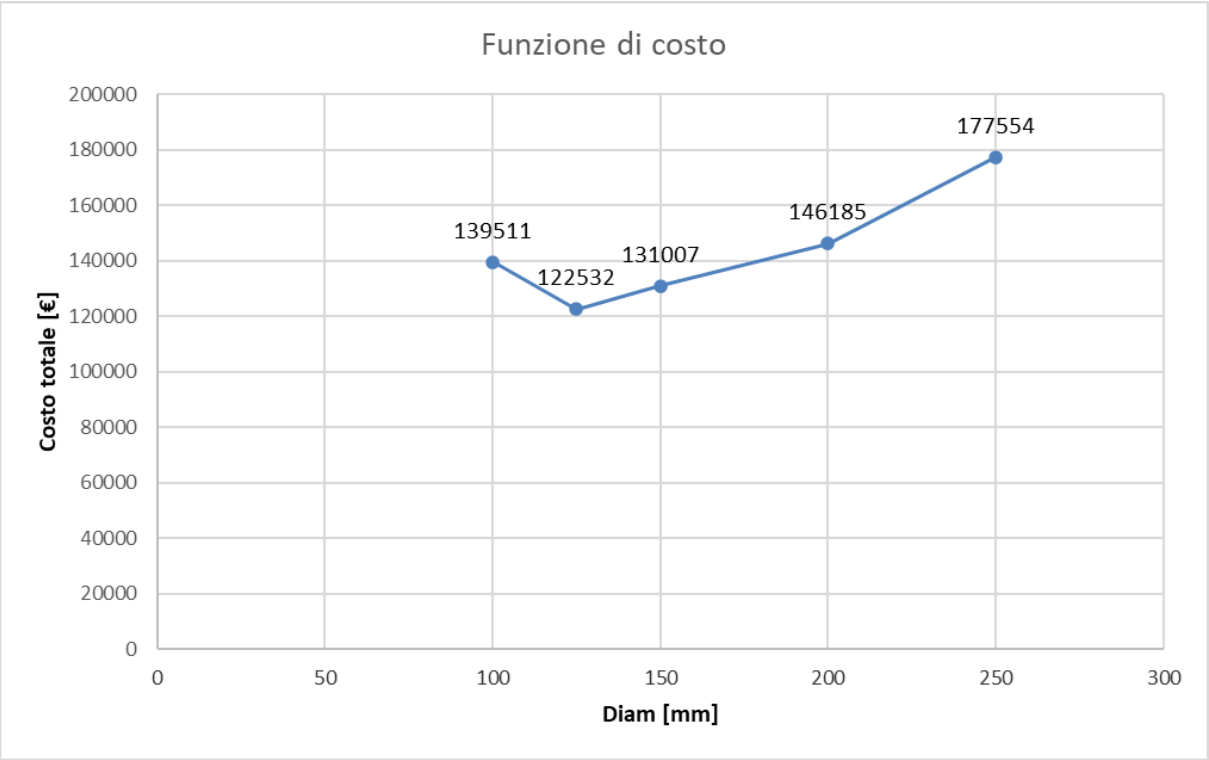


Figura 59 - Funzione di costo Acquedotto Frais

Rendimenti di macchina

Questo impianto sono di taglia ancora inferiore rispetto a quelli precedenti, di conseguenza anche il rendimento delle macchine sarà inferiore. Per le applicazioni correnti si sono utilizzati i valori tipici di mercato per le taglie selezionate:

(18 kW)

$$\eta_{turb} = 0,83$$

$$\eta_{alt} = 0,96$$

Prezzi minimi garantiti per il ritiro dell'energia elettrica da fonti rinnovabili

Anche nel caso di impianti su acquedotto si rientra nella tabella di prezzi minimi garantiti da ARERA per l'anno 2022 con la stessa tariffa che era stata considerata.

Potenza ed energia disponibile

La potenza teorica lorda della risorsa è quantificabile come per gli impianti ad acqua fluente come:

$$P_{lorda} = \Delta H_{lordo} \cdot Q \cdot g = \mathbf{20,4\ kW}$$

La potenza netta massima disponibile ai morsetti del generatore viene calcolata a partire dalla potenza lorda corretta dai valori di rendimento della condotta, turbina e generatore:

$$P_{netta} = P_{lorda} \cdot \eta_{cond} \cdot \eta_{turb} \cdot \eta_{gen} = \mathbf{16,1\ kW}$$

Il rendimento della condotta dalla conversione delle perdite di carico e risulta pari a **0,99.**

Si prevede di installare un gruppo turbina-alternatore con una potenza massima di targa pari ad almeno il 110% della potenza netta massima disponibile equivalente a **18 kW.** Si provvederà quindi ad individuare la prima taglia commerciale disponibile che soddisfi queste specifiche tecniche.

La metodologia di calcolo dell'energia prodotta ha una risoluzione giornaliera, le aliquote vengono poi sommate per ottenere il valore totale annuale:

$$E = \sum_{i=1}^{365} g \cdot \eta_{tot} \cdot Q \cdot \Delta H_{netto} \cdot h$$

Con:

η_{tot} = rendimento totale del gruppo turbina-alternatore;

h = ore di esercizio giornaliere dell'impianto calcolato per il giorno i-esimo (h).

Il valore di energia disponibile è pari a **96.000 kWh.**

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Sorgente di presa: Vallone
- Restituzione: Rete acquedottistica Frais
- Quota Pelo Morto Superiore: 1800 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 1555 m s.l.m.
- Quota restituzione: 1555 m s.l.m.
- Salto lordo: 245 m
- Diametro reale interno 160,3 mm
- Portata derivata media: 5,8 l/s
- Portata derivata massima: 8,5 l/s
- Potenza nominale: 13,8 kW
- Potenza installata: 18 kW
- Producibilità media annua attesa: **96.000 kWh**

Piano economico sintetico

Anche questa tipologia di installazioni vengono finanziate dal Comune di Chiomonte al fine di valorizzare al massimo la risorsa disponibile anche se l'investimento è di scarso interesse economico. Rispetto ai precedenti, gli impianti su acquedotto risultano comunque economicamente più sostenibili poiché le portate disponibili durante tutto l'anno sono più costanti consentendo molti più giorni di funzionamento.

La metodologia di calcolo rimane invariata, i profitti ante imposte risultano qui positivi e il tempo di ritorno rientra nella vita utile dell'impianto. La situazione è quindi sicuramente migliore rispetto ai casi precedenti ma comunque non accattivante.

L'impianto Acquedotto Frais oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **287.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **11.500 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **52.400 €.**

- ***ROI** = 4,30 %*
- ***ROE** = 4,00 %*

Il tempo di ritorno di 26 anni sarebbe comunque inammissibile per un investimento privato, nel caso presente invece può essere approfondito lo studio prefattibilità.

Acquedotto del Frais variante

Questo impianto convoglia tre sorgenti in un'unica vasca di carico collocata ad una quota inferiore rispetto a quello precedente guadagnando però una portata superiore. Una piccola tabella riassume le caratteristiche delle sorgenti captate:

	Q min [L/s]	Q max [l/s]	Q med [l/s]	Quota
Vallone	2,1	9,5	6	1800
Egoreilleux	1	1,5	1,25	1645
Losetto	1	1,5	1,25	1650
Vasca di carico	**4,1**	**12,5**	**8,5**	**1645**

Tabella 39 - Caratteristiche sorgenti captate

Curva di durata delle portate

Si ipotizza anche in questo caso un andamento che segue una polinomiale di quarto grado la quale rispetta tutti i vincoli della sorgente:

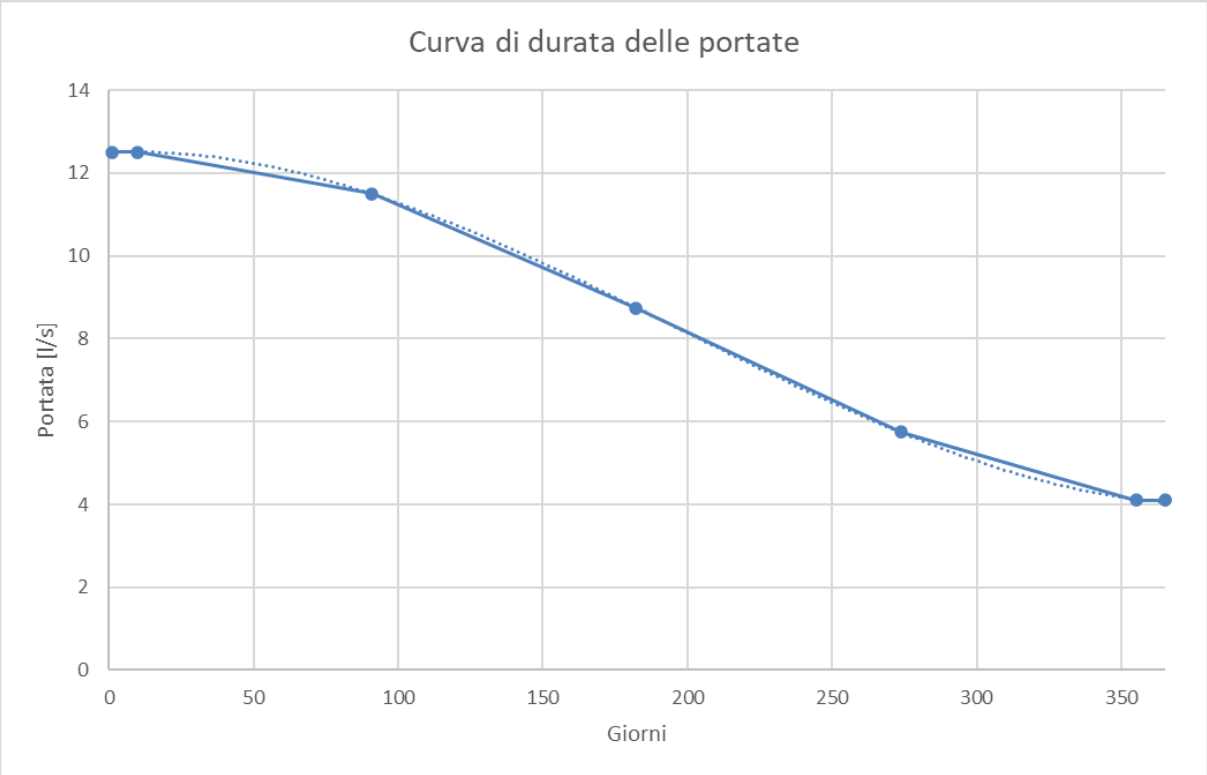


Figura 60 - Curva di durata delle portate Acquedotto Frais variante

Ne segue che si possa ricostruire il valore di portata che giace sulla polinomiale per tutti i giorni dell'anno e procedere con l'analisi di producibilità a risoluzione giornaliera applicata per gli impianti ad acqua fluente.

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima dell'impianto e portata nominale

La portata massima dell'impianto può essere definita come un valore compreso tra 80 e 100 % della portata massima della sorgente per poter sfruttare per il maggior numero possibile di giorni all'anno le portate rilasciate:

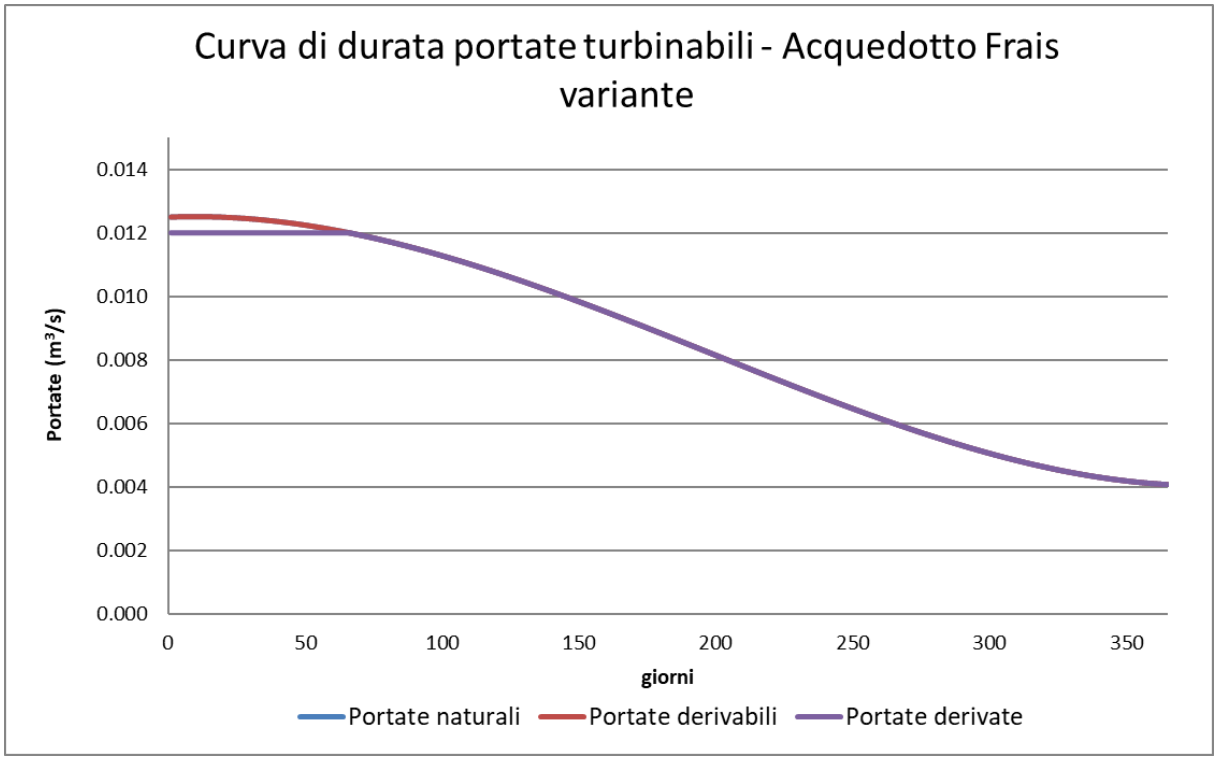


Figura 61 - Curva di durata portate turbinabili

La portata massima scelta è = **12 l/s.**

La portata nominale necessaria alla quantificazione della potenza nominale di concessione = **8,5 l/s.**

Lunghezza della condotta

Gli impianti su acquedotto presentano una fase progettuale più semplice poiché generalmente è possibile posare la nuova condotta sul tracciato di quella esistente o comunque si conoscono già le condizioni del versante e le modalità di scavo già utilizzate nel precedente scavo. Il terreno interessato è identico a quello appena descritto e la condotta così ipotizzata misura **251 m.**

Figura 62 - Versante interessato dalla posa della nuova condotta per l'impianto acquedotto Frais variante

Diametro della condotta

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 100 ed i 250 mm.

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 125 e 150 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **150 mm.**

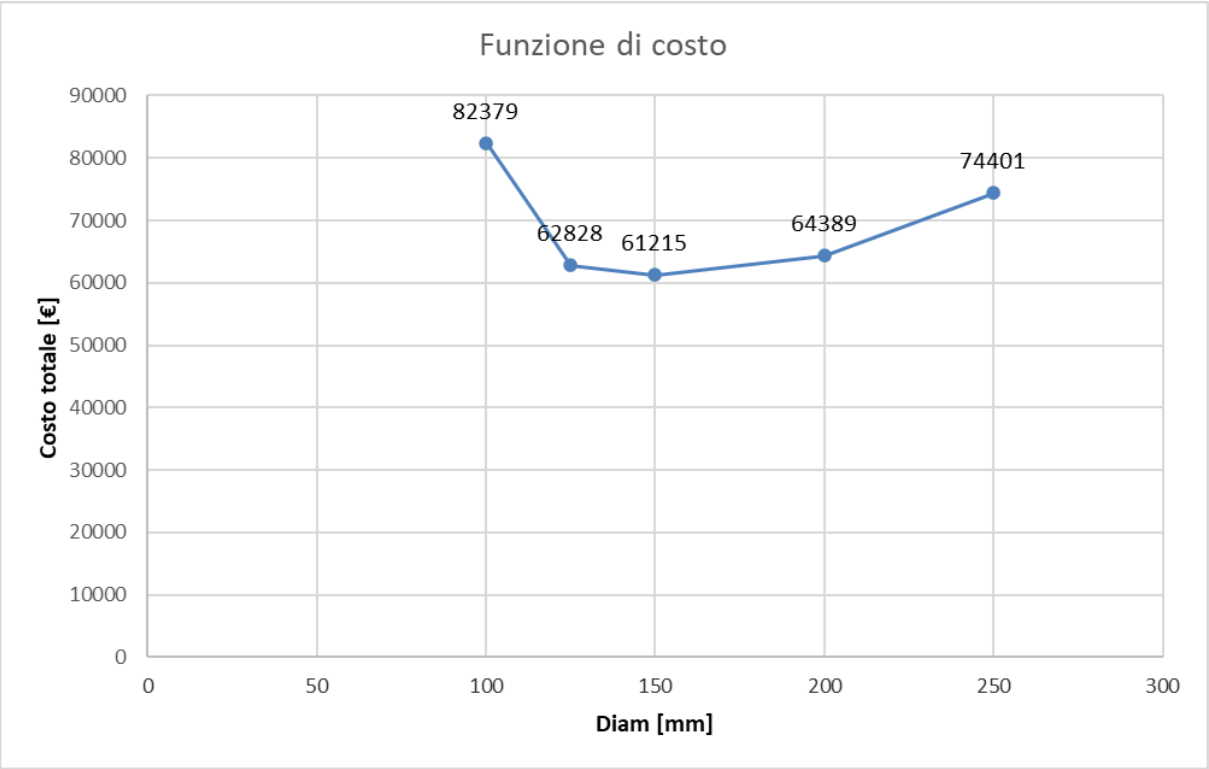


Figura 63 - Funzione di costo acquedotto Frais variante

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Sorgenti di presa: Vallone, Egoreilleux, Losetto
- Restituzione: Rete acquedottistica Frais
- Quota Pelo Morto Superiore: 1645 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 1555 m s.l.m.
- Quota restituzione: 1555 m s.l.m.
- Salto lordo: 90 m
- Diametro reale interno 160,3 mm
- Portata derivata media: 8,5 l/s
- Portata derivata massima: 12 l/s
- Potenza nominale: 7,5 kW
- Potenza installata: 10 kW
- Producibilità media annua attesa: **50.000 kWh**

Piano economico sintetico

L'impianto Acquedotto Frais oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **155.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **5.800 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **14.900 €.**

- ***ROI** = 3,92 %*
- ***ROE** = 3,72 %*

Il tempo di ritorno di 28 anni sarebbe comunque inammissibile per un investimento privato, nel caso presente invece può essere approfondito lo studio prefattibilità.

Acquedotto Ramats

Curva di durata delle portate

I parametri caratteristici delle due sorgenti adiacenti Rigaud 1 e 2 sul versante in sinistra idrografica che alimenta la rete di Ramats sono indicati nella tabella seguente:

	[m]		
QUOTA	1470		
	Q min [L/s]	Q max [l/s]	Q med [l/s]
PORTATA	1,7	5,1	3,5

Tabella 40 - Tabella riassuntiva parametri caratteristici sorgenti Rigaud

Si ipotizza un andamento che segue una polinomiale di quarto grado la quale rispetta tutti i vincoli della sorgente:

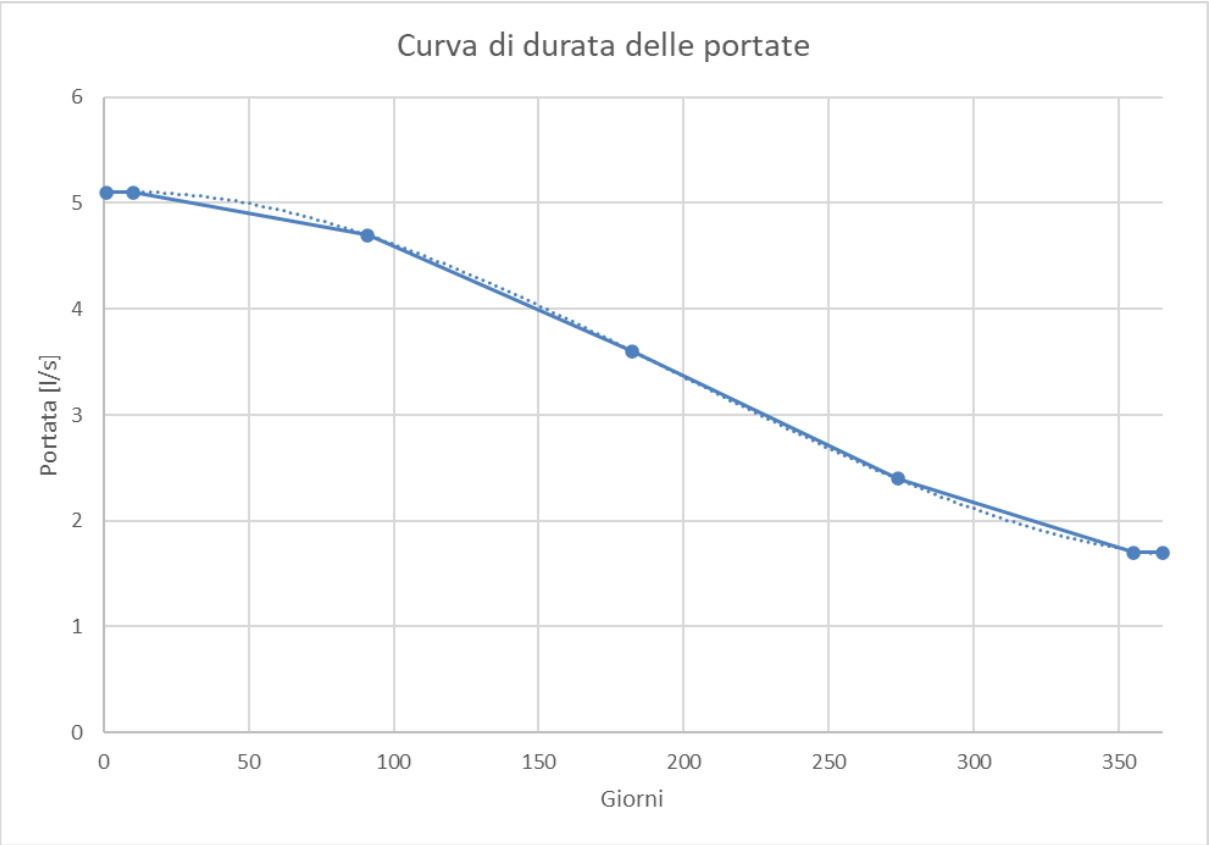


Figura 64 - Curva di durata delle portate acquedotto Ramats

Definizione dei parametri caratteristici dell'impianto

Portata massima dell'impianto e portata nominale

La portata massima dell'impianto può essere definita come un valore compreso tra 80 e 100 % della portata massima della sorgente per poter sfruttare per il maggior numero possibile di giorni all'anno le portate rilasciate. Come nel caso di impianti ad acqua fluente la portata nominale è la media di tutte quelle giornaliere.

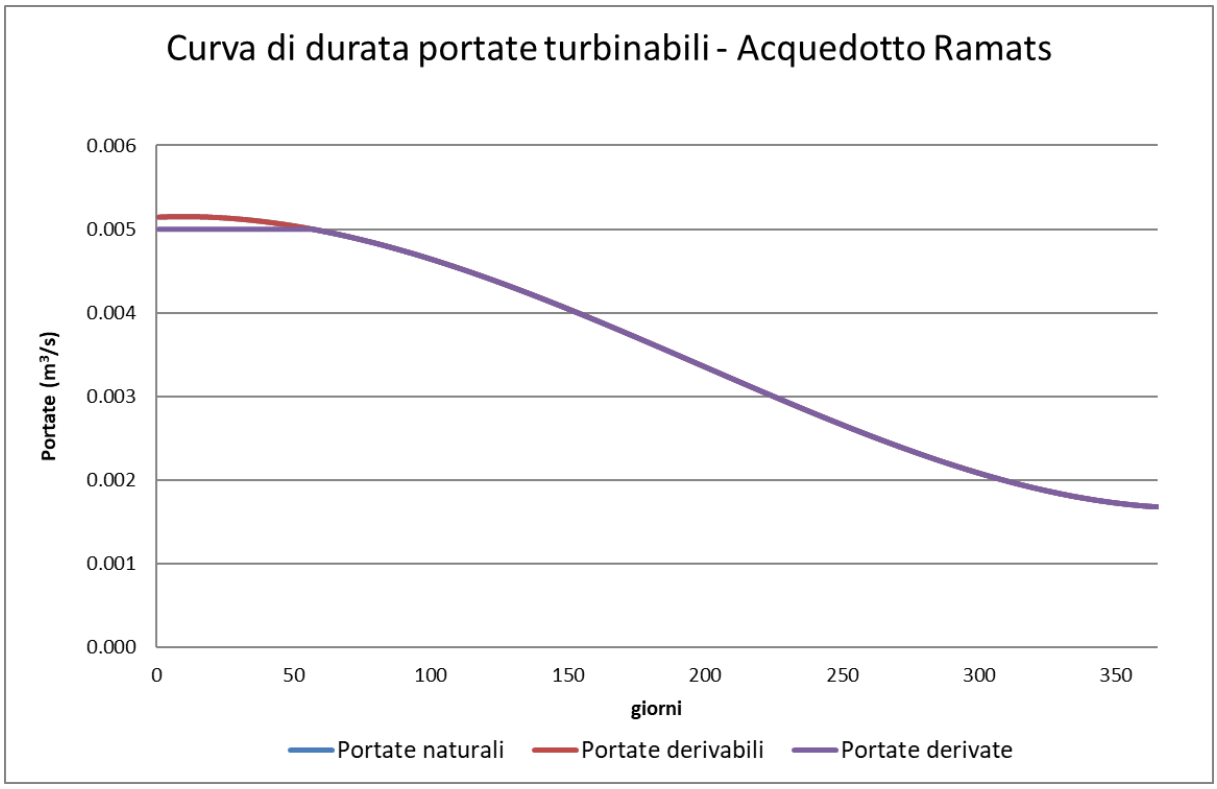


Figura 65 - Curva di durata portate turbinabili

La portata massima scelta è = **5 l/s.**

La portata nominale necessaria alla quantificazione della potenza nominale di concessione = **3,5 l/s.**

Lunghezza della condotta

Gli impianti su acquedotto presentano una fase progettuale più semplice poiché generalmente è possibile posare la nuova condotta sul tracciato di quella esistente o comunque si conoscono già le condizioni del versante e le modalità di scavo già utilizzate nel precedente scavo. Nel caso presente invece, il versante presenta caratteristica ben diverse da quello in destra idrografica. La pendenza è superiore, la maggior parte della superficie è costituita da rocce affioranti ed i tracciato

prevede di non seguire la linea di massima pendenza ma di tagliare più a mezza costa. Per questo motivo la lunghezza complessiva cresce fino ai 1500 m s.l.m. anche se il dislivello coperto è di 430 m. Ne consegue che i costi di scavo siano nettamente superiori e quindi anche quelli dell'intera opera. L'impatto sui tempi di ritorno è evidente, rimarcando il fatto che gli impianti in destra idrografica siano sempre più interessanti rispetto alla sinistra.

Figura 66 - Versante interessato dalla posa della nuova condotta per l'impianto acquedotto Ramats

Diametro della condotta

Per le portate trattate da questo impianto sono state esaminati diametri nominali compresi tra i 100 ed i 250 mm.

Si riporta il grafico della curva di costo per le taglie esaminate. I diametri 100 e 125 mm risultano quelli più vicino all'ottimo, per la scelta si è seguito il criterio di minimizzazione assoluta delle perdite di carico precedentemente descritto e si è optato per il **125 mm.**

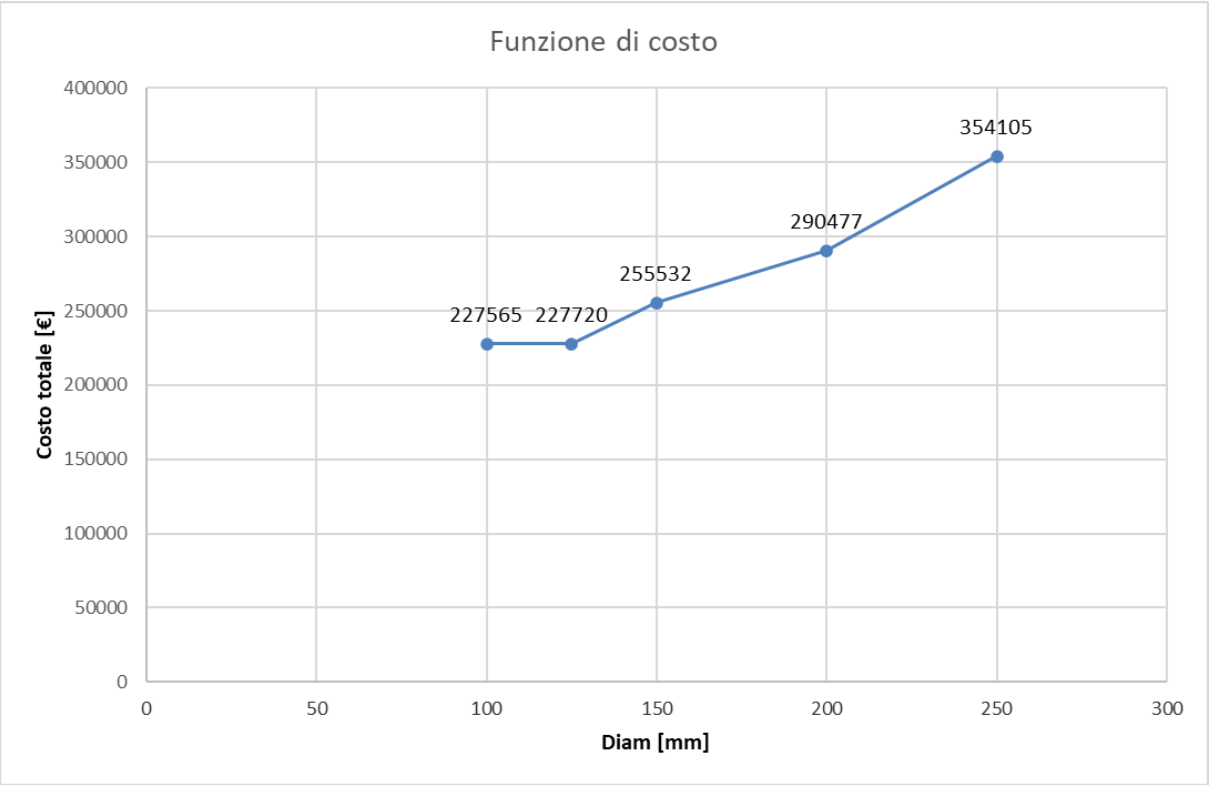


Figura 67 - Funzione di costo acquedotto Ramats

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Sorgente di presa: Vallone
- Restituzione: Rete acquedottistica Ramats
- Quota Pelo Morto Superiore: 1470 m s.l.m.
- Quota asse turbina: 1038 m s.l.m.
- Quota restituzione: 1038 m s.l.m.
- Salto lordo: 432 m
- Diametro reale interno 132,5 mm
- Portata derivata media: 3,5 l/s
- Portata derivata massima: 5,0 l/s
- Potenza nominale: 14,9 kW
- Potenza installata: 19 kW
- Producibilità media annua attesa: **103.000 kWh**

Piano economico sintetico

Il tipo di scavo necessario per la posa della condotta influisce sul costo totale dell'impianto che raggiunge i **407.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **13.100 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **-19.600 €.**

- ***ROI** = 3,26 %*
- ***ROE** = 3,23 %*

Il tempo di ritorno torna ad essere superiore ai 30 anni, valore che normalmente è assolutamente inammissibile.

2.3. ALTRE RISORSE

2.3.1. Sondaggio delle potenzialità e dimensionamento di tutte le altre FER

Questo capitolo approfondisce le fonti rinnovabili di nuova generazione potenzialmente sfruttabili su questo territorio. Quelle che emergono come più interessanti sono quella eolica e fotovoltaica. Sicuramente il Comune non sorge in una zona ideale per queste soluzioni ma sono comunque emerse delle ipotesi interessanti che si è scelto di presentare. Per completezza si riportano anche gli impianti ipotizzati dallo stesso ufficio tecnico comunale, in fase di studio preliminare o già allo stadio di progettazione esecutiva.

2.3.1.1. Impianti eolici

Lo sviluppo di un impianto eolico inizia dallo studio approfondito della risorsa vento e dal suo andamento annuale. Appare fondamentale scegliere anche il luogo più idoneo per l'installazione che sfrutti al meglio i terreni più ventosi. Si sono scelti due siti ipotetici: La costa Brumeri, formazione rocciosa in destra idrografica al confine col Comune di Gravere a ridosso delle Gorge della Dora. Questa collina ha una prominenza di 50 metri rispetto all'altopiano su cui giace e circa 150 metri sul letto della Dora adiacente. Questo luogo appare idoneo ad intercettare le correnti che si incanalano al centro della valle provenienti o da monte o da valle. Il punto di installazione sorgerebbe a quota 765 m s.l.m. Il secondo sito si trova in prossimità della Cappella Bianca sulla Cresta dei Quattro Denti sulla linea di displuvio tra il bacino della Dora e quello del torrente Clarea a quota 1398 m s.l.m. Questa formazione si protende come un balcone sulla valle sottostante captando i venti d'alta quota e sfruttando la maggior ventosità in prossimità delle creste.

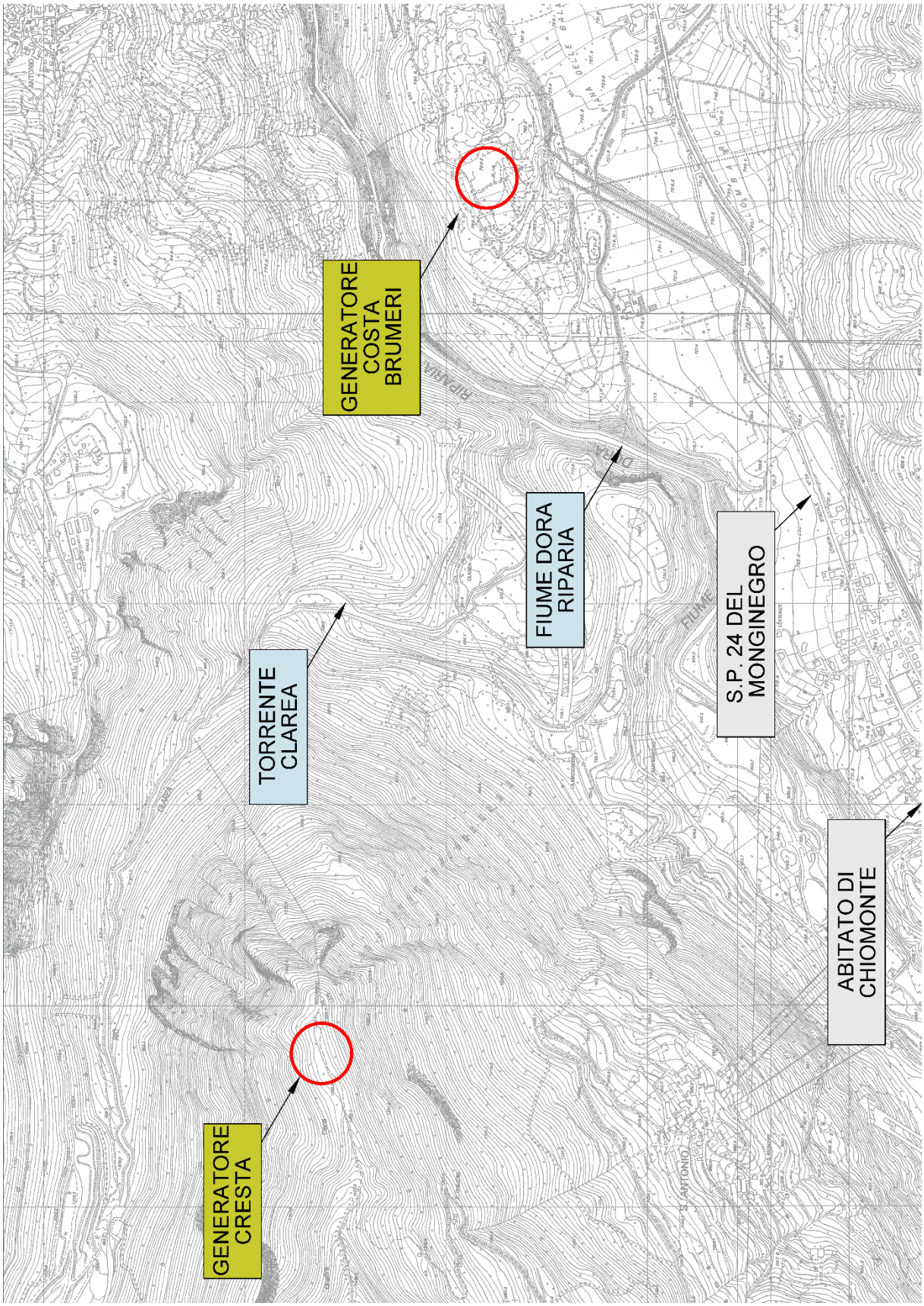


Figura 68 - Planimetria generali generatori eolici

Eolico Costa Brumeri

La trattazione inizia con la ricerca dei dati anemometrici per il territorio interessato. Sul territorio comunale è installata una stazione meteo in prossimità del viadotto autostradale di monte a quota 813 m s.l.m. denominata Finiere. Per corroborare i dati forniti da quest'ultima, si sono prese in considerazione anche le stazioni di Pietrastretta nel Comune di Susa a quota 520 m s.l.m. e Gad nel Comune di Oulx a quota 1065 m s.l.m. che analizzano le velocità del vento nel fondovalle a monte ed a valle del punto interessato per l'installazione.

Si è analizzato l'andamento della stazione Finiere durante svariati giorni per trovarne uno rappresentativo della media, che potesse essere utilizzato per tutti. Si è ottenuto il risultato seguente:

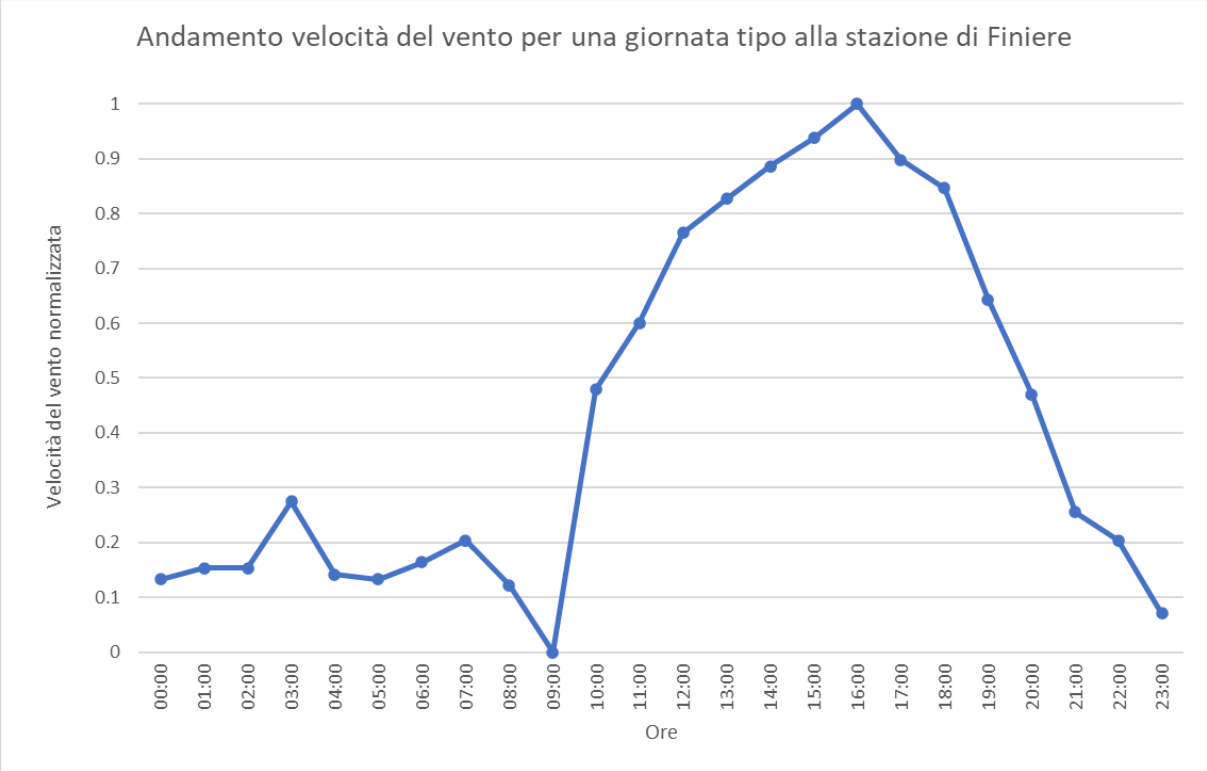


Figura 69 - Andamento della velocità del vento per una giornata tipo alla stazione meteo di Finiere

Si procede ricercando le velocità medie mensili disponibili nel documento "Studi climatologici in Piemonte volume 5, Il vento in Piemonte" redatto da ARPA Piemonte, ottenendo la tabella seguente:

Velocità [m/s]	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Gad	3	3.6	4.2	4.3	4.2	4.1	4.3	4.1	3.9	3.3	3	0
Pietrastretta	2.7	3.4	3.9	3.7	3.5	3.5	3.8	3.5	3.2	2.7	2.6	0
Finiere	2.6	2.7	3	3	2.9	3	3	3	2.8	2.5	2.7	0

Tabella 41 - Tabella riassuntiva velocità medie mensili per le stazioni esaminate

Le velocità nel mese di Dicembre sono state forzate a zero per tenere conto nel successivo calcolo di producibilità, fondato sulla velocità del vento, delle ore di fermo macchina necessarie per la manutenzione.

Costruendo una matrice che abbia sull'asse delle ascisse i mesi dell'anno e su quello delle ordinate le ore del giorno si ottiene una mappa dettagliata delle velocità di tutto l'anno.

Per l'impianto di Costa Brumeri, i valori medi mensili utilizzati sono frutto di una media di quelli di Finiere e Pietrastretta poiché il sito è localizzato in posizione intermedia tra le due e si localizza nel fondovalle come le stazioni meteo.

Velocità [m/s]	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
00:00	0.90	1.03	1.16	1.13	1.08	1.10	1.15	1.10	1.02	0.89	0.91	0.00
01:00	1.85	2.03	2.28	2.24	2.15	2.21	2.26	2.21	2.05	1.80	1.89	0.00
02:00	1.75	1.92	2.15	2.12	2.03	2.08	2.13	2.08	1.93	1.70	1.78	0.00
03:00	2.17	2.45	2.76	2.69	2.58	2.63	2.72	2.63	2.43	2.12	2.19	0.00
04:00	1.76	1.92	2.15	2.12	2.04	2.09	2.14	2.09	1.94	1.71	1.79	0.00
05:00	1.73	1.89	2.12	2.09	2.00	2.05	2.10	2.05	1.91	1.68	1.76	0.00
06:00	1.95	2.14	2.40	2.36	2.27	2.32	2.38	2.32	2.15	1.89	1.98	0.00
07:00	1.90	2.12	2.38	2.34	2.24	2.29	2.36	2.29	2.12	1.86	1.93	0.00
08:00	1.48	1.62	1.82	1.79	1.72	1.76	1.80	1.76	1.63	1.44	1.51	0.00
09:00	0.21	0.22	0.25	0.25	0.24	0.25	0.25	0.25	0.23	0.21	0.22	0.00
10:00	3.04	3.49	3.94	3.83	3.66	3.72	3.89	3.72	3.43	2.98	3.04	0.00
11:00	3.69	4.25	4.81	4.67	4.46	4.53	4.74	4.53	4.18	3.62	3.69	0.00
12:00	4.38	5.07	5.74	5.57	5.31	5.39	5.66	5.39	4.97	4.30	4.36	0.00
13:00	4.45	5.19	5.88	5.69	5.43	5.50	5.79	5.50	5.07	4.38	4.42	0.00
14:00	4.70	5.49	6.22	6.02	5.74	5.81	6.12	5.81	5.36	4.62	4.67	0.00
15:00	4.96	5.80	6.58	6.36	6.06	6.14	6.47	6.14	5.66	4.88	4.93	0.00
16:00	5.22	6.11	6.93	6.70	6.39	6.47	6.81	6.47	5.96	5.14	5.18	0.00
17:00	4.46	5.25	5.96	5.75	5.48	5.54	5.85	5.54	5.10	4.39	4.42	0.00
18:00	3.85	4.59	5.22	5.02	4.78	4.82	5.12	4.82	4.44	3.81	3.80	0.00
19:00	3.17	3.74	4.24	4.09	3.90	3.94	4.17	3.94	3.63	3.13	3.14	0.00
20:00	2.23	2.64	3.00	2.90	2.76	2.79	2.95	2.79	2.56	2.20	2.21	0.00
21:00	1.96	2.21	2.49	2.43	2.33	2.37	2.46	2.37	2.19	1.91	1.97	0.00
22:00	1.19	1.37	1.56	1.51	1.44	1.46	1.53	1.46	1.35	1.17	1.18	0.00
23:00	0.60	0.68	0.76	0.74	0.71	0.73	0.75	0.73	0.67	0.59	0.61	0.00

Tabella 42 - Mappa delle velocità medie per ogni ora nel mese di Costa Brumeri

Ottenuta la mappa delle velocità si ricerca la curva di potenza specifica del generatore eolico che si prevede installare. Le caratteristiche tecniche sono indicate di seguito:

- Potenza nominale: 19, 9 kW
- Diametro rotore: 19 m
- Area spazzata: 284 m²
- Altezza mozzo: 24 m
- Velocità cut in: 2,5 m/s
- Velocità cut out: 16 m/s

- Velocità nominale: 6,6 m/s

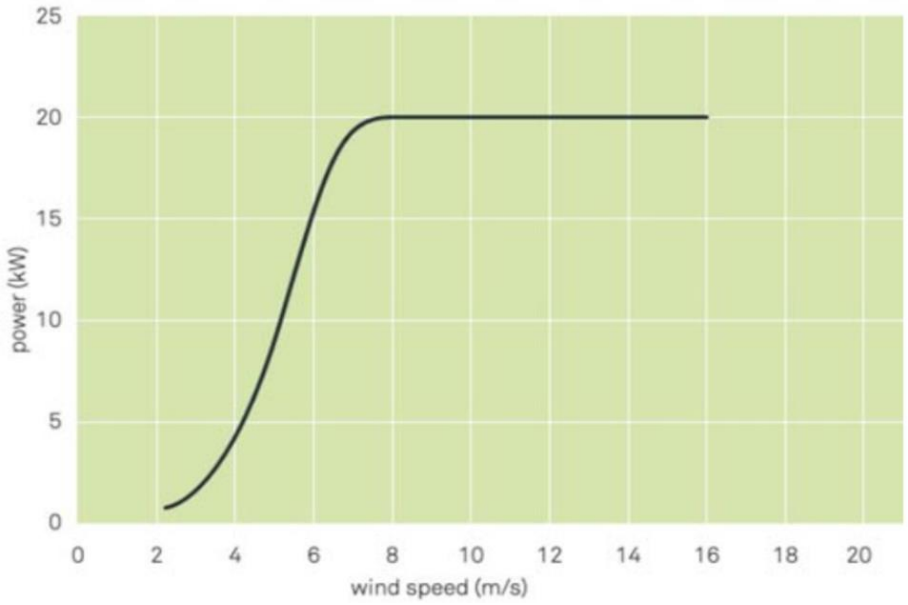


Figura 70 - curva di potenza specifica per un generatore eolico da 20 kW

Viene ricavata la funzione che meglio approssima la curva di potenza per poter ottenere a partire dalla matrice delle velocità quella delle potenze medie:

$$\mathbf{y = -0.0019x^6 + 0.0751x^5 - 1.1513x^4 + 8.5094x^3 - 30.873x^2 + 53.22x - 33.847}$$

Ottenuta la matrice delle potenze medie si procede con quella delle energia applicando la formula:

$$E_h = P_h \cdot h$$

Con:

E_h = Energia della i-esima ora dell'i-esimo mese [kWh]

P_h = Potenza della i-esima ora dell'i-esimo mese [kW]

h = numero dell'i-esima ora nell'i-esimo mese [h]

Energia [KWh]	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	20.7	25.6	29.3	28.9	27.8	28.5	29.1	28.5	26.0	18.6	21.9	0.0
02:00	16.1	22.9	27.8	27.2	25.7	26.6	27.5	26.6	23.2	13.5	17.6	0.0
03:00	28.0	31.1	35.7	34.5	32.7	33.4	35.1	33.4	30.9	27.3	28.3	0.0
04:00	16.6	22.9	27.8	27.3	25.8	26.8	27.6	26.8	23.5	14.0	18.2	0.0
05:00	15.3	21.9	27.2	26.7	25.1	26.1	27.0	26.1	22.5	12.5	17.0	0.0
06:00	23.7	27.5	30.6	30.2	29.2	29.8	30.4	29.8	27.8	22.1	24.6	0.0
07:00	22.5	27.3	30.4	29.9	28.9	29.4	30.2	29.4	27.3	20.8	23.2	0.0
08:00	0.0	8.8	19.4	18.2	14.8	16.9	18.8	16.9	9.7	0.0	-0.2	0.0
09:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10:00	44.3	70.7	116.5	103.6	85.9	91.8	109.9	91.8	66.7	42.0	44.4	0.0
11:00	89.3	158.2	250.3	225.7	190.6	202.1	237.9	202.1	148.2	82.6	89.3	0.0
12:00	177.2	298.9	424.4	392.0	344.4	358.8	408.3	358.8	280.1	165.5	175.3	0.0
13:00	188.8	321.2	449.4	415.2	366.3	379.8	432.5	379.8	298.6	177.4	184.9	0.0
14:00	230.4	377.3	505.2	472.2	423.5	436.8	489.1	436.8	352.6	217.5	225.3	0.0
15:00	278.4	434.5	554.8	525.5	479.9	492.6	540.7	492.6	409.4	264.0	272.8	0.0
16:00	326.3	487.1	593.5	569.3	529.2	540.3	582.1	540.3	462.0	311.1	319.6	0.0
17:00	190.0	332.0	462.0	425.5	375.5	387.3	444.0	387.3	304.7	179.9	183.5	0.0
18:00	106.3	211.7	326.1	289.3	244.9	253.2	307.6	253.2	187.0	101.1	100.5	0.0
19:00	50.3	93.5	157.0	136.1	111.6	117.0	146.3	117.0	83.3	48.1	48.8	0.0
20:00	28.8	33.6	43.0	39.3	35.8	36.4	41.0	36.4	32.5	28.5	28.5	0.0
21:00	24.0	28.5	31.5	30.9	29.8	30.3	31.2	30.3	28.3	22.7	24.3	0.0
22:00	0.0	0.0	3.8	-0.2	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 71 - Mappa dell'energia per ogni ora del mese di Costa Brumeri

Sommando tutte le aliquote contenute nella mappa si ottiene l'energia ottenibile dallo specifico generatore in un anno. Il valore ottenuto è **34.000 kWh.**

E' stato previsto anche un generatore alternativo dalla potenza maggiore per poter eseguire un confronto tra i due:

- Potenza nominale: 59,9 kW
- Diametro rotore: 26 m
- Area Spazzata: 531 m²
- Altezza mozzo: 30 m
- Velocità cut in: 2,5 m/s
- Velocità cut out: 16 m/s
- Velocità nominale: 7,6 m/s

La metodologia di calcolo è la medesima, si costruiscono le matrici di potenza ed energia e si ottiene un'energia disponibile di **66.000 kWh.**

Questa tipologia di impianti necessitano di ventosità importanti che si verificano in pochi regioni italiane, come la Puglia e la Sardegna. Anche se mediamente lavorano per un numero maggiore di ore l'anno, se le velocità del vento si aggirano tra i 3 ed i 5 m/s l'energia prodotta rimane esigua.

Il calcolo del piano economico è strutturato a risoluzione annuale per un orizzonte temporale di **30 anni** e la formulazione è la medesima degli impianti idroelettrici.

Il prezzo minimo di ritiro dell'energia emesso da ARERA è molto più basso rispetto alla fonte idrica, si attesta sui **51,1 €/MWh.**

Il costo specifico di manutenzione c_{spe} viene assunto leggermente inferiore **0,012 €/kWh** prodotti. Il costo della conduzione e assicurazione vengono ipotizzati come la metà dei costi manutentivi.

La funzione di taglia dell'impianto $f(P)$ più semplice rispetto al caso idroelettrico, è stata definita empiricamente ed ha carattere esponenziale come segue:

$$f(P) = 8.238{,}6 \cdot P^{-0{,}262}$$

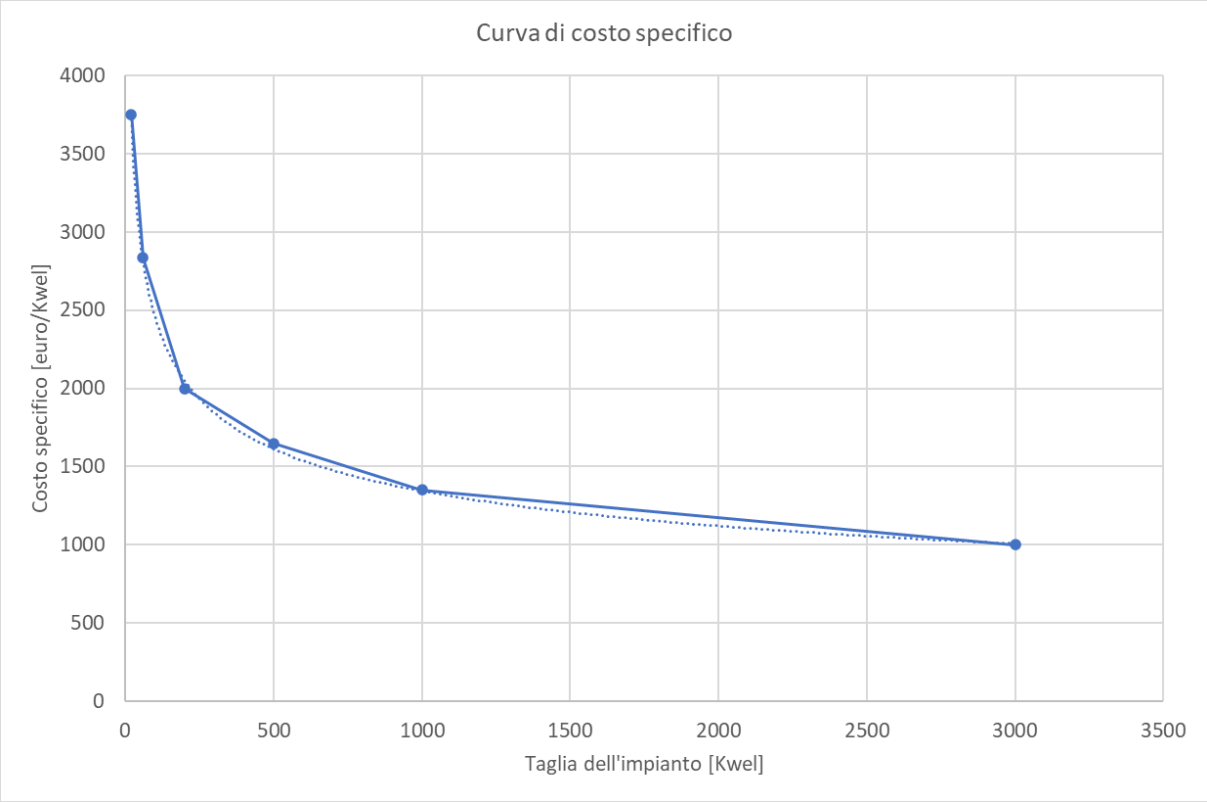


Figura 72 - Curva di costo specifico impianti mini eolici

potenza [Kw]	costo tot [euro]	costo spec [euro/Kw]
20	75000	3750
60	170000	2833
200	400000	2000
500	825000	1650
1000	1350000	1350
3000	3000000	1000

Tabella 43 - tabella riassuntiva costi totale d'impianto

L'impianto di Costa Brumeri oggetto di studio per le due taglie di potenza esaminate presenta il piano economico seguente:

Costa Brumeri	Costo impianto	Flus cassa netto	Flus cassa cumul	ROI	ROE	Tempo di ritorno
20 Kw	75000	900	-50100	1,22	1,19	\
60 Kw	170000	1730	-121700	1,05	1,02	\

Tabella 44 - Tabella riassuntiva piano economico impianti Costa Brumeri

Eolico Cresta Quattro Denti

Si mantiene l'andamento giornaliero tipo anche per l'impianto di Cresta Quattro Denti, poiché situato poco più di un chilometro da quello di Costa Brumeri. Le correnti sono le medesime, l'intensità invece, con il supporto del software "Global Wind Atlas" appaiono superiori:

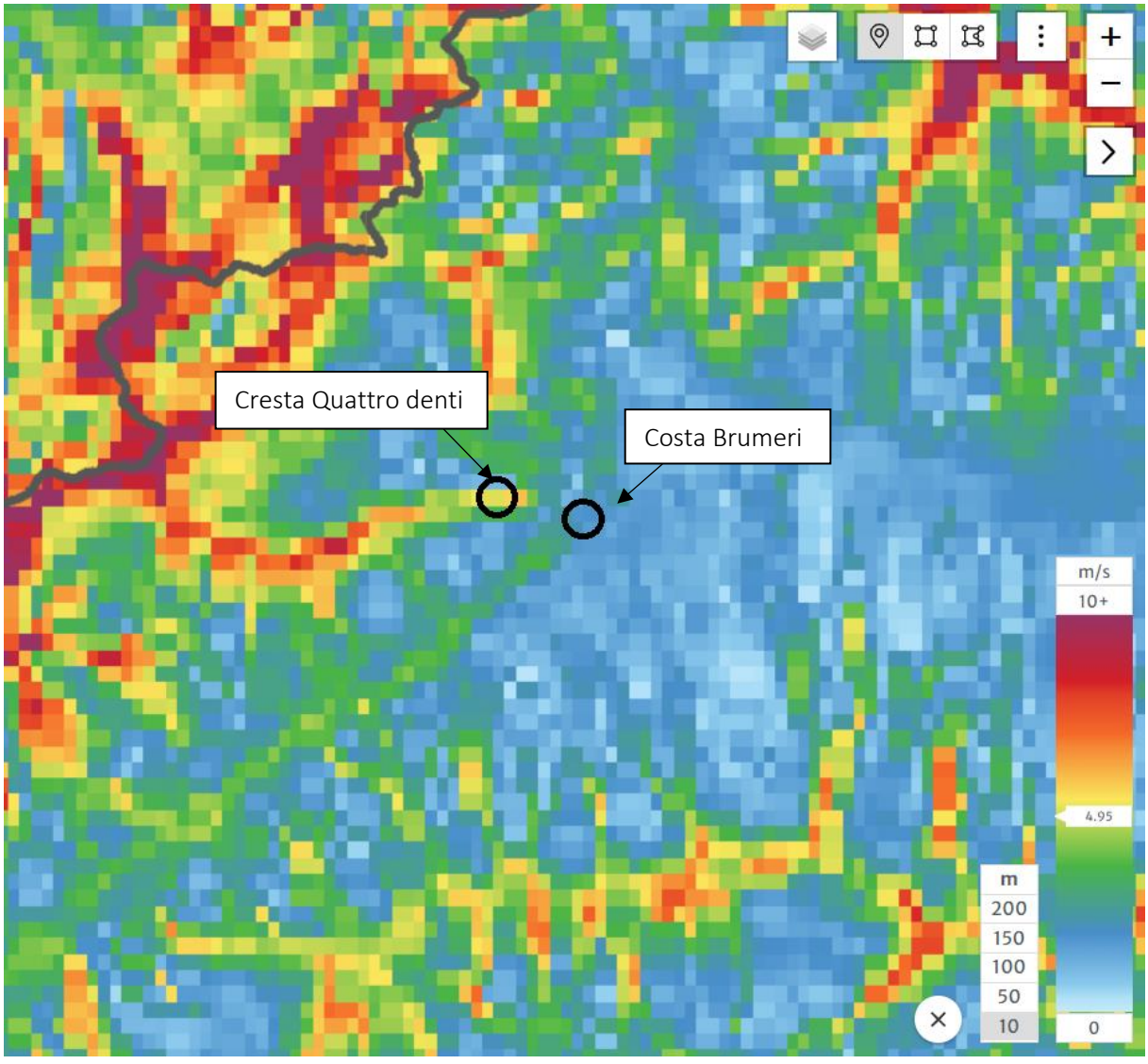


Figura 73 - Localizzazione impianti previsti sul layer delle velocità del vento medie

Non avendo informazioni aggiuntive, si associano i dati della stazione meteo di Gad, che tra le tre disponibili presenta i valori di ventosità maggiori e si costruisce la matrice delle velocità medie.

Le taglie degli impianti presi in considerazione sono sempre 20 e 60 kW con le specifiche tecniche indicate nel paragrafo precedente. Per poter effettuare un confronto a colpo d'occhio si riporta la matrice dell'energia producibile:

Energia [kWh]	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02:00	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03:00	28.8	33.3	33.6	34.2	33.6	33.3	34.2	33.3	33.1	32.5	28.8	0.0
04:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06:00	0.0	0.0	9.9	13.4	9.9	5.9	13.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00	0.0	18.5	30.8	31.7	30.8	29.6	31.7	29.6	26.4	5.8	0.0	0.0
08:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
09:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10:00	54.9	120.5	224.4	244.1	224.4	205.3	244.1	205.3	168.8	82.0	54.9	0.0
11:00	145.7	287.6	435.0	456.8	435.0	412.1	456.8	412.1	363.6	212.8	145.7	0.0
12:00	343.8	511.5	592.8	596.9	592.8	586.1	596.9	586.1	564.6	435.6	343.8	0.0
13:00	419.5	563.7	597.5	594.2	597.5	598.7	594.2	598.7	593.7	504.6	419.5	0.0
14:00	483.1	591.2	582.8	575.0	582.8	589.5	575.0	589.5	597.9	553.8	483.1	0.0
15:00	527.7	598.7	562.9	553.5	562.9	572.1	553.5	572.1	588.0	581.4	527.7	0.0
16:00	567.6	591.8	536.2	525.6	536.2	546.5	525.6	546.5	566.7	597.2	567.6	0.0
17:00	493.8	594.1	578.8	570.4	578.8	586.2	570.4	586.2	596.6	561.1	493.8	0.0
18:00	441.9	575.3	594.2	589.1	594.2	597.5	589.1	597.5	597.4	523.0	441.9	0.0
19:00	192.1	352.3	495.9	514.8	495.9	475.3	514.8	475.3	429.5	270.6	192.1	0.0
20:00	51.3	111.4	210.1	229.1	210.1	191.7	229.1	191.7	156.9	75.8	51.3	0.0
21:00	23.0	32.7	33.1	33.1	33.1	33.2	33.1	33.2	33.3	30.0	23.0	0.0
22:00	0.0	18.5	30.8	31.7	30.8	29.6	31.7	29.6	26.4	5.8	0.0	0.0
23:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 74 - Mappa dell'energia per ogni ora del mese di Cresta Quattro Denti

Sommando tutte le aliquote contenute nella mappa si ottiene l'energia ottenibile dallo specifico generatore in un anno. Il valore ottenuto per la taglia di 20 kW è **56.000 kWh** mentre per i 60 kW è **143.000 kWh.**

L'impianto di Cresta Quattro denti oggetto di studio per le due taglie di potenza esaminate presenta il piano economico seguente:

Cresta Quattro Denti	Costo impianto	Flus cassa netto	Flus cassa cumul	ROI	ROE	Tempo di ritorno
20 Kw	75000	1480	-33600	2,01	1,98	\
60 Kw	170000	3800	-63700	2,27	2,24	\

Tabella 45 - Tabella riassuntiva piano economico impianti Cresta Quattro Denti

Per questa applicazione la situazione è leggermente migliore, i flussi di cassa sono raddoppiati e gli indicatori ROI e ROE sono migliorati. Rimangono comunque delle applicazioni poco interessanti per questo territorio anche dal solo punto di vista energetico.

Si rimanda al capitolo di confronto tra tutte le soluzioni per la quantificazione dei benefici ottenibili dalla costruzione di un impianto di questa tipologia.

2.3.1.2. Impianti fotovoltaici (Progetto preliminare Comune di Chiomonte)

Lo studio degli impianti fotovoltaici non è oggetto di questa tesi, tuttavia si ritiene necessario riportare le ipotesi di progetto presentate dallo stesso ufficio tecnico del Comune di Chiomonte per avere una visione d'insieme di tutte le fonti possibili.

Sono stati presi in considerazioni gli edifici di proprietà del Comune o in gestione che avessero una superficie di copertura abbondante e ben esposta al sole dove non venissero interessati da oggetti oscuranti come vegetazione e la stessa catena montuosa a sud.

Sono emersi tre edifici idonei:

- La cantina Maddalena in sinistra idrografica localizzata in prossimità del cantiere della ferrovia TAV
- La scuola elementare Lewis situata nel capoluogo
- Il centro sportivo del Frais localizzato in prossimità della stazione di monte della seggiovia Chiomonte-Frais.

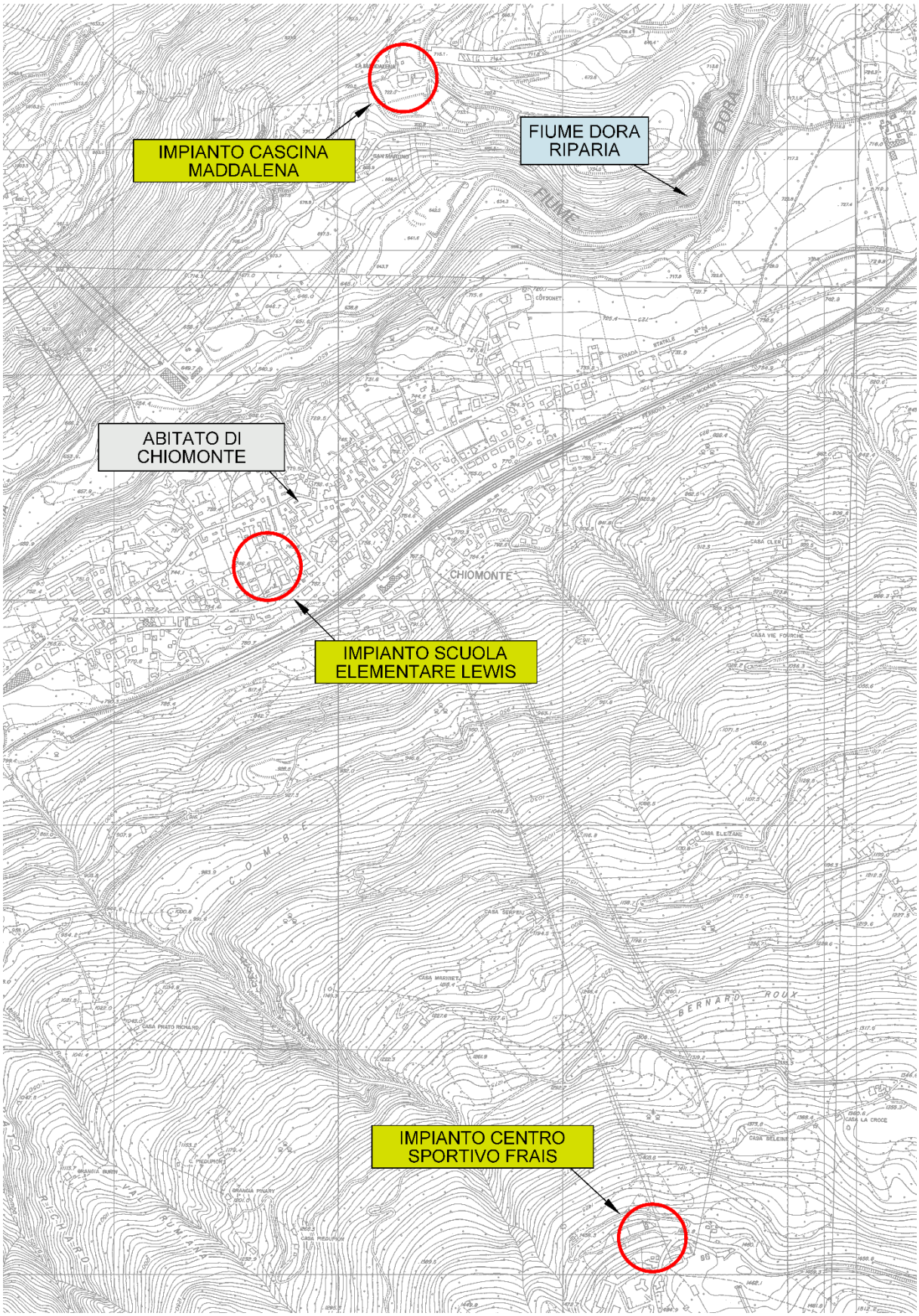


Figura 75 - Planimetria generale impianti fotovoltaici

Non conoscendo i dati dettagliati dell'analisi di producibilità di questi impianti, è possibile stimarne un valore medio indicativo per poter successivamente eseguire un confronto con le altri fonti energetiche e quantificare i benefici totali di tutte le soluzioni possibili.

Per impianti fotovoltaici installata nel nord Italia il valore medio di energia producibile da **1 kWp** installato è **1.000 kWh/y**. Conoscendo la potenza di picco installata è possibile stimare l'energia totale per ogni installazione.

Si costruisce una tabella riassuntiva della specifiche tecniche delle tre installazioni:

	Potenza [kWp]	Energia [kWh]	Costo tot [€]	Costo spec [€/kWp]
CANTINA MADDALENA	71.3	71300	176000	2468
SCUOLA ELEMENTARE LEWIS	42.1	42100	150000	3563
CENTRO SPORTIVO FRAIS	10.5	10500	36000	3429

Tabella 46 - Tabella riassuntiva specifiche tecniche installazioni

Da un breve piano economico eseguito nel presente studio, i tempi di ritorno sono paragonabili con quelli degli impianti eolici. Anche per questa tipologia si evidenzia una sostenibilità economica scarsa. Sarà quindi l'ufficio tecnico comunale a valutare comunque la realizzazione di questi impianti.

2.3.2. Sondaggio delle potenzialità e dimensionamento degli impianti CAR per teleriscaldamento

2.3.2.1. Disponibilità del cippato

Il settore dell'energia da cippato di legna vergine si caratterizza per l'uso di una fonte energetica rinnovabile, locale e ad alta manodopera specifica. Il suo sviluppo implica ripercussioni in termini locali per la valorizzazione dei boschi, del legname e la prevenzione del dissesto idrogeologico.

Le opportunità di sviluppo economico legate all'attività agroforestale costituiscono il secondo pilastro dell'interesse per l'uso della biomassa in ambito montano. Si osserva, in particolare, che una quota importante del prodotto del taglio forestale può trovare sbocco esclusivamente nella filiera energetica in quanto troppo povero per ogni altro utilizzo. Specialmente nei boschi piemontesi, la valorizzazione energetica delle parti meno pregiate dell'albero risulta spesso determinante per la sostenibilità economica degli interventi di manutenzione boschiva.

Per le sue caratteristiche questo materiale risulta interessante per uso locale, attraverso una filiera corta con produzione di calore attraverso piccole reti di teleriscaldamento.

Il Comune di Chiomonte fa parte del Consorzio Forestale Alta Valle Susa, fondato originariamente nel 1953, trasformato nel 2002 in azienda speciale consortile, regolata dai Comuni soci. La disponibilità di legname in realtà non si esaurisce nelle foreste gestite dal Consorzio, in quanto una fetta importante dei boschi (probabilmente 2/3) è di proprietà privata potenzialmente mobilizzabile.

Nella tabella seguente si riporta la quantità di Biomassa forestale totale e prelevabile sul Comune di Chiomonte. Per rendere più comprensibile il dato si consideri che la massa prelevabile per uso energetico stimata sul territorio supera di oltre un ordine di grandezza il consumo di energia totale per riscaldamento ed acqua calda sanitaria delle esigenze locali.

Unità di misura: Ton/anno	MASSA ENERGETICO		ALTRI USI						MASSA PRELEVABILE
	Assortimenti da triturazione	**%**	**Legna da ardere**	**%**	**Paleria**	**%**	**Tondame da lavoro**	**%**	
Formazioni igrofile	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castagneti	16576	55	6028	20	4521	15	3014	10	30139
Faggete	480	25	1248	65	0	0	192	10	1920
Boschi di neoformazione	767	26	1765	59	150	5	299	10	2992
Querceti e ostrieti	997	25	2393	60	0	0	598	15	3988
Robinieti	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lariceti	3453	25	1381	10	0	0	8977	65	13811
Abetine e peccete	6129	50	1226	10	0	0	4903	40	12258
Arbusteti	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinete	698	55	63	5	0	0	508	40	1269
TOTALE	**29100**	**43**	**14104**	**20**	**4671**	**6**	**15791**	**28**	**66377**

Tabella 47 - Quantitativo di legna prelevabile per i diversi scopi Comune di Chiomont

2.3.2.2. Disponibilità del gas naturale

La disponibilità di gas naturale è dipendente dalla presenza della rete di distribuzione locale. La valle Susa è quasi totalmente servita dalla rete di distribuzione. Un troncone parte dalla città di Torino e prosegue fino a Gravere per la valle principale e fino al Comune di Moncenisio per la val Cenischia.

A monte la rete proviene dalla val Chisone che attraverso il colle del Sestriere scende a Cesana Oulx e Bardonecchia. In direzione l'ultimo Comune servito rimane Salbertrand escludendo Exilles e quindi Chiomonte.

Nel 2021 sono stati completati i lavori di estensione della rete fino a Chiomonte capoluogo con i relativi allacci ad una parte degli edifici. E' in fase progettuale la rete di allaccio del lotto 2 che fornirà gas ai restanti edifici ancora non serviti. Il progetto a lungo termine prevede di mettere in comunicazione i tronconi di bassa ed alta valle cosicché, in caso di guasto, il servizio possa essere assicurato.

Entro il 2023 si prevede di avere la rete completa e pronta ad entrare in servizio. Sarebbe a quel punto possibile installare un cogeneratore a gas naturale che alimenti una rete di teleriscaldamento del capoluogo.

2.3.2.3. Impianti a cippato

Impianto Chiomonte

Questo impianto viene sviluppato in tutti i passaggi di calcolo a scopo descrittivo. Per quelli successivi verranno riportati solo le ipotetiche variazione delle metodologie ed i risultati di calcolo.

Ripartendo dalla curva di durata dei fabbisogni termici si vuole ottenere una equivalente che tenga conto delle perdite termiche di rete per quantificare la potenza necessaria alla bocca dello scambiatore del cogeneratore.

Per questa piccola rete si ipotizzano perdite pari al 15 % della potenza istantanea richiesta dagli utenti in linea con la media di applicazioni simili. A questo punto si procede con la scelta della macchina da installarsi e che rispetti i seguenti criteri di fattibilità:

- Minime ore di lavoro annue = 4.000 - 5.000.
- Possibilità di modulare a scaglioni il cogeneratore per lavorare ad alto rendimento per il maggior tempo possibile.
- Soddisfare almeno il 40 % del fabbisogno termico richiesto dalle utenze.

Il cogeneratore individuato è costituito da due moduli identici che possono lavorare separatamente, vengono di seguito indicate le specifiche tecniche di uno dei due moduli:

- Potenza termica = 600 kW
- Potenza elettrica = 300 kW
- Rendimento elettrico = 0,27
- Rendimento totale = 0,81
- Consumo specifico 1 = 0,85 kg/kWhel

- Consumo specifico 2 = 255 kg/h

Si sovrappone la curva di potenza del cogeneratore alla curva di durata corretta con le perdite della rete:

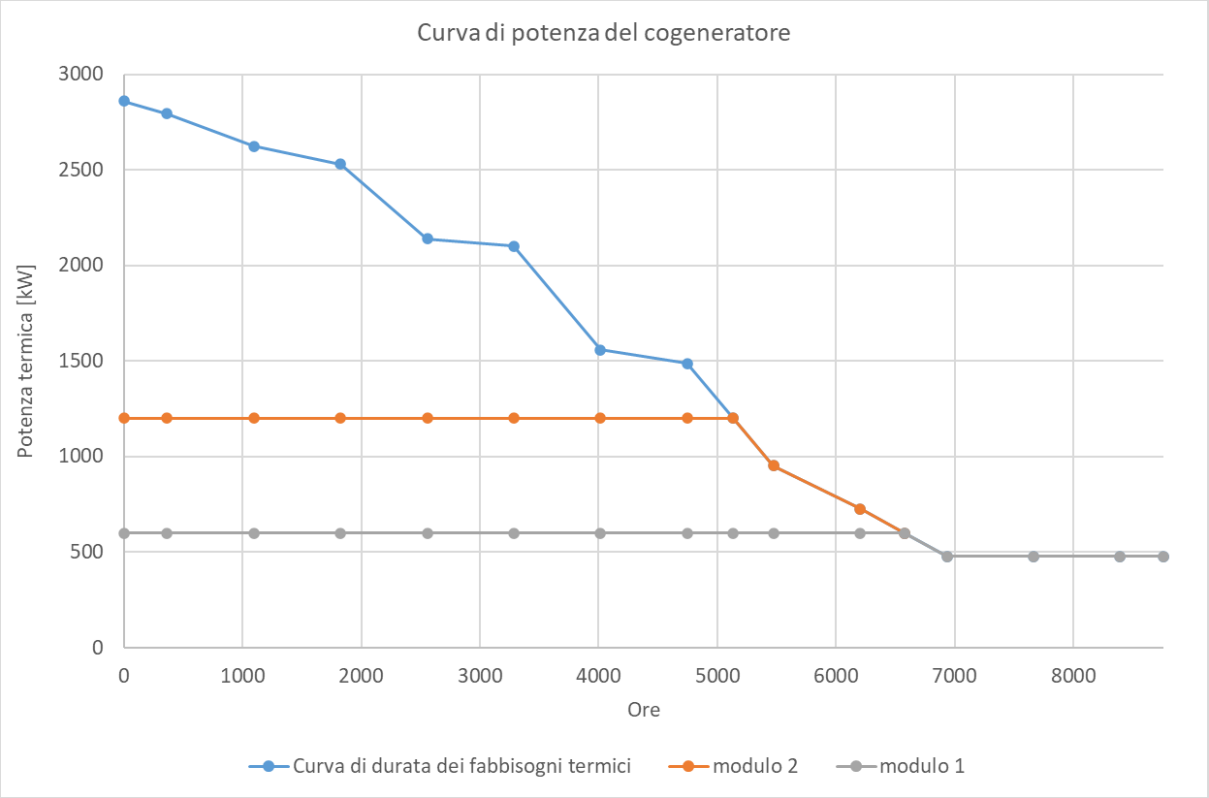


Figura 76 - Curva di potenza del cogeneratore costruito sulla curva di durata dei carichi

Il fabbisogno termico richiesto dalle utenze ammonta a **13.400.000 kWh**. E' quindi necessario verificare la percentuale del fabbisogno soddisfatta dal cogeneratore imposta come vincolo.

Il modulo funziona a pieno carico elettrico e termico fino a quando la curva di potenza intercetta la curva di durata, a questo punto continua a funzionare a piena potenza elettrica ed il calore superfluo viene dissipato su scambiatori termici ausiliari in ambiente. Quando la potenza termica richiesta vale zero il cogeneratore viene spento. Il calcolo dell'energia elettrica erogata è quindi molto semplice:

$$E_{el} = P\,max_{el} * h_{tot}$$

Il calcolo dell'energia termica viene eseguito allo stesso modo fintanto che viene richiesta la massima potenza termica, quindi devono essere sommate le aree sottese alla curva di durata fino a che la potenza termica richiesta è nulla:

$$E_{th} = P\ max_{th} * h_{\max pot}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i + P_{i+1}) \cdot \Delta h_i}{2}$$

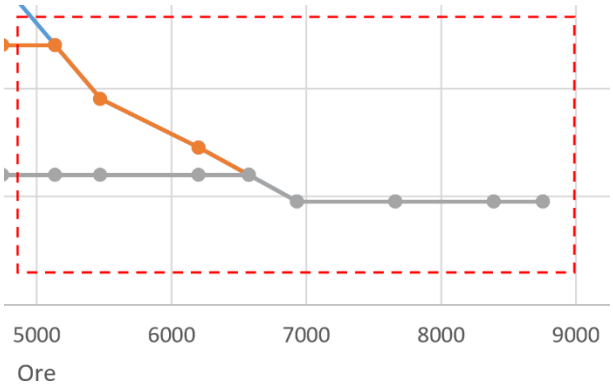


Figura 77 - Erogazione parzializzata potenza termica cogeneratore

L'energia termica erogata dal cogeneratore ammonta a **7.600.000 kWh.** La percentuale di fabbisogno soddisfatto vale quindi **56,7%.** I vincoli imposti sono stati soddisfatti, si può quindi continuare con il dimensionamento.

L'energia elettrica prodotta di **4.140.000 kWh** erogata sempre a massima potenza consente di ricavare facilmente l'energia fornita alla macchina come combustibile:

$$E_{imm} = \frac{E_{el}}{\eta_{el}}$$

Il valore ottenuto è **15.300.000 kWh.**

Per ottenere il riconoscimento di cogenerazione ad alto rendimento necessario per accedere al sistema di incentivazione dei certificati bianchi è necessario rispettare i vincoli seguenti.

1) L'indicatore PES deve avere un valore:

- 0% per gli impianti di potenza elettrica <1 MW (piccola cogenerazione).
- ≥ 10% per gli impianti di taglia superiore.

Il PES è un indice che valuta su base annuale il risparmio in fonti primarie di un impianto di cogenerazione rispetto alla produzione separata di energia elettrica e calore.

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{E_{el}}{\frac{E_{imm}}{\eta_{el\,rif}}} + \frac{E_{th}}{\frac{E_{imm}}{\eta_{th\,rif}}}}$$

2) Il rendimento totale del cogeneratore deve avere un valore:

- 80 % per unità con turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore e unità con turbina a condensazione con estrazione di vapore.
- 75% per tutte le altre tipologie presenti nella lista degli aventi diritto.

$$\eta_{tot} = \frac{E_{el} + E_{th}}{E_{imm}}$$

L'impianto presente deve avere un PES maggiore dello **0%** e un rendimento complessivo di almeno **75%**.

Il PES ottenuto vale **27,0%** ed il rendimento complessivo vale **76,6%.** I vincoli sono entrambi rispettati e la cogenerazione può essere considerata completamente CAR.

Se non fosse stato raggiunto il vincolo di rendimento complessivo si sarebbe dovuto procedere con il calcolo della macchina virtuale CAR sulla quale quantificare l'energia primaria risparmiata rispetto alla media di generazione nazionale. In funzione di questo risparmio si ha diritto ad un corrispettivo di titoli di efficienza energetica che possono essere venduti rappresentando quindi un ricavo.

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune:	Chiomonte
- Potenza termica installata:	1200 kW
- Potenza elettrica installata:	600 kW
- Energia termica fornita	**7.600.000 kWh**
- Energia elettrica fornita	**4.140.000 kWh**
- Energia immessa	15.300.000 kWh
- Cogenerazione CAR	SI
- Potere calorifico cippato	4,36 kWhth/kg
- Consumo cippato	3.509 t/y

Piano economico sintetico

Il calcolo del piano economico è strutturato a risoluzione annuale per un orizzonte temporale di **25 anni** pari alla vita utile stimata dell'impianto. I costi ed i ricavi sono quantificati secondo la formulazione seguente:

$$R_{netto} = R_{el} + R_{th} + TEE + R_{cr} - C_{comb} - i \cdot C_{O\&M}$$

$$- C_{ass} - C_r - IRES - IRAP - IMU$$

Con:

i = fattore di inflazione;

R_{el} = Ricavi elettrici;

R_{th} = Ricavi termici;

TEE = Ricavi da titoli di efficienza energetica (certificati bianchi);

R_{cr} = Ricavi credito d'imposta;

C_{comb} = Costi combustibile;

$C_{O\&M}$ = Costi di manutenzione e conduzione;

C_{ass} = Costo dell'assicurazione;

C_r = Costi rata del prestito;

$IRES$ = imposta sui redditi della società;

$IRAP$ = imposta regionale sulle attività produttive;

IMU = imposta municipale propria;

I ricavi R_{el} si ottengono:

$$R_{el} = c_{el} \cdot E_{el}$$

Il prezzo minimo garantito per impianti alimentati a biomassa vale **96,3 €/MWh** per i primi **2.000 MWh** immessi in rete. Per l'energia prodotta in surplus si accede al mercato dell'energia dove il prezzo varia tutti i giorni in funzione delle condizioni di domanda e offerta. Seppur sia possibile vendere l'energia in surplus ad una tariffa superiore a quella indicata per cautela si impone quel valore per tutta l'energia prodotta.

I ricavi R_{th} si ottengono allo stesso modo:

$$R_{th} = c_{th} \cdot E_{th}$$

Il prezzo specifico dell'energia termica viene deciso in base al valore di mercato ed in base alla tipologia di fonti energetiche che vengono utilizzate sul territorio alla stato di fatto. Il prezzo di mercato dell'energia termica da teleriscaldamento si aggira tra i 100 ed i 140 €/MWh. Si è scelto un valore di **105 €/MWh** pari alla tariffa utilizzata da impianti simili sul territorio piemontese aggiornati al 2022.

Per completezza si riporta una tabella con il costo dell'energia termica da altre fonti per confrontare la competitività della soluzione indagata:

	Legna in pezzi	Pellet	Gasolio	GPL
Corsto [€/MWhth]	40	145	185	125

Tabella 48 - Tabella riassuntiva costo energia termica da altre fonti

Il calcolo dei titoli di efficienza energetica spettanti si esegue quantificando inizialmente il consumo di energia primaria evitato:

$$E_{ev} = \frac{E_{el}}{\eta_{el\,rif}} + \frac{E_{th}}{\eta_{th\,rif}} - E_{imm}$$

Il valore ottenuto è pari a: **5.685.000 kWh.**

Si calcola quindi il numero dei titoli di efficienza energetica:

$$R_{TEE} = k_{taglia} \cdot c_{TEP} \cdot E_{ev} \cdot c_{TEE}$$

Con:

k_{taglia} = Coefficiente di incentivazione dei piccoli impianti < 1MW el;

c_{TEP} = Coefficiente di conversione energia termica in TEP;

c_{TEE} = Valore di un TEE;

Si ottiene **685 TEE** che corrispondono ad un valore di **178.000 €.** L'incentivo dei TEE viene corrisposto per **10 anni** a tutti i cogeneratori CAR mentre per quelli collegati ad una rete di teleriscaldamento come nel caso seguente si alza a **15 anni**.

Un ulteriore fonte di ricavo è rappresentata dal credito d'imposta sull'energia termica prodotta e sulla potenza termica impiegata:

$$R_{cr\,E} = c_{cr\,E} \cdot E_{th}$$

$$R_{cr\,P} = c_{cr\,P} \cdot P_{th}$$

Con:

$c_{cr\,E}$ = Coefficiente di incentivazione sull'energia = **21,93 €/MWh**;

$c_{cr\,P}$ = Coefficiente di incentivazione una tantum sulla potenza termica installata = **20,66 €/kW;**

Questi incentivi ammontano rispettivamente a **142.000 €/y** e **24800 €** una tantum.

Il costo del combustibile si è innalzato spaventosamente nell'ultimo anno; si è scelto un valore di mercato per l'estate 2022 che potrebbe rapidamente cambiare influendo sul piano economico presente.

c_{comb} = **175 €/ton.**

Il fattore di inflazione i si assume aumentare di **0,50%** all'anno.

I costo di manutenzione viene ricavato dalla formula:

$$C_{man} = c_{spe\,man} \cdot E_{el}$$

Il costo specifico c_{spe} viene assunto **0,015 €/kWhel** prodotti. Il costo della conduzione e assicurazione vengono ipotizzati come la metà dei costi manutentivi.

Per questa tipologia di impianti, di taglia molto maggiore rispetto a quelli precedentemente descritti, si prevede che venga sottoscritto un prestito della durata di **180 mesi** per dilazionare le spese di costruzione. Il costo della rata annuale ammonta a **201.000 €.**

Infine si applicano le imposte con la metodologia precedentemente indicata.

Per poter sviluppare l'andamento del flusso di cassa cumulativo è necessario conoscere il costo iniziale dell'impianto. Per ipotizzarlo si è sviluppata una formulazione che meglio approssimi l'andamento al variare della taglia dell'impianto:

$$f(P) = -1.312\ln(P) + 16.567$$

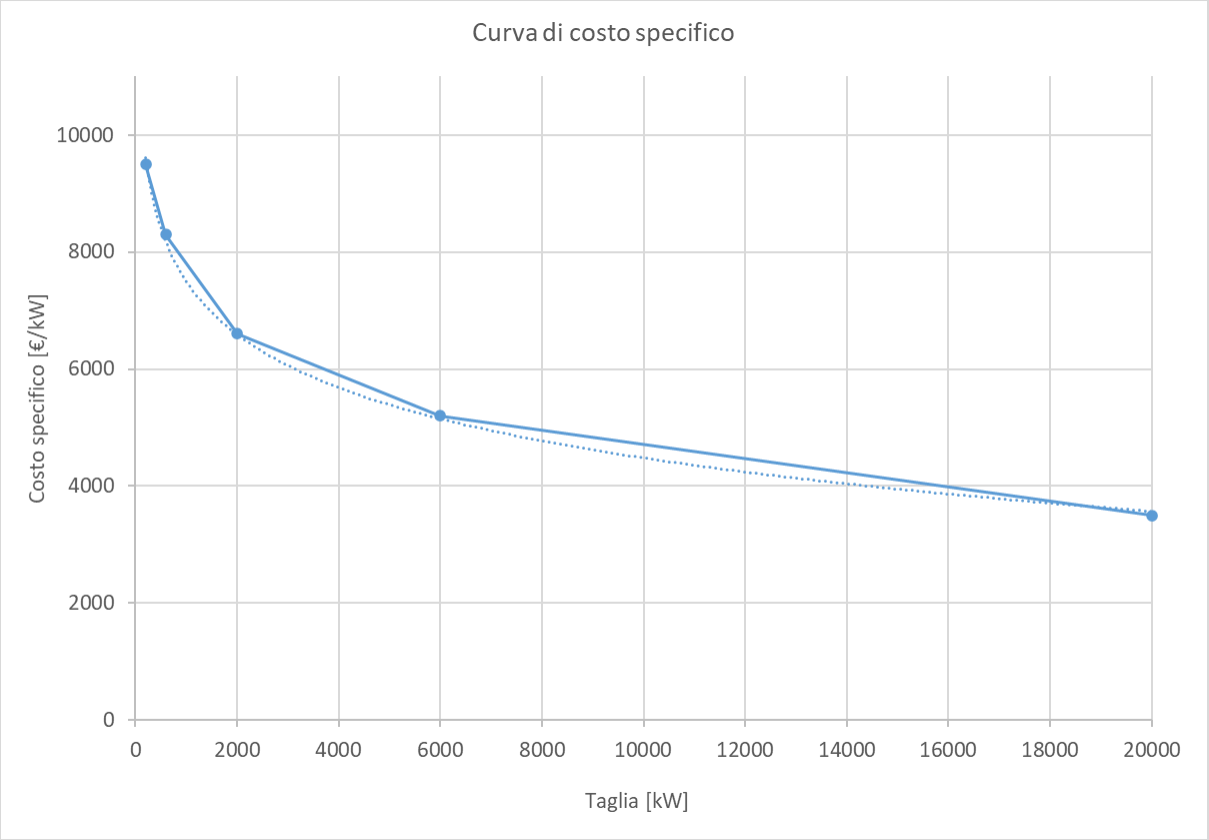


Figura 78 - Curva di costo specifica cogeneratori a cippato

L'impianto di Chiomonte oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **5.000.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **390.000 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **6.200.000 €.**

Il tempo di ritorno è completamente diverso dalle categorie precedenti. Questo è dovuto al fatto che gli impianti alimentati da un combustibile, possono essere messi in funzione a discrezione dell'uomo e non dipendono da fattori esterni imprevedibili. In più le fonti di ricavo sono multiple: energia elettrica, energia termica, TEE e credito d'imposta. Ne deriva che qui l'investimento diventi molto interessante. Per contro questi interventi richiedono cantieri molto più lunghi ed impattanti sul territorio, nel caso del teleriscaldamento, la posa della rete di distribuzione comporta la chiusura parziale delle strade del centro storico creando sicuramente più disagi per la popolazione. Non è sicuramente trascurabile l'impiego di capitali molto maggiori che implicano anche un rischio maggiore.

Il tempo di ritorno ottenuto vale **7 anni.**

- ***ROI** = **14,2%***
- ***ROE** = **15,7%***

Si rimanda al capitolo di confronto tra tutte le soluzioni per la quantificazione dei benefici ottenibili dalla costruzione di un impianto di questa tipologia.

Impianto Frais

La curva di durata dei fabbisogni termici non può essere dedotta dall'andamento delle temperature esterne durante l'anno poiché la frazione del Frais è una località prevalentemente di villeggiatura e presenta quindi carichi che dipendono fortemente dall'andamento dei villeggianti nei periodi di alta e bassa stagione. La forma della curva sarà molto più simile ad un gradino con grandi carichi nel periodo invernale e quasi nulli nelle mezze stagioni. Il periodo estivo seppur conti una grande popolazione ovviamente sono richiesti pochissimi carichi termici.

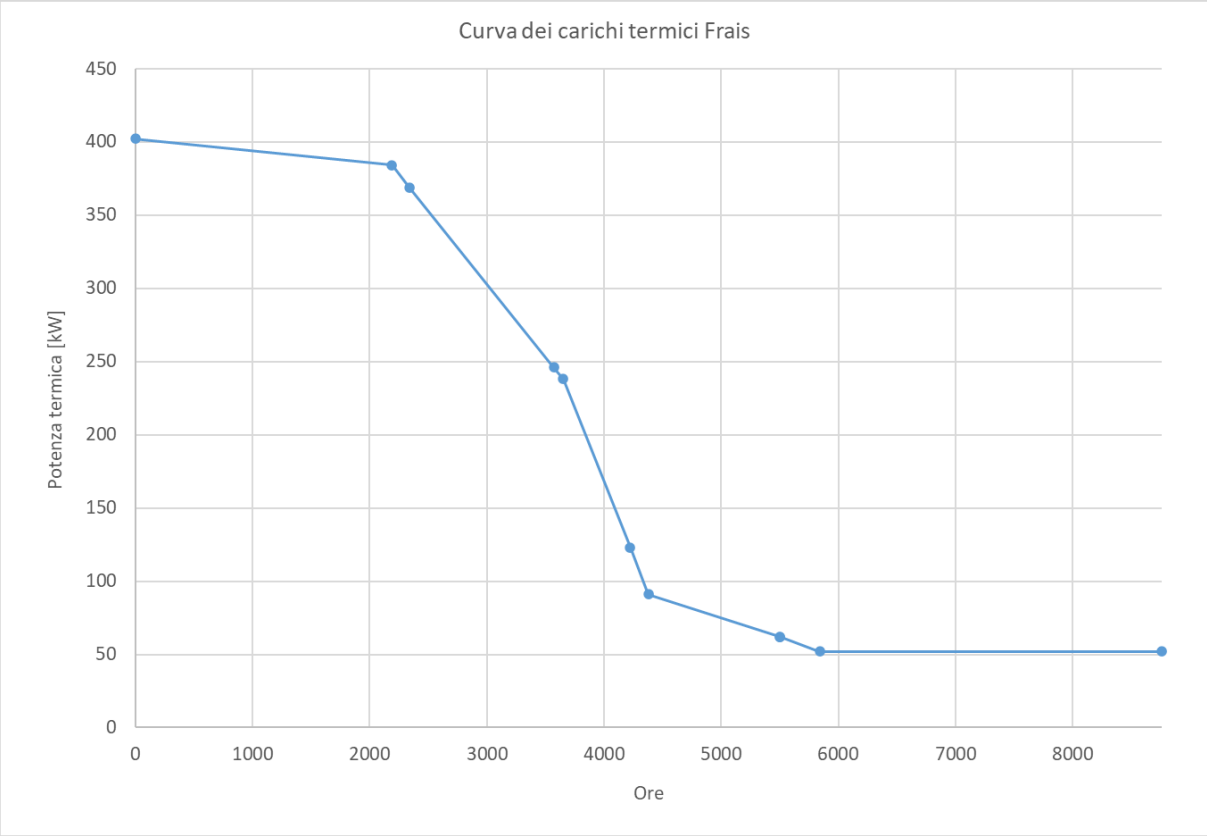


Figura 79 - Curva dei carichi termici Frais

Per questa rete di dimensioni ancora inferiori rispetto a quella del capoluogo, si ipotizzano perdite maggiori pari al 19 % della potenza istantanea richiesta dagli utenti. A questo punto si procede con la scelta della macchina da installarsi e che rispetti i seguenti criteri di fattibilità:

- Minime ore di lavoro annue = 4.000 – 5.000.
- Possibilità di modulare a scaglioni il cogeneratore per lavorare ad alto rendimento per il maggior tempo possibile.
- Soddisfare almeno l'90 % della potenza termica di picco richiesta dalle utenze poiché la rete viene dimensionata proprio per soddisfare i carichi invernali.
- Soddisfare almeno il 70% dell'energia termica richiesta dalle utenze per la medesima motivazione.

L'impianto individuato è costituito da tre cogeneratori identici che possono lavorare separatamente. E' quindi possibile prevedere un numero di macchine che soddisfi il più possibile la potenza di picco richiesta e che sia ridotta al minimo la dissipazione termica potendo spegnere le unità in serie. Vengono di seguito indicate le specifiche tecniche di uno dei cogeneratori:

- Potenza termica = 123 kW
- Potenza elettrica = 66 kW
- Rendimento elettrico = 0,28
- Rendimento totale = 0,81
- Consumo specifico 1 = 0,80 kg/kWhel
- Consumo specifico 2 = 52,8 kg/h

Si sovrappone la curva di potenza del cogeneratore alla curva di durata corretta con le perdite della rete:

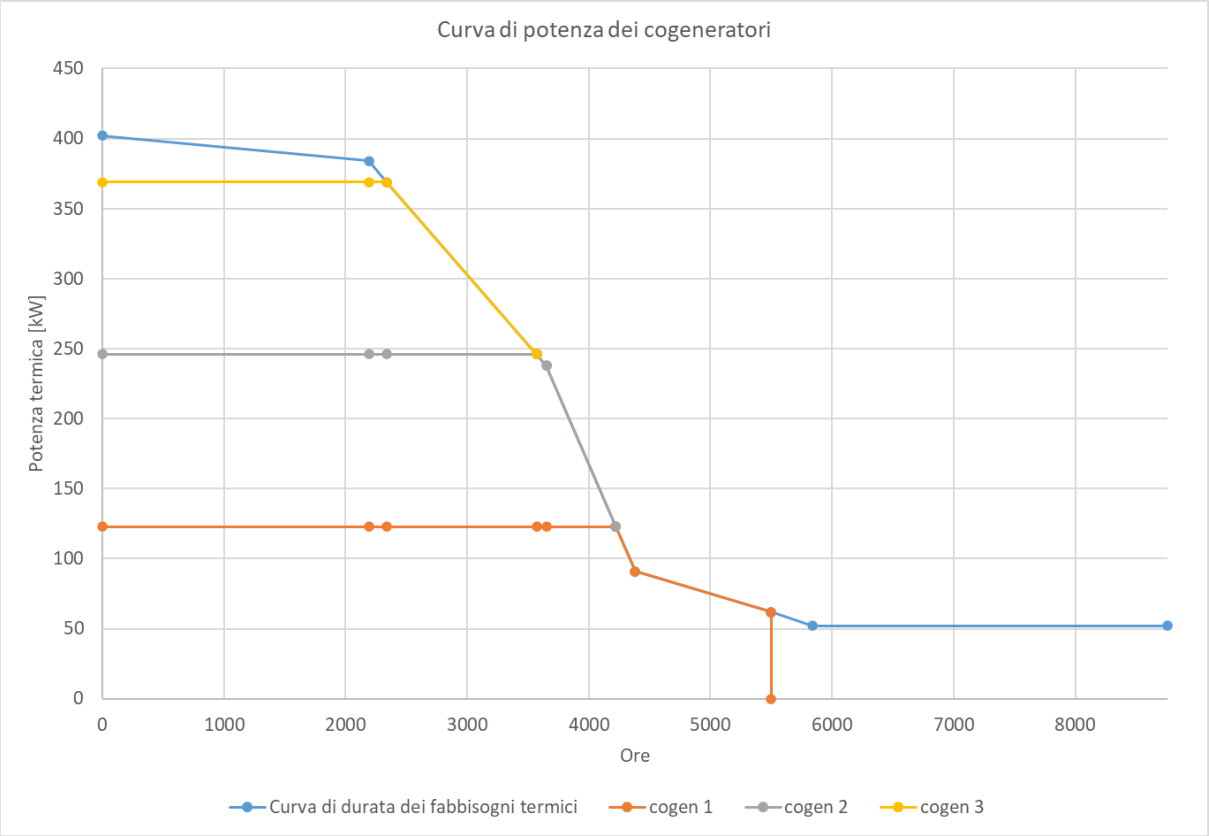


Figura 80 - Curva di potenza dei cogeneratori a cippato del Frais costruita sulla curva di durata dei carichi

Il fabbisogno termico richiesto dalle utenze ammonta a **1.691.000 kWh**. E' quindi necessario verificare la percentuale del fabbisogno soddisfatta dal cogeneratore imposta come vincolo.

Il modulo funziona a pieno carico elettrico e termico fino a quando la curva di potenza intercetta la curva di durata, a questo punto continua a funzionare a piena potenza elettrica ed il calore superfluo viene dissipato su scambiatori termici ausiliari in ambiente. Quando la potenza termica richiesta vale zero il cogeneratore viene spento. Il modulo 1 viene spento al tetto delle **5.500 ore** per mantenere un rendimento complessivo superiore al 75% per accedere ai TEE.

L'energia termica erogata dal cogeneratore ammonta a **1.321.000 kWh.** La percentuale di fabbisogno soddisfatto vale quindi **78,1%.** I vincoli imposti sono stati soddisfatti, si può continuare con il dimensionamento.

L'energia elettrica prodotta di **789.000 kWh** erogata sempre a massima potenza consente di ricavare facilmente l'energia fornita alla macchina:

$$E_{imm} = \frac{E_{el}}{\eta_{el}}$$

Il valore ottenuto è **2.791.000 kWh.**

Per ottenere il riconoscimento di cogenerazione ad alto rendimento necessario per accede al sistema di incentivazione dei certificati bianchi è necessario rispettare i vincoli descritti con i valori seguenti.

Il PES vale **27,7%** ed il rendimento complessivo vale **75,6%.** I vincoli sono entrambi rispettati e la cogenerazione può essere considerata completamente CAR.

Se non fosse stato raggiunto il vincolo di rendimento complessivo si sarebbe dovuto procedere con il calcolo della macchina virtuale CAR.

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

-	Comune:	Chiomonte
-	Potenza termica installata:	369 kW
-	Potenza elettrica installata:	198 kW
-	Energia termica fornita	**1.321.000 kWh**
-	Energia elettrica fornita	**789.000 kWh**
-	Energia immessa	2.791.000 kWh
-	Cogenerazione CAR	SI
-	Potere calorifico cippato	4,36 kWhth/kg
-	Consumo cippato	640 t/y

Piano economico sintetico

Il calcolo del piano economico è strutturato a risoluzione annuale per un orizzonte temporale di **25 anni** pari alla vita utile stimata dell'impianto. I costi ed i ricavi sono quantificati secondo la formulazione precedente.

L'impianto del Frais oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **1.900.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **76.000 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **1.000.000 €.**

Il tempo di ritorno è maggiore poiché risente pesantemente dell'economia di scala. Per piccole taglie gli impianti risultano spesso sfavorevoli dal punto di vista economico. Ancora di più in questo caso che comprende anche una rete di teleriscaldamento difficilmente sostenibile per applicazioni così piccole.

E' per questo motivo che si è ritenuto necessario alzare la tariffa di vendita dell'energia termica da **105 €/MWh** a **150 €/MWh.**

Il tempo di ritorno ottenuto vale **14 anni.**

- ***ROI** = 8,92%*
- ***ROE** = 8,1%*

Si rimanda al capitolo di confronto tra tutte le soluzioni per la quantificazione dei benefici ottenibili dalla costruzione di un impianto di questa tipologia.

Impianto Frais (Versione progettuale sviluppata dal Comune di Chiomonte)

Il Comune di Chiomonte ha portato avanti un progetto preliminare per la realizzazione di un impianto di teleriscaldamento a cippato per le utenze del Frais. Questo impianto, si prefigura di servire una zona condominiale e altre poche abitazioni oggi alimentate a gasolio e legna.

Lo studio prevede di soddisfare i consumi attuali seguenti:

- Condominio REF: 520.000 kWh (riscaldamento + a.c.s.);
- Condominio Nuovo Frais: 410.000 kWh (solo riscaldamento);
- Condominio Hermitage: 120.000 kWh (solo riscaldamento).
- Abitazioni aggiuntive: 300.000 kWh

Il totale si aggira sui **1.300.000 kWh** e le utenze ammonterebbero a circa **360 unità abitative** per una volumetria di **33.000 m^3**, addensate su una superficie molto ridotta.

Di seguito si riporta una simulazione della richiesta termica della rete in progetto per un funzionamento continuativo tutto l'anno:

RETE ATTIVA TUTTO L'ANNO MESE	gg/mese	Erogazione mensile a utenze finali [kWh]	Dispersioni di rete [kWh]	Energia termica a bocca di centrale [kWh]
Gennaio	31	242.000	20.906	262.906
Febbraio	28	231.000	18.883	249.883
Marzo	31	154.000	20.906	174.906
Aprile	30	44.000	20.232	64.232
Maggio	31	30.000	20.906	50.906
Giugno	30	30.000	20.232	50.906
Luglio	31	30.000	20.906	50.906
Agosto	31	30.000	20.906	50.906

Settembre	30	30.000	20.232	50.906
Ottobre	31	55.000	20.906	75.906
Novembre	30	143.000	20.232	163.232
Dicembre	31	231.000	20.906	251.906

Tabella 49 - Simulazione richiesta termica rete teleriscaldamento Frais (progetto Comune di Chiomonte)

Ipotizzando che aumentino i carichi per utilizzo turistico più esteso e frequente fino a **2.000.000 kWh/y** la potenza installata necessaria è **998 kW.**

Si ipotizza di installare due caldaie modulari identiche dalla potenza di **500 kW** per poter massimizzare il rendimento.

Il consumo annuo di cippato, con un potere calorifico abbastanza basso pari a **3,2 kWh/kg** si attesta a **430 t.**

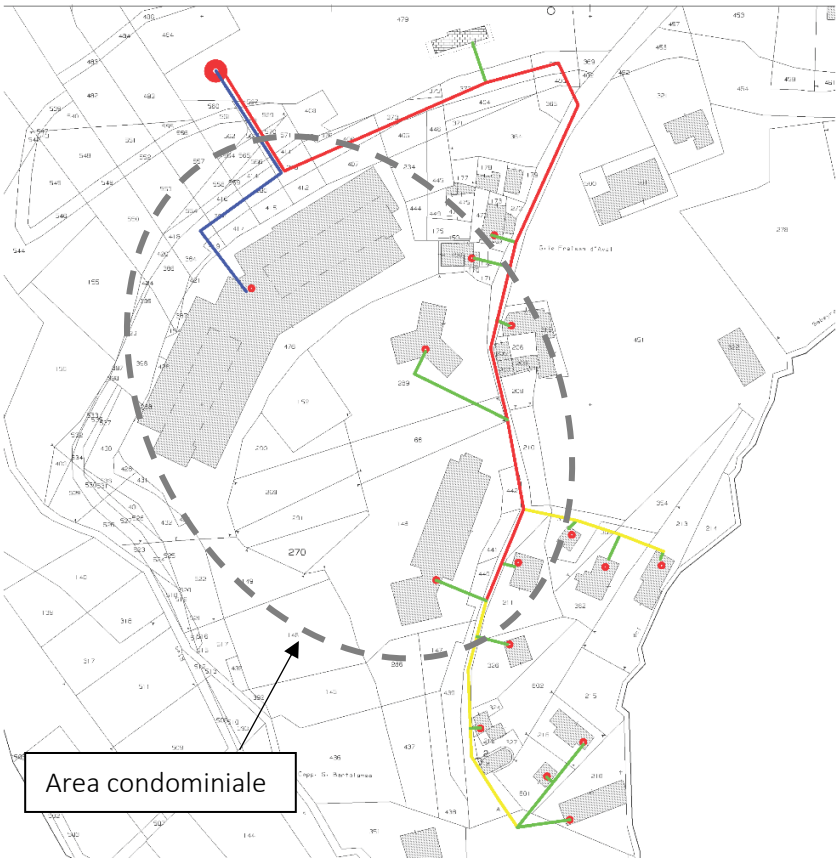


Figura 81 - Schema di rete teleriscaldamento del Frais (progetto Comune di Chiomonte)

Si riporta una tabella di confronto tra le due soluzioni per il Frais, per evidenziare le soluzioni progettuali scelte:

	Ipotesi di tesi	Progetto preliminare Comune
Tipo di tecnologia	Cogeneratore	Caldaia
Fabbisogno termico [kWh]	1.691.000	1.300.000
Volumetria [m^3]	25000	33000
Percentuale fabbisogno soddisfatto	78%	100%
Potenza termica [kW]	369	998
Potenza elettrica [kW]	198	\
TEE	si	si
Potere calorifico cippato [kWh/kg]	4,3	3,2
Consumo di cippato [t/y]	640	430
Tariffa vendita calore [€/MWh]	150	150
Costo impianto	1.900.000	1.500.000

Tabella 50 - Tabella di confronto tra gli impianti a cippato del Frais

La principale differenza tra le due soluzioni risiede nel fatto che quello progettato dal Comune di Chiomonte è pensato per sopperire istantaneamente ad ogni picco di potenza richiesta dalle utenze, è quindi di taglia nettamente superiore. Questo implica che riesca a fornire il 100% dell'energia richiesta. Il tipo di macchina scelta è una caldaia, tecnologia completamente sviluppata sul mercato e dal costo specifico molto basso. Questa caratteristica rende sostenibile l'installazione di potenze molto elevate.

Nel caso oggetto della tesi, la scelta di un cogeneratore a cippato dal costo specifico elevatissimo, ha imposto di ridurre la taglia della macchina, che non riesce a soddisfare i picchi puntuali di potenza termica ma si configura come fornitore del base-load.

D'altra parte, la cogenerazione ad alto rendimento, valorizza la vendita dell'energia elettrica prodotta e aumenta di molto i ricavi derivati dai titoli di efficienza energetica. Il risultato è che la tariffa di vendita dell'energia termica proposta agli utenti sia identica.

Anche la soluzione del presente studio, almeno ad uno stato preliminare, può considerarsi economicamente interessante.

2.3.2.4. Impianti a gas naturale

Impianto Chiomonte

Questo impianto viene sviluppato in tutti i passaggi di calcolo poiché vengono applicate considerazioni leggermente diverse rispetto agli impianti a cippato descritti.

Ripartendo dalla curva di durata dei fabbisogni termici di Chiomonte capoluogo si quantifica la potenza necessaria alla bocca dello scambiatore del cogeneratore.

La rete di teleriscaldamento rimane praticamente equivalente a quella dell'impianto a cippato del capoluogo. A questo punto si procede con la scelta della macchina da installarsi e che rispetti i seguenti criteri di fattibilità:

- Minime ore di lavoro annue = 4.000 – 5.000
- Possibilità di modulare a scaglioni il cogeneratore per lavorare ad alto rendimento per il maggior tempo possibile
- Soddisfare almeno il 40 % del fabbisogno termico richiesto dalle utenze

L'impianto è costituito da tre cogeneratori identici separati che possono essere accesi in modo indipendente. Rispetto al cogeneratore a cippato di Chiomonte capoluogo che veniva venduto come un'unica macchina anche se costituito da due moduli, in questo caso si è potuto optare per il numero ottimale di unità che massimizzassero i ricavi e assicurassero una buona percentuale di fabbisogno.

Vengono di seguito indicate le specifiche tecniche di uno dei due moduli:

- Potenza termica = 659 kW
- Potenza elettrica = 526 kW
- Rendimento elettrico = 0,386
- Rendimento totale = 0,869
- Consumo specifico = 141,8 Sm^3/h

Si sovrappone la curva di potenza del cogeneratore alla curva di durata corretta con le perdite della rete:

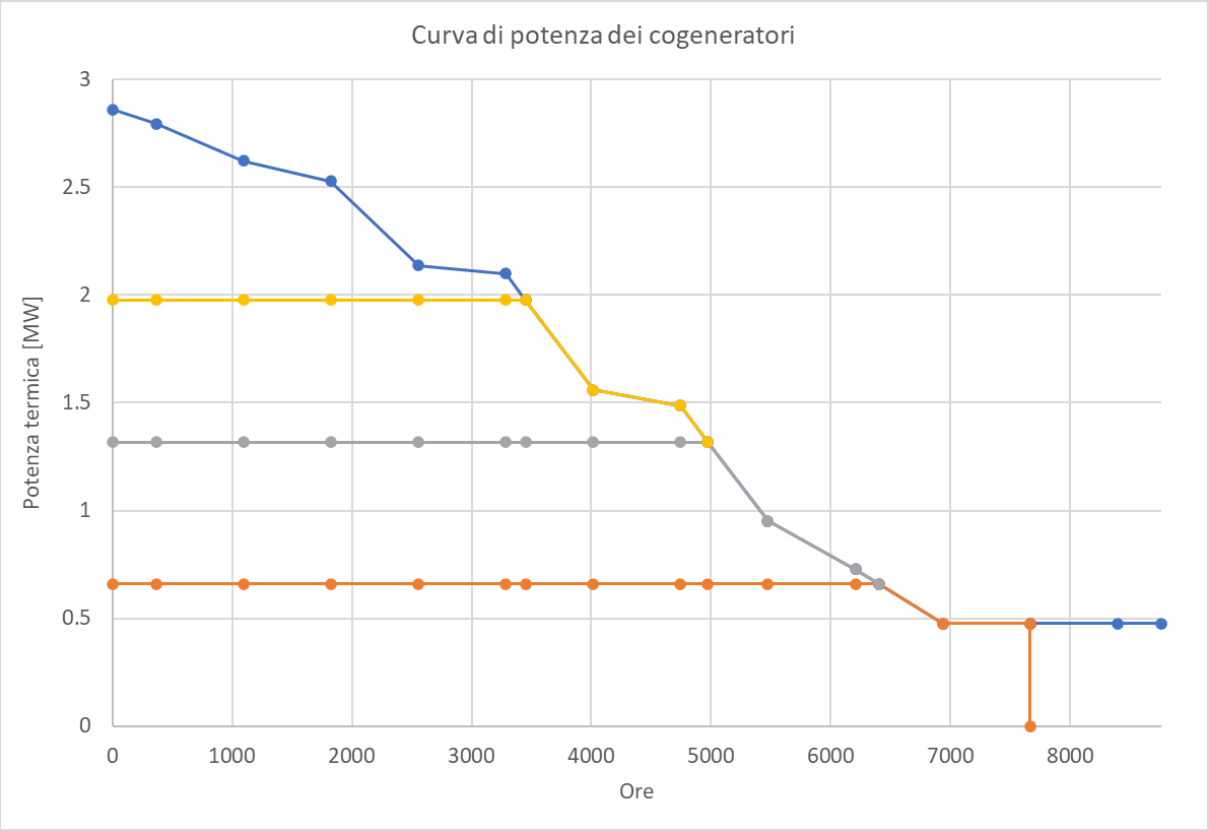


Figura 82 - Curva di potenza dei cogeneratori a gas naturale costruita sulla curva di durata dei carichi

Il fabbisogno termico richiesto dalle utenze ammonta a **13.400.000 kWh**. E' quindi necessario verificare la percentuale del fabbisogno soddisfatta dal cogeneratore imposta come vincolo.

Il modulo funziona a pieno carico elettrico e termico fino a quando la curva di potenza intercetta la curva di durata, a questo punto continua a funzionare a piena potenza elettrica ed il calore superfluo viene dissipato su scambiatori termici ausiliari in ambiente. Quando la potenza termica richiesta vale zero il cogeneratore viene spento. Il calcolo dell'energia elettrica erogata è quindi molto semplice:

$$E_{el} = P\,max_{el} * h_{tot}$$

Il calcolo dell'energia termica viene eseguito allo stesso modo fintanto che viene richiesta la massima potenza termica, quindi devono essere sommate le aree sottese alla curva di durata fino a che la potenza termica richiesta è nulla:

$$E_{th} = P\,max_{th} * h_{\max pot}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i + P_{i+1}) \cdot \Delta h_i}{2}$$

L'energia termica erogata dal cogeneratore ammonta a **9.774.000 kWh.** La percentuale di fabbisogno soddisfatto vale quindi **72,9%.** I vincoli imposti sono stati soddisfatti, si può continuare con il dimensionamento.

L'energia elettrica prodotta di **10.017.000 kWh** erogata sempre a massima potenza consente di ricavare facilmente l'energia fornita alla macchina:

$$E_{imm} = \frac{E_{el}}{\eta_{el}}$$

Il valore ottenuto è **25.956.000 kWh.**

Per ottenere il riconoscimento di cogenerazione ad alto rendimento anche nel caso di cogeneratori a gas naturale, è necessario rispettare i vincoli seguenti:

1) L'indicatore PES deve avere un valore:

- 0% per gli impianti di potenza elettrica <1 MW (piccola cogenerazione),
- ≥ 10% per gli impianti di taglia superiore.

2) Il rendimento totale del cogeneratore deve avere un valore:

- 80 % per unità con turbina a gas a ciclo combinato con recupero di calore e unità con turbina a condensazione con estrazione di vapore
- 75% per tutte le altre tipologie presenti nella lista degli aventi diritto

L'impianto presente deve avere un PES maggiore dello **0%** e un rendimento complessivo di almeno **75%**.

Il PES ottenuto vale **23,3%** ed il rendimento complessivo vale **76,2%.** I vincoli sono entrambi rispettati e la cogenerazione può essere considerata completamente CAR.

Se non fosse stato raggiunto il vincolo di rendimento complessivo si sarebbe dovuto procedere anche in questo caso con il calcolo della macchina virtuale CAR.

Sintesi dei dati caratteristici dell'impianto in progetto

- Comune: Chiomonte
- Potenza termica installata: 1.977 kW
- Potenza elettrica installata: 1.578 kW
- Energia termica fornita **9.774.00 kWh**
- Energia elettrica fornita **10.016.000 kWh**
- Energia immessa 25.956.000 kWh
- Cogenerazione CAR SI
- Potere calorifico gas naturale 9,61 kWhth/Sm^3
- Consumo gas naturale 2.700.000 Sm^3/y

Piano economico sintetico

Il calcolo del piano economico è strutturato a risoluzione annuale per un orizzonte temporale di **25 anni** pari alla vita utile stimata dell'impianto. I costi ed i ricavi sono quantificati secondo la formulazione seguente:

$$R_{netto} = R_{el} + R_{th} + TEE - C_{comb} - i \cdot C_{O\&M}$$

$$- C_{ass} - C_r - IRES - IRA - IMU$$

I ricavi R_{el} si ottengono:

$$R_{el} = c_{el} \cdot E_{el}$$

Il cogeneratore a gas naturale accede al mercato dell'energia elettrica non potendo giovare del ritiro dedicato. Nel periodo storico odierno, nel quale il valore dell'energia elettrica è cresciuto enormemente, la vendita sul mercato elettrico risulta ancora più vantaggiosa. La tariffa di riferimento ad Agosto 2022 si aggira attorno ai **450 €/MWh.**

I ricavi R_{th} si ottengono allo stesso modo:

$$R_{th} = c_{th} \cdot E_{th}$$

Il prezzo specifico dell'energia termica deve essere leggermente incrementato per il costo maggiore del combustibile gas naturale rispetto al cippato ed è pari a **150 €/MWh.**

Il calcolo dei titoli di efficienza energetica spettanti si esegue quantificando inizialmente il consumo di energia primaria evitato:

$$E_{ev} = \frac{E_{el}}{\eta_{el\,rif}} + \frac{E_{th}}{\eta_{th\,rif}} - E_{imm}$$

Il valore ottenuto è pari a: **4.883.000 kWh.**

Si calcola quindi il numero dei titoli di efficienza energetica e quindi il ricavo possibile:

$$R_{TEE} = k_{taglia} \cdot c_{TEP} \cdot E_{ev} \cdot c_{TEE}$$

Con:

k_{taglia} = Coefficiente di incentivazione degli impianti di media taglia > 1 MW = 1,3;

c_{TEP} = Coefficiente di conversione energia termica in TEP;

c_{TEE} = Valore di un TEE;

Si ottiene **546 TEE** che corrispondono ad un valore di **142.000 €.** L'incentivo dei TEE viene corrisposto per **10 anni** a tutti i cogeneratori CAR mentre per quelli collegati ad una rete di teleriscaldamento come nel caso seguente si alza a **15 anni**.

Il costo del gas naturale è cresciuto del 600% negli ultimi tre anni. Questa crescita senza precedenti ha influito in modo drastico sulla fattibilità degli impianti che sfruttano questa fonte. Fortunatamente nel caso studio altre fonti di guadagno oltre quella elettrica rendono l'investimento sostenibile; possibili fluttuazioni del prezzo avrebbero invece ricadute pesantissime sul piano economico effettuato. Si sceglie il valore medio di mercato emesso dal GME per il mese di Agosto 2022 pari a **1,84 €/Sm^3.**

A questo valore vengono sommate le accise per usi industriali e le ARISGAM regionali che ammontano a **0,00972004 €/Sm^3** e **0,00566607 €/Sm^3** con la formulazione seguente:

$$c_{comb} = k_{de} \cdot c_{senza} \cdot P_{el} + c_{con} \cdot (Q_{gas} - k_{de} \cdot P_{el})$$

Con:

k_{de} = defiscalizzazione del gas naturale [Sm^3/kWhel]

c_{senza} = costo specifico gas defiscalizzato

c_{con} = costo specifico gas con le accise

Q_{gas} = portata oraria di gas naturale per cogeneratore

Il costo specifico del combustibile per cogeneratore vale **261,4 €/h.**

Il fattore di inflazione i si assume aumentare di **0,50%** all'anno.

I costo di manutenzione viene ricavato dalla formula:

$$C_{man} = c_{spe\ man} \cdot E_{el}$$

Il costo specifico c_{spe} viene assunto **0,008 €/kWhel** prodotti poiché i motori alternativi a gas naturale sono una tecnologia estremamente più affermata e affidabile dei cogeneratori a cippato. Il costo della conduzione e assicurazione vengono ipotizzati come la metà dei costi manutentivi.

Per questa tipologia di impianti si prevede che venga sottoscritto un prestito di **180 mesi** per dilazionare le spese di costruzione. Il costo della rata annuale ammonta a **318.000 €.**

Infine si applicano le imposte con la metodologia precedentemente indicata.

La curva di costo specifico dell'impianto necessaria per stimare il costo totale viene ricavata da quella per impianti a cippato. A causa della tecnologia più affermata del gas naturale ci si aspetta prezzi più contenuti:

$$f(P) = -1.229 \ln(P) + 14.046$$

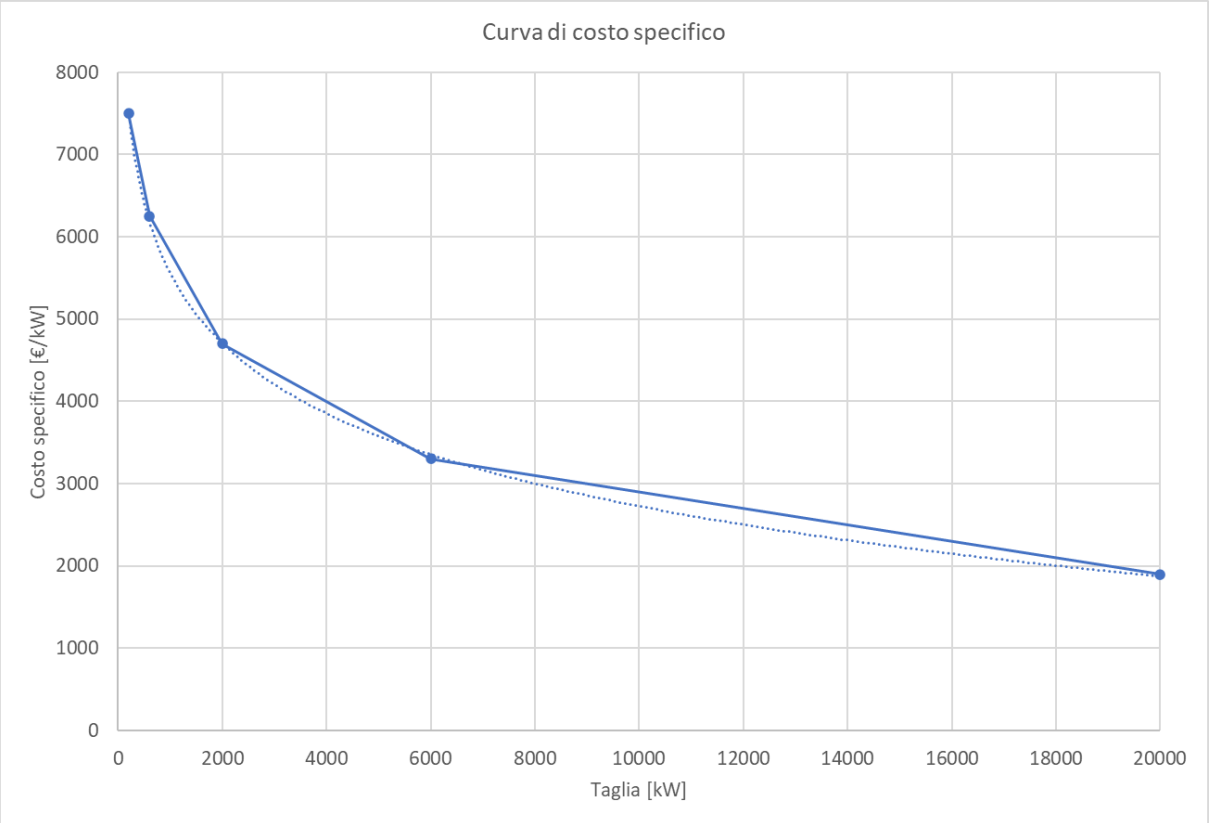


Figura 83 - Curva di costo specifica cogeneratori a gas naturale

L'impianto di Chiomonte oggetto di studio, ha quindi un costo ipotetico di **7.900.000 €**, Il ricavo $R_{i\ netto}$ annuo frutto dell'analisi costi ricavi si attesta sui **412.000 €.** Il flusso di cassa cumulato a fine vita utile dell'impianto si attesta a **1.940.000 €.**

Il tempo di ritorno per questo impianto è estremamente sensibile alle fluttuazioni dei costi e dei ricavi poiché i capitali che transitano nelle casse in un anno sono paragonabili al valore stesso dell'opera. Con le ipotesi fatte questo si attesta sui **14 anni.**

Anche i parametri di redditività del capitale remunerazione del rischio appaiono interessanti:

- ***ROI** = 10,6%*
- ***ROE** = 10,4%*

Si rimanda al capitolo di confronto tra tutte le soluzioni per la quantificazione dei benefici ottenibili dalla costruzione di un impianto di questa tipologia.

2.4. COMPARAZIONE TRA TUTTE LE FONTI ESAMINATE E SCELTA DELLE PIÙ INTERESSANTI

Questo capitolo si prefigge l'obiettivo di comparare tutte le soluzioni esaminate per avere una visione d'insieme delle potenzialità energetiche degli impianti di generazione . Da questa dovrebbero emergere gli impianti più interessanti con i quali si quantificherà il beneficio sul bilancio energetico ed economico del Comune.

Si sono esaminate le risorse idrica, eolica, e la cogenerazione ad alto rendimento da due fonti separate: cippato e gas naturale. Si procede mettendo a confronto le soluzioni prima tra quelle appartenenti alla stessa categoria e successivamente con quelle da altre fonti.

2.4.1. Risorsa Idrica

	Acqua fluente		
	Soubeyrand-Condomini	**Vasca di carico-Prato Richard**	**Condomini-Prato Richard**
Portata media corpo idrico alla presa [l/s]	55	57,6	64,6
Salto lordo [m]	219	578	505
Rendimento turbina	0,85	0,85	0,85
Rendimento alternatore	0,97	0,97	0,97
Rilascio Deflusso Ecologico [l/s]	50	50	50
Portata derivata massima [l/s]	50	20	23
Potenza massima disponibile ai morsetti [kW]	85,0	92,2	92,5
Producibilità media annua attesa [kWh]	**133.000**	**171.000**	**190.000**
Area di metodologia ERA	REPULSIONE (**)	REPULSIONE	REPULSIONE
Costo impianto [€]	**687.000**	**921.000**	**809.000**

Flusso di cassa cumulato [€]	-190.000	-279.000	-95.000
Tempo di ritorno [anni]	\	\	\
ROI	2,49%	2,40%	3,03%
ROE	2,45%	2,36%	2,99%

Tabella 51 - Tabella comparativa impianti ad acqua fluente

	Acquedotto		
	Acquedotto Frais	**Acquedotto Frais variante**	**Acquedotto Ramats**
Salto lordo [m]	245	90	432
Rendimento turbina	0,83	0,81	0,83
Rendimento alternatore	0,96	0,95	0,96
Portata massima [l/s]	8,5	12	5
Potenza massima disponibile ai morsetti [kW]	16,1	8,0	16,7
Producibilità media annua attesa [kWh]	**95.800**	**50.000**	**103.000**
Costo impianto [€]	**287.000**	**155.000**	**407.000**
Flusso di cassa cumulato [€]	52.000	14.900	-19.600
Tempo di ritorno [anni]	26	28	\
ROI	4,30%	3,92%	3,26%
ROE	4,00%	3,72%	3,23%

Tabella 52 - Tabella comparativa impianti su acquedotto

Per quanto riguarda la categoria ad acqua fluente, gli impianti presi in considerazione hanno caratteristiche molto simili. Nessuno risulta nettamente migliore né per energia prodotta né per bontà dell'investimento. Quello Condomini-Prato Richard presenta il valore massimo di energia ed il miglior ROI. Sono valori di basso interesse ma a causa delle intenzioni volte a valorizzare la risorsa si porta avanti comunque questa soluzione.

Le applicazioni su acquedotto assumono valori di interesse superiore. Si può notare come i costi degli impianti siano sempre inferiori ed i tempi di ritorno rientrino nella vita utile d'impianto. Le potenze disponibili influiscono solo in parte sull'energia producibile poiché aumentano a più di 8.000 le ore di funzionamento della macchina. L'applicazione per l'acquedotto di Ramats è da escludersi per valori insufficienti del ROI. Tra le

due varianti per la rete del Frais la prima risulta migliore sia dal punto di vista economico che per l'energia producibile.

2.4.2. Risorsa Idrica (Progetto Studio Rosso Ingegneri Associati)

	Touron	**Mollieres**	**Combascura**
Salto lordo [m]	699	144	235
Rendimento turbina	0,85	0,83	0,83
Rendimento alternatore	0,95	0,99	0,99
Rilascio Deflusso Ecologico [l/s]	\	50	50
Portata massima [l/s]	26	70	47,5
Potenza massima ai morsetti [kW]	162	78,7	83,5
Producibilità media annua attesa [kWh]	**1.137.000**	**184.000**	**285.000**
Area di metodologia ERA	\	REPULSIONE	REPULSIONE
Costo impianto [€]	**1.250.000**	**570.000**	**650.000**
Flusso di cassa cumulato [€]	2.200.000	87.000	305.000
Tempo di ritorno [anni]	11	26	21
ROI	11,72	4,16	5,65
ROE	9,35	3,90	4,97

Tabella 53 - Tabella comparativa impianti idroelettrici ad acqua fluente progettati dallo Studio Rosso Ingegneri Associati

Gli impianti riportati sono allo stato di progetto esecutivo nel caso di Touron e definitivo nel caso degli altri due. La taglia superiore consente una producibilità ben superiore rispetto a quelli di monte. Verranno riportati nel seguente capitolo di bilancio energetico per avere una visione generale e completa di tutte le soluzioni esaminate, progettate ed in via di esecuzione.

2.4.3. Risorsa Eolica

	Costa Brumeri		Cresta Quattro Denti	
	20 kW	**60 kW**	**20 kW**	**60 kW**
Velocità media del vento [m/s]	3,08	3,08	3,82	3,82
Potenza massima [kW]	19,9	59,9	19,9	59,9
Diametro rotore [m]	19	26	19	26
Area spazzata [m^2]	284	531	284	531
Altezza mozzo [m]	24	30	24	30
Velocità nominale [m/s]	6,6	7,6	6,6	7,6
Velocità cut-in [m/s]	2,5	2,5	2,5	2,5
Velocità cut-out [m/s]	16	16	16	16
Producibilità media annua attesa [kWh]	**34.000**	**66.000**	**56.000**	**143.000**
Costo impianto [€]	**75.000**	**170.000**	**75.000**	**170.000**
Flusso di cassa cumulato [€]	-50.100	-122.000	-33.600	-63.700
Tempo di ritorno [anni]	\	\	\	\
ROI	1,22	1,05	2,01%	2,27%
ROE	1,19	1,02	1,98%	2,24%

Tabella 54 - Tabella comparativa impianti eolici

Gli impianti eolici esaminati non dispongono di velocità del vento importanti ma sono comunque molto superiori alla media della regione Piemonte. L'energia producibile è comunque paragonabile a quelli delle altre categorie a parità di potenza. La tariffa minima garantita è molto sfavorevole rispetto alla risorsa idrica. Questo influisce pesantemente sul flusso di cassa cumulato e quindi sul tempo di ritorno dell'investimento.

Se l'energia venisse valorizzata come quella idrica i tempi di ritorno si attesterebbero sui 12-15 anni rendendo queste soluzioni le più interessanti nel panorama rinnovabile.

Tra tutte le possibilità esaminate la migliore è sicuramente in località Cresta Quattro Denti per la taglia di 60 kW per producibilità e per bontà dell'investimento.

2.4.4. Risorsa Fotovoltaica (Progetto preliminare Comune di Chiomonte)

	Cantina Maddalena	**Scuola elementare Lewis**	**Centro sportivo Frais**
Potenza [kW]	71,3	42,1	10,5
Producibilità media annua attesa [kWh]	**71.300**	**42.100**	**10.500**
Costo specifico	2.500	3.500	3.500
Costo impianto [€]	**176.000**	**150.000**	**36.000**
Flusso di cassa cumulato [€]	-123.000	-119.000	-28.300
Tempo di ritorno [anni]	\	\	\
ROI	1,0%	0,7%	0,7%
ROE	1,0%	0,7%	0,7%

Tabella 55 - Tabella comparativa impianti fotovoltaici

Anche nel caso fotovoltaico, la tariffa minima garantita è ancora più sfavorevole rispetto alla risorsa idrica. L'effetto sul flusso di cassa è disastroso. I tempi di ritorno si aggirerebbero sui 100 anni ed il ROI scende anche sotto l'1%. Il valore di producibilità è invece interessante, dello stesso ordine di grandezza o poco meno rispetto alle altre soluzioni. Queste, già pronte per essere installate verranno quindi conteggiate nel successivo bilancio energetico.

2.4.5. Cogenerazione ad alto rendimento

	Chiomonte cippato	**Frais cippato**	**Chiomonte gas naturale**
Potenza termica [kW]	1200	369	1977
Potenza elettrica [kW]	600	198	1578
Producibilità termica [kWh]	**7.605.000**	**1.321.000**	**9.774.000**
Producibilità elettrica [kWh]	**4.141.000**	**789.500**	**10.017.000**
Percentuale fabbisogno soddisfatto	56,8	78,1	72,9
Consumo di cippato [t/y]	3517	640	\
Consumo di gas naturale [Sm^3/y]	\	\	2.700.000
Tariffa vendita calore [€/MWh]	105	150	150
Costo impianto [€]	**4.980.000**	**1.900.000**	**7.890.000**
Flusso di cassa cumulato [€]	6.214.000	1.004.000	1.937.000
Tempo di ritorno [anni]	7	14	14
ROI	14,19%	8,92%	10,55%
ROE	15,69%	8,09%	10,44%

Tabella 56 - Tabella comparativa impianti cogenerativi

Questa categoria risulta normalmente economicamente interessante qualora si faccia funzionare per almeno 4000-5000 ore. Infatti a differenza dei precedenti, questi, presentano più voci di ricavo: energia elettrica, energia termica, titoli di efficienza energetica e credito d'imposta per gli impianti alimentati a biomassa legnosa.

Ne derivano tempi di ritorno in linea col mercato, addirittura accattivanti nel caso di Chiomonte capoluogo a cippato. Per quanto riguarda il capoluogo, la soluzione a cippato è da ritenersi migliore per svariati motivi:

- Minor sensibilità alla variazione del costo del combustibile
- Minor tempo di ritorno dell'investimento

- Emissioni globali di CO2 inferiori
- Minor tariffa di vendita del calore

L'impianto del Frais viene considerato idoneo per indici complessivamente molto positivi perché in linea col mercato.

3. RISULTATI DELLA RICERCA

3.1. RISULTATI OTTENUTI SUL BILANCIO DEL COMUNE

In questo capitolo vengono comparati la produzione degli impianti che si sono dimostrati più interessanti e i fabbisogni dell'utenza Chiomonte. E' così possibile comprendere se la generazione sia sufficiente a soddisfare in parte o completamente i carichi, in vista della costituzione di una comunità via via più autosufficiente.

3.1.1. Energia elettrica

Si riporta un primo diagramma a torta che rappresenta le componenti percentuali della produzione elettrica di tutte le soluzioni esaminate. L'apporto dalla sola cogenerazione raggiunge il 70%, mentre tutte le altre fonti sono racchiuse nel restante 30%.

	[MWh]
Idro Condomini-Prato Richard	190
Idro Acquedotto Frais	95.8
Idro Acquedotto Touron	1137
Idro Mollieres	184
Idro Combascura	285
Eolico Cresta Quattro Denti	142.6
Foto Cantina Maddalena	71.3
Foto Scuola elementare Lewis	42.1
Foto Centro sportivo Frais	10.5
Cippato Chiomonte	4141
Cippato Frais	789.5
Totale	7088.8

Tabella 57 - Tabella complessiva produzione elettrica Comune di Chiomonte

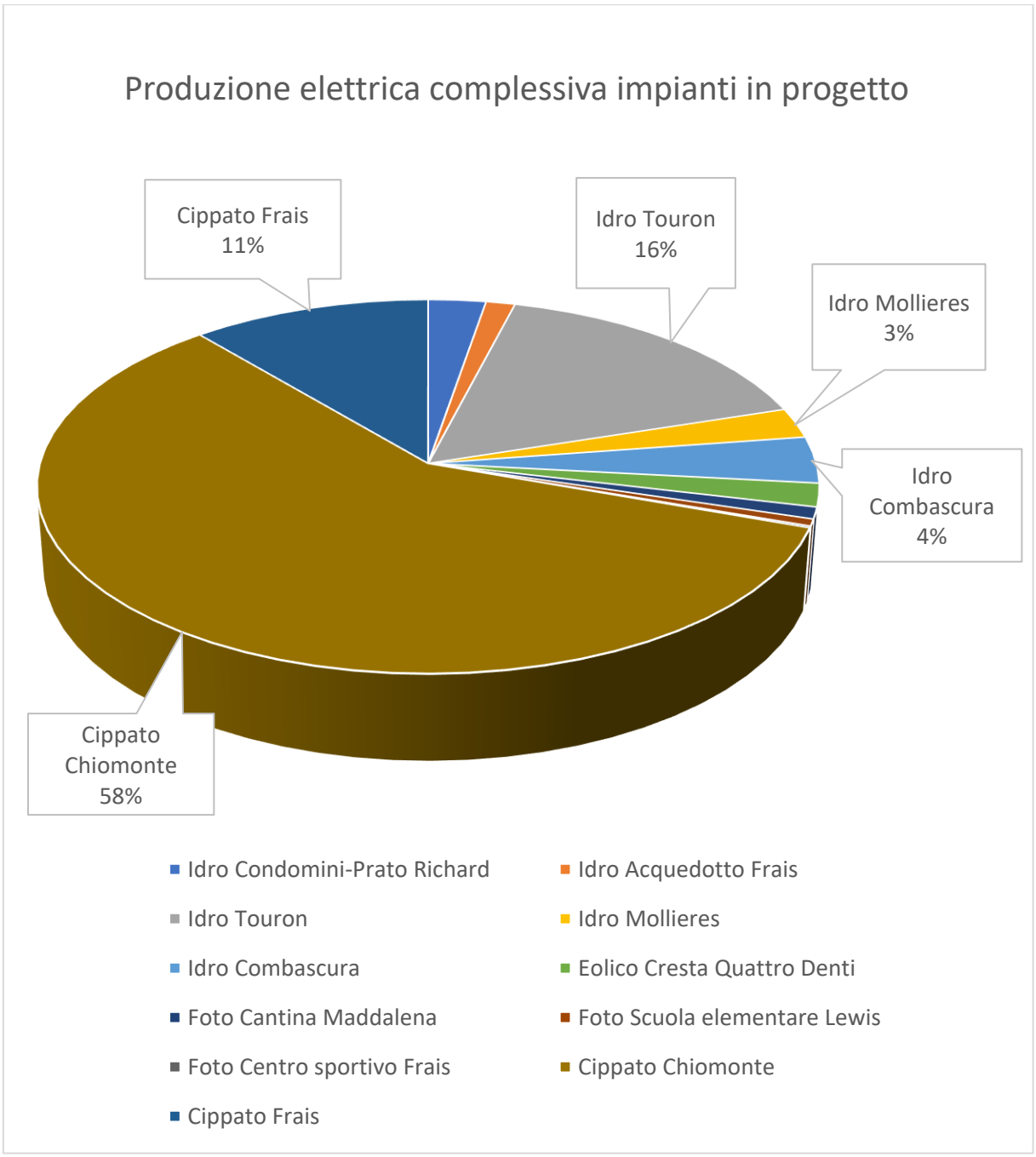


Figura 84 - Suddivisione percentuale della produzione elettrica Comune di Chiomonte

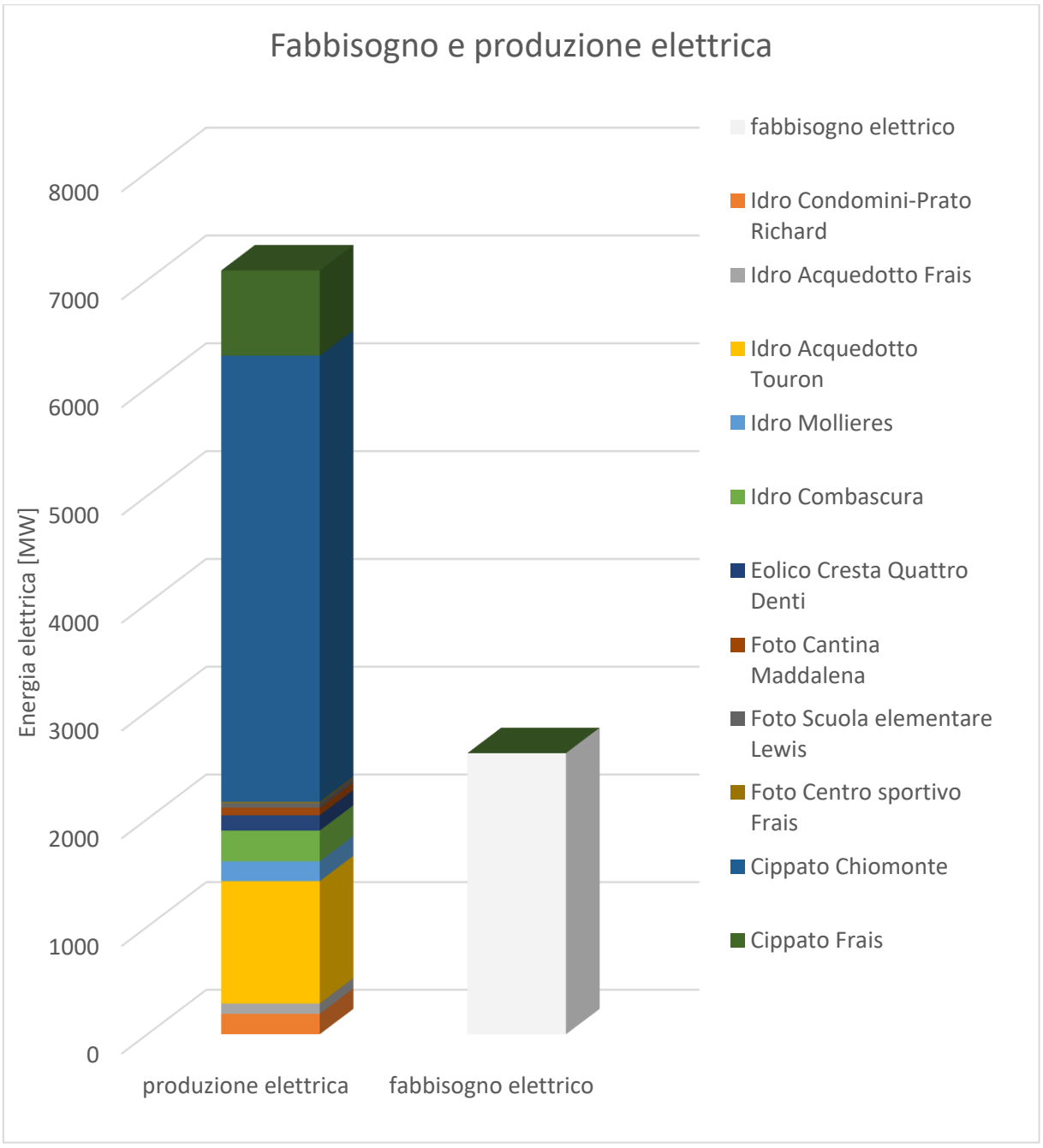


Figura 85 - Fabbisogno vs produzione elettrica Comune di Chiomonte

La produzione è quasi tripla rispetto al fabbisogno complessivo annuo pari a **2.612.000 kWh**. Per verificare l'effettiva autosufficienza elettrica in ogni istante è necessario ricostruire l'andamento della produzione di ogni fonte almeno a risoluzione oraria ed associarla alla curva dei carichi del centro abitato con la medesima risoluzione. Nel presente studio si è ricostruito l'andamento della produzione con un time-step giornaliero per gli impianti ad acqua fluente e mensile per tutti gli altri. Anche la curva dei carichi del centro abitato, essendo stata stimata da medie nazionali, presenta lo stesso dettaglio di quella di produzione.

La tabella seguente riporta i valori di potenza media mensile per impianto di generazione e quelli relativi ai carichi:

[kW]	Altri impianti	Idro Touron	Cippato Chiomonte	Cippato Frais	Produzione totale	Fabbisogni
gennaio	25	130	600	198	953	250
febbraio	25	130	600	198	953	240
marzo	60	130	600	198	988	250
aprile	100	130	600	155	985	272
maggio	300	130	600	0	1030	302
giugno	480	130	0	0	610	333
luglio	150	130	300	0	580	355
agosto	100	130	300	0	530	363
settembre	60	130	450	0	640	355
ottobre	45	130	600	0	775	333
novembre	25	130	600	155	910	302
dicembre	25	130	600	198	953	272

Tabella 58 - Andamento produzione e fabbisogni elettrici Comune di Chiomonte

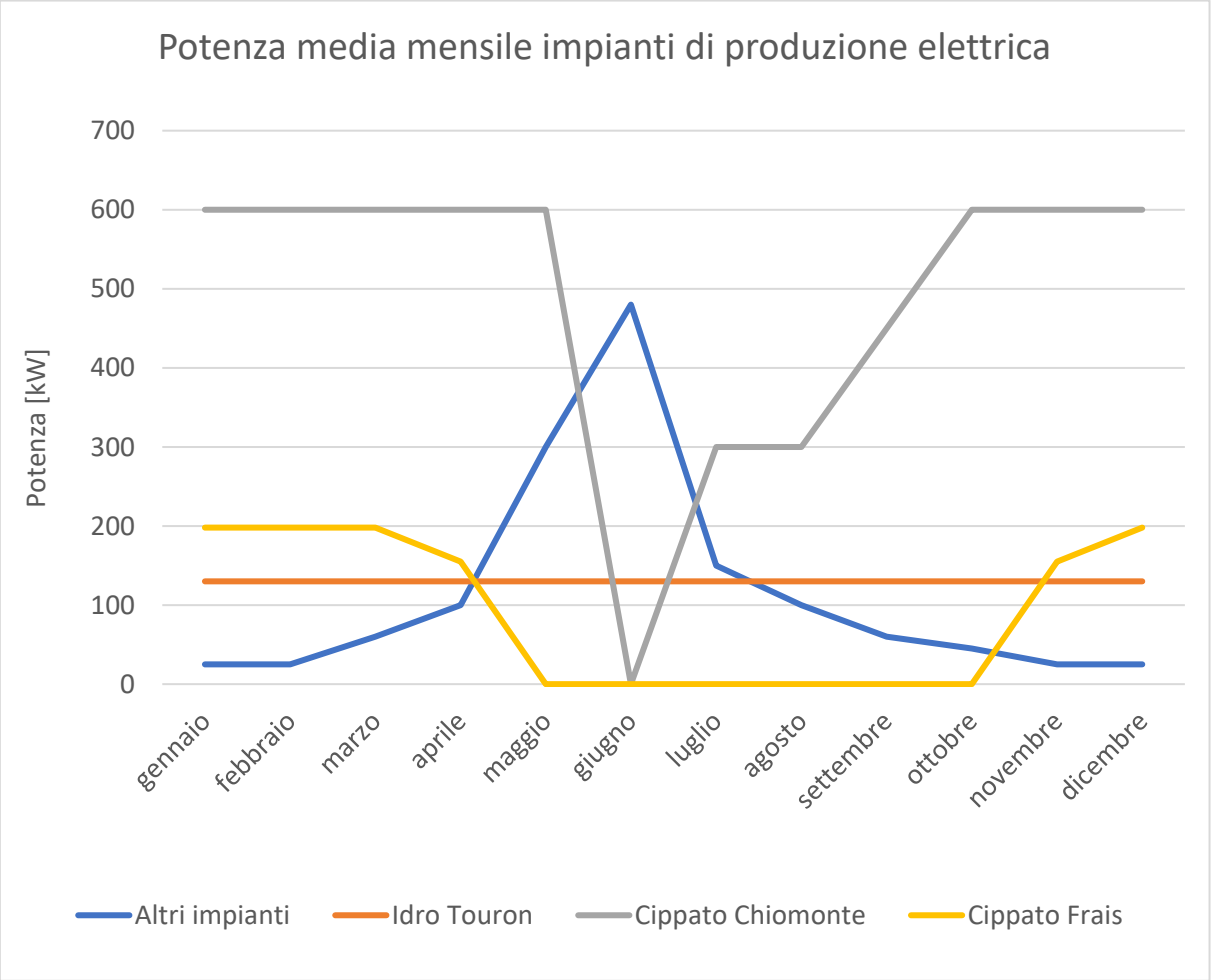


Figura 86 - Confronto potenza media mensile impianti di produzione elettrica

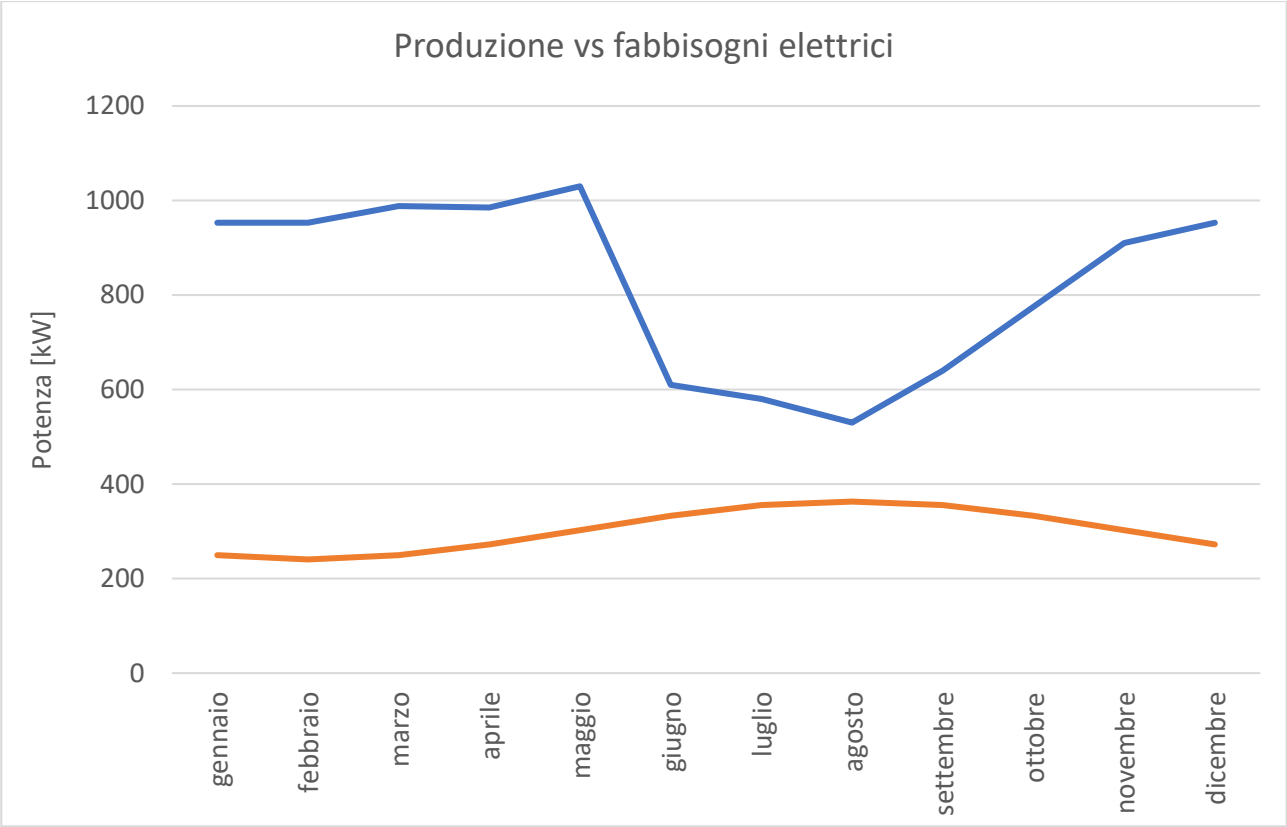


Figura 87 - Confronto produzione e fabbisogni elettrici

Alla scala di dettaglio mensile la produzione soddisfa i carichi per tutto l'anno; nel periodo invernale si percepisce il grande apporto fornito dai cogeneratori che vengono spenti o manutenuti durante il periodo estivo. Fortunatamente l'andamento delle portate disponibili e della radiazione solare è massimo durante i mesi di Maggio e Giugno compensando questa mancanza di potenza. Rimane più scoperto il periodo estivo attorno al mese di Agosto, nel quale possono lavorare solo gli impianti su acquedotto, l'eolico ed il fotovoltaico in parte minore. Il risultato è una curva abbastanza costante, che seppur presenti una depressione nei mesi estivi rimane sempre superiore ai 500 kW medi, valore molto soddisfacente.

3.1.2. Energia termica

Per quanto riguarda l'energia termica, sono già state analizzate le curve di durata di produzione e fabbisogno per eseguire il dimensionamento dei cogeneratori. Si riportano di seguito per ricapitolare il caso di Chiomonte capoluogo e del Frais:

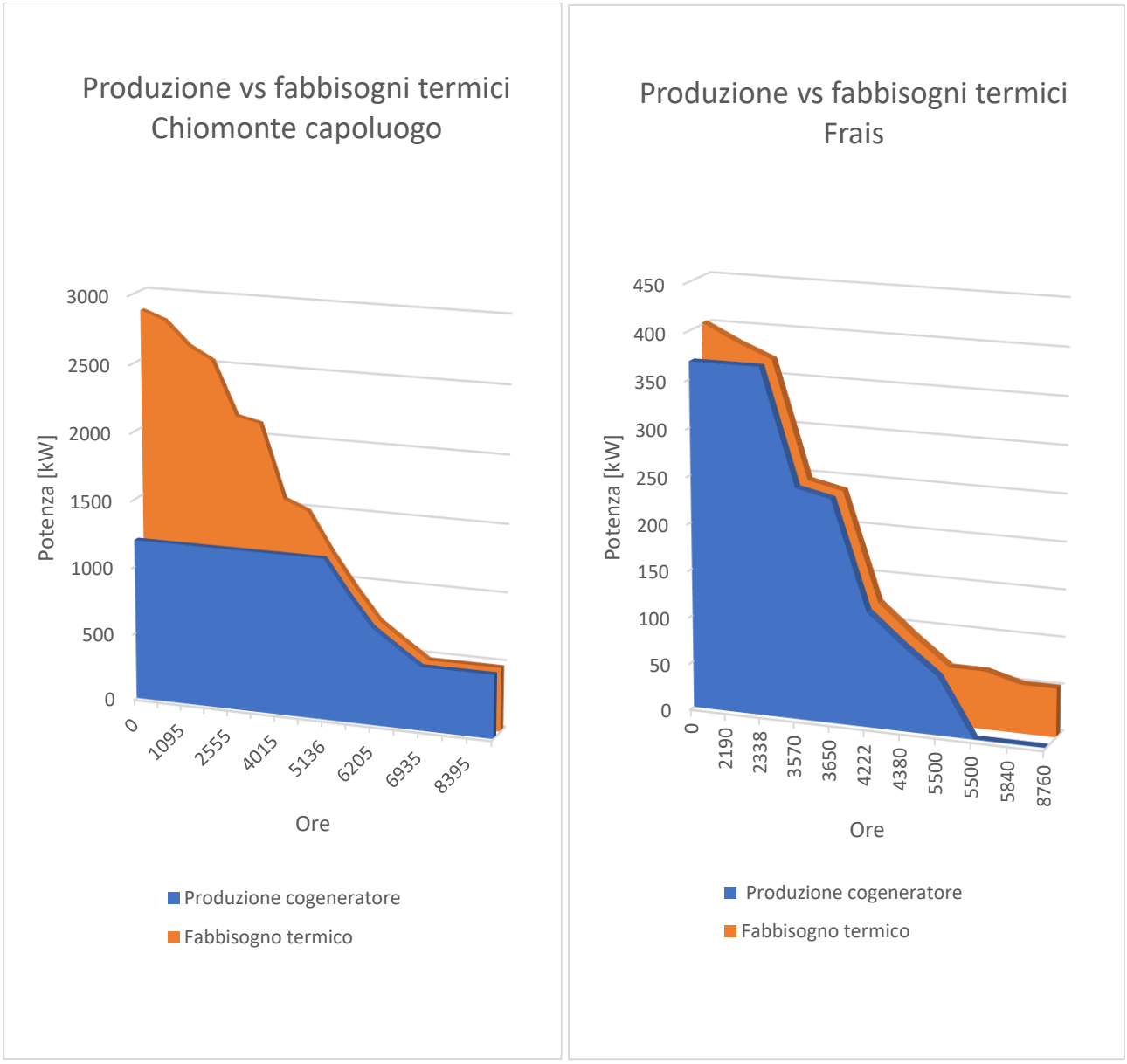


Figura 88 - Confronto tra produzione e fabbisogni termici di Chiomonte capoluogo e Frais

L'impianto di Chiomonte capoluogo, esercisce principalmente per utenze residenziali abitate tutto l'anno. Questo implica che venga privilegiato l'esercizio continuativo alla soddisfacimento dei picchi puntuali invernali. Questo impianto fornisce quindi un base-load che risulta sufficiente tranne che per la stagione invernale nella quale sono necessari apparecchi di integrazione. Un altro vincolo è stato rappresentato dalla taglia dell'impianto pari a 1.200 kW. Un'ipotetica seconda macchina avrebbe lavorato per un numero insufficiente di ore per ripagare l'investimento effettuato. Nel caso del Frais la rete viene dimensionata proprio per sopperire ai carichi di picco invernali dove si concentra la villeggiatura. La modularità dei cogeneratori ha infatti consentito un dimensionamento più preciso sui fabbisogni specifici di questo caso studio.

Una tabella riassume i valori complessivi di energia termica richiesta e prodotta:

[MWh]	Energia termica richiesta	Energia termica prodotta
Chiomonte cippato	13400	7605
Frais cippato	1691	1321
Totale	15091	8926

Tabella 59 - Tabella riassuntiva produzione vs fabbisogno energia termica

3.1.3. Bilancio economico

Il bilancio economico riporta i costi sostenuti per acquistare e condurre gli impianti ed i ricavi attesi al termine della vita utile di quest'ultimi. Si ipotizza di porsi a 30 anni dalla data odierna e quantificare il flusso di cassa netta cumulativo.

	Costo del solo impianto	Flusso di cassa netto	Tempo di ritorno
Idro Condomini-Prato Richard	809000	-95000	\
Idro Acquedotto Frais	287000	52000	26
Idro Acquedotto Touron	1250000	2200000	11
Idro Mollieres	570000	87000	26
Idro Combascura	650000	305000	21
Eolico Cresta Quattro Denti	170000	-63700	\
Foto Cantina Maddalena	176000	-123000	\
Foto Scuola elementare Lewis	150000	-119000	\
Foto Centro sportivo Frais	36000	-28300	\
Cippato Chiomonte	2490000	6214000	7
Cippato Frais	950000	1004000	14
Totale	**7538000**	**9433000**	

Tabella 60 - Tabella riassuntiva costi e ricavi degli investimenti

Il flusso di cassa netto totale è ampiamente positivo, seppur le soluzioni fotovoltaiche, eoliche e l'impianto idroelettrico ad acqua fluente siano negativi. Quelli con tempo di ritorno interessante hanno una taglia ben superiore agli altri e contribuiscono a migliorare complessivamente l'intervento. Il costo del solo impianto quantifica in modo approssimato quale sia il capitale da investire inizialmente, valore da confrontarsi con il flusso di cassa cumulativo netto.

Complessivamente l'intervento remunera circa il **125%** del capitale investito ed è quindi da considerarsi di grande interesse.

4. CONCLUSIONI

Lo studio ha permesso di quantificare le grandi potenzialità che si nascondono in un territorio già apparentemente sfruttato sia dal punto di vista energetico che soprattutto paesaggistico. Qui coesistono grandi impianti di generazione idroelettrica con opere vistose e vetuste insieme alle grandi infrastrutture di collegamento che attraversano la valle. In particolare il cantiere dell'alta velocità Torino-Lione, l'autostrada Torino Bardonecchia e la ferrovia del Frejus.

I nuovi impianti devono quindi adattarsi ad una situazione delicata, nella quale è fondamentale minimizzare al massimo ulteriori impatti ambientali, per questo tutte le soluzioni esaminate sfruttano una risorsa già presente sul territorio che possa essere facilmente convertita.

In primo luogo l'esistenza stessa della rete acquedottistica implica che sia veicolata dell'energia dall'acqua potabile, la quale viene normalmente dissipata. Si è evidenziato che questa energia raggiunge da sola il 40 % del fabbisogno elettrico di tutto il Comune. In secondo luogo il dimensionamento di impianti ad acqua fluente su rii secondari ha evidenziato una bassa sostenibilità economica a causa degli obblighi di rilascio di deflusso ecologico e delle ridotte portate. Se come nel presente caso si dispone di una ingente produzione di biomassa legnosa a filiera corta, allora diventa di grandissimo interesse la sua valorizzazione attraverso un cogeneratore ad alto rendimento che fornisca contemporaneamente energia elettrica e calore per il teleriscaldamento. Questa competitività non si riscontra nei cogeneratori a gas naturale. Nel periodo storico presente questa risorsa è troppo suscettibile per variazioni ed ha raggiunto costi spropositati. La scelta di un combustibile fossile è comunque da rifiutare nel confronto con quelli sostenibili e provenienti dal territorio. Emerge infine la sostanziale insufficienza della risorsa eolica su tutto il territorio comunale ed in particolare nel fondovalle dove l'installazione sarebbe più facile.

Queste considerazioni hanno consentito di inquadrare tutte le possibilità perseguibili, con lo scopo di fungere da progetto pilota per studi su altre realtà montane. Complessivamente questi impianti producono 7.000.000 kWh all'anno che corrispondono al 250% del fabbisogno elettrico e 8.900.000 kWh che corrispondono al 59 %. La complementarietà temporale delle fonti di produzione elettrica conducono ad un valore complessivo abbastanza costante nel tempo. L'autosufficienza è assicurata sia in termini di bilancio annuale che mensile mentre non è stato possibile confermare anche quella istantanea. Con un investimento iniziale di 10 milioni di € questi impianti vengono completamente ripagati e producono una rendita di egual valore entro la vita utile di 30 anni.

La valorizzazione della biomassa legnosa attraverso la combustione emette un quantitativo di CO_2 paragonabile a quella fissata dalle piante abbattute, per questo motivo gli impianti in regime di funzionamento non emettono CO_2 fossile.

In termini di energia prodotta e emissioni in atmosfera ci sono tutti i presupposti per avviare la costituzione di una comunità energetica quasi completamente autosufficiente. Per un primo periodo si ritiene necessario l'allaccio alla rete elettrica nazionale e l'integrazione termica da parte delle utenze per sopperire ai picchi di richiesta. Successivamente, raggiunta l'autosufficienza, sarebbe possibile la completa separazione dalle forniture esterno. Questo studio si caratterizza come punto di partenza per studi futuri che approfondiscano le curve di produzione e fabbisogno per verificare l'autosufficienza in ogni istante e quindi effettuare la comunità energetica completamente autonoma.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Arpae Emilia-Romagna (2018) - *Consumi energetici comunali ER 2018 [MWh].*

[2] Arpae Emilia-Romagna (2018) - *Consumi energetici comunali ER 2018 [MWh].*

[3] Badami M. (2021) – *Appunti di Impiego industriale dell'energia*. Politecnico di Torino, inedito.

[4] Comune di Chiomonte (2022) - *Realizzazione di un impianto di teleriscaldamento a servizio di utenze residenziali nell'edificato urbano di Frais alimentato a cippato di origine forestale – Relazione tecnica.*

[5] GIT S.r.l. (2021) - *Impianto idropotabile "Orsiera – (Grange Burin) – Touron" – Relazione tecnico-illustrativa.*

[6] GIT S.r.l. (2021) - *Impianto idropotabile "Orsiera – (Grange Burin) – Touron" – Relazione di calcolo idraulica.*

[7] Lanzini A. (2020) – *Appunti di Energetica e fonti rinnovabili.* Politecnico di Torino, inedito.

[8] Poggio A. (2020) – *IC.esercitazione5.TLR_ORC_CAR* – Impianti di cogenerazione. Politecnico di Torino, inedito.

[9] Rosso M. (2020) – *Appunti di Impianti idroelettrici. Politecnico di Torino, inedito.*

[10] SRIA S.r.l. (2022) - *Impianto idropotabile "Orsiera – (Grange Burin) – Touron" e adeguamento centralina idroelettrica – Relazione tecnica integrativa.*

[11] SRIA S.r.l. (2022) - *Impianto idropotabile "Orsiera – (Grange Burin) – Touron" e adeguamento centralina idroelettrica – Relazione generale.*

[12] SRIA S.r.l. (2022) - *Impianto idropotabile "Orsiera – (Grange Burin) – Touron" e adeguamento centralina idroelettrica – Relazione idrologico-idraulica.*

[13] SRIA S.r.l. (2022) - *Nuovo Impianto idroelettrico denominato "Mollieres" in Comune di Chiomonte – Foglio di calcolo: Regime portate .*

[14] SRIA S.r.l. (2022) - *Nuovo Impianto idroelettrico denominato "Mollieres" in Comune di Chiomonte – Foglio di calcolo: Idrologia e producibilità*.

[15] SRIA S.r.l. (2022) - *Nuovo Impianto idroelettrico denominato "Mollieres" in Comune di Chiomonte – Relazione tecnica particolareggiata.*

[16] SRIA S.r.l. (2022) - *Nuovo Impianto idroelettrico denominato "Mollieres" in Comune di Chiomonte – Relazione idrologico idraulica.*

[17] Studio tecnico Panuzzo (2022) - *Progetto definitivo impianto fotovoltaico "MADDALENA" da 71,28 kWp.– Relazione tecnica e specifica d'impianto.*

[18] Studio tecnico Panuzzo (2022) - *Progetto definitivo impianto fotovoltaico "CENTRO SPORTIVO FRAIS" da 10,53 kWp.– Relazione tecnica e specifica d'impianto.*

[19] Studio tecnico Panuzzo (2022) - *Progetto definitivo impianto fotovoltaico "PARCO GIUSEPPE LEVIS" da 42,12 kWp.– Relazione tecnica e specifica d'impianto.*

6. SITOGRAFIA

[1] ARPA Piemonte (2022) – *Geoviewer 2D* – [online] Disponibile a: < https://geoportale.arpa.piemonte.it/app/public/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[2] Comune di Chiomonte (2022) – [online] Disponibile a: < https://www.Comune.chiomonte.to.it/il-Comune/informazioni-sul-territorio/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[3] Comune di Venaus (2022) – [online] Disponibile a: < https://www.Comune.venaus.to.it/it-it/home > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[4] Enel Green Power (2022) – Impianti - [online] Disponibile a: < https://www.enelgreenpower.com/it/impianti > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[5] Ergo Wind (2022) – [online] Disponibile a: < http://ergowind.it/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[6] Franchetto F. (2018) – Idroelettrico: regolazione e iter autorizzativi – Rienergia - [online] Disponibile a: <https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/33116/Idroelettrico:+regolazione+e+iter+autorizzativi/Franchetto > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[7] Global Wind Atlas (2022) – [online] Disponibile a: < https://globalwindatlas.info > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[8] Gruppoiren (2022) – Produzione energia - [online] Disponibile a: < https://www.gruppoiren.it/it/i-nostri-servizi/produzione-energia.html > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[9] GSE (2022) – *Autorizzazioni per gli impianti alimentati da fonti rinnovabili* – [online] Disponibile a: < https://www.gse.it/normativa/autorizzazioni> [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[10] Linea Green (2022) – *Prezzi base per teleriscaldamento* – [online] Disponibile a: < https://www.linea-green.it/prezzi-base-del-teleriscaldamento/> [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[11] Provincia di Torino (2022) – *Quaderno analisi degli insediamenti produttivi di rilevanza sovracomunale valle di Susa*– [online] Disponibile a: < http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/risorse/territorio/dwd/pianificazione-territoriale/ptc2/allegato2/FascicoloVALLEDISUSA.pdf > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[12] Re^2 (2022) – [online] Disponibile a: < https://www.holz-kraft.com/it/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[13] Terna (2022) - *Consumo di energia elettrica per settore* – [online] Disponibile a: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzkyMTFjNWEtNmJhNy00YjAxLWJjOGYtMjVjZjRlODZmNjIzIiwidCI6ImVjY2Q3MzRlLTcwMjItNDcwOS1hYmE1LWE1ZGQ3NzkyOWUyNyIsImMiOjh9&pageName=ReportSection> [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[14] Tozzi Nord (2022) – [online] Disponibile a: < https://www.tozzinord.com/it/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

[15] Viessmann (2022) – [online] Disponibile a: < https://www.viessmann.it/ > [Ultimo accesso 13 Settembre 2022].

7. RIFERIMENTI FIGURE

Figura 1: [online] Disponibile a: <http://www.afp-valdisusa.it/la-val-di-susa.html> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 2: [online] Disponibile a: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Val_di_Susa_mappa.png> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 3: [online] Disponibile a: < https://www.italiadascoprire.net/piemonte/provincia-torino/Comune-bardonecchia/val-di-susa.html> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 5: [online] Disponibile a: < https://www.gulliver.it/itinerari/quattro-denti-cima-o-denti-di-chiomonte-da-s-antonio-di-ramats-anello/> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 13: [online] Disponibile a: < https://www.guidatorino.com/lago-rochemolles-piemonte/> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 14: [online] Disponibile a: < https://mapio.net/pic/p-19739586/> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 15: [online] Disponibile a: < https://www.Comune.venaus.to.it/it-it/vivere-il-Comune/cosa-vedere/centrale-idroelettrica-enel-21810-1-2ac0874b000808702a7b1b9309b8cff9> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 16: [online] Disponibile a: < https://www.ireninforma.it/luca-mercalli-alla-centrale-iren-di-pont-ventoux> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 17: [online] Disponibile a: < https://www.archeologiaindustriale.org/centrale-idroelettrica-di-chiomonte-to/> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 18: [online] Disponibile a: < https://www.valsusaoggi.it/susa-e-chiomonte-produrranno-energia-per-30-milioni-di-kWh-rinnovate-le-centrali-iren/> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figura 25-26: [online] Disponibile a: < https://cvaspa.it/centrale-di-montjovet> [Ultimo accesso 20 Settembre 2022].

Figure restanti: SRIA S.r.l. (2022)

8. INDICE DEI SIMBOLI

- E: Energia [Wh];
- P: Potenza [W];
- GG: Gradi giorno [°C];
- Pop: Popolazione;
- n: Quantità, numero;
- S: Superficie [m^2];
- ΔH: Dislivello [m];
- H: Altitudine [m];
- A: Afflusso meteorico [mm];
- DS: Deflusso medio [$l/s/km^2$];
- a: Coefficiente di omogenizzazione per mese;
- b: Coefficiente di omogenizzazione per mese;
- Q: Portata [l/s];
- q: Portata specifica [$l/s/km^2$];
- K,k: Coefficienti;
- L: Lunghezza [m];
- β: Beta di Darcy;
- D: Diametro [m];
- p: Perdite di carico [m];
- C: Costi [€];
- c: Costi specifici [€/kW];

- g: Accelerazione di gravità [m/s^2];
- h: Ore;
- y: Anni;
- η: Rendimento;
- R: Ricavi [€];
- i: Tasso di inflazione;
- f(x): Funzione di x;
- ROI: Tasso di rendimento sul totale degli investimenti;
- ROE: Indice di redditività del capitale proprio;
- IRAP: Imposta sul reddito dell'attività produttiva [€];
- IRES: Imposta sul reddito delle società [€];
- IMU: Imposta municipale propria [€];
- TEE: Titolo di efficienza energetica;

9. RINGRAZIAMENTI

Per concludere vorrei innanzi tutto ringraziare mio nonno Riccardo, che fin da quando ero piccolo ha sognato di vedere suo nipote laurearsi.

Un grande ringraziamento va alla professoressa Elena Comino, relatrice di questa tesi, che mi ha supportato nella stesura dell'elaborato.

Ringrazio il professore Maurizio Rosso con cui ho affrontato un percorso di crescita iniziato con il corso seguito al Politecnico continuato successivamente col tirocinio e l'esperienza lavorativa svolta presso lo Studio Rosso Ingegneri Associati.

Dello Studio Rosso ringrazio tutti i miei colleghi, che mi hanno accolto e seguito fin dal primo giorno mettendo le basi per un ottimo ambiente lavorativo.

Si ringrazia in particolare il Comune di Chiomonte per avermi fornito documenti progettuali, dati e supporto fondamentali per approfondire la trattazione.

Abbraccio forte Rebecca e i miei genitori che mi hanno sempre e dico sempre sostenuto in tutto il percorso di studi. Un pensiero speciale va a nonna Rina che mi ha sempre donato tantissimo affetto e con la quale ho trascorso tutta l'infanzia.

Infine, ma ugualmente importanti, ringrazio i miei compagni di corso e gli amici con cui ho scherzato e reso leggeri i momenti di grande impegno trascorsi in questi anni.