

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Chimica e dei Processi Sostenibili**

Tesi di Laurea Magistrale

**Interventi per il risparmio energetico nel sistema di
adduzione di acqua potabile dell'azienda Acea
Pinerolese Industriale, API S.p.A.**



Relatore

Prof. Bernardo Ruggeri

Correlatrice

Ing. Raffaella Turaglio

Candidato

Giuseppe Carenza

Dicembre 2017

Indice

1. Introduzione	1
2. Approvvigionamento idrico potabile	3
2.1. Territorio e Acque	3
2.2. Analisi di sostenibilità energetica	4
2.2.1. Classificazione dei contributi energetici	6
2.2.1.1. Calcolo dell'energia indiretta	7
2.2.2. ESI "Energy Sustainability Index"	8
2.2.3. EROI "Energy Return On Investment"	8
2.2.4. EPT "Energy Payback Time"	8
2.3. Le opere	9
2.3.1. Le opere di infrastruttura	9
2.3.2. Le opere accessorie	12
2.4. Caso studio	13
2.4.1. Captazione e adduzione in altura	14
2.4.2. Analisi di inventario	21
2.4.3. Valutazione della sostenibilità energetica	23
2.4.3.1. Sostenibilità energetica impianto API S.p.A	32
3. Bilancio idrico e indicatori di performance per la gestione delle perdite	35
3.1. IWA e metodo	35
3.1.1. Valutazione dell'acqua non fatturata	36
3.1.1.1. Tecnica top-down: bilancio idrico annuale	36
3.1.1.2. Perdite annuali inevitabili: UARL	37
3.1.1.3. Indicatori di performance: CARL e ILI	38
3.1.1.4. Tecnica Bottom Up: MFN e CMN	40
3.1.2. Risparmio energetico potenziale	44
3.1.3. Casi studio	44
4. Conclusioni	51
Lista dei simboli	53
Riferimenti bibliografici	57
Appendici	59
Ringraziamenti	79

1. Introduzione

La possibilità del recupero energetico è una meta ambita in campo industriale. Questo ha spinto anche le aziende che si occupano dei servizi pubblici, a ricercare nuovi accorgimenti per poter ottenere un recupero energetico e di conseguenza un ricavo economico, il più possibile elevato. Tuttavia il loro obiettivo primario rimane l'offerta di un servizio pubblico continuativo e di qualità.

Nel servizio idrico integrato della realtà pinerolese, la necessità di apportare una risorsa idrica di qualità alla distribuzione, in pianura, ha indotto la scelta di captare acqua in altura. Il salto geodetico disponibile, tra la captazione e la distribuzione, si traduce in elevate pressioni (a valle di esso) che potrebbero creare sollecitazioni non sopportabili dalla rete. Sebbene normalmente l'attività più semplice per abbattere la pressione risulta essere l'utilizzo di una valvola, è stato deciso di effettuare un recupero energetico mediante delle minicentrali idroelettriche.

L'obiettivo dello studio è quello di comprendere se la scelta di trent'anni or sono sia stata lungimirante ai fini energetici e se, ad oggi, l'impianto si sia ripagato dell'energia spesa per la costruzione, per il mantenimento e l'ammortamento.

Per il raggiungimento di tale obiettivo, in questo elaborato si è utilizzata la procedura fuzzy per valutare la sostenibilità energetica di un processo.

La procedura fuzzy consente di gestire i valori Energy Return on Investment (EROI) e Energy Payback Time (EPT) come parametri caratterizzanti per la valutazione di sostenibilità energetica. La procedura, che è solitamente articolata in tre fasi, è stata però utilizzata solo parzialmente. Se di solito un primo screening tra diversi processi viene eseguito utilizzando l'indice di sostenibilità energetica (ESI), che tiene conto del totale dell'energia prodotta riferita all'energia diretta consumata (calore ed elettricità), ciò non è stato utilizzato nel caso studiato in quanto si analizza un solo processo. Il secondo passo invece, in accordo con la procedura fuzzy, è stato quello di quantificare ogni sostanza chimica, materiale ed energia utilizzati dalla tecnologia per stimare l'Energia Utile, prendendo in considerazione tutti i termini di Energia Indiretta. Il terzo step ha invece previsto la valutazione di due parametri: EROI ed EPT, ed è avvenuto considerando tutti i flussi di energia coinvolti [1].

Se tale studio è stato effettuato nell'ambito della captazione e adduzione della risorsa idrica necessaria per il servizio, ci si è posto anche il problema della ricerca di criticità all'interno della distribuzione. Infatti, una criticità generale degli acquedotti è la perdita idrica durante la distribuzione in rete. Si sono utilizzati, quindi, differenti strumenti per la comprensione dei distretti cittadini in modo da comprendere quali fossero le reali possibilità di risparmio energetico.

La metodologia utilizzata per il raggiungimento di questo secondo obiettivo è costituita da due differenti tecniche: bilancio idrico top-down e indicatori di performance, e Bottom Up.

La prima ha come fine la determinazione delle perdite reali all'interno di un sistema di distribuzione. Per ottenere tale valore è stato necessario stimare i vari contributi del volume di acqua fatturata e non fatturata durante l'anno di esercizio. Poiché l'utilizzo delle perdite reali come performance indicatore è altamente sconsigliato, in quanto non considera gli elementi caratterizzanti della rete di distribuzione, è stato introdotto l'indicatore di performance ILI "Infrastructure Leakage Index" definito dal rapporto tra le perdite reali (CARL) e le perdite

inevitabili (UARL). In base al valore di ILI è stato possibile risalire al livello di esigenza di intervento per l'abbattimento delle perdite [10]. La differenza tra le due tipologie di perdite, all'interno di un distretto che non utilizza acqua per caduta, ci ha permesso di esprimere un potenziale risparmio energetico (PRE).

L'approccio Bottom Up consente di pervenire ad una stima delle perdite idriche sottraendo al Minimo Flusso Notturmo, rilevato mediante misure dirette, un valore specifico di riferimento per l'utenza - definito in funzione della sua tipologia, dell'estensione della rete e della pressione di esercizio - chiamato Consumo Minimo Notturmo (CMN) [12].

L'elaborato è strutturato in modo tale da mettere in risalto i due macro-argomenti sopra esposti. In seguito all'introduzione (cap.1) vi è dunque la descrizione della procedura per la valutazione della sostenibilità energetica e la sua applicazione al caso studio (cap. 2); a seguire si trova sia la descrizione delle tecniche top-down e Bottom Up che la loro applicazione ai casi studio in esame (cap.3). Sono state riportate, infine, le conclusioni (cap. 4) atte ad analizzare i risultati ottenuti in merito ai differenti casi studio effettuati.

2. Approvvigionamento idrico potabile

2.1 Territorio e Acque

Territorio

Le caratteristiche fondamentali che rendono idoneo un territorio all'installazione di un impianto con minicentrale idroelettrica sono la presenza di discontinuità morfologiche, tali da presentare un salto geodetico utile per la produzione di energia elettrica, e la presenza del fluido motore, ossia l'acqua.

A tali caratteristiche, scontate per un territorio tipicamente montuoso, bisogna affiancarne delle altre che, seppur secondarie, sono necessarie affinché l'installazione dell'impianto possa risultare meno gravoso sia a livello economico che a livello energetico. Importanti risultano dunque, la facilitata possibilità di captazione dell'acqua attraverso un bacino idrico, una sorgente o dei campi pozzi, e la presenza di vie di collegamento quali strade o ferrovie utili al trasporto dei materiali necessari per l'installazione dell'impianto.

Un territorio brullo, impervio e privo di queste arterie, perciò si rivelerà disagiata non solo per la costruzione delle opere edili e civili necessarie, ma anche per la difficoltà nel raggiungimento dell'impianto stesso sia in fase di installazione che in quelle di manutenzione e dismissione.

Tuttavia è doveroso precisare che nel caso di un versante montuoso, ad esempio, oltre ai disagi sopra esposti si presenterebbe il beneficio di dover utilizzare condotte meno lunghe, le quali darebbero vita a una diminuzione delle perdite di carico distribuite in quanto l'accentuata ripidità del versante permetterebbe l'ottenimento elevati salti geodetici. In seguito a quanto appena affermato, è facile pensare che sarebbe ideale lavorare con una condotta verticale, tuttavia ciò non è possibile.

È questa la ragione per cui nella maggior parte dei casi si decide di sfruttare le vie di collegamento preesistenti, in modo tale che l'installazione dell'impianto sia meno oneroso, a spese di una maggiore lunghezza della condotta e di perdite di carico distribuite maggiori, difatti per ottenere salti geodetici apprezzabili bisogna percorrere lunghezze dell'ordine dei chilometri.

Acque

Fondamentali sono inoltre la qualità e la potabilità dell'acqua.

Non bisogna dimenticare che l'obiettivo principale è quello di sopperire alle richieste delle utenze acquedottistiche, e che l'installazione delle minicentrali non ha come fine principale quello di produrre energia bensì quello di recuperarla, mantenendo però inalterate le proprietà chimico-fisiche, biologiche e organolettiche dell'acqua che le attraversa.

L'idea è quella di sfruttare il salto geodetico presente nel territorio che andrebbe perso qualora l'acqua, indispensabile per gli utenti a fondo valle o in pianura, fosse semplicemente canalizzata o qualora, a causa delle elevate pressioni generate, si utilizzassero delle valvole riduttrici di pressione prima dell'immissione dell'acqua nella rete.

D'altra parte si deve cercare di avere una portata circa costante, nel sito di captazione, nei lunghi periodi di tempo, tenendo comunque presente che quest'ultima può sempre subire le variazioni stagionali tipiche di una risorsa idrica.

Le acque disponibili sono di tre tipologie: meteoriche, superficiali e sotterranee.

Le prime, ossia le acque meteoriche, contengono in soluzione i gas costituenti l'atmosfera, ma non contengono generalmente sostanze solide ed organiche. La loro scarsa costanza e/o disponibilità, tuttavia, non è compatibile con le richieste tipiche di un sistema acquedottistico.

Le acque superficiali invece, hanno caratteristiche chimico-fisiche variabili nel tempo, contengono di solito residui organici e microrganismi (anche patogeni), e presentano la possibilità di essere inquinate a causa delle attività dell'uomo con cui si interfacciano. Inoltre, nei periodi di precipitazioni abbondanti il materiale in sospensione può facilmente aumentare.

Le acque sotterranee, infine, risultano essere le migliori, tra le tre menzionate, a causa dello scarso contenuto di solidi in sospensione dovuto all'azione filtrante del suolo, anche se presentano, allo stesso tempo, un'elevata quantità di sostanze gassose e solide disciolte in esse. Ciò le rende compatibili per l'uso potabile qualora si rivelino microbiologicamente pure, in caso contrario possono essere trattate con leggeri trattamenti depurativi.

2.2 Analisi di sostenibilità energetica

La ricerca e l'utilizzo di nuove fonti energetiche sono state causate dalla diminuzione delle risorse non rinnovabili. Ciò ha portato all'individuazione di risorse rinnovabili e allo studio di nuove tecnologie specifiche per il loro utilizzo.

Da quel momento, si rende quindi necessario misurare il livello di sostenibilità di tali tecnologie utilizzando uno strumento efficace ed obiettivo.

Si utilizza la procedura fuzzy per valutare la sostenibilità energetica di un processo. La procedura consente di gestire i valori Energy Return on Investment (EROI) e Energy Payback Time (EPT) come parametri caratterizzanti per la valutazione di sostenibilità energetica

Si deve per tanto introdurre il concetto di servizio energetico, o "Energy Service", al fine di comprendere al meglio il significato di sostenibilità energetica; esso è inteso come Useful energy, energia necessaria all'utente finale, cioè la forma finale in cui l'energia è spendibile per supportare le esigenze della società [1].

La Figura 2.1 rappresenta come la "Energy Service" derivi da fonti energetiche primarie, che possono essere utilizzate solo attraverso vari processi tecnologici, e come la quantità di energia nel flusso tra un blocco e l'altro dipenda dalla tecnologia utilizzata.

Per valutare la tecnologia più appropriata è possibile utilizzare la sostenibilità energetica, in quanto si ritiene essere la strada più appropriata per giudicare le differenti tecnologie.

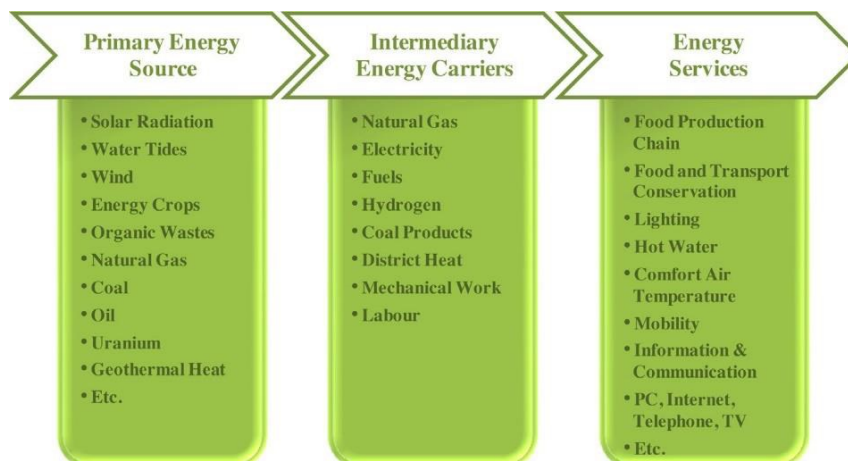


Figura 2.1: Layout del flusso di energia: dalla risorsa al servizio energetico [1].

Verificando la sostenibilità energetica attraverso l'analisi energetica, per valutare se una tecnologia è valida per la produzione di Useful energy per la società, è importante avere come obiettivo il riconoscimento del carico energetico connesso a un processo produttivo.

Come rappresentato in Figura 2.2, per valutare la Useful energy di una tecnologia è necessario calcolare quindi sia l'energia diretta che quella indiretta richieste per produrla. L'energia indiretta è consumata per soddisfare tutte le necessità della tecnologia, e comprende anche quella indispensabile per produrre e trasportare l'energia e per produrre i materiali utilizzati nel medesimo processo. L'energia diretta, invece, rappresenta la quota di energia consumata per il funzionamento del processo.

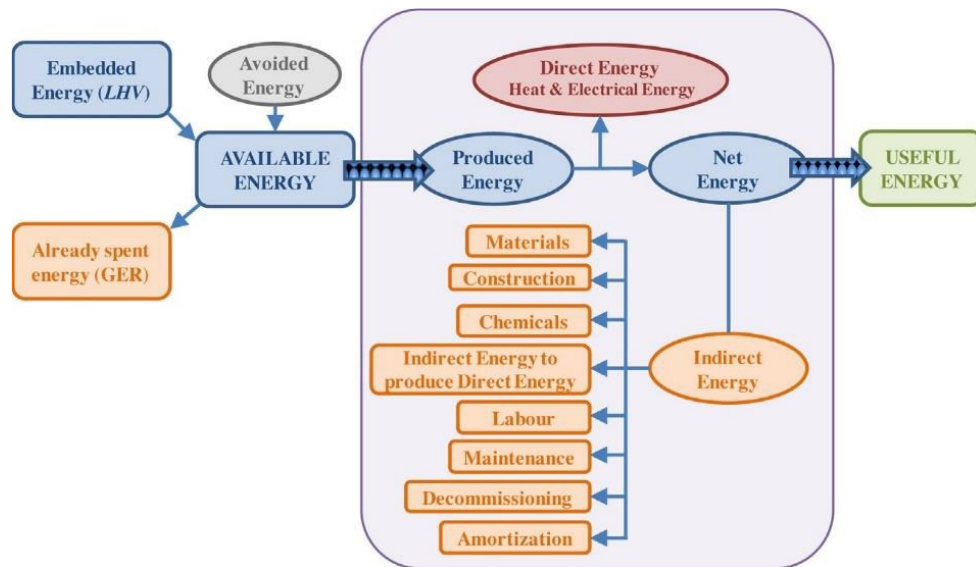


Figura 2.2: Contributi di energia presenti in una tecnologia energetica [1].

La quantificazione della *Useful energy* prodotta da un processo, è basata sulla visione espressa nella metodologia della Analisi del Ciclo Vita. Il cardine dell'analisi è la globalità del sistema studiato considerato nell'intero suo ciclo di vita, dato sia dai materiali che lo costituiscono, sia dalle risorse spese per la sua costruzione e manutenzione, non escludendo i flussi di energia e materia spesi per il suo funzionamento.

È quindi possibile considerare i flussi indiretti, cioè tutto ciò che non è direttamente consumato nel processo, che comprendono tutta l'energia indiretta connessa con l'impianto analizzato. L'energia indiretta permette la diversificazione tra la *Useful energy* e la *Net energy*, la quale rende valutabile la reale sostenibilità energetica.

Affinché un processo sia giudicato sostenibile non basta che produca al netto dell'impianto una *Net energy* positiva ma, per una corretta valutazione, occorre inoltre che il valore di *Useful energy* sia positivo.

Il calcolo della *Useful energy* considera anche tutta l'energia spesa, se pur delocalizzata, necessaria all'impianto e che quindi esso deve garantire per essere ritenuto sostenibile a livello globale, e dare un reale apporto di energia utile.

Concludendo, una tecnologia è possibile definirla energeticamente sostenibile se è prodotto un surplus di energia utile; questo ci permette di classificare le tecnologie alternative di energia in base alla loro capacità di produrre *Useful energy*.

2.2.1 Classificazione dei contributi energetici

La classificazione delle energie in un'analisi energetica, è effettuata in base al tipo di contributo e non alla loro natura.

I termini rappresentati in Figura 2.2 nel dettaglio sono definiti come segue [1]:

- “*Embedded energy*”: è l'energia presente nella risorsa. È contenuta nella risorsa primaria che alimenta il processo di produzione di energia; corrisponde il suo potere calorifico nel caso si tratti di un materiale combustibile. Questa quota di energia, definita come il contenuto energetico dei materiali in input, è possibile teoricamente recuperarla nei prodotti in uscita.
- “*Already spent energy*”: è l'energia spesa per produrre la risorsa che si alimenta. È presente in tutti i casi in cui si utilizza una risorsa che necessita di essere resa disponibile, ad esempio viene spesa energia per estrarre il petrolio o coltivare una biomassa, entrambe possibili input ai processi energetici.
- “*Avoided energy*”: è l'energia risparmiata. Ne deriva che la *Avoided energy* rappresenta un profitto energetico e non una spesa, a differenza di tutti gli altri questo è l'unico termine energetico positivo.
- “*Available energy*”: è l'energia disponibile in ingresso nel processo. Si differenzia dalla *Embedded energy* per il termine positivo della *Avoided energy* o per quello negativo della *Already spent energy*, a seconda del caso studiato.
- “*Produced energy*”: è l'energia prodotta realmente dal processo. Si differenzia dalla energia di partenza presente nell'alimentazione per il rendimento della tecnologia.
- “*Direct energy*”: è l'energia spesa direttamente nell'impianto per il suo funzionamento.
- “*Net energy*”: è l'energia uscente, netta, dall'impianto. È costituita dalla differenza tra l'energia prodotta e l'energia diretta spesa.
- “*Indirect energy*”: è l'energia spesa indirettamente nell'impianto. È utilizzata per produrre sia materiali e sia l'energia utilizzata nell'impianto, ed anche per la sua costruzione e mantenimento.
- “*Useful energy*”: è l'energia fornita alla società come energia utile. Differisce dalla *Net energy* per il flusso di energia indiretta spesa.

2.2.1.1 Calcolo dell'energia indiretta

Per la valutazione dell'energia indiretta sono considerati tutti i contributi di un processo che coinvolgono spesa di energia in modo indiretto, sommati secondo l'equazione 2.1.

$$E_{ind} = E_{chem} + E_{mat} + E_{dir,en} + E_{main} + E_{lab} + E_{constr} + E_{decom} + E_{amort} - E_{avoided} + E_{already} \quad (2.1)$$

E_{chem} è l'energia indiretta spesa per produrre i chemicals utilizzati nel processo studiato. Per il suo calcolo si utilizza il “Global Energy Requirement” GER, come mostrato nell'equazione 2.2. Il GER è la somma di tutti i contributi di energia presenti nell'intero ciclo vita di produzione del prodotto/servizio. GER_i invece è il termine riferito alla produzione dei chemicals, valutato in unità di energia per unità di massa di materiale. Inoltre, il termine M_i è espresso in kg per

unita funzionale ed è la quantità di chemical richiesto dal processo. La sommatoria è riferita a tutti gli i-esimi chemicals utilizzati.

$$E_{chem} = \sum_i (GER_i * M_i)_i \quad (2.2)$$

E_{mat} è l'energia indiretta spesa nella realizzazione delle infrastrutture e dei macchinari che costituiscono l'impianto preso in esame. È spesa ad esempio per i materiali che costituiscono pompe, turbine, generatori e tubi e per la loro costruzione. Si utilizza il GER come nella equazione precedente

$$E_{mat} = \sum_i (GER_i * M_i)_i \quad (2.3)$$

$E_{dir,en}$ è l'energia indiretta spesa per produrre l'energia diretta necessaria al funzionamento dell'impianto. Tutti i tipi di energia diretta spesa nell'impianto devono essere valutati nel loro contributo indiretto; ad esempio se si considera l'elettricità presa dalla rete, occorre valutare sia l'energia spesa per la costruzione della centrale elettrica, sia quella per il trasporto, sia quella per la manutenzione della rete.

E_{main} è l'energia indiretta spesa per il mantenimento cioè l'energia consumata nelle operazioni di manutenzione. La manutenzione si rende necessaria durante la vita di funzionamento del processo in quanto alcune componenti dell'impianto devono essere sostituite o riparate. Utilizzando l'equazione 2.4, che correla l'energia indiretta di manutenzione con l'energia indiretta dei materiali attraverso γ , è possibile valutare l'energia di manutenzione. Il valore di γ è funzione delle specifiche caratteristiche del processo studiato e dell'attesa di vita dell'impianto.

$$E_{main} = E_{mat} * \gamma \quad (2.4)$$

E_{lab} è l'energia indiretta per il lavoro, cioè l'energia richiesta per supportare il lavoro umano nel processo studiato. Vista la complessità della sua valutazione è spesso trascurata.

E_{constr} ed E_{decom} sono rispettivamente l'energia indiretta per la costruzione dell'impianto e l'energia indiretta per il decommissioning. Come si evince dalle equazioni 2.6 e 2.7 esse sono valutate considerando la quantità di chemicals, materiali, energia diretta e lavoro umano necessari per le due operazioni.

$$E_{constr} = E_{chem,c} + E_{mat,c} + E_{dir,en,c} + E_{lab,c} \quad (2.6)$$

$$E_{decom} = E_{chem,d} + E_{mat,d} + E_{dir,en,d} + E_{lab,d} \quad (2.7)$$

E_{amort} è l'energia indiretta per l'ammortamento, cioè è l'energia necessaria per ricostruire un nuovo impianto al termine della vita utile del processo analizzato. È necessario garantire che l'energia richiesta per la costruzione di un impianto sia in grado di produrre nuovamente energia. Come mostrato dall'equazione 2.8 il quantitativo di energia è uguale alla somma dell'energia indiretta spesa per i chemicals e i materiali.

$$E_{amort} = E_{chem} + E_{mat} \quad (2.8)$$

$E_{avoided}$ e $E_{already}$ rappresentano l'energia evitata e l'energia spesa precedentemente definite. I termini possono essere calcolati con le equazioni 2.9 e 2.10 nelle quali il termine GER è riferito nel primo caso allo smaltimento finale evitato e nel secondo caso alla produzione della risorsa energetica utilizzata.

$$E_{avoided} = \sum_i (GER_i * M_i)_i \quad (2.9)$$

$$E_{already} = \sum_i (GER_i * M_i)_i \quad (2.10)$$

2.2.2 ESI “Energy Sustainability Index”

È stato proposto l'uso dell'indice di sostenibilità energetica ESI “*Energy Sustainability Index*”. La valutazione del parametro ESI è un passaggio necessario in un'analisi di sostenibilità energetica, prima di qualsiasi altro indice energetico. Mediante l'utilizzo dell'equazione 2.11, L'ESI considera l'energia totale prodotta dal processo, *Produced energy*, a cui può essere sottratta la *Already spent energy* o sommata la *Avoided energy*, in rapporto all'energia diretta spesa, *Direct energy*.

$$ESI = \frac{Produced\ energy - Already\ spent\ energy + Avoided\ energy}{Direct\ energy} \quad (2.11)$$

Solo un $ESI > 1$ indica che un processo potrebbe essere sostenibile, vale a dire che merita una valutazione più dettagliata per tener conto anche dell'energia indiretta necessaria per costruire ed eseguire il processo. Se un processo ha un $ESI \leq 1$, deve essere respinto dal punto di vista della sostenibilità energetica, e spendere ulteriore tempo in un'analisi più approfondita della valutazione energetica è completamente inutile [2].

2.2.3 EROI “Energy Return On Investment”

L'EROI è espresso nell'equazione 2.12 ed è inteso come il rapporto tra la quantità totale di Energia Netta, *Net energy*, consegnata alla società da una tecnologia durante la sua vita lavorativa, e l'Energia Indiretta, *Indirect energy*, spesa lungo lo stesso periodo di tempo. È un rapporto tra due quantità di energia ed è quindi privo di dimensioni; in termini matematici, l'EROI è espresso come:

$$EROI = \frac{Net\ energy}{Indirect\ energy} \quad (2.12)$$

Ogni processo che sia energeticamente sostenibile, ha $EROI > 1$.

L'EROI non dovrebbe essere confuso con la conversione dell'efficienza energetica, che è ben rappresentata dalla prima e dalla seconda legge della termodinamica classica; inoltre l'EROI non è strettamente correlato al concetto di ritorno dell'investimento monetario [3].

2.2.4 EPT “Energy Payback Time”

Permette di valutare una tecnologia rispetto al parametro tempo. È il tempo indispensabile affinché un processo produca l'energia necessaria per ricostruire il processo stesso.

Più alto è il valore dell'EPT, minore è il tasso annuale di energia utile, quindi minore è la sostenibilità della tecnologia. In altre parole, EPT è il tempo della vita operativa dell'impianto necessario per raggiungere la condizione di sostenibilità, cioè il momento in cui la tecnologia inizia a nutrire la società.

L'EPT è un indice correlato all'EROI. L'espressione matematica per EPT è mostrata dall'equazione 2.13, dove *time* [anni] è la vita dell'impianto:

$$EPT = \frac{Indirect\ energy}{\frac{Net\ energy}{time}} \quad (2.13)$$

EROI ed EPT, fondamentali per la decisione nel settore energetico, consentono insieme di descrivere il livello di sostenibilità energetica di ogni processo: alto EROI e bassa EPT significa alta sostenibilità energetica [3].

2.3 Le opere

Le opere che contraddistinguono un impianto idroelettrico sono generalmente di due tipi: le opere di infrastruttura e le opere accessorie.

2.3.1 Le opere di infrastruttura

Le opere di infrastruttura che caratterizzano l'impianto di una minicentrale idroelettrica sono generalmente costituite da un sito di captazione, da una condotta forzata per il trasferimento del liquido, da un gruppo turbina-generatore, da un trasformatore, da un by-pass e infine da vasche di accumulo.

Captazione

La scelta della tipologia di captazione è effettuata in base alla qualità delle acque necessarie per l'utilizzo acquedottistico civile. Si è già espresso come la scelta migliore ricada sulle acque sotterranee ma in presenza di condizioni favorevoli è possibile pensare alla derivazione di acque superficiali.

Il sito individuato deve, dunque, prima essere sottoposto a controlli idrogeologici mediante campagna di perforazione e poi ad analisi qualitative-quantitative delle acque che costituiscono non solo l'approvvigionamento dell'acquedotto ma anche il fluido motore dell'impianto idroelettrico.

Inoltre, si rende quindi necessaria una scarsa presenza di solidi sospesi all'interno del fluido in modo tale da evitare che questi, a contatto con le parti mobili della turbina, possano dare abrasione, con conseguente rilascio di materiale non adatto alla salute umana, o malfunzionamenti. In caso negativo è utilizzato un filtro, oppure si lascia decantare l'acqua per un breve periodo in una vasca di accumulo[4].

La presenza di una sorgente che sopperisce costantemente alle richieste di servizio, evita i costi energetici ed economici tipici di un gruppo di pompe utilizzate in un campo pozzi, sia da un punto di vista realizzativo che da un punto di vista gestionale.

La trivellazione dei pozzi però, permette di raggiungere falde acquifere con qualità migliori. Inoltre in presenza di falda su differenti livelli, si preferisce la falda che si pensa possa essere isolata, dalle sovrastanti o sottostanti, in modo da evitare possibili inquinamenti superficiali locali o lontani.

Trasferimento

Per il trasferimento dell'acqua deve essere utilizzata una condotta forzata in materiale metallico in modo tale da poter resistere alle forze di pressione.

Le tubazioni possono essere installate all'aperto, in galleria o interrate. La scelta dell'ubicazione delle condotte dipende dalla natura del terreno e dalle caratteristiche climatiche.

La condotta viene costruita a diametro costante, con spessore crescente dall'imbocco fino alla centrale. Importanti sono le sue dimensioni, diametro nominale e lunghezza, la pressione nominale di esercizio e la superficie interna a contatto con il fluido.

Dalla fluidodinamica è possibile riscontrare che il valore del numero di Reynolds evidenzia la preponderanza dell'energia cinetica su quella viscosa-dissipativa o viceversa. Quindi è importante in fase progettuale considerare, a parità di portata, la morfologia superficiale interna e il diametro, in quanto è possibile ridurre le azioni dissipative causa di una diminuzione dell'energia disponibile alla macchina motrice.

La scelta del materiale è considerata in funzione dell'utilizzo finale del fluido, il quale non deve subire alterazione chimico-fisiche e microbiologiche durante il suo trasferimento [5].

Turbina, alternatore, trasformatore

Il gruppo è costituito da tre elementi che sono in intimo contatto fra loro e permettono la trasformazione dell'energia potenziale, posseduta del fluido, in energia elettrica mediante differenti step [5].

La turbina ha il compito di trasformare l'energia potenziale in energia meccanica, mentre l'alternatore ha il compito di trasformare quest'ultima in energia elettrica. Il trasformatore, a dispetto del nome, ha solo il compito di elevare la corrente da bassa tensione, generalmente 400V, a media tensione, 15 kV.

La scelta della turbina è dettata dal salto geodetico che il fluido possiede e dalla portata dello stesso. Le tipologie di turbine disponibili appartengono a due famiglie: turbine ad azione e turbine a reazione. Nelle turbine ad azione la trasformazione dell'energia potenziale in energia cinetica avviene completamente nell'organo di distribuzione dell'acqua mentre in quelle a reazione la trasformazione avviene anche nella girante.

Le turbine ad azione, di cui il modello cardine è la turbina Pelton, sono utilizzate negli impianti dove il salto geodetico disponibile è tra i 100 e i 1000 metri e le portate sono relativamente modeste, come nel caso delle mini centrali idroelettriche analizzate.

Nelle turbine Pelton il distributore, ovvero l'organo di immissione dell'acqua, consiste in un iniettore, comandato da una valvola a bulbo che intercetta e regola il getto dell'acqua, che permette di variare l'energia trasmessa alla girante e quindi anche la potenza emessa dal generatore. La pala della turbina ha la forma di un doppio cucchiaino per poter permettere un miglior sfruttamento dell'energia cinetica dell'acqua.

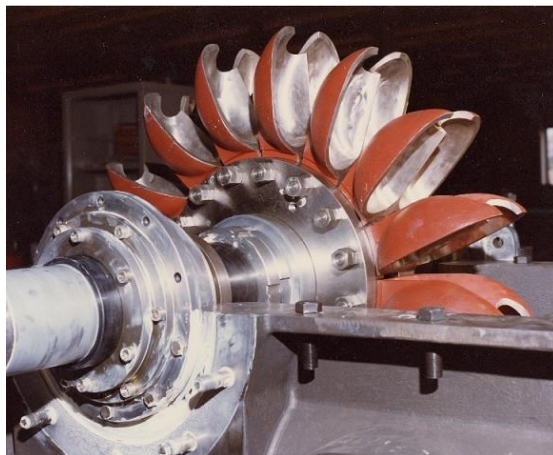


Figura 2.3: Foto girante Pelton non più in uso, concessione di API S.p.a.

Per i salti inferiori e portate elevate, si usano turbine a reazione del tipo Francis. L'organo di immissione, in questo caso, è composto dalla cassa spirale e dal distributore. La cassa spirale

è un tubo che si restringe progressivamente e contorna il distributore, essa ha il compito di imprimere all'acqua un moto circolare. Il distributore, invece, è composto da una serie di pale ad apertura variabile che indirizzano correttamente l'acqua verso le pale della turbina. La variazione di apertura delle pale del distributore cambia la portata d'acqua immessa e quindi la potenza generata dall'alternatore.



Figura 2.4: Foto girante turbina Francis [6].

Accoppiato solidamente all'albero della turbina troviamo l'alternatore, la macchina elettrica che trasforma l'energia meccanica in energia elettrica.

Il principio di funzionamento di un alternatore, o generatore, è semplice: sulla parte mobile, chiamata rotore, è realizzato un magnete di cui si può dosare e controllare il campo magnetico; nella parte fissa, che si chiama statore, sono presenti degli avvolgimenti di filo di rame nei quali il campo magnetico rotante generato dal rotore induce una forza elettromotrice, ovvero l'energia elettrica. Per problemi di isolamento elettrico è preferibile generare elettricità a medio bassa tensione, per poi elevarla in un secondo momento. L'energia elettrica viene trasferita dall'alternatore, mediante cavi di rame opportunamente dimensionati, al trasformatore avente il compito di elevare la tensione. Quest'ultima operazione è importante in quanto più è alta la tensione, tanto più sono minori sia la corrente che le perdite (a parità di sezione del cavo di trasporto).

By-Pass

In caso di arresto o blocco della centrale, dovuto ad anomalie della rete elettrica o a disfunzioni proprie di uno o più elementi utilizzati per la produzione di energia elettrica, si procede con la chiusura dei distributori della turbina, seguita dalla chiusura della valvola di intercettazione posta sulla condotta forzata immediatamente prima dell'ingresso della stessa all'interno della centrale.

Visto e considerato che il fine ultimo dell'impianto non è la produzione dell'energia elettrica ma l'adduzione al sistema acquedottistico, a valle è necessario prevedere un by-pass che permetta la continuità di servizio all'utente finale.

Il by-pass è costituito da una valvola regolatrice di pressione che permette di dissipare l'energia, e può inoltre prevedere un parallelismo manuale-automatico per garantire ridondanza di funzionamento qualora il controllo automatico dovesse fallire. Deve essere prevista, inoltre, una valvola a sfioro di pressione per limitare le sovrappressioni che potrebbero generarsi in condotta durante il transitorio di funzionamento da centrale a by-pass e viceversa.



Figura 2.5: Foto del by-pass, concessione di API S.p.a.

Vasche

Le vasche presenti nell'impianto possono avere differenti compiti in base alla loro posizione piezometrica[5].

La vasca di carico è situata alla fine della condotta di derivazione ed ha la funzione di raccogliere le acque di derivazione ed accumularle se necessario. Quest'ultima serve ad attenuare le oscillazioni di livello conseguenti alle variazioni della portata richiesta dalle turbine; inoltre, se dimensionata opportunamente, consente anche la regolazione giornaliera. La vasca di carico deve essere munita sia di uno scarico di fondo, per lo svuotamento e la pulizia, sia di uno scarico di superficie (sfioratore, sifoni autolivellatori o paratoie automatiche) per lo smaltimento della portata in esubero, qualora ci fosse una diminuzione o arresto dell'erogazione di acqua alle condotte forzate.

Le vasche di scarico sono poste a valle della turbina e permettono di avere lo scarico della turbina a pelo libero.

2.3.2 Le opere accessorie

Le opere accessorie, siano esse civili o edili sono necessarie per la costituzione dell'impianto e per il suo corretto funzionamento.

Il tracciato sotterraneo per la posa della condotta forzata è un'operazione estremamente importante, in quanto permette di isolare la condotta dagli eventi climatici ed atmosferici che si susseguono negli anni.

Dalla geologia è risaputo che la temperatura del terreno la si può definire circa costante durante un periodo medio lungo dell'anno, o quasi costante qualora la profondità alla quale è misurata la temperatura del suolo è elevata. Questo permette di evitare una serie di stress a cui la condotta può essere sottoposta durante normale funzionamento dell'impianto.

In altri termini, un territorio in cui sono previste grandi escursioni termiche fa sì che la condotta non sia soggetta a deformazione lineare, ma nella fattispecie non permette uno scambio di calore eccessivo del liquido al suo interno. È questa la ragion per cui nelle stagioni fredde, e in ambiente tipicamente montano come quello di installazione dell'impianto, è possibile evitare che nelle apparecchiature – quali valvole, saracinesche, scarichi e sfiati – ci possa essere congelamento del liquido. Tale fenomeno porterebbe non solo a problemi di gestione dell'impianto stesso ma anche alla possibile rottura delle suddette apparecchiature.

Il tracciato può incontrare ostacoli lungo la sua realizzazione quali fiumi o strade. Sono necessarie, dunque, delle opere di attraversamento che possano sfruttare eventuali opere civili preesistenti, come ad esempio un ponte, per l'attraversamento di un fiume o di una depressione naturale del terreno. Un metodo alternativo prevede, invece, di dover ricorrere alla costruzione di opere dedicate sia per l'attraversamento aereo che per quello subalveo [4].

Le opere di infrastruttura descritte nel paragrafo precedente – quali by-pass, turbina, generatore e trasformatore – devono essere protette dall'ambiente esterno sia per motivi di funzionamento che di sicurezza. Si rende quindi necessaria la costruzione di locali atti a contenere le apparecchiature suddette, perché possano proteggerle da eventuali manomissioni estranee e, al contempo, preservare gli elementi, costituenti le medesime apparecchiature, non compatibili con gli eventi atmosferici o climatici del luogo di costruzione.



Figura 2.6: Foto del locale della minicentrale di Balma di Roure, concessione di API S.p.a.

Per concludere, è sempre doveroso, nei confronti dell'ambiente e nel rispetto delle leggi, ripristinare il territorio in cui è ospitato l'impianto in modo da avere un impatto ambientale minore possibile.

2.4 Caso Studio

Il caso studio analizzato appartiene alla realtà geografica tipica piemontese. Fulcro di tale studio è il paese di Pinerolo, 370 m s.l.m., 35.808 abitanti al 2016, situato a ovest della provincia di Torino, al ridosso delle Alpi Cozie, all'imbocco della Val Chisone. In particolare, il paese è posto lungo le rive del Torrente Chisone, tributario secondario del fiume Po.

Tale posizione strategica permette la possibilità di captare acque in luoghi montuosi della Val Chisone quali: Fenestrelle in località Chambons, Roure in località Balma e a Inverso Pinasca. Ciò permette il non utilizzo di un sistema di pompaggio per il trasporto, viste le differenti altitudini, è anzi necessario abbattere la pressione prima della distribuzione onde evitare elevate sollecitazioni nella rete. Inoltre, a migliore la situazione già favorevole, si aggiunge che le proprietà chimico-fisiche e microbiologiche delle acque sono migliori.

L'adduzione è effettuata mediante condotta forzata in materiale metallico. Fin dai primi anni del '900 si era provveduto alla costruzione della condotta per alimentare la rete cittadina captando dalla sorgente di Balma di Roure; si è proseguito, poi, con la captazione mediante pozzi trivellati nei dintorni della stessa. Solamente negli ultimi trent'anni sono state adottate soluzioni tecnologiche atte al recupero dell'energia, operanti mediante l'utilizzo di due minicentrali idroelettriche.

La quantità attuale annua captata dal sistema analizzato è di circa 6.000.000 m³. Non tutta, però, è distribuita al comune di Pinerolo. Infatti solo 2.500.000 m³ annui, in media, sono utilizzati dagli utenti pinerolesì, la restante parte, invece, è distribuita nelle reti dei paesi adiacenti.

2.4.1 Captazione e adduzione in altura

Il sistema analizzato è molto complesso in quanto è distribuito su un territorio ben più vasto di quello cittadino. Le località che caratterizzano l'impianto sono tre: Fenestrelle, Roure e Inverso Pinasca. È possibile quindi definire tre sotto sistemi che saranno chiamati Sistema Balma, Sistema Inverso e Sistema Condotta.

Sistema Balma

A monte, nel comune di Fenestrelle nelle località Carlo Alberto e Chambons - alla quota rispettivamente di 1074 m s.l.m. e di 1047 m s.l.m. - il prelievo dell'acqua avviene dalla falda sotterranea, senza alcuna derivazione di acque superficiali, mediante 2 pozzi trivellati posti rispettivamente a 1183 m e 218 m dalla vasca di carico, nella quale è convogliata. La vasca ha una capacità di circa 150 metri cubi, è posta alla quota di 1075,58 m s.l.m. e da questa parte la condotta forzata.

La condotta forzata è costituita da una condotta di acquedotto avente le seguenti caratteristiche:

- Tubi in acciaio Fe 410 saldato longitudinalmente
- Diametro nominale 450 mm
- Quota di partenza: 1.077,60 m s.l.m. (linea di massimo invaso vasca)
- Quota di arrivo: 875,62 m s.l.m.
- Lunghezza: 5.355 m
- Salto geodetico: 201,98 m
- Salto geodetico utile: 196,43 m alla portata di 90 l/s

La minicentrale di Balba di Roure, posta alla quota di 878 m s.l.m., ha le seguenti caratteristiche:

Turbina di tipo Pelton ad asse verticale a 4 getti

- Rendimento ai 4/4: 86,28 %
- Potenza resa asse turbina: 310 kW
- Velocità nominale: 1.500 g/m
- Velocità di fuga: 2.700 g/m

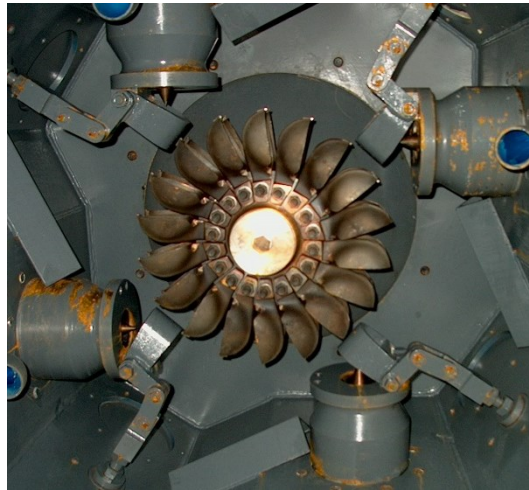


Figura 2.7: Foto della girante della turbina Pelton e delle spine distributrici, concessione di API S.p.a.

La cassa esterna contiene la ruota Pelton che è montata a sbalzo all'estremità inferiore dell'albero del generatore. Tutte le parti a contatto con l'acqua potabile sono realizzate in acciaio inossidabile NiCr 13-4. I cuscinetti del generatore sono completamente esterni alla cassa per evitare ogni possibile contaminazione dell'acqua potabile con sostanze lubrificanti.



Figura 2.8: Foto della cassa della turbina e del generatore elettrico, concessione di API S.p.a.

Il Generatore ha caratteristiche:

- Asincrono trifase ad asse verticale
- Potenza nominale: 350 kW
- $\cos \phi$ 0,84
- Tensione: 380 V
- Frequenza: 50 Hz
- Velocità nominale: 1.510 g/m
- Tipo servizio: continuo

- Rendimento ai 4/4: 95,5 %

Il Trasformatore trifase inglobato in resina classe F, ha caratteristiche:

- Raffreddamento naturale di tipo AN
- Potenza nominale continua: 315 kVA
- Frequenza: 50 Hz
- Rapporto di trasformazione a vuoto: 380/15.000 V
- Collegamento lato bassa tensione 0,4 kV: triangolo
- Collegamento lato media tensione 15 kV: stella
- Potenza Elettrica Efficiente Lorda 296 kW
- Potenza Elettrica Efficiente Netta 289 kW

La regolazione di carico è effettuata mediante l'apertura delle spine distributrici, che modifica la portata turbinata, ed è eseguita automaticamente per mantenere costante il livello del serbatoio di monte, evitando così lo svuotamento della condotta oppure lo scarico in troppopieno dell'acqua disponibile.



Figura 2.9: Foto del tegolo deviatore della spina distributrice della turbina Pelton di Balma di Roure, concessione di API S.p.a.

Il livello serbatoio è trasmesso alla centrale con continuità, ogni 2 secondi circa, mediante un sistema di trasmissione via radio.

In caso di arresto o blocco della centrale, dovuto ad anomalie della rete elettrica o disfunzioni proprie del macchinario, ne consegue la chiusura dei distributori e della valvola a sfera di intercettazione della condotta. Occorre garantire comunque l'alimentazione dell'acqua potabile all'utenza, è per tanto previsto un sistema di valvole, in by-pass alla centrale, composto da:

- valvola regolatrice di pressione da 18 a 8 bar per dissipare l'energia del salto;
- valvola modulatrice di portata per mantenere il livello del serbatoio di monte;
- valvola a sfioro di pressione per limitare le sovrappressioni che si generano in condotta durante il transitorio di funzionamento da centrale a by-pass e viceversa.



Figura 2.10: Foto del by-pass della minicentrale di Inverso Pinasca, concessione di API S.p.a.

A valle della centrale idroelettrica è presente una piccola vasca di scarico turbina a pelo libero, successivamente, a circa 80 m. di distanza, è presente una vasca di arrivo dell'acqua turbinata della capacità di circa 200 metri cubi.

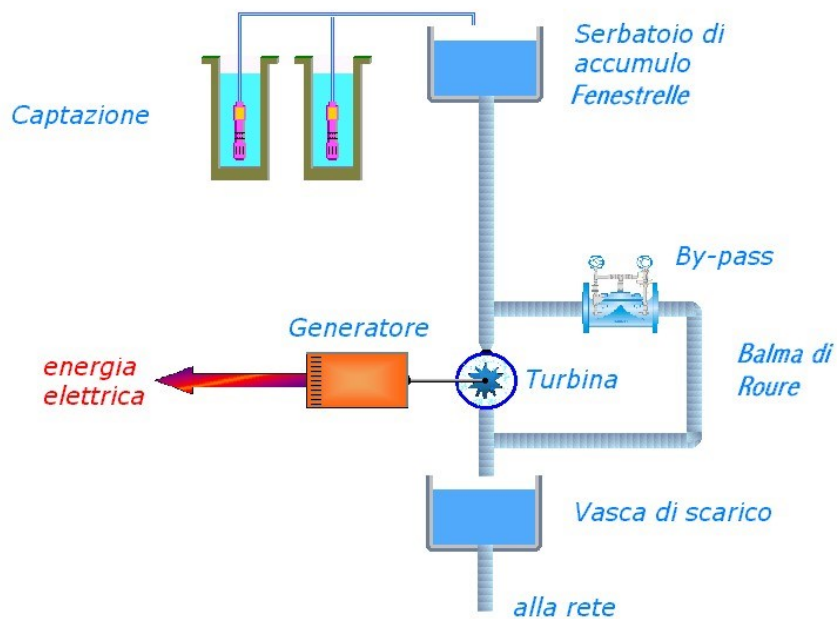


Figura 2.11: Schema idraulico del sistema Balma, concessione di API S.p.a.

Sistema Inverso

In località Balma del Comune di Roure (TO) ed alla quota di metri 878 s.l.m. il prelievo dell'acqua avviene dalla falda sotterranea, mediante tre pozzi trivellati, denominati Balma 1, Balma 2, sostituito dal pozzo Balma 4 nel 2013, e Balma 3, senza alcuna derivazione di acque superficiali. Questi sono posti a pochi metri dalla minicentrale, e alimentano la vasca di arrivo della stessa.

La condotta che riparte dalla vasca, raggiunge la successiva minicentrale di Inverso Pinasca è così costituita:

- Tubi in acciaio saldato
- Diametro nominale DN 450 mm

- Quota di partenza: 878 m s.l.m.
- Quota di arrivo: 567 m s.l.m.
- Lunghezza: 10.463 m
- Portata nominale: 180 l/s
- Salto geodetico: 311 m
- Salto geodetico utile: 284.4 m alla portata di 180 l/s.

La minicentrale di Inverso Pinasca, posta a 567 m s.l.m., ha le seguenti caratteristiche:

Turbina Pelton ad asse orizzontale ad 1 getto

- Salto netto: 269,35 m
- Portata: 180 l/s
- Rendimento ai 4/4: 90 %
- Potenza resa asse turbina: 428 kW
- Velocità nominale: 1.000 g/m
- Pressione max esercizio: 400 m.c.a
- Velocità di fuga: 1.800 g/m



Figura 2.12: Foto della girante turbina Pelton della centrale di Inverso P., concessione di API S.p.a.

Costruita con cassa in ghisa sferoidale perlitica mentre la ruota Pelton e le pale, smontabili, sono in acciaio inox. Cuscinetti a rulli in bagno d'olio montati su supporti esterni alla cassa per evitare ogni possibile contaminazione dell'acqua potabile.

Generatore asincrono trifase ad asse orizzontale

- Potenza nominale: 510 kW
- Tensione: 380 V
- Frequenza: 50 Hz
- Numero poli: 6
- Velocità nominale: 1.000 g/m
- Tipo servizio: continuo
- Rendimento ai 4/4: 95,5 %
- Potenza resa ai morsetti: 408 kW



Figura 2.13: Foto del generatore della minicentrale di Inverso Pinasca, concessione di API S.p.a.

Trasformatore trifase a raffreddamento ONAN per montaggio interno

- Potenza nominale continua: 800 kVA
- Frequenza: 50 Hz
- Rapporto di trasformazione a vuoto: 380/15.000 V
- Collegamento primario: triangolo
- Collegamento secondario: stella
- Isolamento: olio minerale

La regolazione di carico è effettuata mediante l'apertura della spina distributrice, che agisce sulla portata in ingresso, ed è eseguita per mantenere costante il livello del serbatoio di monte in modo da evitare lo svuotamento della condotta oppure lo scarico in troppo-pieno dell'acqua disponibile. Il livello è trasmesso alla centrale con continuità, ogni 2 secondi circa, mediante un sistema di trasmissione punto-punto che utilizza come vettore la linea telefonica dedicata.

In caso di arresto o blocco della centrale, dovuto ad anomalie della rete elettrica o disfunzioni proprie del macchinario, ne consegue la chiusura del distributore e della valvola di intercettazione della condotta.

Occorre garantire comunque l'alimentazione dell'acqua potabile all'utenza, è previsto un sistema di valvole di by-pass alla centrale composto di:

- valvola regolatrice di pressione da 27 a 8 bar per dissipare l'energia del salto;
- valvola modulatrice di portata per mantenere il livello del serbatoio di monte;
- valvola a sfioro di pressione per limitare le sovrappressioni che si generano in condotta durante il transitorio di funzionamento da centrale a by-pass e viceversa.



Figura 2.14: Foto del by-pass della minicentrale di Inverso Pinasca, concessione di API S.p.a.

A valle della centrale idroelettrica, a circa 200 m di distanza, è presente una vasca di arrivo dell'acqua turbinata della capacità di circa 100 metri cubi.

La vasca riceve inoltre l'alimentazione da altri due pozzi di acquedotto, denominati Inverso 1 ed Inverso 2, posti nelle sue vicinanze.

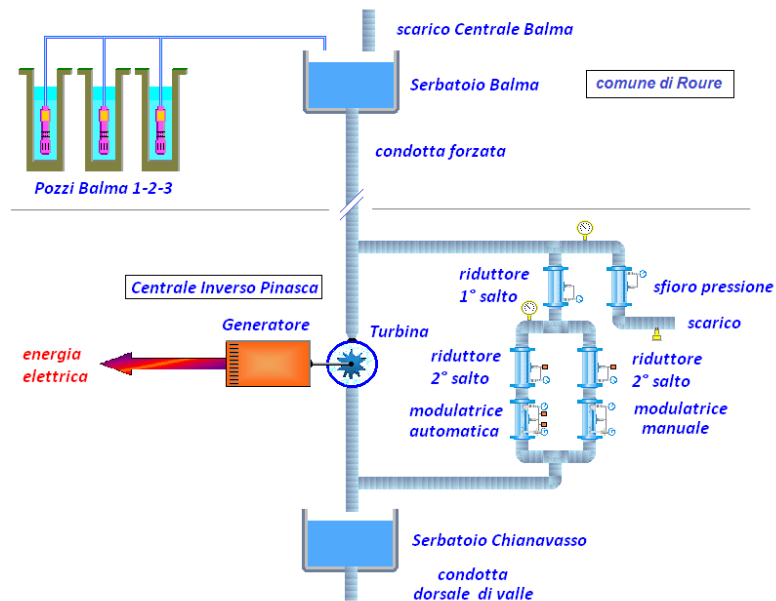


Figura 2.15: Schema idraulico del sistema Inverso, concessione di API S.p.a.

Sistema Condotta

La condotta che parte dalla vasca, in ghisa DN 400, raggiunge il serbatoio principale della città di Pinerolo a quota 470 m. s.l.m. con un percorso di circa 14 km.

2.4.2 Analisi di inventario

La creazione dell'inventario si rende necessaria in quanto permette di comprendere le quantità di materiali utilizzati per la costituzione dell'impianto, sia delle opere civili che edili già presentante nel paragrafo 2.3.

Per la determinazione delle quantità si è utilizzato il computo metrico estimativo (cme) di parte dell'impianto, in particolare del sistema Balma, costituito dall'insieme degli elementi necessari per la costruzione dello stesso. Qualora nel computo metrico estimativo non vi fossero abbastanza informazioni tali da poter avere un'unità di misura congrua al fattore moltiplicativo del GER si è provveduto a definire delle densità, in modo da sopperire a tale mancanza. Se tali densità non sono state specificate all'interno del computo metrico estimativo, sono state acquisite da catalogo, seguendo le specifiche dell'elemento analizzato.

Si riporta la tabella 2.1, riassuntiva delle quantità del sistema Balma, presenti in Appendice A

Tabella 2.1: Quantità di materiali del sistema Balma

Bitumi e isolanti	107.400	kg
Asfalto	27	kg
Rame	1.160	kg
Scavi, reinterro e demolizione	31.241	m ³
Fibra di vetro	500	kg
Tubi in PVC	3.937	kg
Utilizzo autocarro	188.600	t*km
Tavole di legno	1.328.250	kg
Stabilizzato e ciottoli	3.543.120	kg
Acciaio, Ferro, Ghisa	546.150	kg
Calcestruzzo, CLS	2.860.690	kg

A causa dell'indisponibilità del computo metrico estimativo, le quantità necessarie per la costituzione del sistema Inverso e del sistema Condotta sono state definite in rapporto alle quantità già considerate per il sistema Balma, su base della lunghezza della condotta, per quanto riguarda gli elementi denominati 1) Condotta di adduzione e 2) Accessori, nella sezione B) Asportazione e ripristini e C) Forniture idrauliche condotta e D) Fornitura materiali opere; nel solo caso del sistema Inverso i restanti elementi sono i medesimi del sistema Balma viste le similitudini tra i due sistemi. Si riporta la tabella riassuntiva 2.2, delle quantità del sistema Inverso, presenti in Appendice B.

Tabella 2.2: Quantità di materiali del sistema Inverso

Bitumi e isolanti	165.254	kg
Asfalto	42	kg
Rame	1.424	kg
Scavi, reinterro e demolizione	46.935	m ³
Fibra di vetro	500	kg
Tubi in PVC	6.058	kg
Utilizzo autocarro	188.600	t*km
Tavole di legno	1.328.250	kg
Stabilizzato e ciottoli	4.916.745	kg
Acciaio, Ferro, Ghisa	817.369	kg
Calcestruzzo, CLS	2.967.348	kg

Si riportano adesso, nella tabella riassuntiva 2.3, le quantità del sistema Condotta, presenti in Appendice C.

Tabella 2.3: Quantità di materiali del sistema Condotta

Bitumi e isolanti	214.958	kg
Asfalto	126.133	kg
Scavi, reinterro e demolizione	58.311	m ³
Fibra di vetro	429.916	kg
Tubi in PVC	7.880	kg
Stabilizzato e ciottoli	5.103.750	kg
Acciaio, Ferro, Ghisa	1.982.911	kg

2.4.3 Valutazione della sostenibilità energetica

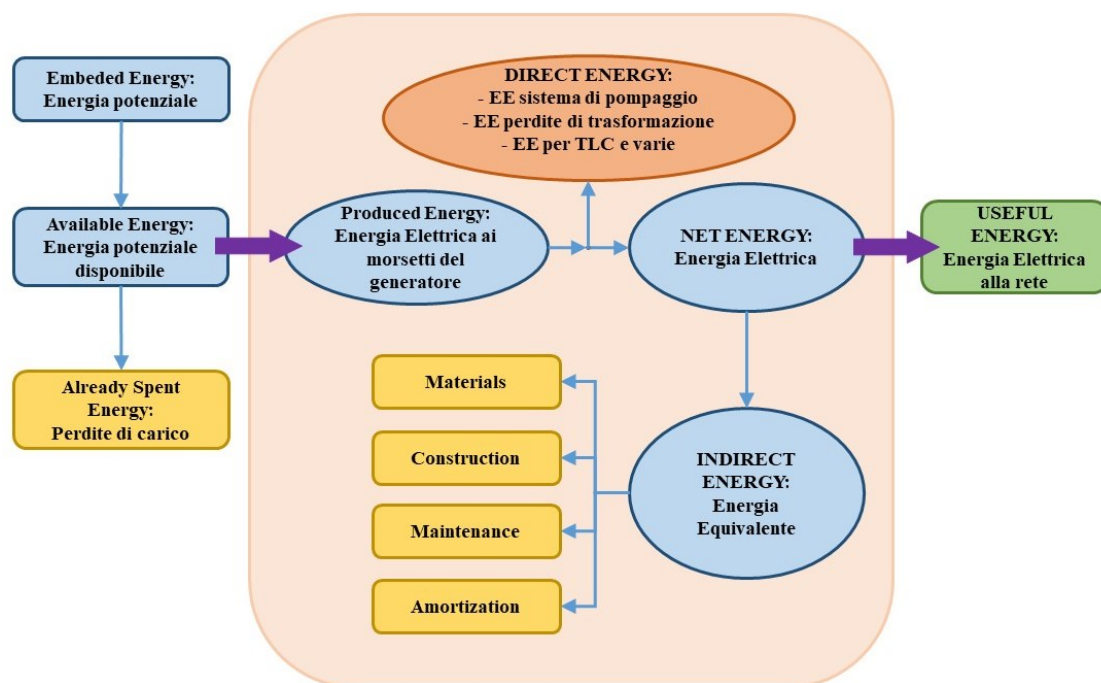


Figura 2.16: Contributi energetici della tecnologia analizzata

I contributi energetici considerati nel paragrafo 2.2., possono ora essere descritti nel seguente modo:

- “*Embedded energy*”: è l’energia potenziale del salto geodetico che l’acqua compie dal serbatoio di monte all’ingresso della turbina della minicentrale. Essa è calcolabile mediante l’utilizzo di una portata media annuale di 6.000.000 m³, della quale solo il 42% è prelevata attraverso il sistema Balma mentre, questa e la restante parte, prelevata a monte nel sistema Inverso, attraversano insieme la minicentrale del sistema Inverso, Tabella 2.4.

Tabella 2.4: Embedded energy

	Salto geodetico	Ripartizione portata media annua	Portata	Embedded Eergy
	m	-	m ³	kWh
Sistema Balma	201,95	42%	2.520.000	1.385.931
Sistema Inverso	311,00	100%	6.000.000	5.081.699
Totale				6.467.631

Inoltre, si ricorda che d’ora in poi per ogni termine energetico, la sua percentuale fa riferimento alla Embedded energy.

- “*Already spent energy*”: è l’energia spesa per il trasporto del fluido. In questo caso pur non avendo un trasporto attivo mediante sistema di pompaggio, durante il trasporto nella condotta forzata, si ha dissipazione di energia a causa delle perdite di carico localizzate e distribuite, Tabella 2.5.

Tabella 2.5: Already spent energy

	Salto geodetico	Ripartizione percentuale della portata media annua	Portata	Portata per il salto utile	Salto geodetico utile	Already spent energy
	m	-	m³	l/s	m	kWh
Sistema Balma	201,95	42%	2.520.000	79,91	197,12	33.147
Sistema Inverso	311,00	100%	6.000.000	190,26	281,80	477.124
Totale						510.271

- “*Avoided energy*”: non presente.

- “*Available energy*”: è l’energia potenziale disponibile. Si riportano in tabella 2.6 i risultati, in kWh e percentuali, ricavati per i tre diversi sistemi.

Tabella 2.6: Available energy

	Available energy	% Available energy
	kWh	-
Sistema Balma	1.352.784	97,6
Sistema Inverso	4.604.575	90,6
Totale	5.957.359	92,1

- “*Produced energy*”: è l’energia elettrica prodotta ai morsetti del generatore. Essa differisce dalla Available energy in quanto il processo di trasformazione dell’energia cinetica in energia meccanica avviene nella turbina, e il processo di trasformazione dell’energia meccanica in energia elettrica avviene nel generatore con conseguente dissipazione di energia. In questo caso si è utilizzato il valore medio calcolato dalla fine della costruzione dell’impianto ad oggi, cioè dal 2007 al 2016, come riportato in Appendice D e riassunto in Tabella 2.7.

Tabella 2.7: Produced e Not converted energy

	Produced energy	% Produced energy	% Not Converted energy
	kWh	-	-
Sistema Balma	1.128.296	81,4	16,2
Sistema Inverso	2.926.944	57,6	33,0
Totale	4.055.240	62,7	29,4

- “*Direct energy*”: è l’energia spesa direttamente nell’impianto che nel nostro caso è costituita da soli termini di energia elettrica:

- Sistema di pompaggio;

- Perdite di trasformazione;
- Trasmissione dati e illuminazione locali.

Per la complessità dell'insieme dei sistemi e le parziali informazioni ottenute, si procede con la determinazione della Direct energy totale (risultati in Tabella 2.8). Anche in questo caso si è utilizzato il valore medio preso dalla fine della costruzione ad oggi, cioè dal 2007 al 2016, come riportato in Appendice D.

Tabella 2.8: Direct energy

	Direct energy	% Direct energy
	kWh	-
Totale	1.539.323	23,8

- “*Net energy*”: è l’energia uscente, netta, dall’impianto e immessa in rete a 15 kV. È costituita dalla differenza tra la Produced energy e la Direct energy. Anche in questo caso si è utilizzato il valore medio preso dalla fine della costruzione ad oggi, cioè dal 2007 al 2016, come riportato in Appendice D. Si riportano i risultati ottenuti in Tabella 2.9.

Tabella 2.9: Net energy

	Net energy	% Net energy
	kWh	-
Totale	2.515.917	38,9

- “*Indirect energy*”: è l'energia spesa indirettamente per la costruzione, manutenzione e ammortamento dell’impianto sotto forma di energia equivalente mediante l’utilizzo dei *GER*.

I singoli valori *GER*, riportati in tabella 2.10, sono stati estrapolati dal software SimaPro dell’azienda Pré, il quale è utilizzato per condurre valutazioni sulle prestazioni ambientali ed energetiche di vari prodotti, processi e servizi. In particolare è stata utilizzata la metodologia Cumulative Energy Demand (LCA FOOD) per l’estrazione dei valori.

Tabella 2.10: Valori GER dei materiali utilizzati nei sistemi

GER _i in SimaPro	Valore	Unità	Termini in italiano
Mastic asphalt, at plant/CH S	7,0	MJ _{eq} /kg	Bitumi e isolanti
Asphalt to HA chemical landfill S	0,5	MJ _{eq} /kg	Asfalto
Copper ETH S	101,2	MJ _{eq} /kg	Rame
Excavation, hydraulic digger/RER S	8,1	MJ _{eq} /m ³	Scavi, reinterro e demolizione
Glass fibre, at plant/RER S	47,5	MJ _{eq} /kg	Fibra di vetro
PVC pipe E	67,4	MJ _{eq} /kg	Tubi in PVC
Truck 28t ETH S	3,5	MJ _{eq} /(t*km)	Utilizzo autocarro
Wood board ETH S	5,7	MJ _{eq} /kg	Tavole di legno
Gravel, crushed at mine	0,1	MJ _{eq} /kg	Stabilizzato e ciottoli
Steel, low/alloyed, at plant/RER S	28,6	MJ _{eq} /kg	Acciaio, Ferro, Ghisa
Cement, unspecific, at plant/CH S	3,6	MJ _{eq} /kg	Calcestruzzo, CLS

Non tutti i termini esposti nel paragrafo 2.2.1.1. sono non nulli.

E_{chem} è nulla in quanto nel sistema analizzato non vi è apporto di chemicals.

E_{mat} è costituita da tutti i materiali utilizzati per la costruzione dell'impianto. Come ad esempio l'acciaio delle condotte e delle turbine, il rame del generator e del trasformatore, il calcestruzzo per le opere di edilizia e il materiale roccioso asportato durante lo scavo o utilizzato per le opere edilizie.

$E_{dir,en}$ è nulla.

E_{main} per semplicità di calcolo è stata considerata come la quantità di elementi dell'impianto che sono sostituiti nell'arco della vita dello stesso.

E_{lab} è trascurabile sia quello per la costruzione, sia quello per la manutenzione, sia quello per la gestione dell'impianto in quanto questo è completamente automatico e telecomandato a distanza.

E_{constr} è stata considerata nell'analisi durante il calcolo dell' E_{mat} in quanto gli indici GER forniti dal software considerano a priori tale energia.

E_{decom} è stata trascurata.

E_{amort} è stata considerata come la quantità di materiale sotto forma di energia equivalente necessaria per la ricostituzione di tutti gli elementi dell'impianto.

$E_{avoided}$ e $E_{already}$ sono state trascurate.

Visto la definizione e i termini che la compongono, la Indirect energy deve essere calcolata diversamente rispetto ai termini già analizzati fino ad ora. Se in precedenza era possibile avere un valore medio annuo, in questo caso per tener conto dei termini di costruzione, manutenzione o sostituzione e ammortamento è necessario, definire una vita utile per l'impianto e per ciascun elemento che lo compone. Nella definizione di base, si è scelto di assumere la vita dell'impianto pari ad 80 anni. Di conseguenza il numero di ciascun elemento dell'impianto varia in base alla propria vita, al quale va aggiunto un ulteriore elemento per l'ammortamento.

Inoltre, grazie all'ausilio della memoria storica aziendale, in alcuni casi è stato possibile utilizzare dei valori reali di vita per gli elementi, mentre nei casi in cui questo valore non fosse reperibile si è reso necessario ipotizzarlo.

Per la durata vita impianto di 80 anni si ottengono i valori riportati in Tabella 2.11.

Tab 2.11: Vita elementi impianto e numero di elementi necessari durante la vita dell'impianto

Elementi	Anni vita elemento		Costruzione, Ammortamento e Sostituzione
	Tipologia	anni	
1) Condotta di adduzione	Ipotizzato	100	3
2) Accessori condotta	Ipotizzato	25	7
3) Vasca di carico	Reale	50	4
4) Vasca di scarico	Reale	50	4
5) Fabbricato centrale	Ipotizzato	50	4
6) Girante Turbina	Reale	16	11
7) Cassa Turbina	Ipotizzato	40	5
8) Generatore	Reale	15	11
9) Trasformatore	Ipotizzato	30	6
10) By-pass	Reale	25	7

Si può concludere, quindi, dicendo che il valore medio annuale della Indirect energy, è sensibile alle variazioni della vita utile dell'impianto e degli elementi che lo costituiscono.

Sistema Balma, durata vita impianto 80 anni, Appendice E, riassunto in Tabella 2.12.

Tabella 2.12 Indirect energy del sistema Balma

	Quantità	Unità	kWheq
Bitumi e isolanti	214.800	kg	417.070
Asfalto	126.040	kg	16.805
Rame	5.760	kg	161.904
Scavi, reinterro e demolizione	64.590	m ³	145.327
Fibra di vetro	1.500	kg	19.783
Tubi in PVC	7.874	kg	147.353
Utilizzo autocarro	565.800	t*km	551.655
Tavole di legno	199.238	kg	317.673
Stabilizzato e ciottoli	8.079.360	kg	306.342
Acciaio, Ferro, Ghisa	1.149.835	kg	9.131.605
Calcestruzzo, CLS	8.384.070	kg	8.337.492
TOTALE			19.553.010

Sistema Inverso, durata vita impianto 80 anni, Appendice F, riassunto in Tabella 2.13.

Tabella 2.13 Indirect energy del sistema Inverso

	Quantità	Unità	kWheq
Bitumi e isolanti	330.508	kg	641.736
Asfalto	193.935	kg	25.858
Rame	6.888	kg	193.610
Scavi, reinterro e demolizione	95.978	m ³	215.949
Fibra di vetro	1.500	kg	19.783
Tubi in PVC	12.116	kg	226.729
Utilizzo autocarro	565.800	t*km	551.655
Tavole di legno	199.238	kg	317.673
Stabilizzato e ciottoli	10.826.610	kg	410.509
Acciaio, Ferro, Ghisa	1.726.570	kg	13.711.840
Calcestruzzo, CLS	8.597.386	kg	8.549.623
TOTALE			24.864.965

Sistema Condotta, durata vita impianto 80 anni, Appendice G, riassunto in Tabella 2.14.

Tabella 2.14: Indirect energy del sistema Condotta

	Quantità	Unità	kWheq
Bitumi e isolanti	429.916	kg	834.753
Asfalto	5.045.307	kg	672.708
Scavi, reinterro e demolizione	116.622	m ³	262.399
Tubi in PVC	15.760	kg	294.923
Stabilizzato e ciottoli	10.207.500	kg	387.034
Acciaio, Ferro, Ghisa	1.982.911	kg	15.747.615
TOTALE			18.199.432

Si riportano nella Tabella 2.14 i valori di Indirect energy totali dell'impianto.

Tabella 2.15: Indirect energy totale

	Indirect energy (80 anni)	Indirect energy	% Indirect energy
	kWh	kWh	-
Sistema Balma	19.553.010	244.413	
Sistema Inverso	24.864.965	310.812	
Sistema Condotta	18.199.432	227.493	
Totale	62.617.407	782.718	12,1%

- “*Useful energy*”: è l'energia fornita alla società come energia utile e in questa analisi è identificata come energia elettrica a 15 kV. Si riportano i risultati, in kWh e percentuali, nella Tabella 2.16.

Tabella 2.16; Useful energy

	Useful energy	% Useful energy
	kWh	-
Totale	1.733.199	26,8

Per una maggiore chiarezza nella comprensione dell'analisi di sostenibilità energetica si è utilizzato il digramma Sankey, Figura 2.16, il quale mostra il quantitativo percentuale di Useful energy prodotta dall'impianto.

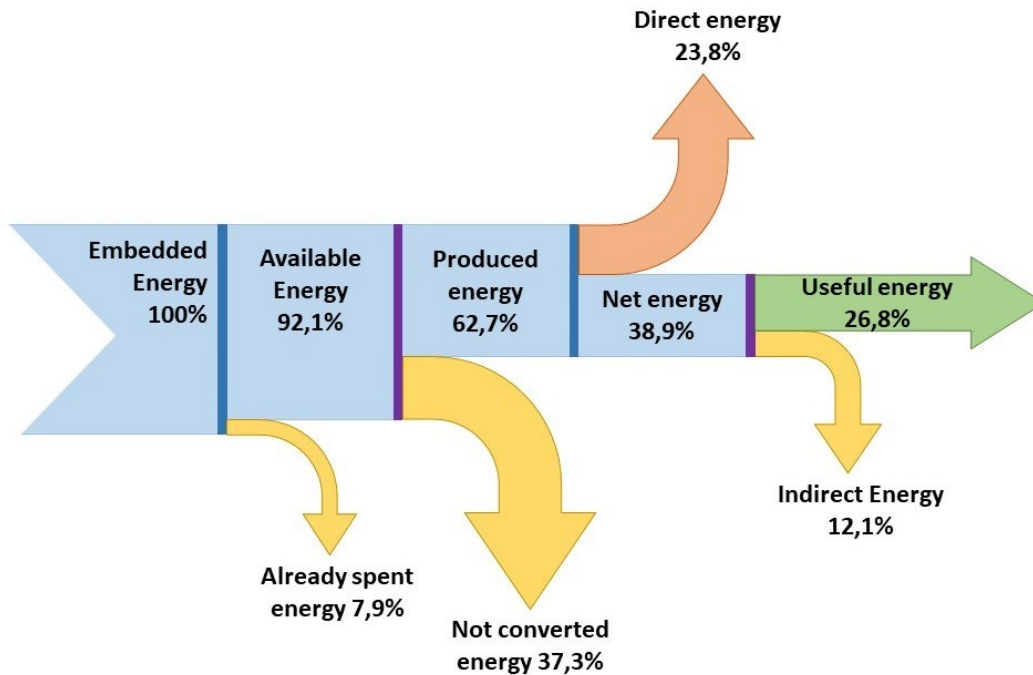


Figura 2.17: Diagramma Sankey dell'impianto analizzato

ESI, EROI, EPT

Mediante l'utilizzo dell'equazione 2.11 è possibile ricavare l'ESI, riportato in Tabella 2.17.

Nel caso dell'EROI e dell'EPT è necessario ricordare che questi sono funzione del parametro durata vita impianto, in quanto si è resa necessaria l'introduzione dello stesso per la determinazione della Indirect energy che compare nelle equazioni 2.12 e 2.13.

Si ricorda che il valore del parametro durata vita impianto è pari ad 80 anni e che lo studio di tale sistema è basato su una portata media di 6.000.000 m³ annua. Qualora il valore di quest'ultimo fosse diverso da quello analizzato, i contributi energetici medi calcolati, ad esclusione della Indirect energy, non rispecchierebbero la realtà dei dati trattati.

Tabella 2.17: ESI, EROI ed EPT

	ESI	EROI	EPT
	-	-	anni
Totale	2,30	3,22	24,8

Affinché si possa comprendere al meglio quali sono gli elementi che hanno un peso preponderante all'interno della Indirect energy è stato effettuato uno studio di sensitività variando la durata vita dell'impianto da un minimo di 50 anni ad un massimo di 150 anni. I valori da considerare sono solo quelli dell'EROI e dell'EPT, riportati in Tabella 2.18, in quanto l'ESI non è funzione della Indirect energy e di conseguenza è costante.

Tabella 2.18: Sensitività dei parametri EROI ed EPT

Vita impianto	EROI	EPT
anni	-	anni
50	2,27	22,0
60	2,43	24,7
70	2,83	24,7
80	3,22	24,8
90	3,63	24,8
100	4,02	24,9
110	3,07	35,8
120	3,35	35,8
130	3,62	35,9
140	3,90	35,9
150	4,18	35,9

Mediante l'ausilio del grafico, Figura 2.17, è possibile notare come ci sia una criticità tra i 100 e 110 anni della durata vita impianto in quanto il valore dell'EROI decade e allo stesso tempo si ha un gradino positivo del valore dell'EPT.

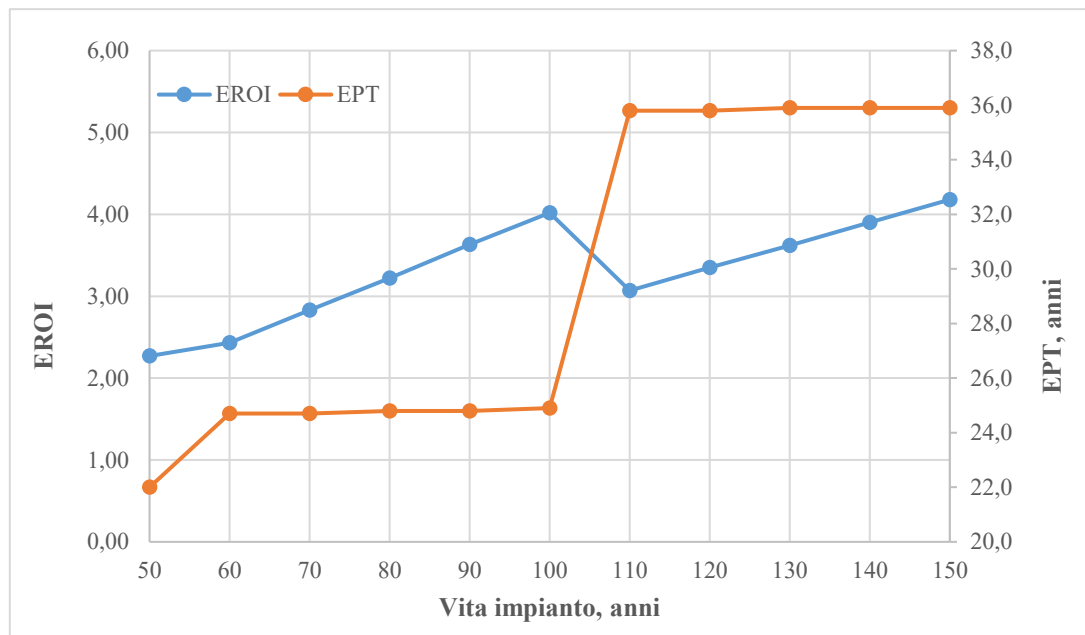


Figura 2.18: Grafico sensitività EROI ed EPT

Osservando gli elementi dell'impianto singolarmente, riportati in Tabella 2.19, è possibile notare come al passare da 100 a 110 anni di vita, in particolare la quantità riferita all' elemento 1) Condotta di adduzione passa da 2 a 3 unità e ciò accade perché la vita impianto è di poco superiore alla vita dell'elemento, si renda necessaria, teoricamente, una sostituzione. Ciò porta quindi a dedurre che l'elemento con maggiore influenza sia proprio quest'ultimo perché al variare degli anni di vita, solo quando questo necessita di una sostituzione, L'EROI decade.

Tabella 2.19 Confronto numero di elementi dell'impianto necessari durante la vita utile dell'impianto

Elementi Impianto	Anni vita elemento		Costruzione, Ammortamento e Sostituzione, numero di elementi	
	Tipologia	anni	100 anni	110 anni
1) Condotta di adduzione	Ipotizzato	100	2	3
2) Accessori condotta	Ipotizzato	25	5	6
3) Vasca di carico	Reale	50	3	4
4) Vasca di scarico	Reale	50	3	4
5) Fabbricato centrale	Ipotizzato	50	3	4
6) Girante Turbina	Reale	16	8	8
7) Cassa Turbina	Ipotizzato	40	4	4
8) Generatore	Reale	15	8	9
9) Trasformatore	Ipotizzato	30	5	5
10) By-pass	Reale	25	5	6

Si può affermare che per una durata vita impianto di 100 anni l'efficienza nell'uso delle risorse energetiche a disposizione dell'azienda è massima.

2.4.3.1 Sostenibilità energetica impianto API S.p.A

L'analisi condotta fino ad ora, basata su valori reali, è stata improntata su un ipotetico sistema, non ancora realizzato, avente caratteristiche simili o uguali al sistema reale.

Si riporta, dunque per completezza l'analisi di sostenibilità specifica dell'impianto reale di Acea Pinerolese Industriale, spa, che tiene conto del fatto che il sistema è stato completato gradualmente nell'arco di circa 18 anni.

Si riassumono in breve le tappe che hanno portato alla configurazione attuale:

- 1988: Messa in opera del sistema Inverso;
- 2001: Costruzione del sistema Balma, senza però l'utilizzo della minicentrale per il recupero energetico;
- Aprile 2006: Messa in opera della minicentrale del sistema Balma.

Si deve precisare che anche in questo caso è stata ipotizzata una durata della vita dell'impianto di 80 anni, dalla prima messa in opera.

E' possibile determinare l'EROI e l'EPT (Tabella 2.21 e Figura 2.18) tenendo conto, però, dei vari contributi energetici -disponibili grazie alla memoria storica e riportati in Appendice D - e considerando un possibile funzionamento futuro agli stessi livelli di efficienza energetica attuale. Questi ultimi sono stati calcolati, in riferimento al periodo che va dal 2007 al 2016, per la Produced Energy, Direct Energy e Net Energy (valori riassunti in Tabella 2.20). Si è inoltre tenuto presente che la Indirect energy è funzione della durata vita impianto, in questo caso ipotizzata pari a 80 anni (Appendice E, F, G).

È doveroso però sottolineare come in questo studio, diversamente dal primo, l'apporto di Indirect energy del sistema Balma è stato distribuito solo nell'arco di tempo che va dalla sua costruzione, alla fine vita dell'impianto.

Tabella 2.20: Produced, Direct, Net, Indirect energy dell'impianto di API S.p.a

	Totale 1988-04/2006	Totale 05/2006-2016	Media annua 2007-2016	Totale 2017-2067	Totale 1988-2067
	kWh	kWh	kWh/anno	kWh	kWh
Produced energy	35.745.493	43.077.535	4.055.240	206.817.223	285.640.251
Direct energy	19.099.318	16.398.772	1.539.323	78.505.480	114.003.570
Net energy	16.646.176	26.678.763	2.515.917	128.311.742	171.636.681
Indirect energy	9.867.130	9.126.730		43.623.547	62.617.407

Le medesime considerazioni, fatte precedentemente, possono essere assunte anche nell'analisi di questo caso reale.

Tabella 2.21: Sensitività dell'impianto di API S.p.a.

Vita impianto anni	EROI	EPT dal 2017 anni
50	1,73	10,8
60	1,95	14,5
70	2,35	16,1
80	2,74	17,3
90	2,74	17,3
100	3,55	18,9
110	2,75	27,9
120	3,02	28,6
130	3,29	29,3
140	3,57	29,8
150	3,85	30,2

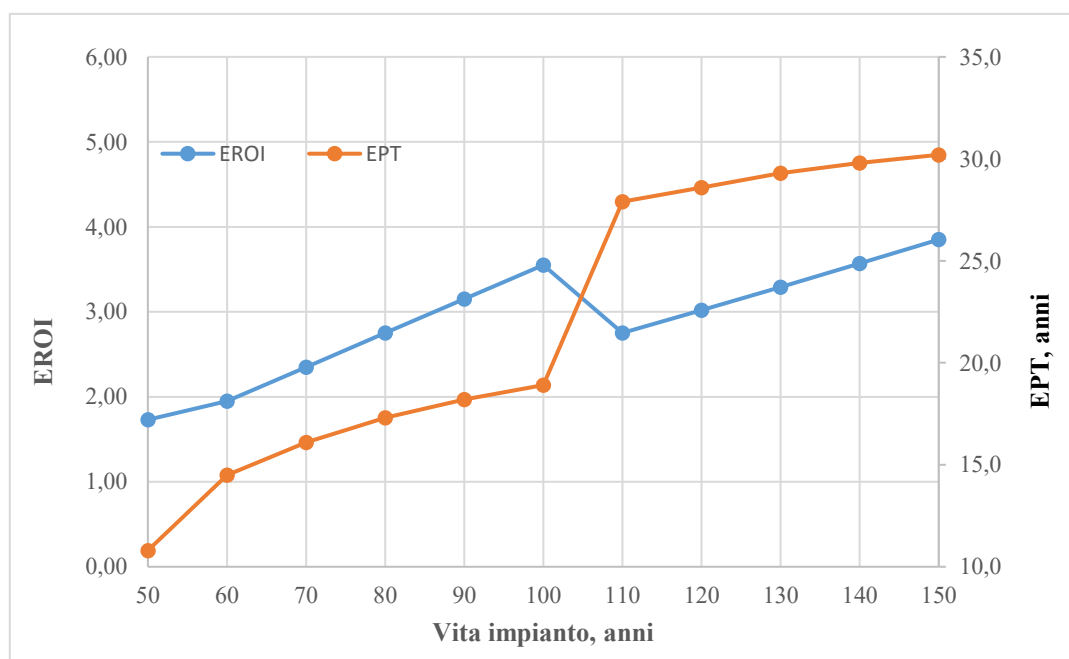


Figura 2.18: Grafico sensitività EROI ed EPT dell'impianto di API S.p.a.

In conclusione è possibile affermare che qualora la durata vita impianto reale, sia maggiore o uguale a quella ipotizzata nello studio, se pur con un indice EROI all'incirca pari a tre, è possibile dire che si ottengono tre unità di energia prodotta per ogni unità di energia spesa in tutto il processo produttivo.

È doveroso ricordare che tale analisi è stata applicata ad un sistema che ha come obiettivo primario quello di fornire il servizio idrico agli utenti e non quello di produrre energia. Ciò è utile per poter affermare che, anche qualora il ritorno energetico espresso dall'EROI fosse stato minore di 1, la costruzione di tale sistema è comunque doverosa.

Infine si vuole sottolineare che pur avendo un EROI > 1 , che rende il processo efficiente energeticamente, non è possibile confrontare il risultato ottenuto con altri poiché non ne esiste alcuno in letteratura.

3. Bilancio idrico e indicatori di performance per la gestione delle perdite

La stesura del bilancio idrico di un sistema acquedottistico è un approccio utilizzato per la comprensione dello stato attuale del servizio idrico, il quale è direttamente collegato all'utilizzo dell'energia. Infatti, in sistemi nella quale non sono presenti adduzione per caduta, si rende necessario l'utilizzo di pompe di sollevamento per poter assicurare un servizio continuo e di qualità all'utente.

La comprensione dei consumi tipici di un sistema acquedottistico o di un suo distretto, permette di attuare un insieme di procedure atte al risparmio della risorsa idrica e, di conseguenza, dell'energia.

3.1 IWA e metodo

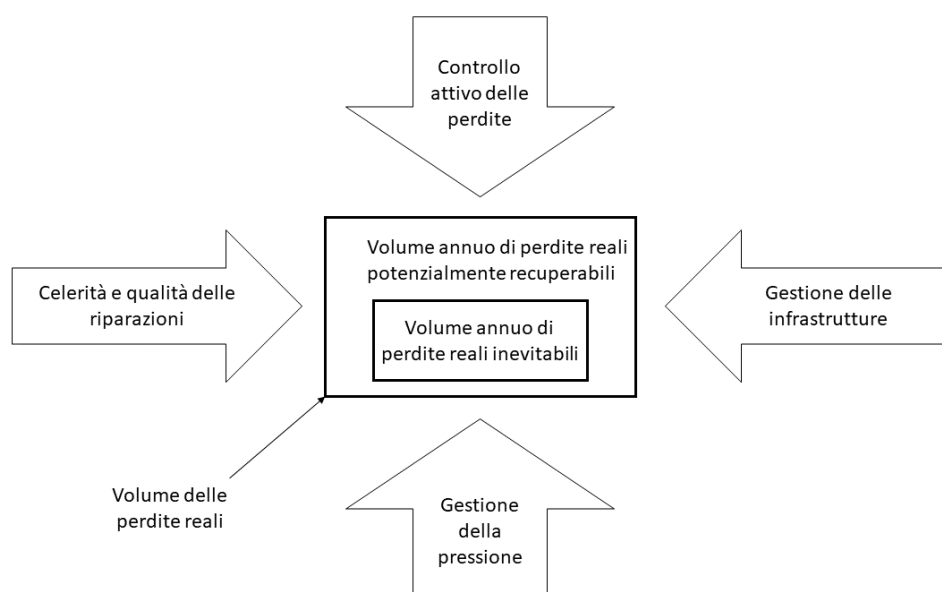
Una standardizzazione del problema legato alla gestione delle perdite idriche è stata proposta nel 1996 dalla Water Loss Task Force (WLTf) della International Water Association (IWA), associazione a cui prendono parte esperti del settore provenienti da diverse e numerose parti del mondo.

Il succitato approccio, forte di essere idoneo ad essere applicato con successo a tutti gli acquedotti [7], si basa principalmente sull'utilizzo del bilancio idrico e dei performance indicators.

La Task force dichiara che, al fine di rendere efficiente la gestione delle perdite, sia necessario il calcolo del bilancio idrico e degli indicatori di performance riferiti sia alle perdite reali (ossia quelle fisiche) che alle perdite apparenti (ossia quelle commerciali).

Per quanto riguarda l'ottenimento di una gestione efficiente delle perdite reali è doveroso applicare quattro diverse attività, illustrate in Figura 3.1, risultanti essere: la gestione della pressione, la celerità e qualità delle riparazioni attuate, il controllo attivo delle perdite e infine la gestione, il mantenimento e il rinnovo delle reti.

Figura 3.1: Le quattro attività per la gestione delle perdite (modificato da [9]).



Un discorso analogo può essere fatto per le perdite apparenti in quanto, in quest'ultimo caso, bisogna innanzitutto valutare l'entità degli errori - di lettura dei dati, dei prelievi abusivi e delle sottoregistrazioni dei contatori (SDC) - per poi riuscire ad attenzionare al meglio la gestione dei dati. Si evidenzieranno, in tal modo, le potenziali soluzioni migliorative e le eventuali criticità.

Il valore degli investimenti, per ciascuna di queste attività, va considerato come parte di un'analisi economica globale. Quest'ultima si pone come obiettivo l'ottimizzazione degli investimenti in risorse e attività, volta al fine di riuscire ad ottenere una riduzione dell'acqua persa non fatturata, che avviene tramite il confronto di questi ultimi costi con quello dell'acqua recuperata grazie a questi interventi.

3.1.1 Valutazione dell'acqua non fatturata

Un approccio alla gestione delle perdite, che possa essere definito pratico ed efficace, deve obbligatoriamente includere:

- La selezione e l'uso di indicatori di performance adatti;
- La designazione efficace delle differenti opzioni di gestione delle perdite, per ottenere il maggior beneficio possibile al minore dei costi;
- La corretta definizione del volume annuo (delle perdite), che può avvenire solamente se si misurano in modo affidabile tutti i volumi d'acqua e specialmente il volume d'acqua immesso in rete.

Attraverso l'utilizzo di un bilancio idrico annuale si riesce solitamente a fare una stima dell'acqua non fatturata (ANF) e delle sue componenti.

Le problematiche principali connesse alla presenza delle perdite sono associate in parte al fatto che non è la totalità dell'acqua immessa a raggiungere i clienti, in parte al mancato pagamento dell'acqua consumata e per finire alla mancanza di definizioni standard legate alle perdite.

Proprio per quest'ultima ragione le perdite reali sono state definite dall'IWA come «volumi annuali persi dai sistemi di addizione e distribuzione a causa di perdite, sfiori e rotture sulle condotte, sui serbatoi e sui collegamenti di servizio, fino al contatore del singolo utente».

Le perdite sopracitate possono essere analizzate tramite il metodo del bilancio idrico annuale *top-down*, di cui si parlerà più nel dettaglio nel corso del prossimo paragrafo.

3.1.1.1 Tecnica top-down: bilancio idrico annuale

Come già anticipato, le perdite reali possono essere valutate stilando il bilancio idrico annuale mediante l'utilizzo della tecnica *top-down* (Tabella 3.1).

La IWA Task force ha prodotto un approccio internazionale standard (noto come *best practice*), utile al calcolo del bilancio idrico e comprendente anche la definizione della terminologia adatta alla gestione pratica delle perdite idriche [7].

Tabella 3.1: Componenti del bilancio idrico standard proposto da IWA

Volume impresso in rete (VIR)	Consumi autorizzati	Consumi autorizzati fatturati (CAF)	Consumo fatturato misurato (CAF _M)	Acqua fatturata	
			Consumo fatturato non misurato (CAF _{NM})		
		Consumi autorizzati non fatturati (CANF)	Consumo non fatturato misurato (CAN _M)	Acqua non fatturata (ANF)	
			Consumo non fatturato non misurato (CAN _{NM})		
	Perdite idriche (IP)	Perdite apparenti (PA)	Consumo non autorizzato (CNA)		
			Errori di misura (SDC)		
		Perdite reali (PR)	Perdite nella rete di trasporto e di distribuzione		
			Perdite e sfiori ai serbatoi		
Perdite dalle prese d'utenza fino al contatore					

Si riportano quindi, di seguito, le principali componenti del bilancio idrico proposto da IWA:

- Volume immesso in rete (VIR): volume annuo introdotto nella rete;
- Consumi autorizzati: volume annuo misurato e non misurato prelevato dai clienti autorizzati. Tiene conto, dunque, delle perdite a valle dei contatori dei singoli clienti, dell'acqua esportata verso altri sistemi idrici e di quella utilizzata dal gestore per ragioni di servizio;
- Acqua non fatturata (ANF): differenza tra il volume immesso in rete e i consumi autorizzati fatturati. Si può intuire, quindi, che l'ANF è costituito dai consumi autorizzati non fatturati e dalle perdite idriche;
- Perdite idriche: costituite dall'insieme delle perdite reali e di quelle apparenti, definibili come la differenza tra il volume immesso e i consumi autorizzati;
- Perdite reali: volume annuo perso a causa di tutte le tipologie di perdita, inclusi i serbatoi, le prese fino a giungere al contatore del cliente;
- Perdite apparenti: composte da tutte le varietà di errori di misura, per lo più sottoregistrazioni dei contatori (SDC), insieme con i consumi non autorizzati (furti).

In conclusione può essere detto che l'approccio pratico IWA per il bilancio idrico, descritto sopra, sta ottenendo rapidamente consensi in scala internazionale, difatti, oltre ad essere raccomandato in diverse pubblicazioni del settore [8, 9], molti paesi del mondo lo adottano già, o lo promuovono, al più con minime variazioni.

3.1.1.2 Perdite annuali inevitabili: UARL

Non essendo possibile eliminare totalmente le perdite reali, si è reso necessario definire le perdite annuali inevitabili, UARL (Unavoidable Annual Real Losses). Queste ultime coincidono con il minimo volume, tecnicamente raggiungibile, di perdite reali in sistemi ben gestiti.

Le perdite reali possono, quindi, essere controllate tramite i quattro metodi di gestione delle perdite già introdotti nel paragrafo 3.1, tuttavia non possono essere ridotte al di sotto del valore di UARL, alla definita pressione d'esercizio.

È possibile risalire ai valori specifici di sistema di UARL (calcolato in l/d/allacci) avvalendosi dell'equazione sviluppata dall'IWA WLTF [10,11] riportata nell'equazione 3.1.

$$UARL = (18l_{pl} + 0,8N_c + 25l_{pr})p \quad (3.1)$$

in cui:

- l_{pl} : lunghezza delle condotte pubbliche espressa in km;
- N_c : numero di allacci;
- l_{pr} : lunghezza delle tubazioni private espressa in km;
- p : pressione media espressa in m_{ca} .

La suddetta formula, fondata sull'analisi delle perdite reali per i sistemi ben gestiti e aventi buone infrastrutture, rappresenta il più affidabile indicatore delle perdite reali inevitabili; tanto è vero che i coefficienti della formula sono stati verificati tramite test di campo in svariati sistemi pilota.

Si precisa che, la formula è stata validata per sistemi soddisfacenti le condizioni seguenti [10]:

- $(N_c + 20 l_{pl}) > 3000$;
- $p > 25 m_{ca}$;
- Numero di prese per km di condotta > 20 .

È necessario evidenziare, inoltre, che nell'equazione dell'UARL non si tiene conto dell'eventuale presenza di sfiori ai serbatoi o di perdite da parti fuori terra del sistema idrico.

Il calcolo dell'UARL costituisce uno dei più semplici e pratici metodi per stimare il limite inferiore del volume annuale di perdite reali per ogni sistema, tecnicamente raggiungibile a una data pressione di esercizio, ipotizzando che vengano applicate le migliori pratiche operative, in merito a qualità e rapidità delle riparazioni, una gestione delle reti e un controllo attivo delle perdite.

3.1.1.3 Indicatori di performance: CARL e ILI

Oltre al bilancio idrico standardizzato, la WLTF ha proposto una serie di indicatori di prestazione, PI (Performance Indicators), utili alla valutazione di:

- Acqua non fatturata;
- Perdite idriche;
- Perdite reali;
- Perdite apparenti.

Nonostante l'approccio dell'IWA preveda diversi indicatori di prestazione affini a differenti scopi (rispettivamente finanziario, operativo, relativo alle risorse idriche), ci si concentrerà esclusivamente sull'analisi di quello collegato alle perdite reali [10, 11].

Perdite Reali (CARL)

Le perdite reali, come è possibile intuire già dal titolo del paragrafo, sono indentificate anche dall'acronimo CARL (Current Annual Real Losses).

Per avere una visione immediata della relazione che lega il valore delle perdite reali annue (CARL) al valore delle perdite annuali inevitabili (UARL) di un bilancio annuale idrico IWA, si può fare riferimento alla Figura 3.1 (introdotta nel paragrafo 3.1), tenendo presente che: il CARL è rappresentato dal rettangolo centrale di ampiezza superiore e l'UARL dal rettangolo meno ampio situato al suo interno.

Inoltre, affinché il CARL abbia coerenza dimensionale con l'UARL, questo deve calcolato come [11]:

$$CARL = \frac{PR}{N_c * t} \quad (3.2)$$

in cui:

- PR : perdite reali annuali espresse in litri;
- N_c : numero di allacci;
- t : tempo di esercizio in giorni per anno.

Sia in Italia che in altri paesi del mondo, si utilizza tradizionalmente il volume di acqua persa rapportato al volume di acqua immessa in rete, espresso in termini percentuali, come indicatore tecnico di performance per le perdite reali.

Sfortunatamente tale indicatore, per quanto sia di utilizzo estremamente semplice, non tiene in considerazione una serie di parametri essenziali per una precisa valutazione dell'entità delle perdite in uno specifico acquedotto, per la definizione delle strategie e tecnologie più idonee al caso in esame e per l'ottenimento di una efficace gestione e/o riduzione delle perdite reali.

In relazione a quanto affermato sopra, dunque, alcuni dei parametri che devono essere considerati sono:

- Il numero di prese;
- La distanza tra il confine/limite stradale e il contatore del cliente;
- La lunghezza della rete di distribuzione;
- La pressione media operativa;
- La percentuale di tempo annuo in cui la rete si trova in pressione;
- Le condizioni delle condotte;
- I materiali utilizzati nella costruzione delle tubazioni;
- La frequenza delle rotture.

Indice di perdita dell'infrastruttura (ILI)

Alla luce delle problematiche appena menzionante, legate ai PI tradizionali relativi alle perdite reali, è stato di recente sviluppato un indicatore di prestazione operativo di dettaglio noto come indice di perdita infrastrutturale, ILI (Infrastructure Leakage Index).

L'ILI, è definito dall'equazione 3.3 [10, 11]:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (3.3)$$

Tale indicatore di prestazione valuta quanto efficacemente siano gestite le perdite reali, al regime di pressione di esercizio attuale, ed è considerato il miglior PI per il controllo delle perdite reali.

Ciò nonostante, è importante sottolineare che questo non implica che la gestione delle pressioni adoperata sia ottimale, e generalmente è possibile ridurre il volume delle perdite reali migliorando il controllo attivo delle pressioni ma non è altresì possibile ridurre il valore dell'ILI in quanto entrambi i membri del rapporto sono funzione della pressione, sia direttamente, nel caso del UARL che indirettamente nel caso del CARL.

Una volta calcolati sia il bilancio idrico IWA che gli indicatori di performance, nel nostro caso si farà nuovamente riferimento esclusivamente all'ILI, è utile riportare i valori trovati al sistema di classificazione proposto dal World Bank Institute (WBI) per riuscire a risalire ad una descrizione generale delle categorie di performance delle perdite reali.

Nella Tabella 3.2 si riporta, dunque, la classificazione proposta dal WBI correlata al valore trovato di ILI [12]:

Tabella 3.2: Allocazione del valore di ILI nel sistema di classificazione del WBI

Range del valore di ILI	Descrizione generale delle categorie di performance delle perdite reali (applicabile per paesi sviluppati e in via di sviluppo)
ILI < 2	Riduzioni di perdite aggiuntive possono essere economiche a meno che non si registri carenza idrica. È necessaria un'analisi dettagliata per individuare miglioramenti cost-effective.
$2 \leq \text{ILI} < 4$	Miglioramenti possibili e rilevanti. Bisogna considerare la gestione perdite e migliorare il controllo attivo della pressione e la manutenzione della rete.
$4 \leq \text{ILI} < 8$	Gestione scarsa delle perdite, situazione tollerabile soltanto se la risorsa risulta essere abbondante ed economica. È tuttavia necessario analizzare natura ed entità delle perdite e intensificare gli sforzi per cercare di ridurle.
ILI ≥ 8	Uso molto inefficiente della risorsa. Gli interventi di riduzione delle perdite rappresentano una priorità assoluta.

3.1.1.4 Tecnica Bottom Up: MFN e CMN

Prima di procedere con l'analisi del metodo "Bottom Up", basato sulla distrettualizzazione e sulle misure notturne, è doveroso premettere che -in merito alla determinazione e al controllo del livello di perdita- il DM 97/99 prescrive che «... Per il controllo delle perdite di un sistema di acquedotto è utile suddividere l'impianto in distretti, che possono comprendere interi elementi relativi alla produzione e porzioni di distribuzione di dimensioni da valutare con riferimento alla configurazione e dimensione della rete. Ogni distretto è definito dalla caratteristica di possedere organi di misura continua della portata immessa. Possono inoltre essere considerati i settori caratterizzati dalla possibilità di essere intercettati ed isolati dal sistema generale...».

Con tale decreto in Italia si è affermato il concetto di distrettualizzazione cioè di suddivisione dell'intero sistema idrico in aree di distribuzione tra loro sconnesse e solitamente

alimentate da un esiguo numero di punti di immissione, dette distretti o DMA (District Meter Area).

Stima delle perdite mediante tecnica “Bottom Up”

La tecnica “*Bottom Up*” permette di stimare le perdite idriche di distretti che risultino avere carattere permanente o temporaneo.

Tale metodo si basa sulla determinazione della portata idrica dispersa nel distretto analizzato, ottenuta tramite la detrazione dal Minimo Flusso Notturno (MNF), stabilito mediante misure dirette, di un di riferimento specifico per l’utenza detto Consumo Minimo Notturno (CMN).

Quest’ultimo valore, ossia il CMN, si è soliti delinearne in funzione di determinate caratteristiche quali: la tipologia di utenza; il tempo impiegato nell’effettuazione delle misure (inteso come ore e periodo annuo); l’estensione della rete [12].

Stima del Minimo Flusso Notturno (MNF)

Esistono svariate ragioni per cui è fondamentale che la misura della portata immessa nel distretto sia effettuata nelle ore notturne, tra queste vi sono:

- Il presumibile raggiungimento di un valore minimo facilmente definibile, fatta eccezione per i consumi dovuti a utenze particolari e/o a consumi industriali di cui bisogna conoscerne a priori l’esistenza;
- I minimi disagi causati alle utenze, fermo restando che è doveroso in egual maniera segnalare il disservizio alle utenze interessate con il giusto preavviso;
- Le limitate variazioni di consumo;
- I Transitori, dovuti alla rapida apertura e chiusura delle utenze, registrati con minor frequenza se rapportati a quelli registrati nelle ore diurne;
- La più facile individuazione delle perdite basata sulla riduzione dei consumi, in quanto all’aumentare della pressione si denota un aumento delle perdite.

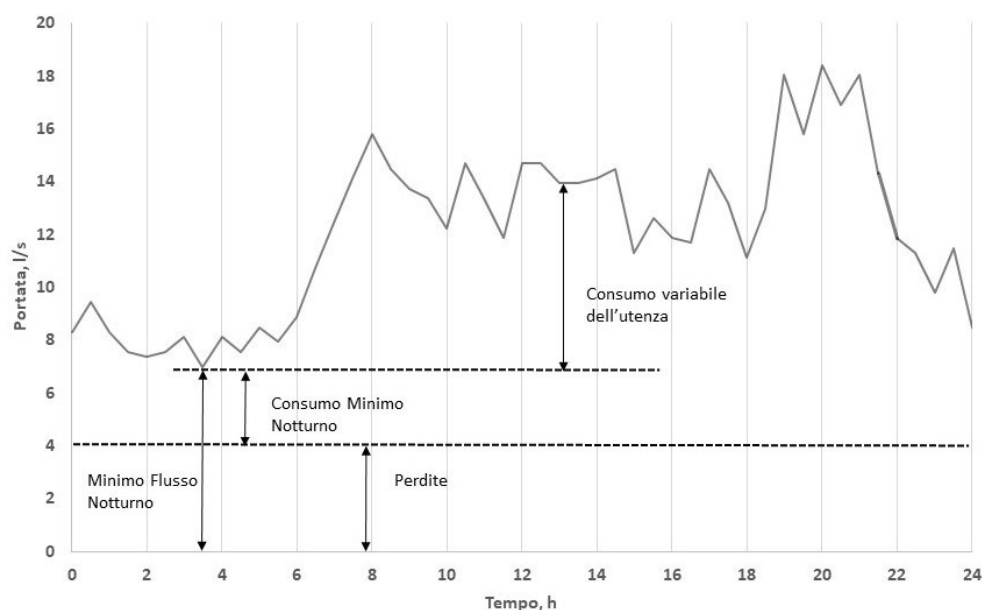


Figura 3.2: Andamento tipico del Minimo Flusso Notturno in un distretto

Preso in considerazione un DMA, la procedura indicata dal metodo Bottom Up per il rilevamento delle perdite più significative (non si parla della totalità delle perdite in quanto non si riesce a distinguerle perfettamente dai consumi esistenti) prevede le seguenti fasi:

- 1) Inserimento di un misuratore di portata sulla linea di alimentazione;
- 2) Definizione della curva tipica di consumo giornaliero, ottenuta monitorando per alcuni giorni la portata entrante nel distretto (fase antecedente l'analisi del consumo minimo notturno);
- 3) Analisi dei dati raccolti, con particolare attenzione all'individualizzazione del periodo della giornata in cui si sono registrate portate minime (solitamente tra la mezzanotte e le quattro del mattino).
- 4) Confronto tra il minimo flusso notturno appena misurato e un consumo notturno di riferimento determinato in precedenza. Più specificatamente:
 - Se $MNF > CMN$: è necessario un intervento nel distretto;
 - Se $MNF < CMN$: è possibile procedere con l'analisi del prossimo distretto
- 5) Confronto periodico dei consumi.

Il procedimento sopra esposto è stato stilato ipotizzando di dover lavorare su di un distretto permanente. Ciò nonostante è possibile applicare la stessa procedura anche nel caso in cui si voglia analizzare un distretto avente struttura temporanea, poiché basta tener conto del fatto che le misure di portata si riferiscono ad intervalli di tempo di durata limitata [12].

Determinazione del Consumo Minimo Notturno di riferimento (CMN)

Qualunque siano le perdite, la portata individuante il Consumo Minimo Notturno (CMN) risulta essere sempre funzione dei seguenti parametri:

- Tipologia delle utenze;
- Distribuzione della pressione in rete;
- Estensione del distretto;
- Densità abitativa;
- Fattore di contemporaneità del consumo;
- Periodo dell'anno in cui è effettuata l'analisi e ora di inizio delle misurazioni.

Sostanzialmente esistono due diverse maniere per risalire al valore di CMN e sono:

- Tramite l'utilizzo di formule empiriche;
- Tramite l'effettuazione di una campagna di ricerca e riparazione delle perdite, a cui seguono le misure in sito.

Concentrandosi sul primo dei due metodi, è chiaro che la determinazione di una formula per il calcolo del consumo minimo notturno non può avvenire se non in maniera empirica, basandosi dunque sulla raccolta e sull'analisi di un corposo numero di dati [12].

In Gran Bretagna, per l'appunto, è stata proposta una relazione empirica dal Water Research Centre (WRC) per il calcolo delle perdite di base e dei consumi notturni dovuti ad utenze sia industriali che civili, che prevede l'individuazione del consumo minimo notturno di riferimento (caratterizzante il distretto in esame) ottenuto grazie alla somma dei singoli contributi dovuti alle diverse utenze [12].

$$CMN = Q_{cons} + Q_{per} \quad (3.4)$$

L'equazione 3.3, ovviamente, tiene conto della pressione di esercizio, dell'estensione della rete nonché del numero di utenze. Il valore riscontrato deve poi essere confrontato con il valore misurato. Bisogna precisare infine, che sia il valore calcolato che quello misurato sono riferiti ad un intervallo di tempo equivalente ad un'ora.

L'idea che sta alla base di tale relazione è la scomposizione del Consumo Minimo Notturmo nella somma di altri due componenti quali: Q_{cons} , riguardante i consumi veri e propri, e Q_{per} dovuto ad una perdita parificata ad un rumore di sottofondo che può rivelarsi bassa, media o alta a seconda delle caratteristiche di infrastrutture e tubazioni.

A sua volta anche il termine Q_{cons} può essere scomposto nella somma di:

- Consumo notturno straordinario (CNS): superiore a 500 l/h, dovuto a consumi sia civili che industriali;
- Consumo industriale (CI): assunto pari a 8 l/ut./h (valore medio);
- Consumo civile (CC): fissato a 1,7 l/ut./h tenente conto dei risultati ottenuti delle analisi statistiche.

$$Q_{cons} = CNS + CI \cdot N_{c,i} + CC \cdot N_{c,c} \quad (3.5)$$

Dove:

- $N_{c,i}$: numero di utenze industriali
- $N_{c,c}$: numero di utenze civili

Per quanto riguarda il termine Q_{per} , invece, la formula sviluppata per la sua determinazione tiene in considerazione le diverse anomalie riscontrabili in una rete di distribuzione.

Focalizzando l'attenzione sulle perdite in un acquedotto la formula empirica di riferimento è:

$$Q_{per} = [C_1 \cdot L + C_2 \cdot N_c] \cdot PCF \quad (3.6)$$

dove:

L: estensione della rete espressa in km;

N_c : numero di utenze;

PCF: fattore correttivo della pressione (adimensionale);

C_1 : coefficiente sperimentale espresso in l/km/h;

C_2 : coefficiente sperimentale espresso in l/ut./h;

Q_{per} : espresso in l/h.

Nello specifico: $C_1 \cdot L$ rappresenta le perdite sulle condotte, mentre il prodotto $C_2 \cdot N$ rappresenta quelle che si verificano in prossimità degli allacci.

Si evidenzia, quindi, come la formula per ricavare Q_{per} tenga conto dei seguenti fattori:

- Pressione in rete;
- Numero di allacci e correlato livello di efficienza;
- Estensione e livello di efficienza delle condotte principali.

Si riportano adesso, in Tabella 3.3, i diversi valori assunti dai coefficienti C1 e C2 relazionati al livello di efficienza media della rete in esame:

Tabella 3.3: Coefficienti moltiplicativi per il calcolo di Q_{per}

Coefficienti per il calcolo di Q _{per}	livello di efficienza della rete		
	mediocre	medio	buono
C ₁ (l/km/h)	60	40	20
C ₂ (l/ut./h)	4,5	3	4,5

Per concludere, il fattore correttivo della pressione p può essere stimato tramite la relazione:

$$PCF = 0,028 \cdot p - 0,347 \quad (3.7)$$

3.1.2 Risparmio energetico potenziale

Mediante il calcolo delle perdite reali CARL e delle perdite inevitabili UARL, non solo è possibile definire l'ILI, ma allo stesso tempo è possibile quantificare le perdite reali potenzialmente recuperabili (PRPR) che sono rappresentate in Figura 3.1 dall'area compresa fra i due rettangoli. Difatti, mediante gli di accorgimenti riportati nella stessa figura, è possibile rendere questa area sempre minore, ciò si ripercuote anche sulla possibilità di avere un risparmio energetico.

$$PRPR = PR - UARL \cdot N_c \cdot 365 \quad (3.8)$$

Con N: numero utenze.

Affinché tale analisi sia possibile è doveroso comprendere al meglio i contributi energetici che fanno parte della spesa. Si possono classificare quindi 2 tipologie di contributi energetici:

- Sollevamenti comunali: sono i termini di consumo energetico utilizzati sia per la captazione e adduzione dell'acqua, che per eventuali sistemi di rilancio della pressione, effettuati all'interno del distretto;
- Sollevamenti intercomunali: sono i termini di consumo energetico derivanti da i sistemi di captazione e adduzione esterni al distretto e in comune con altri.

Definita quindi la spesa di sollevamento specifica SS per quantità di acqua annuale immessa in rete (VIR) e la PRPR è possibile determina il potenziale risparmio energetico PRE:

$$PRE = SS \cdot PRPR \quad (3.9)$$

3.1.3 Casi studio

Nell'ambito del Servizio Idrico Integrato che gestisce più di 60 paesi e altrettante reti di distribuzione, presenti sia nel Pinerolese che non, è stato possibile chiudere un bilancio idrico annuale di esercizio per soli 10 paesi in quanto, come anticipato nel paragrafo 3.1.1.4 si rende necessaria la presenza di un distretto che sia alimentato da un esiguo numero di punti di immissione e che questo sia disconnesso dai distretti adiacenti.

Nella realtà territoriale può accadere che la rete di distribuzione possa coincidere con il distretto in quanto il numero di utenze o l'estensione della rete abbia valori consoni tale da definire un distretto.

Nella fattispecie, alcune reti di distribuzione presenti nel territorio di competenza del Sistema Idrico Integrato sono completamente isolati, il quale rende agevole la stima del VIR.

Allo stesso tempo però la maggior parte delle reti sono interconnesse fra di loro sia perché sono alimentate da condotte di adduzione in comune, sia perché l'espansione delle reti ha portato a collegarne due o più vicine. In questo caso la valutazione del VIR può essere effettuata solo mediante l'utilizzo di misuratori di portata tali da disconnettere le reti e creare, dunque, dei distretti.

Bilancio idrico annuale

I dati che sono stati analizzati all'interno del Servizio Idrico Integrato risalgono agli anni di esercizio 2015 e 2016

I valori necessari per poter procedere alla stesura del bilancio idrico sono il volume immesso in rete VIR e l'acqua fatturata. Quest'ultima coincide con i consumi autorizzati fatturati CAF il quale a sua volta è suddiviso in CAFM e CAFNM.

Nello specifico dei distretti analizzati, il termine CAFNM è nullo in quanto non sono presenti utenti forfettari e ciò fa sì che il CAF coincida con il CAFM rendendo più agevole e reale la determinazione delle perdite.

Conoscendo quindi il VIR e il CAF è possibile risalire alle acque non fatturate ANF mediante l'equazione 3.10.

$$ANF = VIR - CAF \quad (3.10)$$

Per poter procedere nella stima delle perdite idriche, è necessario sottrarre alle acque non fatturate il consumo autorizzato non fatturato CANF, costituito dai termini CANFM e CANFNM. Nei distretti analizzati il primo termine è nullo mentre i valori del CANFNM sono stimati come percentuale del VIR:

$$CANFNM = X_{CANFNM} * VIR = CANF \quad (3.11)$$

Il valore di X_{CANFNM} oscilla tra 0,25% al 2,5% su stima degli acquedotti inglesi [10], e fa riferimento allo possibile presenza di punti acqua come le fontane pubbliche cittadine prive di misuratore.

È possibile quindi ricavare le IP:

$$IP = ANF - CANF \quad (3.12)$$

Le perdite idriche IP a loro volta sono costituite dalle perdite apparenti PA e dalle perdite reali. Le perdite apparenti sono costituite da consumi non autorizzati CNA e dagli errori di misura.

$$PA = CNA + SDC \quad (3.13)$$

I consumi non autorizzati sono stimati sulla base del VIR:

$$CNA = X_{CAN} * VIR \quad (3.14)$$

Il valore di X_{CAN} varia tra lo 0.25% al 1.25% su stima degli acquedotti inglesi [10], ma nei distretti in cui l'attività sottrattiva è consolidata, è possibile utilizzare percentuali superiori a quelle esposte come nel caso del distretto di Campiglione Fenile.

L'errore di misura, nella stesura di questo bilancio è costituito solo dalla sottoregistrazione dei contatori SDC utilizzati per la fatturazione dei consumi degli utenti.

$$SDC = X_{SDC} * CAFM \quad (3.15)$$

In questo caso, il valore di X_{SDC} è costante e non dipende dal distretto analizzato in quanto la quasi totalità dei distretti utilizza il medesimo tipo di contatore dei consumi. Nella fattispecie, da catalogo è stato possibile risalire al valore di X_{SDC} che è pari al 3%.

Infine è possibile risalire alle perdite reali PR:

$$PR = IP - PA \quad (3.16)$$

Si riportano di seguito solo i valori di VIR, CAFM e PR nella Tabella 3.4 riferiti all'anno di esercizio 2015 e nella Tabella 3.5 riferiti all'anno di esercizio 2016 dei dieci distretti analizzati, mentre per i valori dei contributi necessari per il calcolo delle PR, si fa riferimento agli Appendici H e I.

Tabella 3.4: VIR, CAFM, PR e percentuali dei distretti nell'anno 2015

	VIR	CAFM	%CAFM	PR	%PR
	m ³	m ³		m ³	
Airasca	233.346	206.900	88,7%	16.155	6,9%
Bricherasio	487.408	279.148	57,3%	186.482	38,3%
Campiglione Fenile	278.945	102.066	36,6%	163.357	58,6%
Cercenasco	89.912	86.402	96,1%	468	0,5%
Pancalieri	197.502	142.965	72,4%	46.298	23,4%
Perosa Argentina	291.915	176.073	60,3%	105.451	36,1%
Pinasca	173.434	141.573	81,6%	24.579	14,2%
Villafranca Piemonte	240.731	211.294	87,8%	16.478	6,8%
Villar Perosa	347.892	241.706	69,5%	91.107	26,2%
Volvera	875.007	720.170	82,3%	117.919	13,5%

Tabella 3.5: VIR, CAFM, PR e percentuali dei distretti nell'anno 2016

	VIR	CAFM	%CAFM	PR	%PR
	m ³	m ³		m ³	
Airasca	248.631	199.689	80,3%	38.600	15,5%
Bricherasio	421.269	279.627	66,4%	121.668	28,9%
Campiglione Fenile	286.083	98.254	34,3%	174.153	60,9%
Cercenasco	90.615	85.530	94,4%	2.066	2,3%
Pancalieri	187.746	141.956	75,6%	37.776	20,1%
Perosa Argentina	256.955	175.264	68,2%	71.936	28,0%
Pinasca	164.047	138.933	84,7%	18.075	11,0%
Villafranca Piemonte	238.944	208.413	87,2%	17.708	7,4%
Villar Perosa	353.511	241.419	68,3%	96.895	27,4%
Volvera	744.091	635.368	85,4%	76.640	10,3%

L'uso del valore percentuale delle perdite reali può essere fuorviante dal momento che il valore delle stesse diminuirà nei casi in cui l'uso generale dell'acqua aumenta. In effetti, le perdite reali percentuali tendono ad apparire basse nei paesi con un elevato consumo di acqua unitario e appaiono più elevate nei paesi che utilizzano piccole quantità di acqua per utenza [11]. Si esclude questa considerazione per il distretto di Campiglione F.

Qualora non si dovesse procedere nel calcolo degli indicatori di performance, si potrebbe commettere l'errore di programmare uno o più interventi per la gestione delle perdite della risorsa idrica, che non avrebbero l'esito desiderato.

Indicatori di performance

Una volta stilato il bilancio idrico annuale è possibile quindi procedere con il calcolo degli indicatori di performance.

Mediante l'utilizzo dell'equazione 3.2 è possibile calcolare il CARL che è riportato in Appendici 8 e 9, rispettivamente per gli anni 2015 e 2016

Per poter procedere alla stima dell'ILI di ciascun distretto è necessario prima calcolare il valore di UARL che in questo studio sarà il medesimo in entrambi gli anni di esercizio analizzati in quanto i valori dei parametri di:

- lunghezza delle condotte pubbliche;
- numero di allacci;
- lunghezza delle tubazioni private;
- pressione media;

non sono variati.

Per la lunghezza delle tubazioni private non è possibile avere un valore vero. Dato che di norma la distanza che va dalla presa sulla condotta al contatore, nel territorio cittadino è estremamente contenuto mentre ciò potrebbe non essere vero per le prese al di fuori. Di conseguenza si è ipotizzato che il valore della lunghezza delle tubazioni è dato dalla somma di tutte le prese aventi una distanza media di 6 metri [11] inoltre si è assunto che ad ogni utente corrisponda un solo allaccio.

Inoltre come riportato nel paragrafo 3.1.1.2 sono necessarie tre condizioni, delle quali però solo 2 sono verificate, non sempre si riesce ad avere un valore di $N_c + 20l_{pl} > 3000$. Nonostante ciò si è comunque deciso di procedere, utilizzando l'equazione 3.1 in quanto non si è a conoscenza di metodi alternativi.

Con l'utilizzo delle equazioni 3.1, 3.2 e 3.3 è possibile stimare rispettivamente l'UARL, il CARL e l'ILI di ciascun distretto. Si riporta sinteticamente il valore di quest'ultimo dei due anni di esercizio analizzati in Tabella 3.6 e si rimanda il lettore all'Appendice 8 e 9 per i restanti parametri utilizzati.

Tabella 3.6: ILI 2015 e 2016

	ILI 2015	ILI 2016
	-	-
Airasca	1,8	4,4
Bricherasio	2,0	1,3
Campiglione Fenile	13,2	14,1
Cercenasco	0,1	0,3
Pancalieri	5,2	4,2
Perosa Argentina	4,2	2,9
Pinasca	1,1	0,8
Villafranca Piemonte	0,3	0,4
Villar Perosa	2,6	2,8
Volvera	1,6	1,1

Utilizzando come guida la Tabella 3.2 è possibile trarre delle conclusioni riguardanti i valori di ILI appena analizzati. Più specificatamente, il caso critico è costituito dal distretto di Campiglione F., presentate ILI molto superiore a 8 e pari a 14.1 con andamento crescente. È imperativo quindi convergere le forze aziendali affinché il valore possa essere abbattuto. Dalle analisi storiche aziendali il distretto di Campiglione è continuamente soggetto a sottrazione non autorizzata il che rende tale intervento prioritario su qualsiasi altro distretto.

Anche il distretto di Airasca presenta criticità in quanto in un solo anno, il valore dell'ILI è più che raddoppiato, nel dettaglio si è passati da un valore pari 1,8 riferito all'anno 2015 a un valore di 4,4 nel 2016. Ciò desta preoccupazione in quanto si è passato dal non necessario intervento a poter avere potenziali e significativi margini di miglioramento.

In posizione opposta si ritrovano i distretti di Cercenasco e di Villafranca P. che vantano un valore di ILI molto inferiore a 2 e ciò è dovuto alla giovane età della rete di distribuzione.

Infine si può notare come la campagna di ricerca perdite avvenuta tra il 2015 e il 2016 abbia ottenuto parziali effetti desiderati nei distretti di Pancalieri e Perosa A. pur non avendo però raggiunto l'obiettivo costituito da un valore di ILI minore di 2.

Tecnica Bottom Up

La tecnica Bottom up è stata applicata ai soli distretti di cui si è a conoscenza del MNF.

Per la determinazione del CMN mediante l'equazione 3.4 sono state effettuate delle ipotesi:

- nell'equazione 3.5 utile al calcolo della Q_{cons} , si richiede la conoscenza delle utenze industriali che sono state assunte essere pari alle utenze non domestiche;
- nell'equazione 3.6 necessaria per il calcolo del Q_{per} , si sono utilizzati coefficienti C1 e C2 corrispondenti ad un livello di efficienza buono della rete.

Poiché i parametri utilizzati nel calcolo non variano nel lasso di tempo analizzato, il valore di CMN sarà il medesimo.

Si riportano i valori di MNF e CMN in Tabella 3.7 di entrambi gli anni analizzati e si rimanda il lettore all'Appendice 8 e 9 per una visione completa del calcolo.

Tabella 3.7: CMN, MNF del 2015 e del 2016 con il mese di acquisizione

	CMN	MNF 2015	MNF 2016	MESE
	1/s	1/s	1/s	-
Airasca	0,83	1,56	2,2	APR
Campiglione Fenile	1,09	6,32	4,81	APR
Cercenasco	0,81	0,75	0,58	APR
Pancalieri	0,95	1,73	1,73	APR
Villafranca Piemonte	1,89	2,13	1,917	APR

Si ricorda inoltre che il valore del MNF per essere confrontato fra differenti anni, deve essere acquisto nel medesimo periodo dell'anno.

Confrontando i valori di MNF con CMN e i valori di MNF tra loro, del medesimo distretto, ci si può ricondurre alle medesime conclusioni ottenute dall'analisi dell'ILI. Tuttavia lo studio

dell'ILI è preferito in quanto permette di discretizzare i risultati in classi di necessità di intervento contrariamente alla tecnica Bottom Up.

Potenziale risparmio energetico

Utilizzando le equazioni 3.8 e 3.9 è stato possibile determinare il potenziale risparmio energetico PRE per ciascun distretto il cui valore di CARL fosse maggiore del valore di UARL (ILI>1). Si riporta in Tabella 3.8 lo studio dell'anno 2016 e si sottolinea l'inutilità di un tale studio per l'anno 2015 in quanto ha senso programmare interventi per il futuro basandosi sui dati più recenti.

Tabella 3.8: VIR, PRPR, Sollevamenti, PRE e percentuali dei distretti nell'anno 2016

	VIR	PRPR	Sollevamenti	Sollevamenti specifici	PRE	%PRE
	m ³	m ³	kWh	kWh/m ³	kWh	
Airasca	248.631	29.749	129.079	0,52	15.445	12%
Bricherasio	421.269	29.956	375.882	0,89	26.729	7%
Campiglione Fenile	286.083	161.776	163.082	0,57	92.221	57%
Pancalieri	187.746	28.826	50.304	0,27	7.724	15%
Perosa Argentina	256.955	47.034	30.178	0,12	5.524	18%
Villar Perosa	353.511	62.266	149.038	0,42	26.251	18%
Volvera	744.091	4.800	213.939	0,29	1.380	1%

Anche in questo caso è possibile riconoscere potenziali margini di miglioramento nel distretto di Campiglione F. seguito da Perosa A. e Villar P. come già verificato con l'indice di performance ILI e con il metodo Bottom Up.

Conclusioni

Il primo obiettivo del presente lavoro di tesi è la valutazione della sostenibilità energetica dell'impianto idrico API S.p.A utilizzato per il recupero di energia elettrica dal sistema di captazione e adduzione in altura.

Attraverso l'utilizzo della procedura spiegata nel capitolo 2 è stato possibile valutare l'Energy Return on Investment (EROI) e l'Energy Payback Time (EPT): parametri caratterizzanti per la valutazione di sostenibilità energetica.

Per la valutazione dei contributi energetici utilizzati per il calcolo dell'EROI ed EPT si è reso necessario ipotizzare una vita utile dell'impianto pari a ottant'anni. Grazie alla memoria storica aziendale, invece, è stato possibile risalire alla vita utile di alcuni elementi costituenti l'impianto; a differenza di altri per cui si è reso necessario ipotizzare una vita utile.

Si è ottenuto così, un valore di EROI pari a 3,2 il che equivale a dire che per ogni unità di energia spesa in tutto il processo è possibile ricavarne più di tre.

Si è proceduto in seguito, effettuando uno studio di sensitività dell'EROI e dell'EPT in funzione della vita utile. Da tale studio si è evinto che il massimo valore di EROI ottenibile, ipotizzando una vita utile ragionevole, è di circa 4. Tale valore corrisponde a una vita utile pari a cento anni e crollerebbe qualora si ipotizzasse un valore superiore di appena dieci anni. Il comportamento evinto è dovuto all'ipotesi di vita della condotta di adduzione -assunta pari a cento anni- in quanto, essendo l'elemento preponderante tra quelli costituenti l'Indirect energy, si rende necessaria la sua sostituzione al sopraggiungere dello scadere di tale arco di tempo.

Se tale valutazione, basata su dati reali, è stata inizialmente effettuata per un impianto fittizio costituito da tre differenti sistemi entrati in esercizio contemporaneamente, la realtà aziendale dell'impianto di API S.p.A (a cui quello fittizio si ispirava) ha richiesto diciotto anni per il completamento dei tre differenti sistemi. Tuttavia è doveroso precisare che, nonostante questa discrepanza, i valori di EROI riscontrati analizzando il caso reale sono prossimi a quelli ottenuti dallo studio dell'impianto fittizio.

Il secondo e ultimo obiettivo che ci si era prefissati è quello di ricercare delle criticità all'interno delle reti di distribuzione e individuare ipotetici interventi per ottenere un risparmio energetico.

Tale obiettivo è stato raggiunto mediante l'utilizzo delle tecniche top-down, per la stesura del bilancio idrico, e la valutazione dell'indice di performance ILI.

In particolare su dieci distretti analizzati due presentano criticità intermedie e uno presenta criticità preoccupanti. Quest'ultima fa riferimento al distretto di Campiglione F. che presenta un indice ILI pari a 14,1 indicante che le perdite reali sono quattordici volte superiori alle perdite inevitabili. Mediante l'utilizzo della ricerca perdite di questo distretto è stato stimato un potenziale risparmio energetico pari al 57% dell'energia spesa nell'ultimo anno di esercizio.

Inoltre, se pur con valori meno allarmanti, per i distretti di Pancalieri e Perosa A. si è calcolato un potenziale risparmio energetico di circa il 20%.

In conclusione, mediante l'utilizzo della tecnica Bottom Up e quindi mediante la definizione del Consumo Minimo Notturmo stimato e l'acquisizione del Minimo Flusso

Notturmo reale, è stato possibile determinare qualitativamente la presenza delle perdite reali e giungere alle medesime conclusioni a cui si era arrivati mediante l'utilizzo degli indicatori di performance.

Lista dei simboli

ANF	Acqua non fatturata	m^3
C_1	Coefficiente sperimentale per calcolare Q_{per}	$l/km/h$
C_2	Coefficiente sperimentale per calcolare Q_{per}	$l/ut./h$
CAF	Consumi autorizzati fatturati	m^3
CAF _M	Consumo fatturato misurato	m^3
CAF _{NM}	Consumo fatturato non misurato	m^3
CANF	Consumi autorizzati non fatturati	m^3
CAN _{FM}	Consumo non fatturato misurato	m^3
CAN _{FN}	Consumo non fatturato non misurato	m^3
CARL	Current Annual Real Losses	$l/d/allacci$
CC	Consumo civile	$l/ut./h$
CI	Consumo industriale	$l/ut./h$
CMN	Consumo Minimo Notturmo	l/s
CNA	Consumo non autorizzato	m^3
CNS	Consumo notturno straordinario	l/h
$E_{already}$	Energia spesa per la produzione energetica	kWh
E_{amort}	Energia indiretta connessa con l'ammortamento	kWh
$E_{avoided}$	Energia risparmiata	kWh
E_{chem}	Energia indiretta connessa con la produzione dei chemicals utilizzati	kWh
E_{constr}	Energia indiretta connessa con la costruzione	kWh
E_{decom}	Energia indiretta connessa con il decommissioning	kWh
$E_{dir,en}$	Energia indiretta spesa per produrre l'energia diretta	kWh
E_{ind}	Energia spesa indirettamente nell'impianto	kWh
E_{lab}	Energia indiretta per il lavoro	kWh
E_{main}	Energia indiretta connessa con il mantenimento	kWh
E_{mat}	Energia indiretta connessa con la produzione dei materiali utilizzati	kWh

EPT	Energy Payback Time	anni
EROI	Energy Return On Investment	-
ESI	Energy Sustainability Index	-
GER _i	Global Energy Requirement per unità di massa per unità di volume per unità di massa per chilometro	MJ _{eq} /kg MJ _{eq} /m ³ MJ _{eq} /(t*km)
ILI	Infrastructure Leakage Index	-
IP	Perdite idriche	m ³
L	Estensione della rete	km
l _{pl}	Lunghezza delle condotte	km
l _{pr}	Lunghezza delle tubazioni private	km
MFN	Minimo Flusso Notturmo	l/s
M _i	Quantità di chemical richiesta dal processo	kg
N _c	Numero di allacci	-
	N _{c,c} : numero di utenze civili	-
	N _{c,i} : numero di utenze industriali	-
P	Pressione media	m _{ca}
PA	Perdite apparenti	m ³
PCF	Fattore correttivo della pressione	-
PR	Perdite reali	m ³
PRE	Potenziale risparmio energetico	kWh
PRPR	perdite reali potenzialmente recuperabili	m ³
Q _{cons}	Consumi veri e propri straordinari, civili e industriali	l/h
Q _{per}	Consumi dovuti ad anomalie nella rete di distribuzione	l/h
SDC	Sottoregistrazione dei contatori	-
SS	Spesa di sollevamento specifica	kWh/ m ³
T	Tempo di esercizio	giorni
UARL	Current Annual Real Losses ossia perdite annuali inevitabili	l/d/allacci
VIR	Volume immesso in rete	m ³
X _{CANFNM}	Percentuale del consumo non fatturato non misurato	-
X _{SDC}	Percentuale di sottoregistrazione dei contratti	-

Y Rapporto tra l'energia indiretta di manutenzione dell'impianto e -
l'energia indiretta dei materiali

Riferimenti bibliografici

- [1] M. Di Addario, A. C. L. Malavè, S. Sanfilippo, D. Fino, and B. Ruggeri, “Evaluation of sustainable useful index (SUI) by fuzzy approach for energy producing processes,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 107, pp. 153–166, 2016.
- [2] A. C. L. Malavè, D. Fino, C. E. Gómez Camacho, and B. Ruggeri, “Experimental tests on commercial Sweet Product Residue (SPR) as a suitable feed for anaerobic bioenergy (H₂+CH₄) production,” *Waste Manag.*, 2017.
- [3] B. Ruggeri, T. Tommasi, and S. Sanfilippo, *BioH₂ & BioCH₄ Through Anaerobic Digestion*. 2015.
- [4] L. Da Deppo, *Acquedotti*. Cortina (Padova), 2005.
- [5] M. Tanzini, *Impianti idroelettrici: progettazione e costruzione*. Dario Flaccovio Editore (Palermo), 2013.
- [6] G. Hydropower, “Forged Francis Turbine Runner Design For Hydroelectric Power Plant Parts,” 2017. [Online]. Available: <http://www.gt-hec.com/francis-turbine/francis-turbine-runner/forged-francis-turbine-runner-design-for.html>. [Accessed: 01-Dec-2017].
- [7] International Water Association, IWA the Blue Pages, *Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures*, 2000.
- [8] Thornton J. et al., *Water loss control manual*, Mc Grow Hill, New York, 2002.
- [9] Farley M. e Trow S., *Losses in water distribution networks*, IWA Publishing, 2003.
- [10] Lambert A. et al., A review of performance indicators for real losses from water supply system, *Aqua*, 48(6), pp. 227-237, 1999
- [11] S. Hamilton, R. McKenzie, and C. Seago, “A review of performance indicators for real losses from water supply systems,” *Aqua*, pp. 1–9, 1999
- [12] Brunone B. et al., 2008, *Ricerca e controllo delle perdite nelle reti di condotte*, Città Studi Edizioni, Torino.

Appendice

Appendice A

Quantità dei materiali costituenti il sistema Balma.

Tipologia	A) noli	B) Asportazione e ripristini		C) Forniture idrauliche														
	Fonte	cme	cme		catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme	cme	catalogo	cme	
	autocarro	scavi reinterro demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo Acc DN450	curve 90 DN450	curve 45 DN450	Tubo Acc DN600	Tubo Acc DN150	saracinesca DN450 acc	saracinesca DN250 acc	saracinesca DN150 acc	valvola regolazione DN250 acc	sfiati DN150 acc	scarichi DN150 acc	tubo pvc DN630	bitume e isolanti		
Densità	50 km/h		kg/ m ³	kg/m	kg/n	kg/n	kg/m	kg/m	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/m			
	8+15 t		2300	70,3	119	59	93,8	16,3	352	90	34	190	95	95	39,37			
Costituzione Impianto	kg	h	m ³	m	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n	m	kg		
1) Condotta di adduzione			29.134	548	6.800	30	60	48	200						100	0		
2) Accessori condotta											19		9	10				
3) Vasca di carico			451							2								
4) Vasca di scarico			150															
5) Fabbricato centrale		164	1.506															
6) Girante Turbina	Targa	2200																
7) Cassa Turbina																		
8) Generatore																		
9) Trasformatore																		
10) By-pass										1	4	2	4					
			t*km	m³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg		
			188.600	31.241	27	478.040	3.570	3.540	4.502	3.260	1.056	360	714	760	855	950	3.937	0

Tipologia	D) Fornitura materiali opere									
Fonte	cme									
	stabilizzato sabbia ciottoli	CLS	malta di cemento (spessore 2,5 cm)	Manufatti in Acc	Manufatti in Fe	Manufatti in Ghisa	Manufatti in Cu	Manufatti in vetroresina	Manufatti Legno s=5cm	
Densità		kg/ m ³ 2000	kg/mc 2000						kg/ m ³ 750	
Costituzione Impianto	kg	kg	m ³	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	m ²
1) Condotta di adduzione		2.550.000	99		3.000	1.814	1.539			
2) Accessori condotta										
3) Vasca di carico		463.120	398	4	12.500	150	150	100		602
4) Vasca di scarico					1.250					
5) Fabbricato centrale		530.000	893	36	22.200	1.200		100	500	1.169
6) Girante Turbina	Targa	2200			733					
7) Cassa Turbina					1.467					
8) Generatore					990		770	440		
9) Trasformatore						780		520		
10) By-pass										
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		3.543.120	2.780.680	80.010	42.140	3.944	2.459	1.160	500	1.328.250

Appendice B

Quantità dei materiali costituenti il sistema Inverso.

Tipologia	A) noli		B) Asportazione e ripristini		C) Forniture idrauliche														
	cme		cme		catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme	cme	catalogo	cme		
Fonte	autocarro	scavi reinterro demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo DN450 acc	curve 90 DN450 acc	curve 45 DN450 acc	Tubo DN600 Acc	Tubo DN150 acc	saracinesca DN450 acc	saracinesca DN250 acc	saracinesca DN150 acc	valvola regolazione DN250 acc	sfiati DN150 acc	scarichi DN150 acc	tubo pvc DN630	bitume e isolanti			
Densità	50 km/h		kg/ m ³	kg/m	kg/n	kg/n	kg/m	kg/m	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/m			
	8+15 t		2300	70,3	119	59	93,8	16,3	352	90	34	190	95	95	39,37				
Costituzione Impianto		kg	h	m ³	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n	n	m	kg		
1) Condotta di adduzione				44.828	843	10.463	46	92	74	308						154	165.254		
2) Accessori condotta												29	14	15					
3) Vasca di carico				451						2									
4) Vasca di scarico				150															
5) Fabbricato centrale			164	1.506															
6) Girante Turbina		Targa	2700																
7) Cassa Turbina																			
8) Generatore		Targa	2320																
9) Trasformatore		Targa	1900																
10) By-pass										1	4	2	4						
				t*km	m³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg		
				188.600	46.935	42	735.549	5.493	5.447	6.928	5.016	1.056	360	1.062	760	1.316	1.462	6.058	165.254

Tipologia	D) Fornitura materiali opere										
	cme										
Fonte	stabilizzato sabbia ciottoli	CLS	malta di cemento (s= 2,5 cm)	Manufatti in Acc	Manufatti in Fe	Manufatti in Ghisa	Manufatti in Cu	Manuf. in vetroresina	Manufatti Legno (s=5cm)		
Densità		kg/ m ³	kg/ m ³						kg/ m ³		
		2000	2000						750		
Costituzione Impianto		kg	kg	m ³	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	m ²
1) Condotta di adduzione			3.923.625	152		4.616	2.791	2.368			
2) Accessori condotta											
3) Vasca di carico			463.120	398	4	12.500	150	150	100		602
4) Vasca di scarico						1.250					
5) Fabbricato centrale			530.000	893	36	22.200	1.200		100	500	1.169
6) Girante Turbina		Targa	2700			900					
7) Cassa Turbina						1.800					
8) Generatore		Targa	2320			1.044		812	464		
9) Trasformatore		Targa	1900				1.140		760		
10) By-pass											
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
			4.916.745	2.887.338	80.010	44.310	5.281	3.330	1.424	500	1.328.250

Appendice C

Quantità dei materiali costituenti il sistema Condotta.

	B) Asportazione e ripristini		C) Forniture idrauliche									
	cme		catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme
	scavi reinterro demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo Acc DN450	curve 90 DN450	curve 45 DN450	Tubo Acc DN600	Tubo Acc DN150	saracinesca DN450	saracinesca DN250	saracinesca DN150	valvola regolazione DN250	sfiati DN150
Densità		kg/ m ³ 2300	kg/m 70,3	kg/n 119	kg/n 59	kg/m 93,8	kg/m 16,3	kg/n 352	kg/n 90	kg/n 34	kg/n 190	kg/n 95
	m ³	m	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n
1) Condotta di adduzione	58.311	1.097	13.610	60	120	96	400					
2) Accessori condotta										38		18
	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	58.311	126.133	956.783	7.145	7.085	9.011	6.525	0	0	1.293	0	1.711

	C) Forniture idrauliche		D) Fornitura materiali opere	
	cme	catalogo	cme	cme
	scarichi DN150	tubo pvc DN30	bitume e isolanti	stabilizzato sabbia ciottoli
Densità	kg/n 95	kg/m 39,37		
	n	m	kg	kg
1) Condotta di adduzione		200	214.958	5.103.750
2) Accessori condotta	20			
	kg	kg	kg	kg
	1.901	7.880	214.958	5.103.750

Appendice D

Contributi energetici entranti ed uscenti dall'impianto di API S.p.A

POZZI DI FENESTRELLE																	
(valori in kWh)		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Acquisto Pozzo CHAMBONS (Fenestrelle)	MIS														0	0	509.232
Acquisto Pozzo C. ALBERTO (Fenestrelle)	MIS														157.317	272.539	272.332
Totale Acquisto POZZI FENESTRELLE	MIS														157.317	272.539	781.564

CENTRALE DI BALMA																	
(valori in kWh)		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Totale contatore Produzione	MIS																
Totale acquisto da Enel a ACEA	MIS																
Totale contatore Usi Esenti (Autoconsumo)	MIS																
Totale ceduto da ACEA	MIS																
Perdite	CAL																

POZZI DI BALMA																	
(valori in kWh)		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Acquisto Pozzi BALMA (1-2-3)	MIS	456.200	413.570	411.640	724.320	714.100	728.980	730.520	716.320	810.720	805.869	749.900	757.100	689.018	711.546	719.170	667.941
Acquisto Pozzo BALMA (4)	MIS																
Totale Acquisto POZZI BALMA	MIS	456.200	413.570	411.640	724.320	714.100	728.980	730.520	716.320	810.720	805.869	749.900	757.100	689.018	711.546	719.170	667.941

NOTE: da giugno 2013 il pozzo 2 è sostituito dal pozzo 4

CENTRALE DI INVERSO PINASCA																	
(valori in kWh)		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Totale contatore Produzione	MIS	1.156.960	1.404.000	1.459.040	2.050.240	1.973.120	2.093.440	2.216.480	2.043.680	1.900.640	1.906.880	1.634.720	1.506.560	1.688.160	2.178.400	2.296.800	2.003.200
Totale acquisto da Enel a ACEA	MIS	<u>3.800</u>	<u>5.959</u>	<u>8.914</u>	<u>7.238</u>	<u>8.233</u>	<u>6.668</u>	<u>8.288</u>	6.390	4.500	2.790	5.310	21.150	12.780	6.210	25.945	43.456
Totale contatore Totalizzatore	MIS	152.000	238.350	356.550	289.500	329.300	266.700	331.500	301.300	179.200	160.650	204.600	225.400	173.850	58.800	91.800	128.050
Totale contatore Usi Esenti	MIS	9.360	14.240	15.560	16.220	18.420	15.300	15.840	15.420	16.020	16.280	15.920	14.940	15.320	13.100	12.680	9.320
Totale Usi Tassati	CAL	142.640	224.110	340.990	273.280	310.880	251.400	315.660	285.880	163.180	144.370	188.680	210.460	158.530	45.700	79.120	118.730
Autoconsumo	CAL	148.200	232.391	347.636	282.263	321.068	260.033	323.213	294.910	174.700	157.860	199.290	204.250	161.070	52.590	65.855	84.594
% Autoconsumo su produzione		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale ceduto da ACEA	MIS	955.800	1.171.800	<u>1.101.575</u>	<u>1.752.955</u>	<u>1.637.690</u>	<u>1.821.293</u>	<u>1.884.008</u>	1.750.230	1.733.490	1.756.980	1.438.560	1.295.460	1.519.290	2.134.890	2.225.965	1.894.702
% ceduto da Acea su produzione		82,6%	83,5%	75,5%	85,5%	83,0%	87,0%	85,0%	85,6%	91,2%	92,1%	88,0%	86,0%	90,0%	98,0%	96,9%	94,6%
Perdite	CAL	52.960	-191	9.829	15.022	14.363	12.115	9.260	-1.460	-7.550	-7.960	-3.130	6.850	7.800	-9.080	4.980	23.905

NOTE: dal 88 al 94 si ipotizza il 2,5% del Totalizzatore per il calcolo del Totale acquisto da Enel a ACEA

NOTE: dal 90 al 94 i valori di Totale ceduto da ACEA sono stimati in base alla percentuale sul Prodotto, osservando gli anni con simile produzione

		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Produced energy	kWh	1.156.960	1.404.000	1.459.040	2.050.240	1.973.120	2.093.440	2.216.480	2.043.680	1.900.640	1.906.880	1.634.720	1.506.560	1.688.160	2.178.400	2.296.800	2.003.200
Direct energy	kWh	661.160	651.729	778.019	1.028.842	1.057.763	1.007.795	1.071.280	1.016.160	982.370	958.559	951.370	989.350	870.668	918.583	1.088.489	1.601.460
Net energy	kWh	495.800	752.271	681.021	1.021.398	915.357	1.085.645	1.145.201	1.027.520	918.270	948.321	683.350	517.210	817.492	1.259.817	1.208.311	401.740

Segue Appendice D

POZZI DI FENESTRELLE																
(valori in kWh)		2004	2005	al 04/2006	dal 05/2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TOTALE 01-16
Acquisto Pozzo CHAMBONS (Fenestrelle)	MIS	504.548	458.897	158.782	317.563	469.537	419.270	447.157	446.700	428.224	423.134	420.823	409.413	424.808	457.135	6.295.223
Acquisto Pozzo C. ALBERTO (Fenestrelle)	MIS	282.213	278.592	97.667	195.334	308.794	273.056	272.041	276.937	277.607	277.990	258.057	223.031	242.170	239.521	4.205.198
Totale Acquisto POZZI FENESTRELLE	MIS	786.761	737.489	256.449	512.897	778.331	692.326	719.198	723.637	705.831	701.124	678.880	632.444	666.978	696.656	10.500.421

CENTRALE DI BALMA																	
(valori in kWh)		2004	2005	al 04/2006	dal 05/2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TOTALE 06-16	MEDIA 07-16
Totale contatore Produzione	MIS				649.512	1.086.685	1.176.934	1.196.126	1.194.120	1.158.741	1.121.710	1.113.187	1.012.067	1.086.810	1.136.579	11.932.472	1.128.296
Totale acquisto da Enel a ACEA	MIS				642	1.499	129	32	20	13	16	9	10	23	64	2.456	
Totale contatore Usi Esenti (Autoconsumo)	MIS				713	1.994	2.133	2.282	1.175							8.297	
Totale ceduto da ACEA	MIS				645.189	1.078.756	1.167.496	1.186.880	1.186.895	1.153.056	1.116.786	1.108.341	1.007.831	1.082.731	1.132.690	11.866.651	
Perdite	CAL				3.609	5.934	7.305	6.965	6.051	5.685	4.925	4.846	4.236	4.079	3.889	57.524	

POZZI DI BALMA																
(valori in kWh)		2004	2005	al 04/2006	dal 05/2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TOTALE 88-16
Acquisto Pozzi BALMA (1-2-3)	MIS	478.660	569.140	204.784	409.568	720.812	640.980	701.876	693.414	683.850	687.178	481.950	335.548	347.915	352.008	18.114.597
Acquisto Pozzo BALMA (4)	MIS											170.127	273.075	272.243	267.019	982.464
Totale Acquisto POZZI BALMA	MIS	478.660	569.140	204.784	409.568	720.812	640.980	701.876	693.414	683.850	687.178	652.077	608.623	620.158	619.027	19.097.061

CENTRALE DI INVERSO PINASCA																	
(valori in kWh)		2004	2005	al 04/2006	dal 05/2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TOTALE 88-16	MEDIA 07-16
Totale contatore Produzione	MIS	2.571.200	2.724.160	937.813	1.875.627	3.011.360	2.812.800	2.938.880	2.951.886	2.987.928	2.982.416	2.942.938	2.898.061	2.844.166	2.899.002	66.890.557	2.926.944
Totale acquisto da Enel a ACEA	MIS	17.705	3.227	862	1.723	763	1.388	396	2.724	3.542	388	480	517	3.866	2.872	218.083	
Totale contatore Totalizzatore	MIS	186.950	152.300	29.567	59.133	113.500	100.950	102.250	133.815	131.515	131.540	154.255	152.990	133.455	138.324	5.208.094	
Totale contatore Usi Esenti	MIS	1.860	2.060	767	1.533	2.560	2.120	2.500	5.068	2.514	2.578	2.674	2.662	2.825	3.219	268.879	
Totale Usi Tassati	CAL	185.090	150.240	28.800	57.600	110.940	98.830	99.750	128.747	129.001	128.962	151.581	150.328	130.630	135.105	4.939.215	
Autoconsumo	CAL	169.245	149.073	28.705	57.410	112.737	99.562	101.854	131.091	127.973	131.152	153.775	152.473	129.589	135.452	4.990.011	
% Autoconsumo su produzione		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Totale ceduto da ACEA	MIS	2.371.511	2.551.398	899.619	1.799.239	2.831.678	2.696.729	2.803.609	2.777.628	2.816.033	2.810.006	2.745.675	2.703.663	2.672.270	2.722.564	61.276.309	
% ceduto da Acea su produzione		92,2%	93,7%	95,9%	95,9%	94,0%	95,9%	95,4%	94,1%	94,2%	94,2%	93,3%	93,3%	94,0%	93,9%	91,6%	
Perdite	CAL	30.444	23.689	9.489	18.978	66.945	16.509	33.417	43.168	43.923	41.258	43.488	41.924	42.307	40.986	624.237	

		2004	2005	al 04/2006	dal 05/2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	TOTALE 88-16	MEDIA 07-16
Produced energy	kWh	2.571.200	2.724.160	937.813	2.525.139	4.098.045	3.989.734	4.135.006	4.146.006	4.146.669	4.104.126	4.056.125	3.910.128	3.930.976	4.035.581	78.823.029	4.055.240
Direct energy	kWh	1.482.815	1.482.618	500.289	1.005.541	1.689.016	1.460.332	1.566.020	1.601.279	1.570.817	1.566.041	1.533.555	1.440.228	1.466.999	1.498.946	35.498.090	1.539.323
Net energy	kWh	1.088.385	1.241.542	437.525	1.519.598	2.409.029	2.529.402	2.568.987	2.544.728	2.575.852	2.538.086	2.522.570	2.469.900	2.463.977	2.536.635	43.324.939	2.515.917

Appendice E

Quantità di materiale dell'impianto di API S.p.A, sistema Balma.

Tipologia	A) noli			B) Asportazione e ripristini			C) Forniture idrauliche							
	Fonte	cme	cme	cme	catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme
	autocarro		scavi rentero demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo DN450 acc	curve 90 DN450 acc	curve 45 DN450 acc	Tubo DN600 acc	Tubo DN150 acc	saracinesca DN450 acc	saracinesca DN250 acc	saracinesca DN150 acc	valvola regolazione DN250 acc	sfiati DN150 acc
Vita impianto	80	Densità	50 km/h	kg/mc	kg/m	kg/n	kg/n	kg/m	kg/m	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n
			8+15 t	2300	70,3	119	59	93,8	16,3	352	90	34	190	95
Costituzione Impianto		Quantità	h	m³	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n
1) Condotta di adduzione		2		58.268	1.096	13.600	60	120	96	400				
2) Attraversamenti		5										38		18
3) Vasca di carico		3		1.354						6				
4) Vasca di scarico		3		450										
5) Fabbricato centrale		3	492	4.518										
6) Girante Turbina		6												
7) Cassa Turbina		3												
8) Generatore		7												
9) Trasformatore		4												
10) By-pass		5								5	20	10	20	
Totale		492		64.590	1.096	13.600	60	120	96	400	11	20	48	20
		t*km		m³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		565.800		64.590	126.040	956.080	7.140	7.080	9.005	6.520	3.872	1.800	1.632	3.800

Tipologia	C) Forniture idrauliche			D) Fornitura materiali opere										
	Fonte	cme	catalogo	cme	cme	catalogo	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo
		scarichi DN150 acc	tubo pvc DN630	bitume e isolanti	stabilizzato sabbia ciottoli	CLS	malta di cemento (spessore 2,5 cm)	Manufatti in Acc	Manufatti in Fe	Manufatti in Ghisa Sferoidale	Manufatti in Cu	Manufatti in vetroresina	Manufatti Legno s=5cm	
Vita impianto	80	Densità	kg/n	kg/m		kg/mc	kg/mc						kg/mc	
			95	39,37		2000	2000						750	
Costituzione Impianto		Quantità	n	m	kg	kg	m³	m³	kg	kg	kg	kg	kg	m²
1) Condotta di adduzione		2		200	214.800	5.100.000	198		6.000	3.628	3.078			
2) Attraversamenti		5	20											
3) Vasca di carico		3				1.389.360	1.194	12	37.500	450	450	300		1.806
4) Vasca di scarico		3							3.750					
5) Fabbricato centrale		3				1.590.000	2.680	108	66.600	3.600		300	1.500	3.507
6) Girante Turbina		6							4.400					
7) Cassa Turbina		3							4.400					
8) Generatore		7							6.930		5.390	3.080		
9) Trasformatore		4								3.120		2.080		
10) By-pass		5												
Totale		20		200	214.800	8.079.360	4.072	120	129.580	10.798	8.918	5.760	1.500	5.313
		kg		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		1.900		7.874	214.800	8.079.360	8.144.040	240.030	129.580	10.798	8.918	5.760	1.500	199.238

Appendice F

Quantità di materiale dell'impianto di API S.p.A, sistema Inverso.

Tipologia	A) noli	B) Asportazione e ripristini		C) Forniture idrauliche										
	Fonte	cme	cme	catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme	
	autocarro	scavi renterro demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo DN450 acc	curve 90 DN450 acc	curve 45 DN450 acc	Tubo DN600 acc	Tubo DN150 acc	saracinesca DN450 acc	saracinesca DN250 acc	saracinesca DN150 acc	valvola regolazione DN250 acc	sfiati DN150 acc	
Vita impianto	80	Densità	50 km/h	kg/ m ³	kg/m	kg/n	kg/n	kg/m	kg/m	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n
			8+15 t	2300	70,3	119	59	93,8	16,3	352	90	34	190	95
Costituzione Impianto	Quantità	h	m³	m	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n
1) Condotta di adduzione	2		89.656	1.686	20.926	92	185	369	615					
2) Attraversamenti	5											146		69
3) Vasca di carico	3		1.354							6				
4) Vasca di scarico	3		450											
5) Fabbricato centrale	3	492	4.518											
6) Girante Turbina	6													
7) Cassa Turbina	3													
8) Generatore	7													
9) Trasformatore	4													
10) By-pass	5									5	20	10	20	
Totale		492	95.978	1.686	20.926	92	185	369	615	11	20	156	20	69
		t*km	m³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		565.800	95.978	193.935	1.471.098	10.986	10.894	34.639	10.032	3.872	1.800	5.310	3.800	6.578

Tipologia	C) Forniture idrauliche			D) Fornitura materiali opere									
	Fonte	cme	catalogo	cme	cme								
		scarichi DN150 acc	tubo pvc DN630	bitume e isolanti	stabilizzato sabbia ciottoli	CLS	malta di cemento (spessore 2,5 cm)	Manufatti in Acc	Manufatti in Fe	Manufatti in Ghisa Sferoidale	Manufatti in Cu	Manufatti in vetroresina	Manufatti Legno s=5cm
Vita impianto	80	Densità	kg/n	kg/m		kg/ m ³	kg/ m ³						kg/ m ³
			95	39,37		2000	2000						750
Costituzione Impianto	Quantità	n	m	kg	kg	m³	m³	kg	kg	kg	kg	kg	m²
1) Condotta di adduzione	2		308	330.508	7.847.250	305		9.232	5.582	4.736			
2) Attraversamenti	5	77											
3) Vasca di carico	3				1.389.360	1.194	12	37.500	450	450	300		1.806
4) Vasca di scarico	3							3.750					
5) Fabbricato centrale	3				1.590.000	2.680	108	66.600	3.600		300	1.500	3.507
6) Girante Turbina	6							5.400					
7) Cassa Turbina	3							5.400					
8) Generatore	7							7.308		5.684	3.248		
9) Trasformatore	4								4.560		3.040		
10) By-pass	5												
Totale		77	308	330.508	10.826.610	4.179	120	135.190	14.192	10.870	6.888		5.313
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		7.309	12.116	330.508	10.826.610	8.357.356	240.030	135.190	14.192	10.870	6.888	1.500	199.238

Appendice G

Quantità di materiale dell'impianto di API S.p.A, sistema Condotta.

		B) Asportazione e ripristini		C) Forniture idrauliche									
		cme		catalogo	cme	cme	cme	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	catalogo	cme
		scavi reinterro demolizioni	taglio asfalto l=1m, s=5cm	Tubo Acc DN450	curve 90 DN450	curve 45 DN450	Tubo Acc DN600	Tubo Acc DN150	saracinesca DN450	saracinesca DN250	saracinesca DN150	valvola regolazione DN250	sfiati DN150
			kg/ m ³	kg/m	kg/n	kg/n	kg/m	kg/m	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n	kg/n
Vita impianto	80		2300	70,3	119	59	93,8	16,3	352	90	34	190	95
Costituzione Impianto	Quantità	m³	m	m	n	n	m	m	n	n	n	n	n
1) Condotta di adduzione	2	116.622	2.194	27.220	120	240	192	801					
2) Attraversamenti	5										76		36
	Totale	116.622	2.194	27.220	120	240	192	801			76		36
		m³	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
		116.622	5.045.307	1.913.566	14.291	14.170	18.023	13.050			2.586		3.423

		C) Forniture idrauliche		D) Fornitura materiali opere	
		cme	catalogo	cme	cme
		scarichi DN150	tubo pvc DN30	bitume e isolanti	stabilizzato sabbia ciottoli
		kg/n	kg/m		
Vita impianto	80	95	39,37		
Costituzione Impianto	Quantità	n	m	kg	kg
1) Condotta di adduzione	2		400	429.916	10.207.500
2) Accessori condotta	5	40			
	Totale	40	400	429.916	10.207.500
		kg	kg	kg	kg
		3.803	15.760	429.916	10.207.500

Appendici H

Bilancio idrico annuale 2015, indicatori di performance, PRE, MNF e CMN.

	VIR	CAFM	%CAFM	Nc	ANF	%ANF	%CANFNM	CANFNM	IP	%IP	%CNA	CAN	SDC	PA	%PA	PR	%PR
	m ³	m ³		-	m ³	-	-	m ³	m ³	-	-	m ³	m ³	m ³	-	m ³	-
Airasca	233.346	206.900	88,7%	612	26.446	11,3%	1,25%	2.917	23.529	10,1%	0,50%	1.167	6.207	7.374	3,2%	16.155	6,9%
Bricherasio	487.408	279.148	57,3%	1.624	208.260	42,7%	1,75%	8.530	199.730	41,0%	1,00%	4.874	8.374	13.249	2,7%	186.482	38,3%
Campiglione Fenile	278.945	102.066	36,6%	559	176.879	63,4%	1,75%	4.882	171.997	61,7%	2,00%	5.579	3.062	8.641	3,1%	163.357	58,6%
Cercenasco	89.912	86.402	96,1%	537	3.510	3,9%	0,25%	225	3.285	3,7%	0,25%	225	2.592	2.817	3,1%	468	0,5%
Pancalieri	197.502	142.965	72,4%	631	54.537	27,6%	1,00%	1.975	52.562	26,6%	1,00%	1.975	4.289	6.264	3,2%	46.298	23,4%
Perosa Argentina	291.915	176.073	60,3%	886	115.842	39,7%	1,25%	3.649	112.193	38,4%	0,50%	1.460	5.282	6.742	2,3%	105.451	36,1%
Pinasca	173.434	141.573	81,6%	981	31.861	18,4%	1,25%	2.168	29.693	17,1%	0,50%	867	4.247	5.114	2,9%	24.579	14,2%
Villafranca Piemonte	240.731	211.294	87,8%	1.201	29.437	12,2%	1,25%	3.009	26.428	11,0%	1,50%	3.611	6.339	9.950	4,1%	16.478	6,8%
Villar Perosa	347.892	241.706	69,5%	1.169	106.186	30,5%	1,75%	6.088	100.098	28,8%	0,50%	1.739	7.251	8.991	2,6%	91.107	26,2%
Volvera	875.007	720.170	82,3%	1.692	154.837	17,7%	1,25%	10.938	143.899	16,4%	0,50%	4.375	21.605	25.980	3,0%	117.919	13,5%

	I _{pl}	N _c	N _c /I _{pl}	N _c +20I _{pl}	I _{pr}	p	UARL	PR	CARL	ILI	PRPR	Sollevamenti	Sollevamenti specifici	REP	%REP
	km	-	1/km	-	km	mca	l/(d*all)	m ³	l/(d*all)	-	m ³	kWh	kwh/mc	kwh	-
Airasca	13,6	612	45	883	3,7	48	39,6	16.155	72,3	1,8	7.305	134.873	0,578	4.222	3%
Bricherasio	86,2	1.624	19	3.348	9,7	50	154,7	186.482	314,6	2,0	94.770	327.100	0,671	63.600	19%
Campiglione Fenile	37,9	559	15	1.317	3,4	50	60,7	163.357	800,6	13,2	150.979	113.094	0,405	61.212	54%
Cercenasco	10,5	537	51	747	3,2	50	35,0	468	2,4	0,1		40.943			
Pancalieri	18,1	631	35	993	3,8	42	38,9	46.298	201,0	5,2	37.348	51.542	0,261	9.747	19%
Perosa Argentina	38,8	886	23	1.662	5,3	50	77,0	105.451	326,1	4,2	80.549	30.897	0,106	8.525	28%
Pinasca	32,2	981	30	1.625	5,9	40	60,5	24.579	68,6	1,1		87.204			
Villafranca Piemonte	56,2	1.201	21	2.325	7,2	50	107,6	16.478	37,6	0,3		82.194			
Villar Perosa	38,5	1.169	30	1.939	7,0	45	81,2	91.107	213,5	2,6	56.478	131.693	0,379	21.379	16%
Volvera	48,2	1.692	35	2.656	10,2	47	116,3	117.919	190,9	1,6	46.079				

	Pressione	I _{pl}	N _c	N _{c,c}	N _{c,i}	Q _{cons}	PCF	Q _{per}	CMN	MNF	MESE
	mca	km	-	-	-	l/h	-	l/h	l/s	l/s	
Airasca	48	13,56	612	571	41	1.799	1,00	1.186	0,83	1,56	APR
Bricherasio	50	86,20	1.624	1351	273						
Campiglione Fenile	50	37,90	559	431	128	2.257	1,05	1.681	1,09	6,32	APR
Cercenasco	50	10,50	537	466	71	1.860	1,05	1.069	0,81	0,75	APR
Pancalieri	42	18,10	631	510	121	2.335	0,83	1.085	0,95	1,73	APR
Perosa Argentina	50	38,80	886	807	79	2.504					
Pinasca	40	32,20	981	913	68	2.596					
Villafranca Piemonte	50	56,20	1.201	1011	190	3.739	1,05	3.081	1,89	2,13	APR
Villar Perosa	45	38,50	1.169	1038	131	3.313					
Volvera	47	48,20	1.692	1384	308	5.317					

Appendice I

Bilancio idrico annuale 2016, indicatori di performance, PRE, MNF e CMN.

	VIR	CAFM	%CAFM	Nc	ANF	%ANF	%CANFNM	CANFNM	IP	%IP	%CNA	CAN	SDC	PA	%PA	PR	%PR
	m ³	m ³	-	-	m ³	-	-	m ³	m ³	-	-	m ³	m ³	m ³	-	m ³	-
Airasca	248.631	199.689	80,3%	612	48.942	19,7%	1,25%	3.108	45.834	18,4%	0,50%	1.243	5.991	7.234	0,0290946	38.600	15,5%
Bricherasio	421.269	279.627	66,4%	1.624	141.642	33,6%	1,75%	7.372	134.270	31,9%	1,00%	4.213	8.389	12.602	0,0299132	121.668	28,9%
Campiglione Fenile	286.083	98.254	34,3%	559	187.829	65,7%	1,75%	5.006	182.823	63,9%	2,00%	5.722	2.948	8.669	0,0303034	174.153	60,9%
Cercenasco	90.615	85.530	94,4%	537	5.085	5,6%	0,25%	227	4.858	5,4%	0,25%	227	2.566	2.792	0,0308165	2.066	2,3%
Pancalieri	187.746	141.956	75,6%	631	45.790	24,4%	1,00%	1.877	43.913	23,4%	1,00%	1.877	4.259	6.136	0,0326832	37.776	20,1%
Perosa Argentina	256.955	175.264	68,2%	886	81.691	31,8%	1,25%	3.212	78.479	30,5%	0,50%	1.285	5.258	6.543	0,0254624	71.936	28,0%
Pinasca	164.047	138.933	84,7%	981	25.114	15,3%	1,25%	2.051	23.063	14,1%	0,50%	820	4.168	4.988	0,0304073	18.075	11,0%
Villafranca Piemonte	238.944	208.413	87,2%	1.201	30.531	12,8%	1,25%	2.987	27.544	11,5%	1,50%	3.584	6.252	9.837	0,0411668	17.708	7,4%
Villar Perosa	353.511	241.419	68,3%	1.169	112.092	31,7%	1,75%	6.186	105.906	30,0%	0,50%	1.768	7.243	9.010	0,0254875	96.895	27,4%
Volvera	744.091	635.368	85,4%	1.692	108.723	14,6%	1,25%	9.301	99.422	13,4%	0,50%	3.720	19.061	22.781	0,0306165	76.640	10,3%

	I _{pt}	N _c	N _c /I _{pt}	N _c +20I _{pt}	I _{pr}	p	UARL	PR	CARL	ILI	PRPR	Sollevamenti	Sollevamenti specifici	PRE	%PRE
	km	-	l/km	-	km	mca	l/(d*all)	m ³	l/(d*all)	-	m ³	kWh	kwh/mc	kwh	
Airasca	13,6	612	45	883	3,7	48	39,6	38.600	172,8	4,4	29.749	129.079	0,519158914	15.445	12,0%
Bricherasio	86,2	1.624	19	3.348	9,7	50	154,7	121.668	205,3	1,3	29.956	375.882	0,892261239	26.729	7,1%
Campiglione Fenile	37,9	559	15	1.317	3,4	50	60,7	174.153	853,5	14,1	161.776	163.082	0,570051349	92.221	56,5%
Cercenasco	10,5	537	51	747	3,2	50	35,0	2.066	10,5	0,3					
Pancalieri	18,1	631	35	993	3,8	42	38,9	37.776	164,0	4,2	28.826	50.304	0,267936467	7.724	15,4%
Perosa Argentina	38,8	886	23	1.662	5,3	50	77,0	71.936	222,4	2,9	47.034	30.178	0,117444689	5.524	18,3%
Pinasca	32,2	981	30	1.625	5,9	40	60,5	18.075	50,5	0,8					
Villafranca Piemonte	56,2	1.201	21	2.325	7,2	50	107,6	17.708	40,4	0,4					
Villar Perosa	38,5	1.169	30	1.939	7,0	45	81,2	96.895	227,1	2,8	62.266	149.038	0,42159367	26.251	17,6%
Volvera	48,2	1.692	35	2.656	10,2	47	116,3	76.640	124,1	1,1	4.800	213.939	0,287517253	1.380	0,6%

	Pressione	I _{pt}	N _c	N _{c,c}	N _{c,i}	Q _{cons}	PCF	Q _{per}	CMN	MNF	MESE
	mca	km	-	-	-	l/h	-	l/h	l/s	l/s	
Airasca	48	13,56	612	571	41	1.799	1,00	1.186	0,83	2,2	APR
Bricherasio	50	86,20	1.624	1351	273						
Campiglione Fenile	50	37,90	559	431	128	2.257	1,05	1.681	1,09	4,81	APR
Cercenasco	50	10,50	537	466	71	1.860	1,05	1.069	0,81	0,58	APR
Pancalieri	42	18,10	631	510	121	2.335	0,83	1.085	0,95	1,73	APR
Perosa Argentina	50	38,80	886	807	79	2.504					
Pinasca	40	32,20	981	913	68	2.596					
Villafranca Piemonte	50	56,20	1.201	1011	190	3.739	1,05	3.081	1,89	1,917	APR
Villar Perosa	45	38,50	1.169	1038	131	3.313					
Volvera	47	48,20	1.692	1384	308	5.317					

Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Ruggeri per avermi concesso la possibilità di svolgere parte del lavoro di tesi in azienda e per la pazienza dimostratami.

Ringrazio l' Acea Pinerolese Industriale Spa per avermi ospitato nei suoi locali durante la prima parte di questo studio. In particolare l'ing. Raffaella Turaglio in qualità di direttore del Servizio Idrico Integrato e correlatrice, Ezio Perro per la disponibilità e celerità dimostrata durante tutto il periodo di lavoro nel soddisfare qualsiasi richiesta di informazione a me necessaria, l'ufficio diretto da Domenico Lisi con tutti i suoi collaboratori e Luca Reinaud, per avermi coinvolto in prima persona nelle attività aziendali e aver supportato il mio lavoro di tesi.

Ringrazio Carlos per la sua pazienza e disponibilità dimostrata in ogni frangente di dubbio o difficoltà riscontrata nella stesura di questo elaborato.

Ringrazio tutti gli amici che mi hanno accompagnato lungo questo percorso, la mia famiglia che mi ha supportato costantemente e Alessandra.