



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

TESI DI LAUREA

Il sistema di incentivazione dei Certificati Bianchi: studio di alcuni  
interventi di efficientamento energetico sul Servizio Idrico Integrato

Relatore : Prof.ssa Anna Stoppato

Correlatore : Ing. Francesco Visentin

Laureanda:

Anna Furlan

Matr. 1157014

Anno Accademico 2018/2019



*A Marco:*

senza di te tutto questo non avrebbe senso.



# Indice

<b>SOMMARIO</b> .....	1
<b>CAPITOLO 1 – I Certificati Bianchi</b> .....	3
1.1 Gli obiettivi di efficienza energetica.....	3
1.2 I Certificati Bianchi.....	7
1.3 I nuovi decreti ministeriali sui Certificati Bianchi.....	9
1.3.1 I soggetti ammessi al meccanismo.....	10
1.3.2 I progetti ammissibili al meccanismo.....	12
1.3.3 Metodi di valutazione dei progetti e certificazione dei risparmi.....	13
1.3.4 Procedura di valutazione dei progetti.....	15
1.3.5 Attività di verifica e controllo.....	16
1.3.6 Vita utile ed erogazione dei Titoli.....	18
1.3.7 Il Decreto correttivo 10 maggio 2018.....	19
1.4 Potenzialità e criticità del meccanismo.....	20
1.5 Andamenti di mercato.....	22
<b>CAPITOLO 2 – Presentazione dei progetti</b> .....	27
2.1 Requisiti minimi e istruzioni per la presentazione dei progetti.....	27
2.1.1 Identificazione della data di avvio della realizzazione del progetto.....	28
2.1.2 Procedura informatica per l’accesso al meccanismo.....	30
2.1.3 Documentazione da trasmettere in sede di presentazione dei progetti.....	37
2.2 Il progetto a consuntivo – PC.....	39
2.2.1 Descrizione del contesto.....	40
2.2.2 Descrizione del progetto e settore d’intervento.....	40
2.2.3 Confini del progetto e programma di misura.....	41
2.2.4 Variabili operative del processo.....	44
2.2.5 Consumo ante intervento.....	45
2.2.6 Consumo di riferimento e di baseline.....	45
2.2.7 Consumo post intervento e calcolo dei risparmi.....	46
2.2.8 La rendicontazione dei risparmi a consuntivo – RC.....	47
2.3 Il progetto standardizzato – PS.....	48
2.3.1 Verifica preliminare del progetto al metodo standardizzato.....	49
2.3.2 Tipologia di interventi ammissibili.....	50

2.3.3	Contenuti minimi della relazione tecnica del Progetto PS.....	50
2.3.4	La metodologia standardizzata per il calcolo dei risparmi energetici.....	51
2.3.5	Definizione del programma.....	52
2.3.6	La rendicontazione dei risparmi standardizzato – RS.....	53
<b>CAPITOLO 3 – Efficientamento del Servizio Idrico Integrato.....</b>		<b>55</b>
3.1	Il Servizio Idrico Integrato.....	55
3.1.1	Aspetti energetici e tecnologici.....	61
3.1.2	Conformazione del territorio.....	63
3.1.3	Consumi energetici e impatto economico.....	64
3.2	Interventi di efficienza energetica del SII.....	66
3.2.1	Servizi di acquedotto: impianti di dissalazione.....	70
3.2.2	Servizi di acquedotto: impianti di potabilizzazione.....	71
3.2.3	Servizi di acquedotto: re-layout delle reti.....	72
3.2.4	Servizi di acquedotto: perdite di rete.....	72
3.2.5	Impianti di depurazione: sistemi di movimentazione dei reflui.....	74
3.2.6	Impianti di depurazione: sistemi di generazione di aria compressa.....	75
3.2.7	Impianti di depurazione: sistemi di diffusione di aria compressa.....	77
3.2.8	Ulteriori interventi di efficienza energetica.....	77
3.3	Stime relative al potenziale di penetrazione del risparmio.....	78
<b>CAPITOLO 4 – Sostituzione di mixer in impianto di depurazione.....</b>		<b>81</b>
4.1	L'intervento.....	81
4.2	La baseline di riferimento.....	84
4.3	Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili.....	99
4.4	Valutazione dell'investimento.....	105
4.4.1	Payback (PB).....	106
4.4.2	Valore Attuale Netto (VAN).....	107
4.4.3	Tasso Interno di Rendimento (TIR).....	108
<b>CAPITOLO 5 – Sostituzione dei compressori d'aria in impianto di depurazione.....</b>		<b>111</b>
5.1	L'intervento.....	111
5.2	La baseline di riferimento.....	113
5.3	Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili.....	116
5.4	Valutazione dell'investimento.....	119

<b>CAPITOLO 6 – Regolazione della produzione di aria compressa in impianti di depurazione</b> .....	121
6.1 L'intervento.....	121
6.2 La baseline di riferimento.....	122
6.3 Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili.....	124
6.4 Valutazione dell'investimento.....	125
6.5 Risparmi reali.....	126
<b>CONCLUSIONI</b> .....	131
<b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....	133
<b>INDICE DELLE TABELLE</b> .....	135
<b>BIBLIOGRAFIA / SITOGRAFIA</b> .....	137
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	141





# Sommario

Il presente lavoro di tesi nasce dalla volontà di promuovere gli interventi di efficienza energetica e di approfondire uno dei meccanismi di incentivazione ad oggi più diffusi in Italia: quello dei Certificati Bianchi. A questo scopo è nata la collaborazione tra L'Università degli Studi di Padova e RXENERGY, società affermata nel settore dell'efficienza energetica e che opera, tra gli altri, nel settore dei Certificati Bianchi.

L'intenzione di questa trattazione è non solo di descrivere il funzionamento del meccanismo dei Certificati Bianchi ma anche di fornire una sorta di manuale che renda più fruibili e accessibili i Titoli di Efficienza Energetica (TEE).

Nel primo capitolo viene fatta una panoramica del mercato dell'efficienza energetica in Italia e degli obiettivi di risparmio energetico che, alla luce del recente quadro normativo nazionale ed europeo, hanno dato la spinta per la diffusione di incentivi come i Certificati Bianchi. La fortuna di questo meccanismo è da imputare al suo essere un sistema orizzontale, flessibile e orientato a tutti i settori: industria, terziario, agricoltura e trasporti; sia nel privato, sia nel pubblico.

Il secondo capitolo si propone di essere un vademecum per la presentazione dei progetti di efficienza energetica all'autorità competente, ai fini del rilascio di Certificati Bianchi. Si distinguono progetti a consuntivo (PC) e progetti standardizzati (PS) e si riportano le istruzioni operative per l'invio dell'istanza nei due casi.

Tra i vari campi di applicazione del meccanismo dei TEE si è scelto di approfondire il Sistema Idrico Integrato (SII), il quale si compone di un insieme di processi industriali e tecnologici molto energivori e che presentano un grande potenziale di miglioramento delle prestazioni in termini di efficienza energetica. Nel terzo capitolo vengono presentati gli interventi realizzabili sull'intero SII e sulle infrastrutture connesse all'uso della risorsa idrica.

A completamento della trattazione vengono studiati tre interventi di efficienza energetica su impianti di depurazione reali: la sostituzione dei miscelatori, la sostituzione dei generatori di aria compressa e l'installazione di un sistema di regolazione della produzione dell'aria compressa. Per ciascuno di questi viene descritto come definire la baseline di riferimento, viene calcolata una stima dei risparmi energetici conseguibili e dei Titoli che ne derivano e viene valutata la bontà della proposta tramite i principali indicatori economici (PB, VAN e TIR).



# Capitolo 1

## I Certificati Bianchi

In questo capitolo si vuole tracciare una breve descrizione dell'andamento degli investimenti in efficienza energetica in Italia negli ultimi anni. Tra i vari meccanismi di incentivazione si è scelto di approfondire quello dei Certificati Bianchi per il suo essere un meccanismo trasversale e flessibile, orientato a tutti i settori.

### 1.1 Gli obiettivi di efficienza energetica

L'Unione europea ha cominciato a spingere sull'efficienza energetica a partire dal 2005, con la direttiva europea sull'efficienza energetica negli usi finali e sui servizi energetici, che introduce e definisce i certificati bianchi come “certificati emessi da enti certificatori indipendenti che attestano i risparmi energetici degli attori del mercato come conseguenza di misure di miglioramento dell'efficienza energetica”. Essi sono una possibile strada da percorrere a livello comunitario per avere dei risultati di efficienza attraverso la creazione di un mercato.

Il meccanismo dei certificati bianchi ha trovato applicazione in diversi paesi membri dell'Unione come una delle alternative più diffuse per l'incentivazione dell'efficienza energetica, sostenuta dalla Commissione europea nella vasta legislazione prodotta negli ultimi anni.

In Gran Bretagna è stato adottato il primo esempio di tale schema già nel 2002, seguito dall'esperienza belga (nella regione delle Fiandre), italiana e francese. Il meccanismo che viene proposto è quasi sempre lo stesso: un obbligo di risparmi annuali viene definito a livello nazionale e ripartito in capo a diversi soggetti, obbligati a produrre e a presentare anno per anno un certo target di risparmi. La tipologia di “soggetto obbligato” varia a seconda dello schema adottato dallo stato. I progetti di risparmio possono essere sostenuti e proposti dai medesimi soggetti obbligati oppure sostenuti da società di servizi energetici. I certificati bianchi, che come dice il nome stesso, devono andare a certificare l'entità dei risparmi conseguiti, e possono essere acquistati dai soggetti obbligati per adempiere all'obbligo imposto per legge che non possano o vogliono agire direttamente. [1]

Il loro meccanismo è stato introdotto per la prima volta in Italia con i cosiddetti *Decreti Gemelli* del 24/04/2001; è però entrato in vigore solo con il DM 20/07/2004 e ulteriori modifiche e integrazioni sono state apportate dal DM 21/12/2007 e dal DL 30/05/2008.

L'iniziativa dei Certificati Bianchi introdotta in Italia è stata la prima ad essere realizzata in maniera vincolante e non solamente volontaria, a livello mondiale. [2]

La Commissione Europea ha introdotto un piano d'azione che va sotto il nome di "Pacchetto Clima-Energia", contenuto nella Direttiva 2009/29/CE, entrato in vigore nel 2009 e valido nel periodo compreso tra il 2013 e il 2020. Questa strategia ha stabilito tre ambiziosi obiettivi da raggiungere entro il 2020:

- 1) Riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra del 20%;
- 2) Riduzione dei consumi energetici del 20%, aumentando l'efficienza energetica;
- 3) Copertura del 20% del fabbisogno energetico europeo con le energie rinnovabili.

Il disegno europeo non si focalizza soltanto sull'evoluzione tecnologica, ma anche su ricerca, incentivi, politiche di sostegno ed un'adeguata legislazione. Il raggiungimento degli obiettivi al 2020 dovrebbe contribuire a rafforzare la sicurezza energetica (riducendo la dipendenza dall'energia importata e realizzando l'Unione per l'Energia) e a creare occupazione, rendendo l'Europa più competitiva. [3]

Coerentemente con la strada tracciata dalla Strategia Energetica Nazionale nel 2013, l'Italia ha adottato due provvedimenti chiave nel 2014, delineando in tal modo il percorso verso gli impegnativi obiettivi di risparmio energetico posti al 2020.

Sia il recepimento della Direttiva sull'Efficienza Energetica (Decreto legislativo n. 102/2014) sia il Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica del 2014 hanno fornito, rispettivamente dal punto di vista normativo e strategico, un quadro ampio ed esaustivo, che mira alla rimozione delle barriere che ritardano la diffusione dell'efficienza energetica, sia a livello nazionale sia locale.

Come in molti altri Paesi membri dell'Unione Europea, il potenziale di risparmio energetico non sfruttato è ancora ampio, ma le misure recentemente adottate, insieme ai meccanismi di incentivazione già in forza, saranno in grado di stimolare investimenti, con importanti ricadute positive anche in termini di creazione di posti di lavoro e crescita economica stabile di lungo periodo.

Il Decreto Legislativo 102/2014 ha recepito in Italia la Direttiva 2012/27/UE (Energy Efficiency Directive – EED), stabilendo un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza tese ad una riduzione dei consumi di energia primaria di 20 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep) al 2020, pari a 15,5 Mtep sotto forma di energia finale.

Parte di tale ammontare di risparmi energetici costituisce un obiettivo vincolante, stabilito in ottemperanza all'articolo 7 della EED per il periodo 2014-2020. In particolare, dal regime obbligatorio dei Certificati Bianchi si attende un risparmio di circa 4,3 Mtep/anno in termini di energia finale; ad esso si abbinano le due misure alternative delle Detrazioni fiscali (0,98 Mtep/anno di risparmio) e del Conto Termico (1,47 Mtep/anno). La figura 1.1 riporta il risparmio cumulato annuale atteso dai meccanismi proposti. [4]

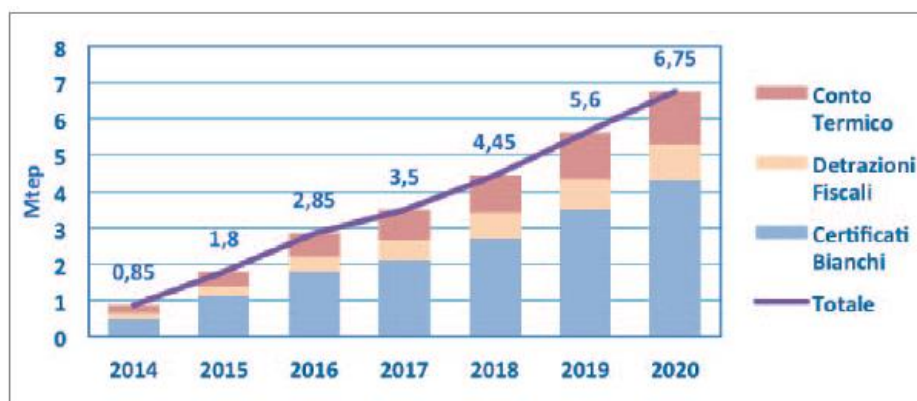


Figura 1.1 - Quadro di sintesi del conseguimento dei risparmi, anni 2014-2020

Rispetto alle proiezioni fatte nel 2014, il Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica per l'anno 2018, proveniente da ENEA, mostra dei segnali positivi. Infatti, nel quadrimestre 2014 - 2017, i risparmi cumulati dei meccanismi di incentivazione sono risultati pari a circa 7,1 Mtep, corrispondenti circa al doppio rispetto ai 3,5 Mtep stimati inizialmente dal Ministero dello Sviluppo Economico. I risultati ottenuti sono quindi in linea o addirittura superiori, rispetto al trend di risparmi previsti entro il 2020.

Nel 2017 il Governo ha presentato la Strategia Energetica Nazionale (SEN), un documento programmatico decennale, che stabilisce le azioni da realizzare nel settore energetico fino al 2030, in coerenza con la *Road Map* europea fino al 2050. Gli obiettivi previsti tendono ad aumentare la competitività del Paese, allineando i prezzi energetici a quelli europei, migliorare

la sicurezza dell'approvvigionamento di energia e decarbonizzare il sistema energetico, attraverso la chiusura di tutte le centrali a carbone entro il 2025. [5]

Una delle iniziative più recenti del Governo è stata l'istituzione ufficiale del Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica (FNEE) con il DL 141 del 18/07/2016. Il Fondo ha lo scopo di raggiungere gli obiettivi della politica comunitaria sull'efficienza energetica e promuovere gli interventi realizzati da imprese, *Energy Service Company* (ESCO) e Pubblica Amministrazione. Nello specifico gli interventi sostenuti devono riguardare:

- 1) Riduzione dei consumi di energia nei processi industriali;
- 2) Realizzazione ed ampliamento di reti per il teleriscaldamento;
- 3) Efficientamento di servizi ed infrastrutture pubbliche;
- 4) Riqualificazione energetica degli edifici.

Per l'avvio della fase operativa, il Fondo potrà contare su 150 milioni di euro già stanziati dal Ministero dello Sviluppo economico, il quale destinerà anche ulteriori 100 milioni di euro nel corso del triennio 2018-2020. [6]

In generale le politiche energetiche mirano a mantenere una crescita economica, pur in presenza di una riduzione dei consumi energetici. I dati ISPRA riferiti al 2017 mostrano una diminuzione delle emissioni di gas climalteranti dello 0,3% a fronte di un incremento del PIL pari all' 1,5%, che conferma il disaccoppiamento in Italia tra la crescita economica e le emissioni di gas ad effetto serra. Il principale contributo alla diminuzione delle emissioni di gas serra negli ultimi anni è da attribuire alla crescita della produzione di energia da fonti rinnovabili (idroelettrico ed eolico) e all'incremento dell'efficienza energetica soprattutto nel settore industriale. Per raggiungere gli obiettivi 2030 l'Italia dovrà ridurre, rispetto al 2016, le emissioni di gas serra di una quantità pari a 50 Mt di CO<sub>2</sub> equivalenti annui, che corrisponde circa alla metà delle emissioni del trasporto stradale. [7]

## 1.2 I Certificati Bianchi

I Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica (TEE) sono titoli negoziabili, che certificano il conseguimento di risparmi energetici negli usi finali di energia, attraverso interventi e progetti di incremento dell'efficienza energetica. [8]

È un sistema caratterizzato dal suo essere orizzontale, flessibile e orientato a tutti i settori: industria, terziario, agricoltura e trasporti; sia nel privato, sia nel pubblico. Da questo punto di vista è un meccanismo molto ampio e costituisce ad oggi il principale strumento di incentivazione. [9]

Questo sistema si configura come un regime obbligatorio di risparmio di energia primaria posto in capo ai distributori di energia elettrica e gas naturale con più di 50.000 clienti finali. L'obbligo è determinato sulla base del rapporto tra la quantità di energia elettrica e gas naturale distribuita dai singoli distributori e la quantità complessivamente distribuita sul territorio nazionale dalla totalità dei soggetti obbligati.

Il Gestore dei Servizi Energetici (GSE) ha in carico l'attività di gestione, valutazione e certificazione dei risparmi correlati a progetti di efficienza energetica condotti nell'ambito del meccanismo dei Certificati Bianchi. L'energia primaria risparmiata è misurata in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (1 tep corrisponde all'energia sviluppata dalla combustione di una tonnellata di petrolio, energia assunta convenzionalmente pari a 1.627,907 kWh). Per ogni tep di risparmio conseguito grazie alla realizzazione di un intervento di efficienza energetica, viene riconosciuto dal GSE un Certificato per tutta la sua vita utile, la quale è stabilita dalla normativa per ogni tipologia di progetto e può variare da 3 a 10 anni.

I soggetti obbligati possono adempiere alla quota d'obbligo di risparmio realizzando direttamente o attraverso le società da essi controllate, o controllanti, i progetti di efficienza energetica che diano luogo all'emissione di TEE oppure, in alternativa, acquistando TEE da altri soggetti ammessi nel meccanismo. L'acquisto può avvenire attraverso negoziazioni sul mercato dei TEE, organizzato dal GME (Gestore del Mercato Elettrico) o tramite transazioni bilaterali e tutti i soggetti ammessi sono inseriti nel Registro Elettronico dei Titoli di Efficienza Energetica presso in GME. [8]

Il cuore del meccanismo consiste della responsabilizzazione di un attore particolare, le aziende distributrici di gas e/o di energia elettrica, le quali si vedono assegnato un obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica da conseguirsi presso i propri clienti finali. I soggetti ammessi al meccanismo non sono solo soggetti obbligati, ma anche soggetti volontari, ed è

proprio questo fattore che ha determinato l'affermazione dei Certificati Bianchi come principale strumento di incentivazione in Italia. [2]

Per quanto riguarda i soggetti obbligati, cioè le aziende distributrici di energia con i requisiti sopra citati, è previsto un contributo tariffario fisso in denaro in loro favore, a parziale copertura degli oneri sostenuti per il raggiungimento per gli interventi di efficientamento energetico, definito secondo quanto previsto dalla Delibera dell'ARERA. [10]

Questi devono conseguire il proprio obiettivo di efficienza energetica entro il 31 Maggio di ogni anno, termine dopo il quale il GSE (Gestore dei Servizi Energetici) verifica a campione il raggiungimento degli obiettivi e, qualora un distributore non abbia conseguito l'obiettivo prestabilito, verranno irrogate a suo carico sanzioni pecuniarie. [2]

Nel biennio 2013-2014, i soggetti obbligati potevano conseguire una quota minima pari al 50% del loro obbligo, compensando la quota residua nel biennio successivo senza incorrere in sanzioni; per il biennio 2015-2016 la quota minima è stata portata al 60%, mentre con il DM 11/01/2017 si è confermato il valore della quota minima, stabilendo però che la compensazione della quota residua avvenga nell'anno successivo e non più nel biennio successivo.

I soggetti volontari invece, che non hanno alcun obbligo di conseguimento di interventi di efficienza energetica, devono accreditarsi come società di servizi energetici presso il GSE. In questa categoria rientrano i distributori di energia elettrica e gas naturale con meno di 50.000 clienti finali, le società controllate dai distributori obbligati, le società terze che operano nel campo dei servizi energetici (SSE) come le ESCo, soggetti con obbligo di nomina di un Energy Manager, soggetti con Energy Manager volontari o che hanno implementato un sistema di gestione dell'energia conforme alla norma ISO 50001. [4]

Rispetto agli altri meccanismi di incentivazione, il sistema dei Certificati Bianchi è significativamente differente perché si propone di coniugare obblighi ed iniziative volontarie: da una parte si hanno dei soggetti obbligati a conseguire determinati obiettivi di risparmio energetico attraverso iniziativa propria oppure accedendo ai risparmi conseguiti da altri soggetti su base volontaria, dall'altra invece rimangono i soggetti volontari, presenti anche negli altri meccanismi incentivanti, che realizzano progetti di efficienza energetica nella speranza di ricavarne dei contributi economici.



### 1.3 I nuovi decreti ministeriali sui Certificati Bianchi

Un recente aggiornamento al meccanismo dei Certificati Bianchi si deve al DM 11/01/2017, detto anche *Decreto TEE 2017*, è entrato in vigore il 4 aprile 2017 e viene applicato a tutti i progetti a decorrere da tale data.

Questo decreto, per ogni anno d'obbligo dal 2017 al 2020, fissa gli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico [Mtep] che i distributori devono raggiungere attraverso interventi di efficienza energetica, e, al fine di ottemperare a questi obiettivi, prevede l'assegnazione di obblighi di risparmio di energia primaria ai capo ai soggetti obbligati, definiti in milioni di Certificati Bianchi [MTEE]. In tabella 1.1 e 1.2 si riportano i valori di obiettivi e obblighi previsti dal Decreto.

	2017	2018	2019	2020
Obiettivi di risparmio energia primaria [MTEP]	7,14	8,32	9,71	11,19

Tabella 2.1 – Obiettivi quantitativi nazionali di risparmio di energia primaria 2017-2020 [Mtep]

	2017	2018	2019	2020
Obbligo elettrico [MTEE]	2,39	2,49	2,77	3,17
Obbligo gas naturale [MTEE]	2,95	3,08	3,43	3,92
Obbligo totale annuo [MTEE]	5,34	5,57	6,2	7,09

Tabella 3.2 – Obblighi quantitativi nazionali annui incremento dell'efficienza energetica 2017-2020 [MTEE]

Con l'evoluzione normativa sono state definite nuove responsabilità per i soggetti coinvolti (schematizzate nella figura 1.2). In particolare, i principali ruoli dei diversi soggetti coinvolti nell'applicazione del meccanismo sono i seguenti:

- Il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha il compito di fissare gli obiettivi di risparmio annuo e di definire ed aggiornare il quadro normativo di riferimento attraverso le Linee Guida;
- L'Autorità definisce le modalità operative per la regolamentazione del meccanismo, comunica al GSE ed ai Ministeri competenti la quantità di energia elettrica e gas naturale distribuita sul territorio nazionale dai soggetti obbligati, rende note le rispettive quote d'obbligo e sanziona i soggetti inadempienti;

- Il GSE sovrintende l'attività di gestione, valutazione e certificazione dei risparmi connessi ai progetti di efficienza energetica;
- L' ENEA e RSE supportano l'attività svolta dal GSE per lo svolgimento della valutazione tecnico-economica dei risparmi legati ai vari progetti;
- Il GME emette i TEE a favore dei soggetti ammessi al meccanismo, sulla base dei risparmi conseguiti e comunicati dal GSE, inoltre gestisce il mercato e il registro dei TEE.

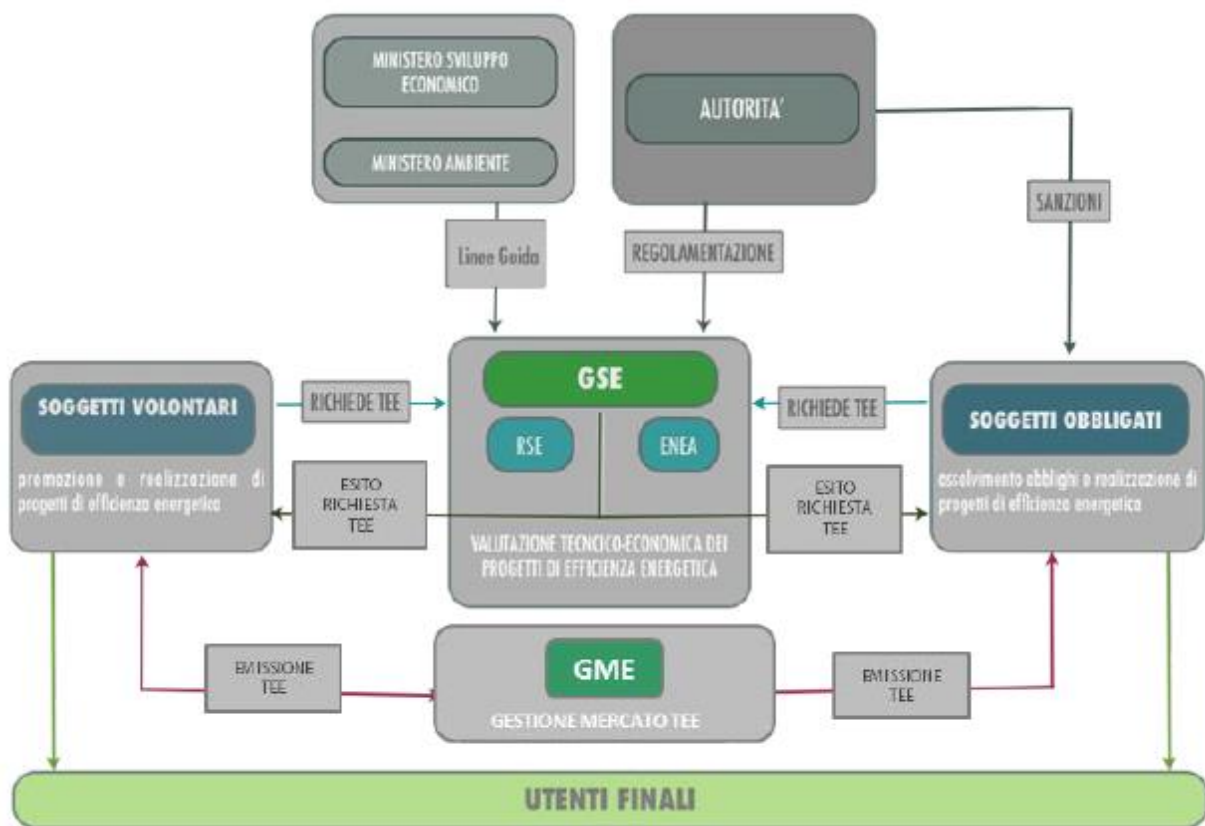


Figura 4.2 – Ruoli e responsabilità nell'ambito del Decreto Certificati Bianchi

### 1.3.1 I soggetti ammessi al meccanismo

Come accennato nel paragrafo precedente, i progetti di efficienza energetica predisposti ai fini del conseguimento degli obiettivi quantitativi nazionale di risparmio, nell'ambito dei Certificati Bianchi possono essere realizzati:

1. mediante azioni dirette dei soggetti obbligati (o delle società da essi controllate o controllanti) che, come definito dall'art. 3 del D.M. 11 gennaio 2017, sono:
  - i distributori di energia elettrica che, alla data del 31 dicembre di due anni antecedenti all'anno d'obbligo considerato, hanno più di 50.000 clienti finali connessi alla propria rete di distribuzione;
  - i distributori di gas naturale che, alla data del 31 dicembre di due anni antecedenti all'anno d'obbligo considerato, hanno più di 50.000 clienti finali connessi alla propria rete di distribuzione;
2. da imprese di distribuzione dell'energia elettrica e del gas naturale non soggette all'obbligo;
3. da soggetti sia pubblici che privati che, per tutta la durata della vita utile dell'intervento presentato, sono in possesso della certificazione secondo la norma UNI CEI 11352, o hanno nominato un esperto in gestione dell'energia certificato secondo la norma UNI CEI 11339, o sono in possesso di un sistema di gestione dell'energia certificato in conformità alla norma ISO 50001.

I requisiti sopra richiamati devono essere mantenuti per tutta la durata della vita utile del progetto per il quale si presenta l'istanza per l'accesso al meccanismo dei Certificati Bianchi.

Per azioni dirette dai soggetti obbligati si intendono gli interventi di efficientamento delle reti elettriche e del gas naturale, nonché tutte le attività valide ai fini dell'adempimento degli obblighi e non strettamente riconducibili ai servizi post contatore di installazione, assistenza e manutenzione nei confronti degli utenti finali.

Ai fini dell'inoltro al GSE della richiesta per l'accesso al meccanismo, il DM 11/01/2017 distingue:

1. *Soggetti proponenti*, ovvero soggetti in possesso dei requisiti di ammissibilità, che presentano al GSE l'istanza per la richiesta di incentivo;
2. *Soggetti titolari del progetto*, ovvero soggetti che sostengono l'investimento per la realizzazione del progetto di efficienza energetica.

Il soggetto proponente può anche non coincidere con il soggetto titolare del progetto, in questo caso i requisiti di ammissibilità sono richiesti solo al soggetto proponente, che presenta l'istanza per la richiesta di incentivo al GSE su delega del soggetto titolare.

### 1.3.2 I progetti ammissibili al meccanismo

Per potenziare l'efficacia complessiva del meccanismo, il *Decreto TEE 2017* delibera le nuove Linee Guida per il riconoscimento dei Certificati Bianchi, inoltre aggiorna ed integra l'elenco dei progetti di efficienza energetica ammissibili, distinti per tipologia di intervento e forma di energia risparmiata, con l'indicazione dei valori di vita utile ai fini del riconoscimento dei TEE. Ai fini dell'accesso al meccanismo dei Certificati Bianchi sono ammissibili i progetti di efficienza energetica:

- da realizzarsi con data di inizio della realizzazione dei lavori successiva alla data di trasmissione al GSE dell'istanza di accesso al meccanismo;
- realizzati dal medesimo soggetto titolare del progetto presso uno o più stabilimenti, edifici o siti comunque denominati;
- che generano risparmi energetici addizionali, ovvero maggiori rispetto a quelli conseguibili dal sistema tecnologico assunto come punto di riferimento. I Certificati non vengono rilasciati per tutti i risparmi energetici generati dagli interventi realizzati, ma solo per la quota parte che non si sarebbe conseguita in condizioni normali (*business as usual*). L'applicazione di questo concetto non è banale, soprattutto nel settore industriale. La conseguenza è una contrazione dei certificati conseguibili dai nuovi progetti presentati a partire dal 2017, tanto che i dati relativi alle proposte presentate lo scorso anno evidenziano una dimensione media di progetto di 277 tep contro i 3.340 riferiti ai progetti presentato nello stesso periodo applicando le regole precedenti.
- per i quali si dispone di idonea documentazione attestante che per la messa in opera degli interventi che compongono il progetto siano stati utilizzati nuovi componenti o componenti rigenerati per i quali non siano già stati riconosciuti Certificati Bianchi (al netto degli impianti già esistenti afferenti o funzionali al medesimo progetto);
- predisposti e trasmessi al GSE, in base alla tipologia di progetto, secondo quanto previsto all'Allegato 1 del D.M. 11 gennaio 2017;
- classificabili tra le tipologie di intervento riportate in Tabella 1 del D.M. 11 gennaio 2017. Ogni intervento, infatti, a seconda del tipo di risparmio conseguito, può ottenere una tipologia differente di Titolo. In particolare, il *Decreto TEE 2017* distingue quattro tipologie di TEE:

- 1) Titoli di Tipo I, attestano il conseguimento di risparmi di energia primaria attraverso interventi per la riduzione dei consumi finali di energia elettrica;
- 2) Titoli di Tipo II, attestano il conseguimento di risparmi di energia primaria attraverso interventi per la riduzione dei consumi finali di gas naturale;
- 3) Titoli di Tipo III, attestano il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, non realizzati nel settore trasporti;
- 4) Titoli di Tipo IV, attestano il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, realizzati nel settore trasporti;

In ogni caso, non sono ammessi al meccanismo i progetti di efficienza energetica predisposti per l'adeguamento a vincoli normativi o a prescrizioni di natura amministrativa, fatto salvo il caso in cui si impieghino soluzioni progettuali energeticamente più efficienti rispetto a quelle individuate dai vincoli o prescrizioni suddetti, e che generino risparmi aggiuntivi.

Per quanto riguarda le tipologie di progetti di efficienza energetica ammissibili al meccanismo, il Decreto, alla Tabella 1 dell'Allegato 2, riporta l'elenco non esaustivo degli interventi, distinti per tipologia e forma di energia risparmiata, con l'indicazione dei valori di vita utile ai fini del riconoscimento dei Certificati Bianchi. La Tabella 1 può essere aggiornata ed integrata con Decreto direttoriale del Direttore Generale DG-MEREEN del Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Direttore Generale DG-CLE del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, anche su proposta del GSE in collaborazione con ENEA e RSE. Con riferimento ai progetti standardizzati, l'elenco delle tipologie di progetti ammissibili al meccanismo è approvato e aggiornato con Decreto direttoriale del Direttore Generale DG-MEREEN del Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Direttore generale DG-CLE del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, d'intesa con la Conferenza Unificata, anche su proposta del GSE elaborata in collaborazione con ENEA e RSE.

### *1.3.3 Metodi di valutazione dei progetti e certificazione dei risparmi*

Il meccanismo dei Certificati Bianchi prevede che i progetti di miglioramento dell'efficienza energetica producano risparmi ben quantificabili. A differenza dei decreti precedenti, che ammettevano tre metodologie di valutazione dei progetti (standardizzata, analitica e a consuntivo), il nuovo decreto del 2017 elimina il metodo analitico, accettando solo quei metodi

che si basano su uno storico di misure precedenti all'intervento e che confrontano l'efficienza della tecnologia proposta nel progetto con quella delle migliori tecnologie presenti nel mercato, assunte come riferimento di baseline per il calcolo dei risparmi addizionali. Le metodologie ad oggi valide sono [10]:

- Metodo a consuntivo, permette di quantificare il risparmio addizionale conseguibile attraverso progetti di efficienza energetica realizzati dal medesimo soggetto titolare su uno o più stabilimenti, edifici o siti, in conformità ad un programma di misura predisposto secondo quanto prevede l'Allegato 1, Capitolo 1, del DM 11/01/2017.

Questa metodologia valuta il risparmio energetico addizionale dalla realizzazione di un progetto a consuntivo (PC), attraverso la misurazione puntuale delle grandezze caratteristiche sia nella configurazione *ex ante* sia in quella *ex post*. Per accedere al meccanismo i PC devono aver generato, nel corso dei primi 12 mesi del periodo di monitoraggio, una quota di risparmio addizionale non inferiore a 10 tep.

Sulla base della misurazione effettuata, i risparmi di energia primaria conseguiti dal progetto vengono certificati attraverso la richiesta di verifica e di certificazione a consuntivo (RC), che il soggetto proponente trasmette al GSE, allegando tutta la documentazione che dimostra i risultati ottenuti.

- Metodo standardizzato, quantifica il risparmio energetico addizionale ottenuto dalla realizzazione di un progetto standardizzato (PS), comprovato sulla base di un algoritmo di calcolo e della misura diretta di un idoneo campione rappresentativo dei parametri di funzionamento caratteristici nella configurazione *ex ante* ed *ex post*, in conformità ad un programma di misura approvato dal GSE, secondo quanto previsto dall'Allegato 1, Capitolo 2, del DM 11/01/2017.

Ai fini dell'ammissibilità preliminare al metodo di valutazione dei risparmi con il metodo standardizzato, è necessario dimostrare:

- a. la replicabilità degli interventi che compongono il progetto PS in contesti simili;
- b. la non convenienza economica del costo relativo all'installazione di misuratori dedicati ai singoli interventi, a fronte del valore economico indicativo dei Titoli di Efficienza Energetica.

L'algoritmo per il calcolo dei risparmi approvato è applicato estendendo le risultanze delle misurazioni effettuate sul campione rappresentativo, verificato in sede di

presentazione dell'istanza, all'insieme degli interventi realizzati nell'ambito del progetto (di seguito perimetro del progetto).

Per accedere al meccanismo i PS devono aver generato, nel corso dei primi 12 mesi del periodo di monitoraggio, una quota di risparmio addizionale di almeno 5 tep.

I risparmi di energia primaria conseguiti dal progetto vengono certificati attraverso la richiesta di verifica e di certificazione standardizzato dei risparmi (RS), che il soggetto proponente trasmette al GSE, allegando tutta la documentazione che dimostra i risultati ottenuti.

#### *1.3.4 Procedura di valutazione dei progetti*

Il GSE, avvalendosi anche del supporto di ENEA e di RSE, svolge l'attività di valutazione delle proposte progettuali e, successivamente, della verifica e certificazione dei risparmi di energia primaria conseguiti attraverso la realizzazione dei progetti in conformità alla metodologia di valutazione a consuntivo e standardizzato.

In base a quanto previsto dall'art. 7 del D.M. 11 gennaio 2017, e fermo restando il rispetto della legge n. 241 del 1990, entro 30 giorni dal ricevimento della domanda di incentivazione il GSE avvia il procedimento di valutazione dell'istanza e contestualmente nomina il responsabile del relativo procedimento. Entro 90 giorni dalla data di ricezione dell'istanza di incentivazione il GSE conclude il procedimento di valutazione tecnico-economica delle proposte di progetto a consuntivo (PC) o standardizzato (PS) o delle relative richieste di verifica e certificazione dei risparmi RC o RS.

Laddove siano necessarie integrazioni documentali e/o informazioni aggiuntive rispetto a quelle trasmesse, il Soggetto Proponente è tenuto ad inviare la già menzionata documentazione entro 30 giorni dal ricevimento della richiesta di integrazioni. In tale ipotesi il termine di conclusione del procedimento è rimodulato in 60 giorni dalla data di ricezione delle predette integrazioni documentali e/o informazioni aggiuntive.

In conformità a quanto previsto dall'art. 0 bis della Legge 241/90 e s.m.i., qualora nell'ambito dell'istruttoria emergano ragioni che ostano all'ammissione agli incentivi, il GSE comunica al Soggetto Proponente i motivi del mancato accoglimento dell'istanza, con conseguente interruzione dei termini del procedimento. Entro il termine di 10 giorni dal ricevimento della comunicazione, il Soggetto Proponente può presentare le proprie osservazioni, eventualmente corredate di documenti a supporto. Laddove il Soggetto Proponente non trasmetta le

osservazioni nei termini, il GSE concluderà il procedimento sulla base dei documenti in proprio possesso.

In caso di motivi ostativi il procedimento si concluderà:

- entro 90 giorni dalla data di ricevimento delle osservazioni, laddove il termine originario non sia stato rimodulato per effetto della richiesta di integrazioni;
- entro 60 giorni dalla data di ricevimento delle osservazioni, laddove il termine originario sia stato rimodulato per effetto della richiesta di integrazioni.

In mancanza di osservazioni, il procedimento si concluderà decorsi 10 giorni dalla trasmissione della comunicazione recante i motivi ostativi all'accoglimento dell'istanza.

Le richieste di modifica ai progetti a consuntivo o standardizzati già approvati sono comunicate al GSE, accompagnate da idonea documentazione, in sede di presentazione della prima richiesta di verifica della certificazione dei risparmi (RC o RS) e, se necessario, nelle successive rendicontazioni. Il GSE verifica, con i tempi previsti ai commi 2 e 3, la coerenza dei dati e delle informazioni inviati in sede di presentazione delle RC o RS con i dati e le informazioni trasmesse in fase di presentazione dei PC o PS, al fine di verificare l'ammissibilità del progetto oggetto della modifica progettuale.

L'eventuale ritardo del GSE non integra un'ipotesi di silenzio-assenso. Se il soggetto ha accesso agli incentivi, dall'approvazione del progetto alla data di avvio dei lavori devono passare al massimo 12 mesi, mentre dall'avvio dei lavori all'inizio del programma di misura devono trascorrere al massimo 36 mesi.

### *1.3.5 Attività di verifica e controllo*

L'attività di verifica e controllo degli interventi di efficienza energetica, di competenza del GSE, è definita dall'art. 12 del Decreto che, per espressa previsione (cfr. art. 16, comma 5), si applica anche ai progetti realizzati in data antecedente all'entrata in vigore del Decreto.

Restano ferme le competenze in tema di controlli e verifiche spettanti alle Amministrazioni statali e regionali e ai soggetti pubblici e concessionari di servizio pubblico.

Il GSE sottopone all'approvazione dei Ministeri competenti, entro il 31 gennaio di ciascun anno d'obbligo, un programma annuale di verifiche che prevede, secondo i criteri definiti dal decreto, controlli documentali e *in situ* degli interventi incentivati con il meccanismo dei Certificati Bianchi, anche senza preavviso. Il GSE può effettuare le attività di verifica e controllo durante



l'intero periodo della vita utile dell'intervento e, per i progetti approvati e incentivati ai sensi della normativa previgente, l'attività di verifica documentale è svolta anche durante il periodo di vita tecnica, definito dall'art.2, comma 2, lett. f) del DM 28 dicembre 2012.

L'attività di controllo, che si svolge nel rispetto della legge 7 agosto 1990, n. 241 s.m.i., è avviata mediante l'invio al soggetto titolare e al soggetto proponente di un provvedimento recante, tra l'altro, la documentazione da rendere disponibile al GSE.

Fermo restando che le attività di controllo mediante sopralluogo possono essere effettuate anche senza preavviso, il termine di conclusione del procedimento (fatti salvi i casi di maggiore complessità) è fissato in 180 giorni a decorrere dalla data del sopralluogo o dalla data di ricezione della documentazione, nel caso di verifiche documentali, al netto del dovuto contraddittorio con il soggetto titolare e il soggetto proponente e, laddove necessaria, della interlocuzione con le altre Amministrazioni coinvolte.

Nel caso in cui sia il solo soggetto proponente ad inviare osservazioni nei termini, il GSE concluderà il procedimento sulla base delle informazioni così acquisite e dei dati e documenti in proprio possesso, ritenendo garantito comunque il contraddittorio nei riguardi del soggetto titolare con la notifica dei provvedimenti di avvio e di richiesta integrazioni.

Il procedimento di controllo si conclude con l'adozione di un provvedimento motivato recante l'esito dell'attività di verifica. Fatte salve le sanzioni penali di cui all'art. 76 del D.P.R. 445/2000 che conseguono alla non veridicità delle dichiarazioni rese, laddove si rilevi una delle violazioni di cui all'art. 12, commi 13 e 14 del Decreto, il GSE dispone la decadenza dal diritto agli incentivi e il recupero dei titoli di efficienza energetica già riconosciuti.

Laddove invece le difformità riscontrate siano differenti rispetto alle c.d. violazioni rilevanti e afferiscano esclusivamente alla corretta quantificazione dei titoli di efficienza energetica spettanti, il GSE rettifica il numero dei titoli da riconoscere, anche mediante la modifica dell'algoritmo approvato, e provvede al recupero degli incentivi eccedenti o dell'equivalente valore monetario.

Qualora nell'ambito del procedimento di controllo si riscontri che i dati in ragione dei quali il soggetto titolare e/o il soggetto proponente ha richiesto l'emissione dei titoli di efficienza energetica siano non verificabili e non attendibili, il GSE ridefinisce il numero di titoli da riconoscere sulla base di stime cautelative provvedendo al recupero degli incentivi percepiti in eccesso e indicando, per le successive rendicontazioni, puntuali prescrizioni in ordine alla attendibilità e verificabilità dei dati e degli strumenti di misura.

Le attività di controllo effettuate dal GSE nell'anno 2017 hanno interessato 2.954 interventi, per un volume di titoli da riconoscere pari a 657.561 TEE/anno, corrispondenti ad un controvalore economico pari a circa 117,7 milioni di euro/anno, calcolato considerando un valore medio di 179 euro/TEE. Dei 1.539 procedimenti conclusi nel 2017, 43 hanno avuto esito positivo, ovvero senza che siano state accertate difformità, e 1.496 hanno avuto esito negativo. Con riferimento a questi ultimi, sono state accertati importi da recuperare di un valore pari a circa 99,5 milioni euro ed è stato stimato un mancato esborso per il periodo residuo di incentivazione complessivamente di circa 221,2 milioni di euro (assumendo un valore medio pari a 241 euro/TEE a fatti salvi gli esiti di eventuali contenziosi). [8]

Il meccanismo dei TEE prevede un contributo tariffario che i soggetti ammessi al meccanismo erogano al GSE, per la copertura di una parte dei costi legati alla partecipazione al meccanismo. I PC o PS che in fase di documentazione sono corredati da una diagnosi energetica conforme all' Allegato 2 del D.L. 102/2014 possono godere di una riduzione del 30% del corrispettivo dovuto al GSE in fase di avvio del procedimento.

### 1.3.6 Vita utile ed erogazione dei Titoli

La Tabella 1 del *Decreto TEE 2017* riporta un elenco non esaustivo delle tipologie di progetti ammissibili ed i relativi valori, espressi in anni di *vita utile* (U), distinti per forma di energia risparmiata. Qualora il soggetto proponente presenti un progetto non riconducibile alle tipologie presenti in Tabella 1, allora il GSE ne deve valutare l'ammissibilità al meccanismo.

Il *Decreto TEE 2017* stabilisce inoltre che la vita utile (U) non possa mai superare i 10 anni, per tenere conto dell'obsolescenza tecnologica e commerciale della tecnologia considerata e della sua capacità di conseguire i risparmi addizionali per il periodo di riconoscimento dei Certificati Bianchi.

Una modifica importante introdotta dal *Decreto TEE 2017*, rispetto alle legislazioni precedenti, consiste nell'eliminazione del coefficiente di durabilità tau ( $\tau$ ), che permetteva di ottenere un numero maggiore di Certificati Bianchi ai progetti in grado di generare risparmi energetici in un periodo di tempo maggiore rispetto a quello di erogazione dei titoli, ossia quei progetti con una vita tecnica maggiore rispetto alla vita utile durante la quale gli incentivi venivano riconosciuti ed erogati. Questa eliminazione ha portato all'introduzione del coefficiente K, che permette al soggetto proponente di richiedere che, per metà della vita utile del progetto, il

volume dei TEE erogati sia maggiore, in quanto moltiplicato per un fattore  $K1=1,2$  ; mentre per la restante vita utile del progetto, il numero di TEE erogati viene moltiplicato per un coefficiente  $K2 = 0,8$ .

### 1.3.7 Il Decreto correttivo 10 maggio 2018

Nonostante il *Decreto TEE 2017* si ponesse come obiettivo quello di favorire una maggiore semplificazione e trasparenza nell'uso del meccanismo dei Certificati Bianchi, la difficoltà burocratica per il loro ottenimento e le politiche messe in atto dal GSE hanno portato ad un repentino aumento del prezzo dei TEE, facendolo lievitare da 100 €/TEE nei primi anni dalla loro introduzione, fino a toccare il valore di picco di 480 €/TEE nel 2018. Per correggere le dinamiche di prezzo e stabilizzarne l'andamento sul mercato, a partire da giugno 2018 è entrato in vigore il DM 10/05/2018, che modifica numerosi punti del *Decreto TEE 2017*. Due le fondamenta della proposta: contenere il costo dello schema e dare fiato ai distributori obbligati da un lato e favorire la presentazione di progetti dall'altro.

A tal fine, il decreto correttivo fissa il contributo tariffario ad un massimo di 250 €/TEE per i soggetti obbligati, con l'obiettivo di calmierare i prezzi e spingere i distributori a non comprare oltre tale limite, e aumenta da uno a due anni la flessibilità sugli obblighi annuali.

Fondamentale è l'eliminazione dell'addizionalità, ridefinendo il concetto di baseline come pari al valore del consumo antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica, con l'idea di ridurre le problematiche in sede di valutazione e di contenzioso e favorire la generazione di certificati.

Il decreto correttivo 2018 inoltre amplia la tipologia di interventi ammissibili con 30 nuovi tipi di interventi e differenzia gli anni di vita utile concessi agli interventi di nuova installazione rispetto a quelli di sostituzione (a quest'ultimi sono riconosciuti incentivi per un numero minore di anni).

L'ultima novità introdotta dal decreto correttivo riguarda la possibilità per il GSE di emettere, su richiesta dei soggetti obbligati, Certificati Bianchi che non derivano dalla realizzazione di un intervento di efficienza energetica e che abbiano valore unitario non superiore a 15 €, in modo da proteggere i distributori dal rischio di assenza di TEE sufficienti a coprire gli obiettivi minimi e con precisi limiti di accesso temporali, economico e quantitativi.

Tali Certificati possono essere acquisiti solo se il soggetto obbligato detiene già titoli per il 30% dell'obbligo e non possono essere ceduti.

## 1.4 Potenzialità e criticità del meccanismo

Uno degli aspetti che partecipano alla bontà del meccanismo dei Certificati Bianchi è il fatto che esso si basa sull'addizionalità, ovvero riconosce unicamente i risparmi addizionali, dunque quelli che non si sarebbero comunque potuti ottenere grazie all'evoluzione tecnologica, alla diffusione delle tecnologie sul mercato e all'esistenza di standard e requisiti minimi obbligatori. Un esempio tipico è dato dalle lampade fluorescenti compatte (CFL), che nei primi anni dall'introduzione del meccanismo dei Certificati Bianchi erano poco utilizzate e quindi si potevano quantificare i risparmi rispetto alle lampade a incandescenza, mentre negli anni successivi hanno trovato sempre maggiori applicazioni, tanto da diventare la tecnologia di riferimento, per cui i risparmi riconosciuti sono stati prima dimezzati e poi annullati.

La Figura 1.3 mostra come il risparmio energetico riconosciuto sia dato dalla differenza tra il consumo di baseline ed il consumo post intervento [9].



Figura 5.3 – Addizionalità nel mercato di incentivazione dei TEE

Il consumo di baseline è stato definito dal *Decreto TEE 2017* come il valore minimo tra il consumo della configurazione impiantistica antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica ed il consumo di riferimento. Nel caso di nuovi impianti, edifici o siti, per i quali non esistono valori di consumi energetici antecedenti all'intervento, si assume che il consumo di baseline sia pari a quello di riferimento.

$$C_{baseline} = \min (C_{ex\ ante} , C_{rif})$$

Per consumo di riferimento si intende il consumo che, in relazione al progetto proposto, si può attribuire all'intervento, realizzato con i sistemi disponibili alla data di presentazione del progetto, ovvero quelli che costituiscono l'offerta standard di mercato in termini tecnologici e/o lo standard minimo fissato da normativa.

Per individuare il consumo di riferimento, bisogna definire quale tecnologia offerta dal mercato verrebbe installata dal soggetto titolare del progetto, a prescindere dalla presenza di incentivi. È importante tenere a mente però che il contrasto ai cambiamenti climatici passa attraverso i risparmi energetici complessivi e non quelli addizionali. Le scelte nazionali sull'addizionalità, decisamente più restrittive della media europea, avevano reso molto difficile il raggiungimento degli obiettivi dell'art. 7 EED, senza contare poi che le attuali regole europee non riconoscono benefici ai più virtuosi.

Il recente aggiornamento del DM 10/05/2018 ha corretto la definizione di consumo di baseline, affermando che esso è pari al consumo antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica. Nel caso di nuovi impianti, edifici o siti comunque denominati per i quali non esistono valori di consumi energetici antecedenti all'intervento, il consumo di baseline è pari al consumo di riferimento.

L'efficacia di un meccanismo di incentivazione non dipende solo dall'addizionalità, ma anche dalla materialità, un fattore del quale ancora si sottovaluta l'incidenza. Infatti, se l'addizionalità vuole premiare i progetti di efficienza energetica che portano a risultati superiori rispetto alla media di mercato, la materialità richiede che vengano riconosciuti solo gli interventi che si sarebbero fatti comunque, a prescindere dall'incentivo, perché di interesse dell'utente finale. Nel meccanismo dei TEE, alcuni interventi di efficienza energetica sono stati fatti solo nella speranza di poter ricevere un contributo economico, quindi in totale assenza di materialità e di efficacia, mentre altri hanno ricevuto degli incentivi, pur essendo stati già realizzati.

Un determinato progetto di efficienza energetica può avere differenti combinazioni di addizionalità e materialità, chiaramente però le linee guida tendono a promuovere gli schemi che sappiano coniugare entrambi gli aspetti, perché risultano più efficienti e produttivi. Un terzo fattore da considerare nella valutazione dell'efficacia del meccanismo dei TEE è il livello di supporto, ossia l'ammontare dell'incentivo rispetto al costo del progetto realizzato, in relazione al suo ciclo di vita utile. Se il contributo offerto dall'incentivo è troppo basso, molti interventi realizzati in virtù della presenza dell'incentivo non vengono concretizzati; mentre se l'incentivo è troppo elevato, questo si traduce in un inutile spreco di risorse.

Come per la valutazione della materialità, anche in questo caso è difficile stimare correttamente il livello di supporto nello schema dei TEE. Una prima perplessità nasce proprio dal capire su quale base sia opportuno valutarlo: costi di investimento, costi operativi, *life cycle costs*, ecc. Qualsiasi soluzione si adotti per valutare il livello di supporto, si rischia di incorrere in errori, che possono portare all'esclusione di interventi meritevoli.

Attualmente Paesi come la Francia e la Danimarca considerano i costi di investimento e calcolano un tempo di ritorno (*Payback Time*), che divide l'investimento per il risparmio annuo atteso. Questo significa ad esempio che per tempi di ritorno troppo bassi o troppo alti, non viene riconosciuto alcun TEE, mentre per tempi di ritorno compresi entro certi valori i TEE riconosciuti crescono linearmente.

## 1.5 Andamenti di mercato

Il meccanismo di mercato dei TEE fa sì che il valore economico dell'incentivo riconosciuto non sia predefinito, ma sia dato dall'incrocio tra domanda e offerta dei titoli. A partire dal 2007, la domanda di TEE è rappresentata dai distributori di energia elettrica e gas naturale con almeno 50.000 clienti finali connessi alla propria rete. L'offerta dei TEE coincide invece con i risparmi energetici ottenuti dai progetti, realizzati ad opera sia dei soggetti obbligati sia dei soggetti volontari.

Storicamente, il mercato dei TEE è stato caratterizzato da una prima fase di eccesso di offerta, seguita da una fase di sostanziale equilibrio fino al 2014, mentre a partire dal 2015 si è registrata un'evidente tendenza di crescita della domanda superiore all'offerta [11].

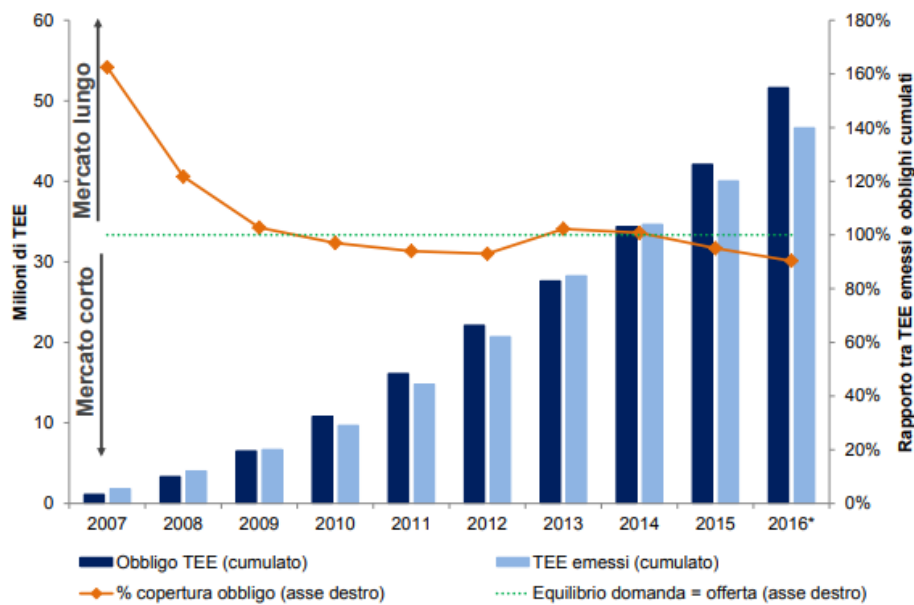


Figura 6.4 –Andamento di domanda e offerta nel mercato TEE

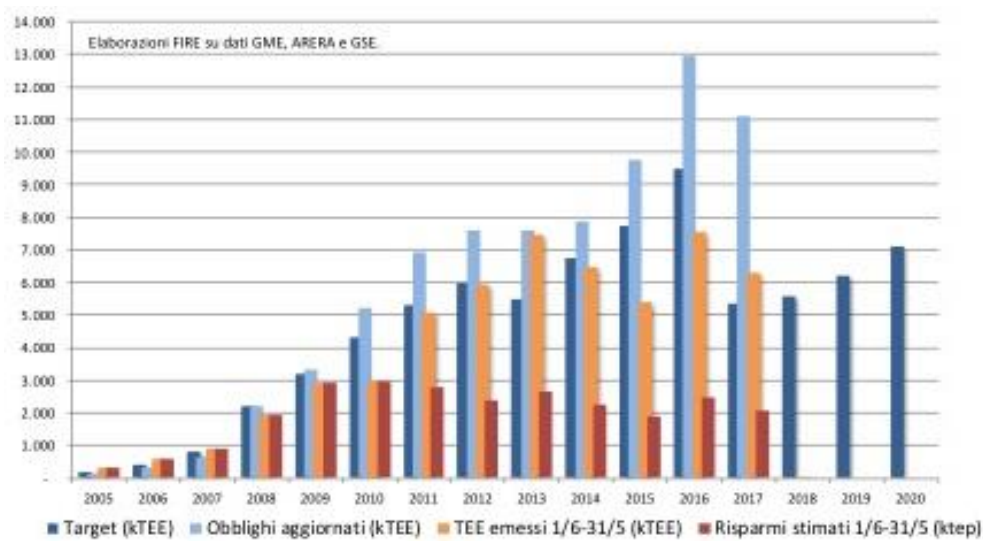


Figura 7.5 –Andamento dei TEE emessi e dei risparmi stimati, rispetto al target e agli obblighi aggiornati

La Figura 1.5 mostra come a partire dal 2011 si è verificato un disaccoppiamento tra TEE emessi e risparmi energetici generati [12]. Questo è dovuto principalmente a tre fattori [13]:

- 1) I TEE corrispondono ai soli risparmi addizionali, ovvero riconoscono solo gli interventi che comportano efficienze energetiche superiori a quelle derivanti dagli standard obbligatori per legge o da quelle già diffuse nel mercato;

- 2) Nel 2011 la normativa ha introdotto il *coefficiente di durabilità*  $\tau$ , (con effetto retroattivo), che ha portato ad un aumento del numero di TEE emessi a parità di risparmi relativi all'intervento, per tenere in considerazione anche i risparmi futuri collegati al periodo compreso tra la fine della vita utile (in genere 5 anni) e la vita tecnica (in genere compresa tra 10 e 25 anni);
- 3) Per la cogenerazione ad alto rendimento e i grandi progetti, la normativa in passato ha introdotto anche altri coefficienti moltiplicativi, finalizzati all'aumento del numero di TEE emessi per tenere conto delle specificità o dei maggiori costi di investimento.

Lo schema dei Certificati Bianchi ha prodotto dal 2005 al 2017 circa 48 milioni di TEE, di cui 5,8 milioni solo durante il 2017 [14]. Negli ultimi anni però, la capacità di produrre risparmi energetici, dopo una crescita continua nel periodo dal 2005 al 2011, sembra aver raggiunto una condizione di equilibrio nell'ordine di 2 Mtep annui. L'analisi strutturale del mercato mostra quindi come negli ultimi anni vi sia una chiara e crescente tendenza verso un mercato corto, con la riduzione dell'equilibrio tra domanda e offerta. È evidente che il protrarsi di questa situazione, senza una riduzione della domanda (riduzione degli obblighi), oppure un aumento dell'offerta (incremento dei TEE emessi), può portare a un mercato sempre più corto e quindi ad accentuare lo squilibrio tra domanda e offerta, in un'ottica a lungo termine di solo soddisfacimento della quota minima.

La tendenza in atto verso un mercato sempre più corto potrebbe essere la chiave per interpretare l'andamento dei prezzi di mercato dell'ultimo periodo: nel corso del 2017 si è assistito ad un aumento del prezzo medio unitario dei TEE, che è passato da 250 € nel 2016 a 350 € nel 2017, sfiorando il picco massimo di 480 €/ TEE nella sessione di Giugno 2018 [14].

L'andamento dei prezzi dei Certificati Bianchi è stato calmierato grazie al DM 10/05/2018, che ha fissato il contributo in denaro riconosciuto ai soggetti obbligati non oltre 250 €/TEE.

La nuova disposizione è stata applicata alle sezioni d'obbligo successive al 1° giugno 2018 e l'andamento dei prezzi è riportato in Figura 1.6:



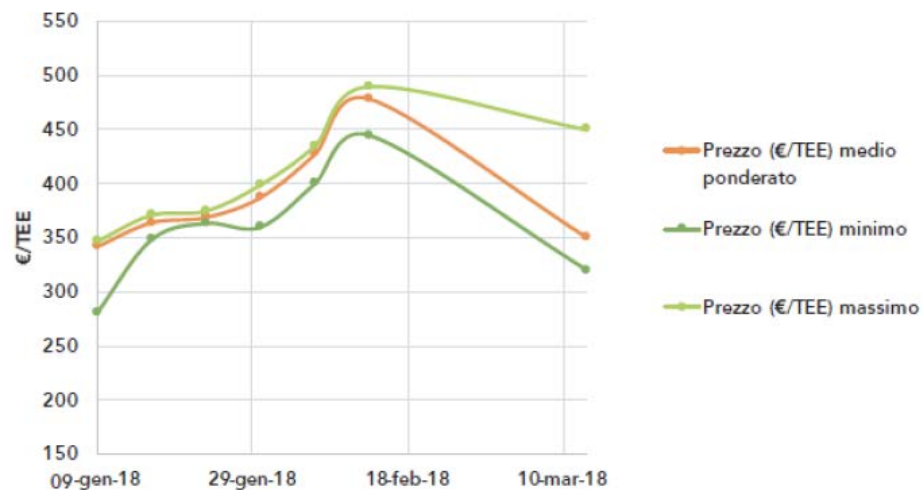


Figura 8.6 –Andamento dei prezzi spot nel mercato dei TEE negli ultimi mesi

Nel complesso, il meccanismo dei Certificati Bianchi ha permesso in questi anni all'Italia di adottare un trend di risparmio energetico in linea con gli obiettivi comunitari. In un periodo di crisi economica, i meccanismi di incentivazione, in primis quello dei TEE, hanno fatto da volano per la crescita del Paese. Tuttavia, il continuo cambiamento della normativa e la mancanza di supporto informativo sufficientemente strutturato hanno portato ad una progressiva difficoltà nell'ottenimento dei TEE, con un tasso di rigetto dei progetti presentati compreso tra il 40% e il 50% nel triennio 2015-2017.

L'auspicio per i prossimi anni è che il tasso di rigetto diminuisca, grazie alla nuova normativa, supportata da strumenti adatti come nuove schede tecniche e guide settoriali.



# Capitolo 2

## Presentazione dei progetti

Il presente capitolo ha lo scopo di fornire chiarimenti ed un supporto operativo alla presentazione dei progetti di efficienza energetica ai fini dell'accesso al meccanismo, alla luce dell'aggiornamento del quadro normativo di riferimento definito dal nuovo Decreto CB.

Si riportano le istruzioni operative per l'invio dell'istanza al GSE, le procedure per la verifica dei requisiti di ammissibilità dei progetti e la documentazione minima da inviare in fase di presentazione del progetto a consuntivo PC e del progetto standardizzato PS.

Negli ultimi due paragrafi si specificano le indicazioni operative per l'elaborazione dei progetti di efficienza energetica, sia per PC sia per PS, in ordine alla corretta individuazione dei confini del progetto e delle variabili operative che lo caratterizzano, alla determinazione dei risparmi energetici e all'implementazione dell'algoritmo di calcolo dei risparmi.

### 2.1 Requisiti minimi e istruzioni per la presentazione dei progetti

Come indicato al paragrafo 1.3.2, ai fini dell'accesso al meccanismo i progetti di efficienza devono generare risparmi energetici addizionali, ovvero i risparmi di energia primaria sono calcolati come differenza fra il consumo di baseline e il consumo energetico nella configurazione *post operam*, assicurando una normalizzazione delle condizioni che influiscono sul consumo energetico a parità di servizio reso.

Inoltre, i progetti PC e PS devono essere presentati al GSE:

- dal soggetto proponente, il soggetto che per l'intera durata della vita utile del progetto sia in possesso dei requisiti di ammissibilità al meccanismo (art. 5, comma 1) descritti al paragrafo 1.3.1. Il soggetto proponente può non coincidere con il soggetto titolare del progetto, ovvero il soggetto che sostiene l'investimento per la realizzazione del progetto di efficienza energetica. In tal caso, il Soggetto Proponente presenta l'istanza per la richiesta di incentivo al GSE su delega del Soggetto Titolare.

- in data precedente alla data di avvio della realizzazione dei lavori. Ai fini della determinazione della data di inizio dei lavori non rilevano il momento di acquisto del terreno, i lavori preparatori, quali la richiesta di permessi o la realizzazione di studi di fattibilità preliminari. Di seguito si riportano i criteri per l'identificazione della data di avvio della realizzazione del progetto.

### *2.1.1 Identificazione della data di avvio della realizzazione del progetto*

In base a quanto riportato all'art. 2, comma 1, lettera f), del DM 11 Gennaio 2017, la "data di avvio della realizzazione del progetto", ai fini della determinazione del termine ultimo per la presentazione dell'istanza di accesso al meccanismo CB, corrisponde alla data di inizio dei lavori di realizzazione dell'intervento, cioè all'avvio della fase "esecutiva" del progetto di efficienza energetica.

La fase "lavori di realizzazione dell'intervento", a titolo esemplificativo e non esaustivo, può essere costituita da:

- lavori di pre-installazione, quali:
  - lavori di demolizione ed opere civili, finalizzati alla preparazione del sito per l'installazione dei componenti oggetto dell'intervento di efficienza energetica;
  - smontaggio del componente da sostituire con il componente oggetto dell'intervento;
  - installazione di componenti accessori strettamente riconducibili al componente oggetto dell'intervento;
  - modifica del layout di processo per consentire l'installazione dei nuovi componenti;
- consegna dei componenti principali oggetto dell'intervento;
- installazione dei componenti principali oggetto dell'intervento;
- collaudo dei componenti oggetto dell'intervento.

Pertanto, la data di avvio della realizzazione del progetto corrisponde alla data di inizio della fase "lavori di realizzazione dell'intervento". Infatti, ad esempio, nel caso di progetto di efficienza energetica relativo alla sostituzione di lampade esistenti con lampade a LED, qualora la consegna delle nuove lampade avvenisse prima dei lavori di pre-installazione da effettuare

per l'installazione dei componenti, la data di avvio della realizzazione del progetto sarebbe identificabile con la data di consegna delle lampade a led.

A titolo esemplificativo, le fasi di un progetto possono essere descritte come segue:

- Fase di analisi mediante una diagnosi energetica
- Proposte e identificazione dell'intervento
- Richiesta di permessi
- Progettazione dell'intervento
- Lavori di realizzazione dell'intervento:
  - o lavori di pre-installazione:
    - lavori di demolizione ed opere civili, finalizzati alla preparazione del sito per l'installazione dei componenti oggetto dell'intervento;
    - installazione di componenti accessori strettamente riconducibili all'intervento;
  - o consegna dei componenti principali oggetto dell'intervento;
  - o installazione dei componenti principali oggetto dell'intervento;
  - o collaudo dei componenti oggetto dell'intervento.
- Gestione, monitoraggio e manutenzione.

Di seguito si riporta un esempio di rappresentazione grafica della sequenza delle fasi del progetto di efficienza energetica.

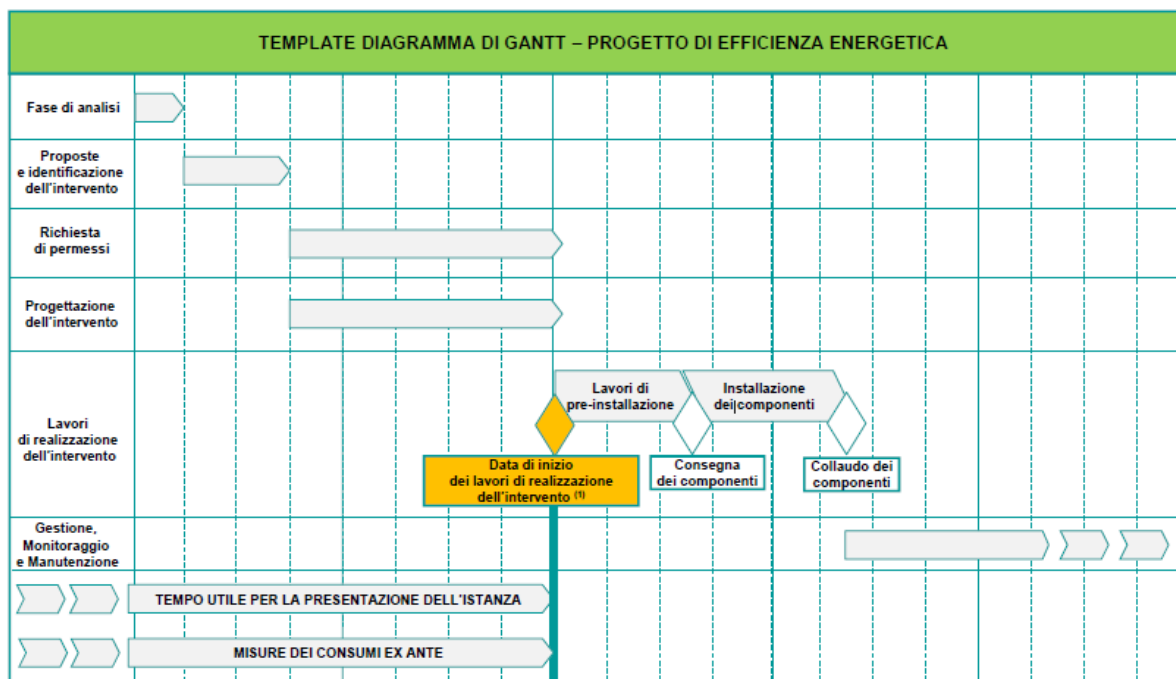


Figura 2.1 – Diagramma di Gantt delle fasi di un progetto di efficienza energetica

Nella figura 2.1 si identificano la data di inizio dei lavori, il periodo temporale utile per la presentazione della richiesta e il periodo temporale delle misure dei consumi per la definizione del consumo di baseline.

### 2.1.2 Procedura informatica per l'accesso al meccanismo

L'istanza per l'accesso al meccanismo relativa ai PC e PS deve essere inviata dal Soggetto Proponente al GSE esclusivamente mediante l'applicazione informatica SIAD (Sistema Informativo per Acquisizione Dati, di seguito "Portale"), creata per la gestione della raccolta dati sotto forma di questionari in formato PDF.

Di seguito sono elencati i passaggi che l'utente si trova ad eseguire quando utilizza SIAD:

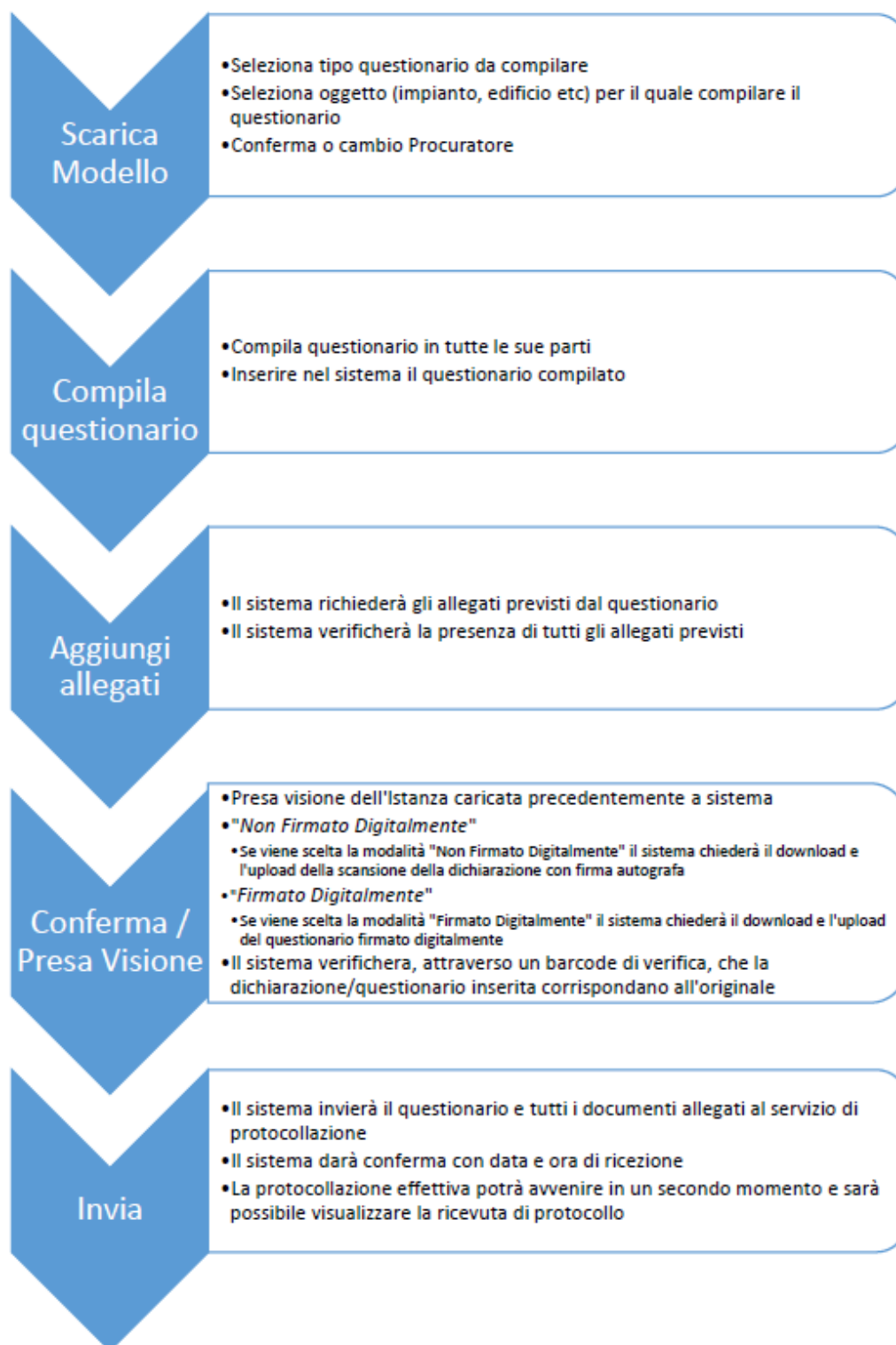


Figura 2.2 – Flusso applicativo SIAD

Ai fini dell'accesso al Portale Efficienza Energetica il Soggetto Proponente, e il Soggetto Titolare qualora non coincidenti, deve preliminarmente registrarsi sul portale informatico del GSE (PUA – Portale Unico di Accesso) e fare la sottoscrizione dell'applicazione SIAD. Tali operazioni vanno effettuate solo qualora l'utente non sia già registrato sul portale informatico o non abbia già sottoscritto in precedenza l'applicazione. La procedura dettagliata è descritta del Manuale d'uso per la registrazione, scaricabile dalla pagina di login PUA, accessibile all'indirizzo web <https://areaclienti.gse.it/>

La procedura di registrazione prevede:

- L'inserimento dei dati del Soggetto Proponente attraverso il link Operatore Elettrico;
- L'inserimento dei dati del/i soggetto/i deputato/i a interfacciarsi con le applicazioni informatiche del GSE attraverso il link Utente delle applicazioni.

Il corretto inserimento di tutte le informazioni richieste dal portale PUA in fase di primo inserimento darà garanzia di una corretta gestione dei dati anagrafici all'interno dell'applicazione SIAD.

Portato a termine il processo di registrazione, il portale invierà, sulla casella di posta elettronica dell'utente delle applicazioni, le credenziali necessarie (*user ID* e *password*) ad accedere al sistema informatico GSE, nonché un codice identificativo univoco da utilizzare per la registrazione di eventuali ulteriori utenti.

Le credenziali di accesso e il codice identificativo univoco, essendo personali, non devono essere cedute a terzi. Il Soggetto Proponente e il Soggetto Titolare sono tenuti a conservare le credenziali e il codice identificativo ottenuti con la massima diligenza, a mantenerli segreti, riservati e sotto la propria responsabilità nel rispetto dei principi di correttezza e buona fede in modo da non arrecare danni al GSE o a terzi.

Il GSE è esonerato da qualsivoglia responsabilità per le conseguenze pregiudizievoli di qualsiasi natura o per i danni, diretti o indiretti, che fossero arrecati a causa dell'utilizzo delle credenziali e, in generale, dell'utilizzo abusivo, improprio o comunque pregiudizievole. Pertanto, il Soggetto Proponente e il Soggetto Titolare sono tenuti a risarcire il GSE per qualsiasi eventuale danno che dovesse sopportare a seguito di tali eventi.

Accedendo all'applicazione SIAD è possibile visualizzare tutti i modelli per cui l'operatore è abilitato e selezionare il questionario da compilare. Una volta generato il questionario, nella sezione "Lista Istanze" ci sarà una nuova riga contenente il questionario scelto con i relativi campi.



Il bottone “Scarica Istanza Precompilata” (figura 2.3) serve a scaricare il questionario in formato .pdf, per poterlo compilare.



Figura 2.3 – Scarica Istanza Precompilata

Una volta scaricato il file sul proprio PC, lo si può aprire e se ne possono compilare i campi direttamente utilizzando la tastiera del proprio computer. In nessun caso la compilazione deve essere effettuata su un’eventuale stampa cartacea del questionario, perché il sistema riconosce solo il file originale (modificato e salvato) e non sue copie cartacee scansionate.

Per quanto riguarda la firma da apporre al termine della compilazione (per alcuni questionari non è presente) si può optare per due strade:

- a. Firma digitare
- b. Firma autografa

Non si deve stampare e firmare a penna il questionario appena compilato, bensì seguire le istruzioni dei suddetti capitoli in ordine sequenziale.

La funzionalità “Carica Istanza Compilata” (figura 2.4) permette di caricare nell’applicazione SIAD il questionario compilato.



Figura 2.4 – Carica Istanza Compilata

Non è possibile ricaricare più volte lo stesso questionario, per eventuali modifiche, ripensamenti e correzioni il questionario va eliminato e rigenerato nuovamente. Tale operazione sarà possibile finché il questionario compilato non sarà inviato al GSE tramite l'apposta funzione di Invio, dopodiché il sistema non consentirà di effettuare ulteriori caricamenti.

Effettuato il caricamento del questionario compilato, e cliccando sul bottone “Prosegui”, ci si ritroverà nella sezione “Gestione Allegati” (figura 2.5).



Figura 2.5 – Gestione Allegati

Tale area è suddivisa in tante sezioni quanti sono i documenti da aggiungere. Il numero di questionari da inserire (e il numero delle relative sezioni visualizzate) può variare a seconda del tipo di questionario e di come è stato compilato e potrà avere alcuni allegati obbligatori e altri facoltativi.

Caricati tutti gli allegati o almeno quelli obbligatori, si attiverà il bottone “Prosegui” che darà l’accesso alla sezione “Gestione Firma”.



Figura 2.6 – Gestione Firma – Presa Visione

Nella sezione “Gestione Firma” avremo la possibilità di prendere visione dell’istanza compilata effettuando il download tramite il bottone “Scarica Istanza Compilata”. Effettuata la visione del documento, sarà possibile tramite il *checkbox* (casella di spunta) dare l’effettiva conferma di presa visione dell’istanza compilata (figura 2.6).

Al termine della compilazione di tutti i campi obbligatori previsti sul Portale, il Soggetto Proponente e il Soggetto Titolare devono quindi scaricare la dichiarazione sostitutiva di atto notorio (ai sensi del D.P.R. 445/2000) attestante la veridicità dei dati dichiarati, siglarla in ogni sua pagina, sottoscriverne l’ultima in segno di integrale assunzione di responsabilità e ricaricarla sul Portale. La dichiarazione sostitutiva è generata automaticamente dal sistema sulla base dei dati inseriti ed è resa disponibile e scaricabile solo a seguito dell’inserimento di tutti i dati richiesti.

Dichiarata la propria presa visione, se prevista sarà automaticamente attivato un box per le modalità di firma (figura 2.7).



Figura 2.7 – Gestione Firma – Box Firma

Sarà ora possibile quindi optare per due modalità di firma:

- a. Firma digitale - chi ne possiede una dovrà firmare digitalmente (p7m o pdf) l'istanza appena scaricata e caricarla tramite il bottone "Carica Istanza Firmata", presente all'interno del box "Digitale";
- b. Firma autografa, per chi firma manualmente è necessario scaricare la dichiarazione tramite il bottone "Scarica Dichiarazione", stampare e firmare manualmente la dichiarazione appena scaricata, e ricaricarla a sistema tramite il bottone "Carica Dichiarazione Firmata". Il file da caricare nel sistema deve essere in formato .pdf, .tiff o .tif.

Nella sezione "Gestione Invio" (figura 2.8) avremo la possibilità di scaricare tramite il bottone "Scarica Istanza" l'istanza e la dichiarazione in un unico file .pdf.



Figura 2.8 – Gestione Invio

Esaminato il file scaricato, tramite il bottone "Invio", si potrà eseguire l'azione di invio, che sancisce la definitiva e irrevocabile consegna di tutta la documentazione (questionario più eventuali allegati) al GSE. Se l'operazione va a buon fine, viene mostrato un messaggio di conferma.

Avvenuto l'invio effettivo al GSE, verrà disattivato il bottone "Invio", sarà ancora possibile ricaricare una copia dell'istanza, qualora ce ne fosse bisogno, e sarà attivato il bottone "Scarica Ricevuta SIAD" che permetterà il download della ricevuta da parte del GSE. [16]

Le modalità per la compilazione degli appositi moduli previsti nel Portale sono dettagliate nella Guida all'applicazione web disponibile sul sito internet.

### 2.1.3 Documentazione da trasmettere in sede di presentazione dei progetti

Al fine della individuazione delle caratteristiche del progetto, del consumo di baseline e delle variabili operative che contraddistinguono il processo o servizio energetico è necessario che la proposta progettuale (PC e PS) sia conforme a quanto indicato all'allegato 1 del D.M. 11 gennaio 2017 e che

venga trasmessa completa delle seguenti informazioni e documenti:

- a) informazioni relative al Soggetto Proponente (nome o ragione sociale, indirizzo, ruolo e attività svolte nell'ambito del progetto) e del Soggetto Titolare, qualora diverso;
- b) informazioni relative all'impianto, all'edificio o al sito presso cui viene realizzato il progetto di efficienza energetica (indirizzo, codice catastale, attività svolte nell'ambito del progetto, codice ATECO ove applicabile), incluse le informazioni relative al Soggetto Titolare o che ha la disponibilità dell'impianto e/o del sito;
- c) relazione tecnica del progetto, contenente le informazioni minime come specificato nei successivi Paragrafi 2.3 e 2.4.

Alla relazione tecnica, inoltre, dovrà essere allegata idonea documentazione comprovante:

- i. che il progetto proposto non è ancora stato realizzato alla data di presentazione dell'istanza. Come descritto al paragrafo 2.2.1 il Soggetto Proponente, al fine di consentire l'identificazione della data di inizio dei lavori di realizzazione dell'intervento, dovrà fornire in sede di presentazione della proposta progettuale:
  - Diagramma di Gantt del progetto di efficienza energetica, mediante il quale siano rappresentati graficamente e opportunamente commentati le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto;
  - Idonea documentazione attestante l'implementazione delle singole attività della fase "lavori di realizzazione dell'intervento". In particolare, in base allo specifico progetto, il Soggetto Proponente dovrà fornire idonea documentazione utile a comprovare il cronoprogramma dei lavori di realizzazione dell'intervento;
- ii. le caratteristiche tecniche dei sistemi e delle tecnologie che costituiscono il progetto di efficienza energetica e il progetto di riferimento;
- iii. la misura dei consumi energetici nella situazione ante intervento e la stima dei consumi post intervento, secondo quanto descritto nei successivi Paragrafi 2.2 e 2.3;

- iv. ai fini statistici, una stima dei costi strettamente riconducibili al progetto di efficienza energetica che si sosterranno per la realizzazione e gestione del progetto stesso.

Per la stima dei costi di realizzazione del progetto di efficienza energetica sono considerate le seguenti voci, esclusivamente ove strettamente riconducibili al nuovo investimento di efficienza energetica:

- opere murarie e assimilate;
  - macchinari, impianti e attrezzature e relativa installazione o posa in opera;
  - programmi informatici commisurati alle esigenze produttive e gestionali dell'impresa proponente, funzionali al monitoraggio dei consumi energetici nell'attività svolta attraverso gli impianti o negli immobili facenti parte dell'unità produttiva interessata dal programma la cui disponibilità sia riferibile esclusivamente al soggetto titolare del progetto;
  - progettazione esecutiva degli interventi e delle opere da realizzare, alle attività di direzione dei lavori, di collaudo e di sicurezza connesse con la realizzazione del programma d'investimento;
  - gli oneri finanziari e i costi indiretti;
- v. nel caso dei PS, sono forniti elementi riguardo la non convenienza economica dell'investimento relativo all'installazione di misuratori dedicati ai singoli interventi.
- vi. copia della diagnosi energetica del sito o dei siti oggetto dell'intervento, ove presente;
- vii. qualora il Soggetto Titolare del progetto intenda avvalersi della riduzione del corrispettivo fisso dovuto al GSE in fase di avvio del procedimento, è tenuto ad allegare alla richiesta una dichiarazione in forma sostitutiva di atto notorio ai sensi del D.P.R n.445/2000, attestante il diritto a godere dell'agevolazione suddetta, fatto salvo quanto previsto all'Allegato 1, punto 8.2, al D.M. 11 gennaio 2017;
- viii. dichiarazione attestante di non incorrere nel divieto di cumulo di cui all'art. 10 del Decreto;
- ix. nel caso in cui il Soggetto Proponente o il Soggetto Titolare del progetto sia un soggetto obbligato alla nomina del Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia ai sensi dell'articolo 19 della legge 9 gennaio 1991, n. 10, documentazione comprovante l'avvenuta nomina per l'anno in corso. Tale requisito

deve essere rispettato per tutta la durata della vita utile del progetto e può essere soggetto a verifica in sede ispettiva.

Il GSE può richiedere ulteriori informazioni e documentazione al fine di operare una più approfondita valutazione della proposta progettuale, nell'ambito dei tempi istruttori massimi definiti dal nuovo Decreto.

Nei paragrafi successivi si riportano le informazioni di dettaglio per la redazione dei Progetti a Consuntivo (Paragrafo 2.2) e Progetti Standardizzati (Paragrafo 2.3).

## **2.2 Il progetto a consuntivo - PC**

Ai sensi del Decreto 11 gennaio 2017, il metodo a consuntivo consente di quantificare il risparmio addizionale conseguibile mediante il progetto di efficienza energetica realizzato dal medesimo soggetto titolare su uno o più stabilimenti, edifici o siti comunque denominati in conformità ad un programma di misura predisposto secondo quanto previsto dall'Allegato 1, Capitolo 1, del Decreto.

Il metodo di valutazione a consuntivo quantifica il risparmio energetico addizionale conseguito attraverso la realizzazione del progetto a consuntivo (di seguito PC) tramite una misurazione puntuale delle grandezze caratteristiche, sia nella configurazione *ex ante* sia in quella *ex post*.

Ai fini dell'accesso al meccanismo, i PC devono aver generato una quota di risparmio addizionale non inferiore a 10 TEP nel corso dei primi 12 mesi del periodo di monitoraggio.

Sulla base della misurazione effettuata in conformità al programma di misura relativo al PC, predisposto secondo le disposizioni dell'Allegato 1 del D.M. 11/01/2017 e approvato dal GSE, sono certificati i risparmi di energia primaria tramite la richiesta di verifica e di certificazione a consuntivo (di seguito RC) dei risparmi conseguiti dal progetto che il soggetto proponente trasmette al GSE, insieme alla documentazione comprovante i risultati ottenuti, secondo quanto previsto al Capitolo 5.

In ottemperanza a quanto previsto nel Capitolo 4 dell'Allegato 1 del Decreto il PC deve contenere, pena inammissibilità, le informazioni minime già descritte nel Paragrafo 2.2.3, rese dal Proponente del progetto in forma sostitutiva di atto notorio ai sensi del D.P.R. n. 445/2000. Al fine di agevolare la presentazione del progetto, di seguito si riportano i contenuti minimi da inserire nella Relazione tecnica di progetto PC.

### *2.2.1 Descrizione del contesto*

Per avere un corretto inquadramento del contesto in cui verrà effettuato l'intervento di efficienza energetica, è opportuno fornire una descrizione dell'attività produttiva degli stabilimenti (materie prime e vettori energetici utilizzati, prodotti realizzati, ecc.), o delle principali attività svolte negli edifici o siti comunque denominati.

A supporto di quanto descritto è opportuno prevedere degli allegati che, a titolo esemplificativo e non esaustivo, consentano di identificare le aree oggetto di intervento, riportare degli schemi dei sistemi di produzione/prelievo dell'energia elettrica e termica, schematizzare i flussi energetici e di materia del processo nella situazione ante/di riferimento e post intervento.

### *2.2.2 Descrizione del progetto e settore d'intervento*

La descrizione dettagliata del progetto di efficientamento e/o degli interventi che lo costituiscono, nonché dei processi interessati, dovrà evidenziare le differenze ante/di riferimento e post intervento, indicando il contributo di ciascun sistema/tecnologia all'ottimizzazione energetica rispetto alla configurazione di riferimento. Tale descrizione dovrà essere corredata da opportuni allegati tecnici, quale, ad esempio, documentazione attestante le caratteristiche tecniche dei sistemi e delle tecnologie (schede tecniche, manuali tecnici, ecc.), schemi d'impianto evidenziando la strumentazione di misura, sintesi dei bilanci di materia e di energia che interessano il processo produttivo, costi di realizzazione strettamente riconducibili al progetto, calcoli illuminotecnici nella situazione ante/di riferimento e post intervento.

In fase di presentazione del progetto il Soggetto Proponente dovrà indicare le motivazioni per le quali si vuole effettuare l'intervento e se vi sono motivi ulteriori all'efficienza energetica. Si rappresenta che non sono in ogni caso ammessi al sistema dei Certificati Bianchi i progetti di efficienza energetica predisposti per l'adeguamento a vincoli normativi o a prescrizioni di natura amministrativa, fatto salvo il caso in cui si impieghino soluzioni progettuali energeticamente più efficienti rispetto a quelle individuate dai vincoli o prescrizioni suddetti, e che generino risparmi addizionali.

Si deve indicare la tipologia d'intervento del progetto ed il settore di riferimento, secondo la Tabella 1 del Decreto, riportando in maniera sintetica quali sono le motivazioni per le quali si è effettuata tale scelta. Nel caso in cui il progetto sia costituito da più interventi, questi ultimi dovranno essere caratterizzati dalla medesima durata del periodo di vita utile (espressa in anni) secondo quanto indicato nella Tabella 1 del Decreto. Qualora si ravveda la necessità di



presentare un progetto costituito da più interventi, con differenti vite utili, il proponente dovrà motivare tale scelta e, ad ogni modo, la vita utile del progetto deve essere posta pari al valore inferiore della vita utile dei singoli interventi.

Nel caso in cui presso lo stesso sito/edificio siano stati realizzati, o siano in corso di realizzazione, ulteriori progetti di efficienza energetica, che godano o meno di incentivazione, il Soggetto Proponente fornirà una descrizione di tali progetti, indicando il codice PPPM/PC a cui fanno riferimento (nel caso in cui esistano ulteriori progetti di efficienza energetica), ed evidenziando nelle planimetrie i confini degli interventi, con le relative interconnessioni con il progetto in oggetto.

Nel caso in cui il Proponente intenda realizzare un progetto che ha effetto sulla rendicontazione dei risparmi di progetti già in corso di incentivazione, a valere sul D.M 11 gennaio 2017 o sul D.M. 28/12/2012, dovrà sottoporre al GSE la modifica del progetto già approvato e la contestuale proposta di un unico algoritmo per il calcolo dei risparmi e di un nuovo programma di misura. La modifica progettuale, in ogni caso, non comporta ulteriori variazioni (pe esempio baseline, vita utile, ecc.) al progetto già in corso di incentivazione. La richiesta sarà inviata tramite applicativo informatico/PEC.

### 2.2.3 Confini del progetto e programma di misura

In fase di presentazione del PC il Soggetto Proponente dovrà fornire una descrizione dettagliata del programma di misura implementato per la misurazione del consumo nella situazione ante intervento, qualora non si tratti di una installazione *ex novo*, e di quello che sarà implementato al fine di misurare tutte le grandezze necessarie alla determinazione dei risparmi di energia primaria conseguiti dal progetto.

Come disposto all'art. 1.3 dell'Allegato 1 al D.M. 11/01/2017, dovranno essere presentate le misure dei consumi relative ad un periodo almeno pari a 12 mesi precedenti la data di avvio della realizzazione del progetto, con frequenza almeno giornaliera. Tali misurazioni saranno trasmesse tramite l'applicativo informatico messo a disposizione dal GSE che prevede l'inserimento dei dati separatamente per ogni intervento che costituisce il progetto.

Qualora sia dimostrabile che le misure relative ad un periodo e ad una frequenza di campionamento inferiori siano rappresentative dei consumi annuali, sarà possibile proporre una ricostruzione cautelativa dei consumi *ex ante* in base ai dati misurati.

La descrizione del programma di misura deve prevedere la definizione dello strumento di misura utilizzato per ogni grandezza rilevata, assegnando ad ognuno di essi un codice progressivo che ne consenta l'univoca individuazione sugli schemi allegati.

Per ciascun punto di misura/derivazione, è necessario indicare:

- Numerazione progressiva;
- Unità di misura del parametro misurato/derivato;
- Criterio di determinazione (misurato/derivato): ciascuna grandezza può essere misurata in maniera diretta o derivata, ove possibile, a partire da misure dirette di altre grandezze della stessa tipologia (es. la portata di vapore prelevata da un collettore può essere ricavata come differenza tra le misure della portata di vapore immessa nel collettore e quella degli altri prelievi). Qualora alcune delle grandezze utilizzate nei calcoli siano state derivate, tutti i punti di misura utilizzati devono essere indicati nelle tabelle, al fine di poter verificare la correttezza dei criteri di derivazione adoperati;
- (Eventuale) criterio di derivazione della grandezza: nel caso in cui la specifica grandezza sia stata derivata, è necessario indicare il criterio utilizzato;
- (Eventuale) tipologia dello strumento di misura della grandezza: nel caso in cui la specifica grandezza sia stata misurata, è necessario indicare la tipologia dello strumento;
- Osservazioni: qualsiasi informazione utile relativa al parametro analizzato o allo strumento utilizzato.

Di seguito si riporta un prospetto di compilazione delle informazioni relative al programma di misura dell'energia di alimentazione, elettrica e termica.

Punti di misura energia di alimentazione	1	2
Fluido		
Q (portata)	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Strumento		
Osservazioni Strumento (presenza di eventuale correttore, ...)		

Figura 2.9 – Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia di alimentazione

Punti di misura energia termica	3	4	5
Fluido			
M (massa)	Misurato/derivato	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Temperatura	Misurato/derivato	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Pressione	Misurato/derivato	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Entalpia	Misurato/derivato	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Energia termica	Totalizzatore o misura derivata	Totalizzatore o misura derivata	Totalizzatore o misura derivata
Osservazioni strumento			

Figura 2.10 – Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia termica

Punti di misura energia elettrica	6	7
Energia elettrica prodotta	Misurato/derivato	Misurato/derivato
Energia elettrica prelevata dalla rete	Misurato/derivato	Misurato/derivato

Figura 2.11 – Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia elettrica

Il posizionamento della strumentazione deve garantire la corretta misurazione delle grandezze necessarie, escludendo gli effetti di altri progetti di efficienza non oggetto di valutazione.

La presentazione del PC dovrà quindi essere corredata di: schemi elettrici, termici e schema a blocchi (qualora l'intervento coinvolga una o più fasi di un processo) corrispondenti sia alla situazione *ex ante* che alla situazione *ex post*. Gli schemi dovranno consentire di verificare:

- le modalità di generazione/approvvvigionamento di tutti i vettori energetici coinvolti nel processo oggetto del PC;
- le proprietà termodinamiche dei vettori energetici (come pressione e temperatura per flusso di vapore);
- il posizionamento della strumentazione di misura con indicazione del codice progressivo.

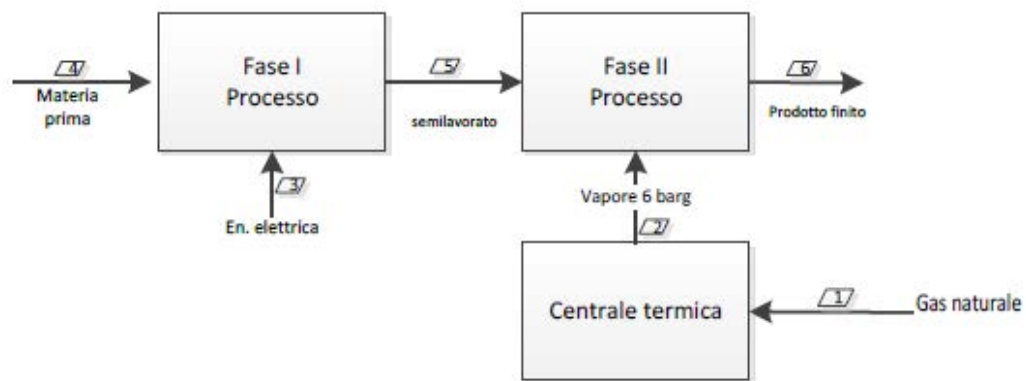


Figura 2.12 – Esempio di schema a blocchi del progetto PC

È necessario, inoltre:

- Fornire le caratteristiche tecniche degli strumenti di misura in merito a:
  - codice identificativo riportato negli elaborati grafici e nella relazione;
  - tipologia di strumento (marca, modello, etc.);
  - matricola;
  - grandezza misurata e unità di misura.
- Descrivere il programma di verifica e manutenzione della strumentazione di misura nell'arco della vita utile dell'intervento.
- Descrivere la metodologia di ricostruzione dei risparmi in caso di perdita dei dati, ovvero in che modo si intendono trattare gli eventuali dati mancanti o forniti in maniera errata dalla strumentazione di misura durante il periodo di rendicontazione dei risparmi.

#### 2.2.4 Variabili operative del processo

Per effettuare la normalizzazione dei consumi rispetto alle effettive condizioni di esercizio nella configurazione post intervento è richiesta un'analisi delle variabili operative che influenzano il consumo energetico. L'analisi, condotta sulla base delle misurazioni nelle condizioni ante intervento e sulla base di documentazione tecnica di riferimento, dovrà portare all'individuazione di tali variabili ed alla definizione delle relazioni, qualitative e quantitative, con i consumi energetici del sistema oggetto di intervento.

Tali variabili possono essere sia booleane, ad esempio riferite alla presenza o meno di determinate condizioni, sia qualitative qualora ci si riferisca al valore assunto da un determinato parametro, per esempio temperatura fumi, capacità produttiva, tipologia prodotto.

Variabili operative (X)	consumo energia elettrica (Y <sub>1</sub> )	consumo energia termica (Y <sub>2</sub> )
Capacità produttiva (X <sub>i</sub> )	$Y_1 = \alpha X_i$	
Temperatura fumi in uscita		
...		

Figura 2.13 – Prospetto di compilazione delle variabili operative che influenzano il consumo

In figura 2.13 si è riportato un esempio di una possibile modalità di presentazione dei parametri che influenzano il consumo.

### 2.2.5 Consumo ante intervento

I risultati della campagna di misura condotta nei 12 mesi antecedenti la data di avvio della realizzazione del progetto sono trasmessi in forma tabellare con dettaglio almeno giornaliero, valorizzando per ciascuna misurazione il valore delle variabili operative del processo.

Intervallo di misurazione	consumo energia elettrica [kWh]	consumo energia termica (kWh)	Produzione (t)	Variabile operativa X <sub>1</sub>	Variabile operativa X <sub>2</sub>
01/01/2017					
02/01/2017					
...					

Figura 2.14 – Prospetto di compilazione dei consumi ante intervento

Dovranno, inoltre, essere trasmessi i dati dei consumi di energia della configurazione ante intervento normalizzati rispetto ai valori assunti delle variabili operative nelle condizioni post.

### 2.2.6 Consumo di riferimento e di baseline

Il consumo di energia primaria di riferimento del progetto è il consumo che, in relazione al progetto proposto, è attribuibile all'intervento (o l'insieme di interventi) realizzato con i sistemi o con le tecnologie che, alla data di presentazione del progetto, costituiscono l'offerta standard di mercato in termini tecnologici e/o lo standard minimo fissato dalla normativa in relazione alle condizioni operative previste nella configurazione post intervento.

Il Soggetto Proponente è tenuto ad effettuare un'indagine, con riferimento a documenti di letteratura ed all'offerta del mercato, che consenta di individuare la configurazione impiantistica di riferimento e, a tal fine, ricavare le indicazioni utili all'individuazione del

consumo di riferimento a partire dalle migliori tecnologie disponibili, anche identificate a livello europeo, e delle potenzialità di risparmio in termini economici ed energetici derivanti dalla loro applicazione. Nel caso in cui sussistano degli obblighi normativi che abbiano impatto sui consumi attribuibili al progetto, il consumo di riferimento dovrà essere, con riferimento alle medesime condizioni operative, il minore tra la configurazione standard di mercato e la configurazione che ottempera alle prescrizioni normative.

I risultati dell'analisi dovranno essere trasmessi esplicitando i consumi di energia di riferimento associati ai possibili valori assunti dalle variabili operative nelle condizioni post intervento.

consumo energia elettrica [kWh]	consumo energia termica [kWh]	Produzione [t]	Variabile operativa $X_1$	Variabile operativa $X_2$

Figura 2.15 – Prospetto di compilazione dei consumi di riferimento

Il consumo di baseline, invece, è il consumo di energia primaria del sistema tecnologico assunto come riferimento ai fini del calcolo dei risparmi energetici addizionali per i quali sono riconosciuti i Certificati Bianchi. Il consumo di baseline è dato dal minor valore tra il consumo antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica, normalizzato rispetto alle condizioni post interventi, e il consumo di riferimento.

Con il Decreto correttivo 10 maggio 2018, si ridefinisce il concetto di baseline che è assunto pari al valore del consumo antecedente alla realizzazione del progetto di efficienza energetica, fermo restando quanto previsto all'art. 6, comma 6, del DM 11 gennaio 2017.

Nel caso di nuovi impianti, edifici o siti comunque denominati per i quali non esistono valori di consumi energetici antecedenti all'intervento, il consumo di baseline è pari al consumo di riferimento.

### 2.2.7 Consumo post intervento e calcolo dei risparmi

In fase di presentazione del PC, il Soggetto Proponente dovrà fornire documentazione che consenta di definire i valori attesi delle variabili operative e le modalità di definizione del consumo atteso nella configurazione post intervento.

Il PC dovrà descrivere la proposta di algoritmo di calcolo dei risparmi di energia primaria conseguiti dal progetto. La descrizione dovrà essere comprensiva delle modalità di conversione

dei consumi finali in energia primaria tenendo conto delle modalità di generazione/approvvigionamento dei vettori energetici presso il sito oggetto di intervento e dei valori di potere calorifico inferiore di cui all'Allegato IV alla direttiva 2012/27/UE. Nei casi in cui la fonte primaria non sia classificabile in una delle tipologie elencate, il valore di P.C.I. adottato per la valutazione dei risparmi energetici conseguiti dovrà essere certificato da un laboratorio qualificato ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera e), dei decreti ministeriali 20 luglio 2004.

Nel caso di presenza di un impianto di cogenerazione dovranno essere descritte le eventuali variazioni del funzionamento dell'impianto a seguito dell'intervento di efficienza energetica al fine della corretta contabilizzazione dei risparmi di energia primaria conseguiti.

### *2.2.8 La rendicontazione dei risparmi a consuntivo – RC*

In fase di presentazione di PC dovrà essere fornito un prospetto del file di rendicontazione che sarà trasmesso con le successive RC. Il foglio di calcolo dovrà riportare il dettaglio delle grandezze che saranno misurate, con la frequenza di campionamento definita in PC, e le formule dell'algoritmo di calcolo implementate per la determinazione dei risparmi di energia primaria.

A partire dall'approvazione del progetto PC, il Soggetto Titolare ha tempo 12 mesi per avviare i lavori per tutti gli interventi che costituiscono il progetto, trascorsi i quali l'ammissione del progetto agli incentivi perde efficacia.

A decorrere dall'avvio del programma di misura, che deve avvenire entro 36 mesi dalla data di avvio della realizzazione del progetto, sono contabilizzati i risparmi conseguiti per tutti gli interventi che costituiscono il progetto per una durata pari al numero di anni della vita utile.

Il periodo di monitoraggio delle singole RC presentate successivamente all'approvazione del PC è annuale. Limitatamente ai progetti a consuntivo per i quali si stimi la generazione di elevati risparmi, è possibile proporre in sede di presentazione del PC periodi di monitoraggio semestrali o trimestrali qualora, per ogni RC presentata, sia verificato che il numero di Certificati Bianchi da riconoscere sia almeno pari, rispettivamente, a 10.000 e 5.000.

In ogni caso, la RC deve essere presentata entro 120 giorni dalla fine di ogni periodo di monitoraggio.

Il GSE verifica la coerenza dei dati e delle informazioni inviati in sede di presentazione delle RC con i dati e le informazioni trasmesse in fase di presentazione dei PC, per l'ammissibilità del progetto realizzato.

Unitamente alla prima RC deve essere trasmessa:

- a) documentazione attestante la data di avvio della realizzazione del progetto;
- b) matricola dei misuratori installati;
- c) matricole/codici identificativi dei principali componenti installati.

In fase di prima RC il Soggetto Proponente dovrà dichiarare se intende richiedere che per la metà della durata della vita utile del progetto, il volume di Certificati Bianchi erogati sia moltiplicato per il fattore  $K1=1,2$ . In tali casi, per la rimanente durata della vita utile, il numero di Certificati Bianchi erogati a seguito delle rendicontazioni dei risparmi effettivamente conseguiti e misurati è moltiplicato per il fattore  $K2=0,8$ .

Le misure relative al periodo di monitoraggio oggetto della RC dovranno essere trasmesse, con frequenza di campionamento almeno giornaliera.

Intervallo di misurazione	consumo energia termica (kWh)	Produzione (t)	Variabile operativa $X_1$	Variabile operativa $X_2$	Consumo di baseline (kWh)	Risparmio (tep)
01/01/2018						
02/01/2018						
...						

Figura 2.16 – Prospetto di compilazione dei risparmi RC

Per ogni intervallo di tempo devono essere riportati: i consumi misurati, i valori assunti dalle variabili operative e il corrispondente consumo di baseline.

### 2.3 Il progetto standardizzato – PS

Ai sensi del nuovo Decreto, il metodo standardizzato quantifica il risparmio energetico addizionale rendicontato sulla base di un algoritmo di calcolo e della misura diretta di un idoneo campione rappresentativo dei parametri di funzionamento che caratterizzano il progetto standardizzato (di seguito PS) sia nella configurazione *ex ante* sia in quella *ex post*, in conformità ad un programma di misura approvato dal GSE, come previsto dall'Allegato 1, Capitolo 2, del DM 11 gennaio 2017.



Ai fini dell'analisi preliminare, il progetto standardizzato deve essere composto da interventi per i quali sia verificata la ripetitività delle condizioni di funzionamento e la non convenienza economica della misura dedicata ai singoli interventi.

L'algoritmo per il calcolo dei risparmi definito dalla scheda PS, in base alla tipologia di progetto, è applicato estendendo le risultanze delle misurazioni effettuate sul campione rappresentativo, verificato in sede di presentazione dell'istanza, all'insieme degli interventi realizzati nell'ambito del progetto (di seguito perimetro del progetto).

Ai fini dell'accesso al meccanismo, il PS deve aver generato una quota di risparmio aggiuntiva non inferiore a 5 TEP nel corso dei primi 12 mesi del periodo di monitoraggio.

In ottemperanza a quanto previsto nel Capitolo 4 dell'Allegato 1 del Decreto il PS deve contenere, pena inammissibilità, le informazioni minime già descritte nel paragrafo 2.2.3, rese dal Proponente del progetto in forma sostitutiva di atto notorio ai sensi del D.P.R. n. 445/2000.

Al fine di agevolare la presentazione del PS, di seguito si riportano i criteri per la verifica di ammissibilità e l'applicazione della metodologia standardizzata dei risparmi e i contenuti da inserire nella "relazione tecnica di progetto PS", contenente una struttura volta ad individuare le informazioni minime utilizzate nel procedimento istruttorio relative alla descrizione del perimetro del progetto, del campione rappresentativo e delle modalità per la verifica dei risparmi.

### *2.3.1 Verifica preliminare del progetto al metodo standardizzato*

Il metodo di valutazione standardizzato quantifica il risparmio energetico aggiuntiva conseguibile attraverso il progetto standardizzato presso uno o più stabilimenti, edifici o siti comunque denominati, per il quale sia dimostrabile:

- a. la replicabilità del progetto, ovverosia degli interventi che lo compongono in contesti assimilabili e a pari condizioni operative;
- b. la non convenienza economica dell'investimento per l'installazione di misuratori dedicati ai singoli interventi, a fronte del valore economico indicativo dei Certificati Bianchi ottenibili in virtù del risparmio energetico conseguibile dalla realizzazione del progetto.

Ai fini dell'accesso al meccanismo, qualora il PS sia costituito da più interventi, questi ultimi dovranno essere caratterizzati dalla medesima durata del periodo di vita utile (espressa in anni),

al fine di essere ricompresi in un medesimo progetto per il quale il soggetto proponente inoltra istanza unica al GSE per la richiesta dei Certificati Bianchi.

### *2.3.2 Tipologia di intervalli ammissibili*

L'elenco delle tipologie di intervento ammissibili al meccanismo attraverso la modalità standardizzata è approvato e aggiornato con Decreto direttoriale del Direttore Generale DG-MEREEN, del Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Direttore generale DG-CLE del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, d'intesa con la Conferenza Unificata, anche su proposta del GSE elaborata in collaborazione con ENEA e RSE. Tale elenco, pubblicato sul sito istituzionale del GSE, è aggiornato periodicamente. Ai soggetti ammessi al meccanismo è data la possibilità di proporre nuove tipologie di progetti ammissibili alla valutazione dei risparmi con metodo standardizzato. In particolare, i soggetti ammessi possono proporre al GSE: la tipologia di tecnologia da incentivare e i relativi requisiti minimi di ammissibilità in relazione all'utilizzo e al contesto di applicazione, il consumo di riferimento, l'algoritmo per la determinazione dei risparmi afferenti alla tecnologia da incentivare, la metodologia di misurazione standardizzata del campione rappresentativo, ivi inclusi i metodi per la determinazione dell'errore campionario e la sua entità.

Il contenuto dei PS può essere aggiornato sulla base dell'evoluzione normativa, tecnologica e del mercato tramite Decreto direttoriale. Per aggiornamento si intende la modifica parziale o totale del contenuto dei PS, ovvero la sua revoca. Il mero recepimento di obblighi o standard normativi costituisce aggiornamento che può essere apportato senza Decreto direttoriale di approvazione.

### *2.3.3 Contenuti minimi della relazione tecnica del progetto PS*

Nell'ambito della presentazione dell'istanza, sulla base delle indicazioni specifiche riportate nella scheda PS, il soggetto proponente dovrà inviare la relazione tecnica comprensiva di:

- descrizione dettagliata del progetto di efficienza energetica, al fine di individuare i parametri di funzionamento che lo caratterizzano;
- descrizione dettagliata degli interventi che compongono il progetto, comprensiva delle assunzioni da utilizzare per la verifica della replicabilità degli interventi e della rappresentatività del campione sul quale si effettuano le misure dirette in relazione all'intero perimetro del progetto;

- descrizione del programma di misura, comprensiva dei parametri da misurare, le modalità di misura e le ipotesi compiute ai fini della standardizzazione dei risparmi energetici conseguiti;
- descrizione del programma di misura che s'intende adottare per la valutazione dei risparmi di energia primaria, inclusi:
  - le ipotesi compiute ai fini della standardizzazione dei risparmi energetici conseguiti e la metodologia adottata per l'estensione delle risultanze delle misurazioni effettuate sul campione rappresentativo all'insieme degli interventi realizzati nell'ambito del progetto approvato dal GSE;
  - il risparmio energetico previsto per tutti gli interventi che compongono il PS;
  - la strumentazione utilizzata, comprensiva dell'analisi dei costi relativi all'installazione dei misuratori dedicati ai fini della verifica della non convenienza economica dell'investimento relativo all'installazione dei misuratori dedicati ai singoli interventi;
- prospetto del file di rendicontazione che sarà trasmesso con le successive RS. Il foglio di calcolo dovrà riportare il dettaglio delle grandezze che saranno misurate sul campione rappresentativo, con la frequenza di campionamento definita in fase di approvazione del PS, le formule dell'algoritmo di calcolo implementate per la determinazione dei risparmi di energia primaria e la metodologia per l'estensione della misura delle grandezze di riferimento sul campione statico a tutti gli interventi che compongono il progetto.

#### *2.3.4 La metodologia standardizzata per il calcolo dei risparmi energetici*

Il risparmio conseguibile dal PS è rendicontato attraverso una metodologia standardizzata che, in base alla tipologia di progetto, definisce:

- le variabili operative per la definizione del campione rappresentativo ai fini della verifica della ripetibilità delle medesime all'intero perimetro del progetto;
- gli algoritmi per il calcolo del consumo atteso nella configurazione post intervento ai fini della definizione del risparmio energetico addizionale.

Per verificare l'ammissibilità del progetto al metodo standardizzato è necessario definire un idoneo campione rappresentativo (CR). In particolare, ai fini della verifica dell'estensione del

risparmio del CR all'intero perimetro del progetto sarà necessario verificare la ripetibilità dei parametri caratteristici, delle variabili operative e delle condizioni di funzionamento degli impianti, degli edifici o dei siti comunque denominati sui quali si effettuano le misure dirette all'intero perimetro del progetto standardizzato.

Il campione di misura, pertanto, deve essere adeguatamente rappresentativo sia della configurazione precedente sia di quella successiva alla realizzazione del progetto, in termini di:

- numerosità e di tipologia delle variabili energetiche da monitorare, al fine di garantire che le quantità misurate siano sufficientemente rappresentative dell'intero perimetro del progetto;
- numerosità degli edifici, impianti o siti comunque denominati in grado di garantire un determinato livello di confidenza e un valore dell'errore campionario definito a priori per ogni tipologia di PS e verificato in sede di presentazione dell'istanza.

### 2.3.5 Definizione del programma

I parametri caratteristici da utilizzare per definire il campione rappresentativo sono indicati, in base alla tipologia di progetto, nelle schede di PS approvate con Decreto ministeriale.

Come disposto all'art. 2, comma 6 dell'Allegato 1 al D.M. 11 gennaio 2017 dovranno essere presentate le misure dei consumi sul campione rappresentativo relative ad un periodo almeno pari a 12 mesi precedenti la data di avvio della realizzazione del progetto, con frequenza almeno giornaliera.

Qualora sia dimostrabile che le misure relative ad un periodo e ad una frequenza di campionamento inferiori siano rappresentative dei consumi annuali, sarà possibile proporre una ricostruzione cautelativa dei consumi *ex ante* in base ai dati misurati.

La descrizione del programma di misura deve prevedere la definizione dello strumento di misura utilizzato per ogni grandezza rilevata, assegnando ad ognuno di essi un codice progressivo che ne consenta l'univoca individuazione sugli schemi allegati.

I risultati della campagna di misura condotta sul campione rappresentativo nei 12 mesi antecedenti la data di avvio della realizzazione del progetto sono trasmessi in forma tabellare con dettaglio almeno giornaliero, valorizzando per ciascuna misurazione il valore delle variabili operative del processo.

In base alla tipologia di PS, dovranno essere implementati i dati dei consumi di energia della configurazione ante intervento normalizzati rispetto secondo quanto indicato nel PS.

I risparmi conseguiti sono contabilizzati per un numero di anni pari a quelli della vita utile degli interventi a decorrere dalla data in cui viene avviato il programma di misura e comunque entro e non oltre 36 mesi dalla data di avvio della realizzazione del progetto.

### *2.3.6 La rendicontazione dei risparmi standardizzata – RS*

Approvato il PS, il Soggetto Proponente dovrà presentare una richiesta di certificazione dei risparmi standardizzato (RS), al più, entro 120 giorni dalla fine del periodo di monitoraggio. Il GSE verifica la coerenza dei dati e delle informazioni inviati in sede di presentazione delle RS con i dati e le informazioni trasmesse in fase di presentazione dei PS, per l'ammissibilità del progetto realizzato.

Unitamente alla prima RC deve essere trasmessa:

- a) documentazione attestante la data di avvio della realizzazione del progetto;
- b) matricola dei misuratori installati;
- c) matricole/codici identificativi dei principali componenti installati.

Le misure relative al periodo di monitoraggio oggetto della RS dovranno essere trasmesse, riportando per ogni intervallo: i consumi misurati, i valori assunti dalle variabili operative e il corrispondente consumo di baseline secondo quanto riportato nelle schede PS.

In fase di prima RS il Soggetto Proponente dovrà dichiarare se intende richiedere che per la metà della durata della vita utile del progetto, il volume di Certificati Bianchi erogati sia moltiplicato per il fattore  $K1=1,2$ . In tali casi, per la rimanente durata della vita utile, il numero di Certificati Bianchi erogati a seguito delle rendicontazioni dei risparmi effettivamente conseguiti e misurati è moltiplicato per il fattore  $K2=0,8$ .

Per le successive RS, si specifica che il soggetto proponente è tenuto ad indicare ogni modifica progettuale o variazione delle grandezze misurate sul campione rappresentativo o la numerosità degli impianti, edifici o siti comunque denominati che costituiscono l'intero perimetro del progetto.



# Capitolo 3

## Efficientamento nel Servizio Idrico Integrato

Nel presente capitolo saranno indicati gli interventi di efficienza energetica realizzabili sull'intero Servizio Idrico Integrato (SII), ovvero sull'insieme di servizi idrici ed infrastrutture connessi con l'uso della risorsa idrica.

### 3.1 Il Servizio Idrico Integrato

In Italia si parla per la prima volta di Servizio Idrico Integrato nell'articolo 4 della legge 5 gennaio 1994, n. 361 (meglio conosciuta come Legge Galli), recante "Disposizioni in materia di risorse idriche". Nel 2006, il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 recante "Norme in materia ambientale", abroga la legge Galli e ridefinisce il Servizio Idrico Integrato come *"costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue, e deve essere gestito secondo principi di efficienza, efficacia ed economicità [...]"*.

Il Servizio Idrico Integrato (SII) non è assimilabile ad un singolo ciclo o processo, ma è un insieme di processi industriali e tecnologici di varia natura, distribuiti in modo disomogeneo sul territorio, che, a causa delle specificità territoriali, tecnologiche, storiche e organizzative, è difficilmente inquadrabile e analizzabile con la stessa logica della maggior parte degli altri processi industriali.

Il SII è l'insieme di processi complessi che forniscono un servizio tangibile come l'acqua consegnata all'utente o l'acqua depurata restituita all'ambiente. A tali servizi sono associate delle prestazioni accessorie connesse direttamente (qualità dell'acqua potabile o delle acque reflue scaricate, quantità e continuità di servizio), delle prestazioni connesse indirettamente (informazioni di servizio, bollettazione...) e altri servizi in senso più lato che riguardano la collettività (miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie, protezione dell'ambiente dagli scarichi civili e industriali, ecc.).

In prima approssimazione è possibile schematizzare il SII attraverso l'insieme di sistemi di processo, come rappresentato in Figura 3.1.

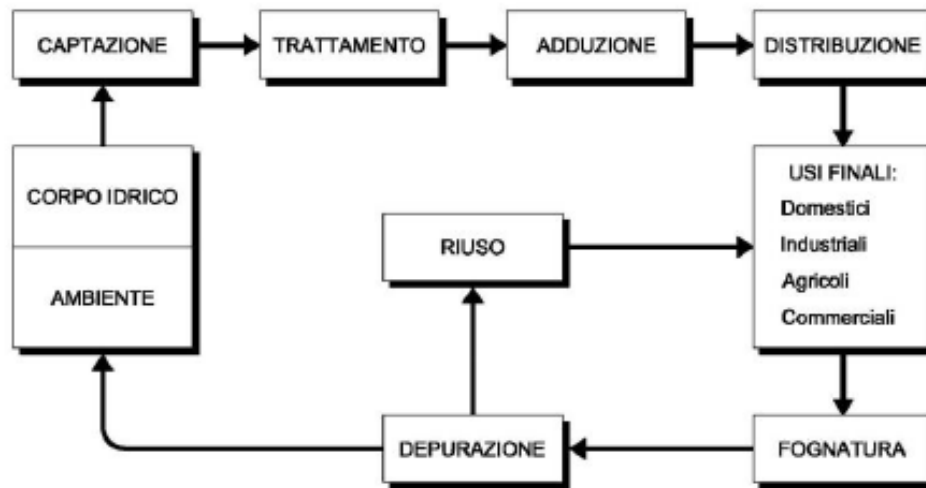


Figura 3.1 – Schema del servizio idrico integrato

Esistono diverse configurazioni impiantistiche che possono essere scelte per la realizzazione di un servizio di acquedotto, di fognatura e di depurazione, ma generalmente gran parte degli schemi rientra in quanto di seguito descritto: captazione, trattamento, adduzione, distribuzione, fognatura e depurazione. [18]

1. **La captazione** è svolta attraverso un insieme di impianti che estraggono l'acqua da differenti corpi idrici, rendendola disponibile ai successivi trattamenti e al trasporto. La tipologia di impianti differisce a seconda dello specifico corpo idrico soggetto al prelievo.
2. **Il trattamento** di potabilizzazione dell'acqua è necessario per rendere il suo livello di qualità compatibile con i requisiti richiesti per il consumo umano (Direttiva Europea 98/83/CE3, Decreto Legislativo n. 31/2001). Il trattamento è generalmente effettuato mediante un insieme di impianti facenti capo a uno o più punti di captazione, ciascuno dei quali costituito da un determinato numero di processi in funzione dalla provenienza dell'acqua.

Le operazioni di captazione e trattamento dell'acqua dipendono molto dalla tipologia e dalle caratteristiche qualitative del corpo idrico utilizzato per l'approvvigionamento:



- Acque di sorgente: richiedono consumi energetici contenuti per la captazione e, salvo casi particolari, anche il trattamento di potabilizzazione richiede bassi consumi (chiarificazione, disinfezione);
- Acque sotterranee: richiedono operazioni di sollevamento e consumi energetici crescenti all'aumentare della profondità della falda idrica. Sono maggiori anche i consumi richiesti per i trattamenti di potabilizzazione, mediamente più spinti rispetto a quelli richiesti per le acque di sorgente (chiariflocculazione, possibile filtrazione e/o altri trattamenti e disinfezione);
- Acque superficiali: richiedono consumi energetici inferiori per il sollevamento, rispetto alle acque sotterranee, ma consumi crescenti per la potabilizzazione al peggiorare della qualità delle acque utilizzate (chiariflocculazione, filtrazione, disinfezione, maggiori trattamenti dei fanghi);
- Acque salmastre/marine: richiedono consumi energetici limitati per il sollevamento e consumi elevatissimi per la potabilizzazione (osmosi inversa/dissalazione).

Al 2015, l'84,3% del prelievo nazionale di acqua a uso potabile deriva da acque sotterranee (48,0% da pozzo e 36,3% da sorgente), il 15,6% da acque superficiali (9,9% da bacino artificiale, il 4,8% da corso d'acqua superficiale e lo 0,9% da lago naturale) e il restante 0,1% da acque marine o salmastre [19].

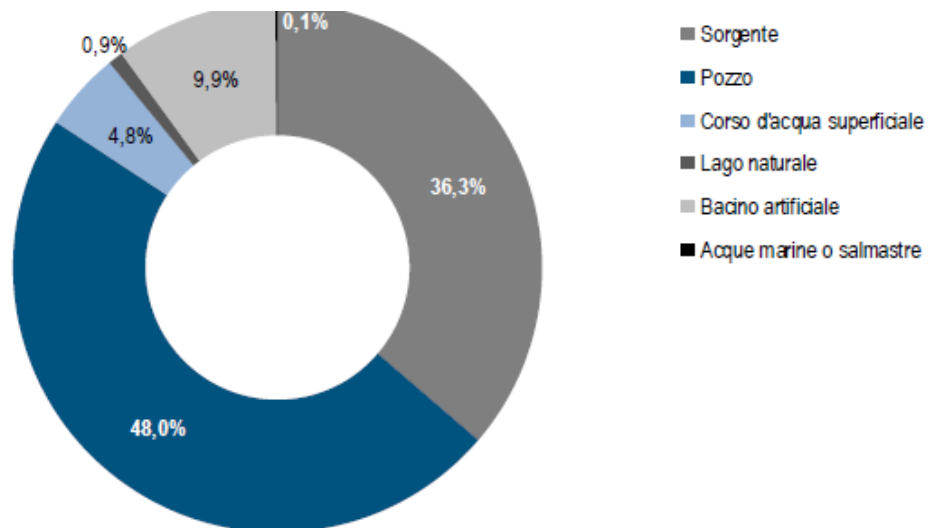


Figura 3.2 – Prelievi di acqua per uso potabile per tipologia di fonte

3. **La rete di adduzione** rende disponibile l'acqua in prossimità dei principali punti di utilizzo, che possono essere anche a grandi distanze dagli impianti di captazione. Tale

rete è suddivisa in distretti o sotto-reti facenti capo a zone delimitate da vincoli di prossimità e altimetria, ciascuna dotata di almeno un serbatoio di accumulo.

4. **La rete di distribuzione** rende disponibile l'acqua alle utenze finali in modo capillare per usi domestici e non domestici (per usi non domestici si intendono utenze agricole e industriali; utenze commerciali come negozi, ristoranti, alberghi, uffici; utenze pubbliche come scuole, ospedali, aeroporti, uffici pubblici, stazioni ferroviarie ecc.).
5. **Il servizio di fognatura** è costituito da uno o più sistemi complessi di reti da cui le acque reflue sono raccolte capillarmente dalle singole utenze e convogliate fino agli impianti di depurazione. I consumi energetici della rete fognaria sono, in generale, decisamente inferiori a quelli degli acquedotti in quanto è ancora prevalente il sistema di trasporto a gravità.
6. **Il servizio di depurazione** è svolto attraverso un insieme di impianti estremamente disomogenei, ciascuno dei quali costituito da comparti che svolgono un determinato processo fisico, chimico o biologico, con lo scopo di depurare i reflui dalle sostanze organiche e inorganiche, sedimentabili e non, al fine di permettere lo scarico delle acque trattate nel corpo idrico recettore, nel rispetto dei limiti tabellati all'interno del D.Lgs. 152/2006, rendendo possibile il loro riutilizzo o la reimmissione in ambiente.

Quasi sempre, specialmente nel caso di sistemi fognari misti, a monte del depuratore è presente uno scolmatore, che ha lo scopo di regolare e gestire i flussi di reflui in ingresso agli impianti. Generalmente un impianto di depurazione è costituito da una "linea acque", dove si svolgono i trattamenti che rimuovono i principali inquinanti, e dalla "linea fanghi", dove vengono trattate e trasformate in un rifiuto solido meno nocivo le correnti inquinanti estratte dalla linea acque, al fine di stabilizzarle e permetterne lo smaltimento o il riuso.

In figura 3.3 è riportato uno schema completo di un impianto di depurazione, dove è evidenziata in nero la linea acqua e in rosso la linea fanghi, tenendo conto che le specifiche sotto fasi di processo possono presentare una sequenzialità differente [20].

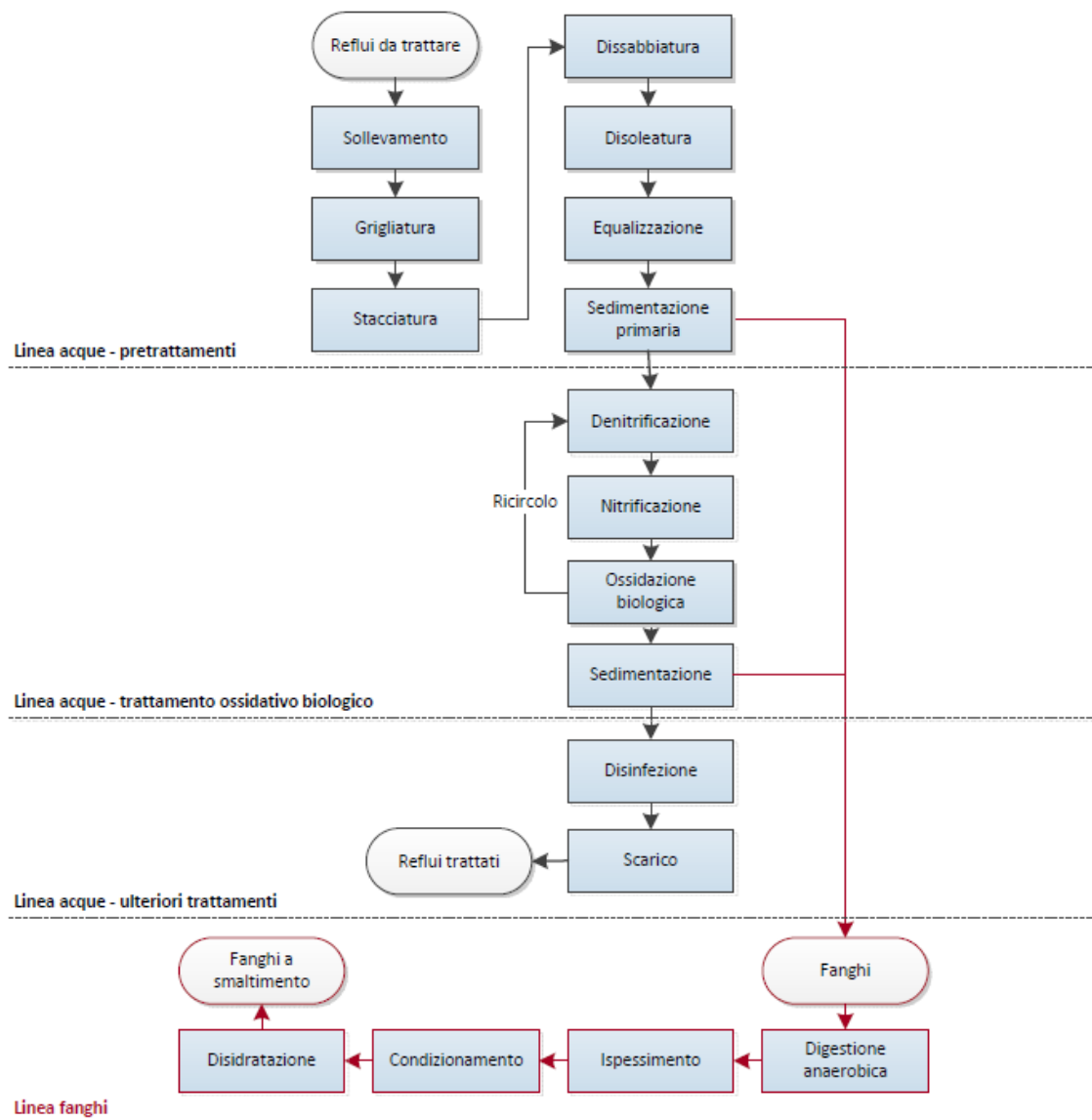


Figura 3.3 – Flusso del processo tipo di un impianto di depurazione

La linea acque prevede tre fasi principali di processo:

- *Pretrattamento* - durante questa fase le sostanze sedimentabili vengono eliminate dal refluo proveniente dal sistema fognario. Le sotto fasi di processo consistono nella grigliatura, stacciatura, dissabbiatura, disoleatura, equalizzazione e sedimentazione primaria.

Nel pretrattamento i consumi energetici sono connessi agli impianti di produzione di aria compressa (utilizzata per la pulizia delle attrezzature e per l'insufflaggio di aria in alcune sotto fasi di trattamento) e ai motori elettrici utilizzati per la sminuzzatura, la raccolta degli oli, gli agitatori e la movimentazione dei fanghi e dei reflui;

- *Trattamento ossidativo biologico* - durante questa fase il refluo viene depurato delle sostanze organiche presenti nell'acqua, grazie all'impiego di specifici microrganismi. Gli impianti più diffusi e a maggiore efficienza di depurazione sono quelli a fanghi attivi. Molto spesso durante questo trattamento avviene la rimozione dell'azoto presente nei reflui con processi di denitrificazione e nitrificazione. Negli impianti a fanghi attivi, l'ossidazione avviene tramite l'impiego di batteri aerobici. L'aerazione dei reflui può essere effettuata mediante aerazione meccanica (rimescolamento continuo della superficie del refluo) o mediante insufflazione d'aria o di ossigeno. Al fine di migliorare la solubilità dell'ossigeno nel refluo, lo stesso viene costantemente mantenuto in movimento mediante agitatori. I consumi energetici, pertanto, sono connessi al funzionamento di tali componenti;
- *Ulteriori trattamenti* di affinamento del grado di depurazione - in questa fase possono essere attuati ulteriori trattamenti come la sedimentazione secondaria, la chiariflocculazione, la filtrazione su tela o la disinfezione (che può avvenire o tramite l'impiego di cloro e acido peracetico, o tramite ozonizzazione o attraverso i raggi UV). In questo caso i consumi energetici sono connessi ai motori elettrici utilizzati per la movimentazione dei fanghi e dei reflui, alle lampade UV e agli eventuali impianti di produzione di ozono.

La linea fanghi prevede quattro principali trattamenti:

- *Stabilizzazione biologica* - effettuata generalmente con impianti di digestione anaerobica, ma possono essere presenti anche impianti aerobici;
- *Ispessimento* – finalizzato alla riduzione del contenuto di acqua nei fanghi, può essere effettuato per sedimentazione (gravità o flottazione) o centrifugazione. I consumi elettrici sono legati ai motori delle pompe, delle tramogge e dei raschiatori, nonché alle centrifughe o i sistemi di aerazione;
- *Condizionamento* – finalizzato alla riduzione del contenuto di acqua presente nelle sostanze colloidali, quasi sempre realizzato mediante l'impiego di sostanze chimiche;
- *Disidratazione* – può essere effettuata mediante:
  - a) Sistemi meccanici, ovvero centrifugazione o filtrazione (sottovuoto, con i filtri a nastro, a pori e a dischi; sotto pressione, con filtropresse, presse a vite e nastropresse)
  - b) Sistemi termici, ovvero essiccatori o forni di incenerimento.

Prima di focalizzarsi unicamente sul servizio, è necessario fare una premessa di carattere storico per approfondire la natura del soggetto gestore del SII e vedere qual è la situazione odierna.

Nel 1990 l'ISTAT [21] valutava in un numero superiore a 15.000 i soggetti gestori dei servizi idrici, ossia un numero più che doppio di quello dei comuni italiani. Questi potevano essere gestori dell'intera filiera o solamente di uno o più segmenti (acquedotto, fognatura o depurazione). Da allora, anche sulla spinta della opportunità di sfruttare le economie di scala per far fronte alla grande massa di investimenti necessari a rispettare i nuovi standard europei introdotti, è stato avviato un processo di aggregazione delle gestioni su territori di dimensioni mediamente coincidenti con quelli delle Province (in alcuni casi di dimensioni inferiori, in altri maggiori e pari alla Regione) e di aggregazione di filiera.

Allo stato attuale il processo di aggregazione non è ancora terminato e i gestori del SII sul territorio sono in numero ancora superiori a 2.000 (una statistica ISTAT [21] del 2008 li valutava pari a 2500); di questi gestori un numero attorno a circa 120 copre quasi l'80 % in termini di abitanti serviti, i rimanenti nella maggior parte dei casi sono ancora gestioni dirette in economia comunali.

Un gestore medio, quindi, ha la responsabilità di un insieme di schemi acquedottistici non connessi e di un insieme di sistemi fognario-depurativi separati; mentre un numero elevatissimo di strutture è a servizio dei paesi periferici la cui connessione agli schemi principali è resa impossibile per vincoli tecnico-economici o per la particolare conformazione territoriale.

Lo schema del SII riportato in figura 3.1 è una forte semplificazione del complesso ed eterogeneo sistema impiantistico che sottende al servizio stesso e l'approccio di andare a valutare l'efficienza energetica per ciascuno degli insiemi di sistemi di processi porterebbe a risultati del tutto inaffidabili e non significativi per due ordini di motivi legati a [18]:

- La tecnologia utilizzata;
- La conformazione del territorio.

### *3.1.1 Aspetti energetici e tecnologici*

I consumi energetici del servizio acquedottistico sono essenzialmente connessi ai sistemi di pompaggio e dipendono da numerose variabili come le portate, l'orografia del territorio, le tipologie di condotte (lavorano in gravità o in sollevamento, in pressione o pelo libero), le interconnessioni tra le condotte, la numerosità e la tipologia di serbatoi di raccolta, la tipologia

di rete di distribuzione, che varia in funzione della localizzazione, tipologia, numerosità e densità delle utenze. [20]

Da quanto finora esposto, risulterebbe poco significativo utilizzare il consumo energetico unitario (per esempio kWh/m<sup>3</sup> di acqua prodotta) come indicatore di riferimento per la fase di captazione o per il trattamento delle acque potabili; simili fasi infatti sono fortemente dipendenti dalla specifica origine delle acque considerate.

Anche se si volessero utilizzare indici di consumo energetico per tipologia di corpo idrico sfruttato, (ossia consumi specifici solo per acque di sorgente, o solo per acque superficiali, o solo per acque sotterranee e/o solo marine), questo non sarebbe significativo. Infatti, il consumo energetico in corrispondenza della medesima tipologia di corpo idrico da cui ci si approvvigiona è fortemente dipendente dallo schema impiantistico, che è a sua volta tarato in base alle caratteristiche dimensionali dell'acquifero e/o soprattutto in base alle caratteristiche qualitative dell'acqua.

Per quanto invece riguarda l'influenza delle caratteristiche qualitative dell'acqua (maggiore o minore concentrazione di sostanze da rimuovere, presenza di microinquinanti), a parità di corpo idrico captato, queste determinano la complessità dell'impianto di trattamento e di conseguenza i consumi energetici specifici [18].

Un discorso analogo è possibile per la depurazione, con un'ulteriore problematica legata al fatto che, a differenza degli impianti di potabilizzazione dove la qualità dell'acqua potabile prodotta deve essere la stessa, per gli impianti di depurazione si possono avere limiti di qualità differenti per le acque reflue scaricate a seconda del corpo idrico recettore e della potenzialità dello scarico. Ai differenti limiti allo scarico corrispondono differenti configurazioni impiantistiche:

- I. Impianti di piccola potenzialità, dove è previsto solamente il trattamento primario (trattamenti preliminari, sedimentazione/chiari-flocculazione e disinfezione);
- II. Impianti dove è previsto il trattamento primario e secondario (con un trattamento biologico per la rimozione della sostanza organica);
- III. Impianti che prevedono il trattamento terziario (rimozione azoto e fosforo) per lo scarico in aree sensibili o per gli scarichi sul suolo.

Secondo i dati di Utilitalia, al 2014, il 95% degli impianti presenti prevede un trattamento almeno secondario e circa il 78% anche un trattamento terziario. Circa l'86% dei rifiuti trattati sono di natura civile, mentre il 12% di natura industriale e il 2% ha altra provenienza. [20]

I consumi energetici variano sensibilmente in funzione del carico idraulico e della caratteristica dei reflui (carico organico, carico di nutrienti e presenza di altri inquinanti). Risulta pertanto incongruo paragonare consumi specifici di impianti di differente complessità impiantistica, ma seppure si paragonasse tra loro il consumo specifico di impianti di depurazione con uguali limiti allo scarico (prima criticità), è da tenere presente che anche le acque reflue in ingresso possono avere differenti concentrazioni dei vari inquinanti e che a parità di concentrazione di inquinanti l'abbattimento degli stessi può essere ottenuto con processi strutturalmente differenti (seconda criticità).

In relazione alla prima criticità è chiaro che, a parità di limite allo scarico dell'acqua potabile, la distribuzione degli inquinanti sotto differenti forme dà luogo a maggiori o minori consumi in relazione al fatto che i trattamenti per la rimozione siano più o meno energivori.

Sulla seconda criticità richiamata, è da tenere presente che un impianto di depurazione completo è un vero e proprio ciclo industriale che, anche se l'abbattimento per via biologica è quello di gran lunga più utilizzato, può adottare differenti scelte tecnologiche e configurazioni impiantistiche per ottenere gli stessi risultati di abbattimento degli inquinanti. Sia l'abbattimento della sostanza organica, che dell'azoto che del fosforo può avvenire per via chimica o per via biologica o per una combinazione dei due processi. Anche tra i trattamenti biologici sono possibili differenti opzioni a consumi energetici differenti pertanto anche per la depurazione non avrebbe senso paragonare i consumi specifici di differenti impianti di depurazione anche nel caso in cui i limiti allo scarico fossero gli stessi [18].

### *3.1.2 Conformazione del territorio*

La conformazione del territorio è di estremo rilievo nella determinazione dei consumi energetici di una rete acquedottistica e fognaria. Il consumo specifico aumenta al crescere degli ostacoli naturali al trasporto dell'acqua che richiedono un sollevamento. A parità di portata consegnata all'utenza, un sistema di adduzione potrebbe avere consumi specifici elevati o meno in funzione della maggiore o minore presenza di dislivelli che l'acqua deve superare nel suo percorso. Avrebbe poco senso paragonare i consumi specifici di reti di adduzione nel loro complesso operanti su territori con differenti conformazioni orografiche. Un ragionamento analogo è possibile fare per una rete di distribuzione, dove il consumo aumenta in funzione della differenza di quota delle utenze rispetto ai serbatoi di accumulo, e per le reti fognarie.

Si deve anche considerare l'influenza di parametri quali la distribuzione dell'utenza. Una maggiore frammentazione dell'utenza comporta l'utilizzazione di molti rami di condotte di diametro minore, che fanno aumentare le perdite di carico e che incrementano i consumi energetici. A parità di utenze servite potrebbe esserci un consumo maggiore per quei casi in cui l'utenza è più diffusa sul territorio. Esemplificativa è la differenza nei consumi specifici per la fornitura della stessa portata di acqua per una utenza distribuita su un territorio collinare, con numero di paesi a quote differenti, o per una utenza di pari numero di abitanti collocata in un centro urbano.

Come in precedenza accennato, la frammentazione impiantistica che deriva da particolari conformazioni territoriali dà luogo ad un forte impatto sui consumi energetici, poiché impedisce di sfruttare le economie di scala garantite dai grandi impianti (depurazione, trattamento delle acque potabili).

In merito alla depurazione, anche se per i principali centri urbani e gli abitati limitrofi sono stati realizzati impianti centralizzati, non è facile convogliare tutti gli scarichi dei piccoli centri urbani delocalizzati a questi recapiti. Per il trattamento delle acque la numerosità degli impianti è spesso legata alla relativa disponibilità dei corpi idrici captati rispetto all'utilizzazione. Agli impianti principali è sempre quindi associato un insieme di impianti satelliti in numero più o meno rilevante a seconda della specifica situazione territoriale, che limita le economie di scala [18].

### *3.1.3 Consumi energetici e impatto economico*

In base ai dati rilevati da TERNA [22] nel 2012 i soli "acquedotti" hanno consumato 6.382,7 GWh di energia elettrica, un valore superiore al 2% del fabbisogno energetico complessivo nazionale, pari a 307.219 GWh. Questo valore potrebbe essere sottostimato se nella dicitura "acquedotti" fossero stati esclusi i soli gestori di fognatura e depurazione.

Da una stima [23] effettuata sui dati dei gestori del SII inviati all'AEEG [6], risulterebbe che già nell'anno 2011 il consumo dei gestori del SII risultava pari a 7.062 GWh, corrispondente a un valore superiore al 2,3% del consumo nazionale. Dalle stime sui richiamati dati inviati dai gestori del SII ad AEEG [24] risulta che il 30% del consumo energetico del SII è attribuibile alla sola depurazione.

All'interno del SII l'energia elettrica rappresenta una delle principali voci di costo, che in base agli stessi dati sopra richiamati, si attesta tra il 10% ed il 30% dei costi totali del servizio (non



sono infrequenti i casi specifici che eccedono questo intervallo). Il valor medio dell'incidenza dei costi dell'energia elettrica sul fatturato può essere considerato del 15% [18].

Il livello di qualità del Servizio Idrico Integrato, inoltre, è strettamente legato alla disponibilità di infrastrutture efficienti. Secondo i dati del 2014 presentati da Utilitalia [25], la rete acquedottistica italiana risulta alquanto vetusta, con più del 60% dell'infrastruttura posata da oltre 30 anni ed il 25% da oltre 50 anni; queste percentuali salgono ulteriormente nelle reti dei centri abitati. [20]

Per questo il livello degli investimenti è un indicatore fondamentale. In particolare, assume rilievo il confronto tra gli investimenti realizzati ed il reale fabbisogno.

Da uno studio effettuato da Utilitalia risulta che gli investimenti realizzati in Italia nell'anno 2014 per il Servizio Idrico Integrato sono pari a 1,8 miliardi di euro, corrispondenti a circa 34 €/abitante/anno. Dalla tabella riportata in seguito (Tabella 3.1) si può constatare una disomogenea distribuzione degli investimenti a livello di macro-area, per cui a fronte di valori di 36 e di 42 €/abitante/anno rispettivamente per il nord ed il centro Italia, emerge il valore assai contenuto di 22 €/abitante/anno per il sud.

<b>Investimenti pro-capite</b>	<b>[€/abitante]</b>
Nord	36
Centro	42
Sud	22
<b>Italia</b>	<b>34</b>

Tabella 3.1 – Investimenti pro-capite nel SII nell'anno 2014

Il fabbisogno di investimenti in percentuale del PIL è stato stimato dall'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) per i paesi più industrializzati (ad esempio Gran Bretagna e Stati Uniti d'America) in un range che varia tra 0,35% e 1,2%. I valori più bassi del range sono associabili all'Italia e coincidono con le stime che individuano il fabbisogno per l'Italia pari a valori superiori a 80 €/abitante/anno, il che si traduce in un ammontare di investimenti annui superiore a 5 miliardi €/anno. Questo significa che ogni anno, qualora nei prossimi anni venissero confermati i livelli di investimenti realizzati per l'anno 2014, il gap

infrastrutturale continuerebbe ad amplificarsi con un ritmo superiore a 3 miliardi di euro l'anno, con gravi ripercussioni sul livello di qualità del servizio. È perciò necessaria una forte accelerazione per gli investimenti.

Ciò è facilmente deducibile dall'analisi della situazione infrastrutturale attuale, che deriva da insufficienti investimenti nel passato. Nel settore fognario-depurativo la carenza/assenza di infrastrutture ha dato luogo a procedure di infrazione che stanno per trasformarsi in sanzioni effettive. Gli italiani, direttamente o indirettamente, potrebbero pagare un importo annuo superiore al 10% degli investimenti, senza avere un servizio corrispondente in cambio. Inoltre, da un'indagine ISTAT del 2014 sull'anno 2012, emerge che gli impianti di depurazione esistenti presentano una estrema frammentazione con prevalenza di impianti di piccola dimensione (più di 18.000 impianti, di cui il 92% di dimensioni inferiori a 10.000 a.e.). Tutto questo comporterebbe ulteriori investimenti per una loro razionalizzazione.

Anche gli acquedotti presentano una elevata frammentazione da un punto di vista dimensionale e a ciò si aggiunge la vetustà di queste opere. Ma il dato che dovrebbe destare l'attenzione è il trend di crescita dell'età di questi impianti. I dati ISTAT 2014 sulle perdite idriche presentano valori in crescita tra il 2008 e il 2012, passando dal 32% al 37%, contro una media europea intorno al 10% [26]. Come si può constatare, la situazione del servizio idrico italiano non è assolutamente delle più rosee.

In conclusione, quindi la scelta di prendere dei provvedimenti è cruciale per evitare di demandare alle generazioni future il carico dei conguagli tariffari delle spese che non si vogliono sostenere ora. Rimandare significherebbe ripetere gli stessi errori politici fatti nel passato, che hanno creato l'attuale deficit infrastrutturale, con la differenza che, sommando a questo ulteriori costi di nostra competenza, renderemo assai più gravoso il compito per le generazioni future. [27]

### **3.2 Interventi di efficienza energetica nel SII**

Cercare di stabilire criteri di confronto per l'efficienza energetica del SII o per insiemi di processi al suo interno si scontra con le criticità di tipo territoriale e tecnologico descritte, che rendono questo approccio infruttuoso.

È quindi necessario utilizzare un approccio tarato sullo specifico SII, che permetta di individuare le migliori strategie per aumentare l'efficienza energetica e distinguere quali sono gli interventi di miglioramento per cui è possibile fare riferimento a indicatori standard.

Gli interventi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica nel Servizio Idrico Integrato, e che quindi possono consentire l'ottenimento di TEE, si possono raggruppare in 3 categorie [18]:

- A. Interventi puntuali;
- B. Interventi sui processi;
- C. Interventi di sistema.

#### A. Interventi puntuali

Gli interventi puntuali consistono nella sostituzione di specifici componenti e/o macchinari all'interno di reti o di impianti con dei componenti e/o macchinari che garantiscono una maggiore efficienza energetica a parità di condizioni impiantistiche e ingegneristiche al contorno. Alcuni esempi di questa tipologia di intervento sono la sostituzione di motori con motori elettrici ad alta efficienza o installazione di inverter in motori elettrici operanti su sistemi di pompaggio o di compressione o installazione di UPS ad alta efficienza.

#### B. Interventi sui processi

Gli interventi sui processi consistono nell'andare a incrementare l'efficienza energetica di un comparto di un impianto o di una parte di rete che svolge una precisa funzione. L'efficacia dell'intervento viene valutata sulla base del confronto tra il consumo energetico post intervento e una baseline che consiste in altri analoghi comparti impiantistici adibiti a svolgere lo stesso processo/funzione. Alcuni esempi di questa tipologia di intervento sono la sostituzione del sistema di aerazione nelle vasche di ossidazione o il miglioramento del processo di disidratazione dei fanghi di depurazione.

#### C. Interventi di sistema

Gli interventi di sistema consistono nell'intervenire su differenti processi o parti funzionali del SII migliorandone l'efficienza energetica generale. L'efficacia dell'intervento viene valutata sulla base del confronto del consumo energetico dell'intero sistema prima e dopo l'intervento. Alcuni esempi di questa tipologia di intervento sono il potenziamento della fornitura d'acqua da sorgente a costo energetico basso in sostituzione di acque prelevate da pozzo con un costo energetico più alto e la riduzione delle perdite idriche.

Nella scelta della baseline di riferimento per il confronto con quanto proposto nell'intervento e il calcolo del risparmio, come avviene sempre nel sistema dei TEE per le proposte a consuntivo,

si possono presentare due diverse situazioni: installazione di un nuovo impianto o revamping di un impianto esistente.

Nel caso della realizzazione di un nuovo impianto, o comunque interventi di adeguamento totale di un impianto esistente, la baseline di riferimento è la media di mercato, cioè l'impiantistica più diffusa offerta nel periodo considerato.

Nel caso di revamping di un impianto esistente, la baseline di riferimento è costituita dalle prestazioni dell'impianto ante-intervento, ovviamente considerando la condizione di massima efficienza. Nel caso di intervento su impianto esistente è necessario verificare che non si tratti di ripristino della funzionalità nominale venuta meno a seguito di usura, mancata manutenzione, ecc., o interventi che sanano precedenti errori di progettazione o di conduzione degli impianti, o interventi il cui scopo è il riallineamento delle prestazioni dell'impianto a prescrizioni normative vincolanti di qualunque natura.

Vista la natura territoriale e impiantistica del SII, alcuni interventi sono legati all'efficientamento di prestazioni meccaniche, come trasporto e pompaggio, mentre altri sono legati al miglioramento di processi chimici o biologici a cui sono associati dei consumi energetici. Nella determinazione del risparmio energetico conseguito è necessario quindi tenere conto della complessità dell'intervento in questione [18].

Di seguito si riporta la tabella 3.2 di sintesi di alcuni interventi realizzabili del SII. In particolare, gli interventi sono suddivisi per tipologia di servizio (acquedotti, depurazione e fognatura) e sezione di impianto del servizio stesso. Per ogni singolo intervento, inoltre, viene riportata la modalità di accesso al meccanismo del Certificati Bianchi.

Servizio idrico	Sezione di impianto dei Servizio Idrico	Intervento	Tipo progetto	
ACQUEDOTTO	Sistemi di pompaggio	Installazione o sostituzione di nuove pompe	PC	
	Impianti di dissalazione	--	PC	
	Impianti di potabilizzazione	Realizzazione o efficientamento di nuovi impianti di potabilizzazione	PC	
	Re-layout delle reti		Realizzazione di tratti di rete	PC
			Realizzazione di sistemi di pompaggio	PC
			Realizzazione di impianti di pompaggio	PC
			Realizzazione di serbatoi di accumulo	PC
			Contestuale realizzazione/dismissione/sostituzione di serbatoi di accumulo, sistemi di pompaggio, tratti di rete	PC
	Perdite di rete		Gestione e controllo delle pressioni	PC (mc)
			Adozione tecniche di controllo attivo delle perdite	PC (mc)
		Modifica dei layout e rinnovo su ampia scala dell'infrastruttura	PC	
DEPURAZIONE	Installazione motori elettrici		PS o PC	
	Sistemi di pompaggio	Installazione o sostituzione di nuove pompe	PC	
	Trattamento ossidativo biologico		Sostituzione di sistemi di produzione, distribuzione e diffusione dell'aria compressa	PC
			Sostituzione di sistemi di movimentazione dei reflui	PC
			Realizzazione di nuove vasche di ossidazione biologica	PC
	Linea fanghi		Installazione o sostituzione di nuove centrifughe	PC
			Installazione o sostituzione di nuovi sistemi di disidratazione meccanici	PC
		Installazione o sostituzione di sistemi di disidratazione termici	PC	
FOGNATURA	Installazione motori elettrici		PS o PC	
	Sistemi di pompaggio	Installazione o sostituzione di nuove pompe	PC	

PC: progetti a consuntivo; PC (mc): progetti a consuntivo, misure comportamentali; PS: progetti standard

Tabella 3.2 – Tipologie di interventi realizzabili nel SII

Per il SII la tabella del D.M. 11 gennaio 2017, così come modificata dal D.M. 10 maggio 2018, indica i seguenti interventi:

- 1) “efficientamento reti elettriche, del gas e idriche”;
- 2) Installazione o sostituzione di “sistemi a bolle fini per impianti di depurazione”;

- 3) Installazione o sostituzione di “impianti di produzione dell’aria compressa per impianti di depurazione”.

Inoltre, tra le misure comportamentali “adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti” rientrano i sistemi di automazione e controllo. Per tale intervento, il calcolo dei risparmi dovrà essere effettuato con riferimento al consumo specifico del sistema tecnologico assunto come punto di riferimento. Pertanto, l’installazione di sistema di controllo verrà incentivata in relazione alla riduzione dei consumi energetici rispetto alle condizioni ex ante del sistema tecnologico assunto come punto di riferimento.

Tutti gli interventi indicati in Tabella 3.2, ad eccezione dei sistemi a bolli fini, produzione di aria compressa e sistemi di segnalazione e gestione efficienti, rientrano nella tipologia di intervento “efficientamento reti elettriche, del gas e idriche”.

La sezione più energivora negli impianti di depurazione e quella del trattamento ossidativo biologico della linea acque, legato alle fasi di rimozione delle sostanze organiche, dell’azoto e del fosforo. I consumi energetici sono connessi principalmente agli impianti di produzione e diffusione dell’aria, nonché ai sistemi di agitazione dei reflui all’interno delle vasche [20].

### *3.2.1 Servizi di acquedotto: impianti di dissalazione*

Attualmente, la dissalazione rappresenta un’importante fonte idrica alternativa per la produzione di acqua potabile, soprattutto nelle aree caratterizzate da scarsità idrica cronica. Le principali tecnologie di dissalazione disponibili si possono distinguere in processi termici e processi fisici, a seconda che l’energia utilizzata sia principalmente di tipo termico o meccanico. I primi processi separano i sali dall’acqua tramite evaporazione e condensazione, mentre i secondi fanno uso di membrane selettive che captano le particelle solide dall’acqua da trattare. Gli impianti MSF (Multi-Stage Flash) e MED (Multiple Effects Distillation) appartengono alla prima categoria, mentre quelli RO (Reverse Osmosis) alla seconda. Il processo più energivoro è rappresentato dalla tecnologia MSF mentre il processo di osmosi inversa si sta affermando soprattutto nelle recenti installazioni sia per il suo minor consumo specifico che per i recenti sviluppi tecnologici.

Le possibili aree di miglioramento, data la complessità di tali impianti, sono assai variegate: dalla sostituzione tecnologica o revamping impiantistico (per esempio l’impiego delle più recenti tecnologie di osmosi avanzata-FO/deionizzazione capacitiva o l’ibridizzazione

dell'impianto stesso) alla sostituzione di singoli componenti (quali pompe, generatori di calore o membrane più efficienti) [20].

### 3.2.2 Servizi di acquedotto: impianti di potabilizzazione

La complessità impiantistica degli impianti di potabilizzazione è legata alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque in ingresso e in uscita, ovvero alla tipologia di fonte di approvvigionamento, nonché alle portate in gioco (che comporta la presenza o meno di un equalizzatore).

Per le acque superficiali, l'art. 80 del D.gs. 152/2006 e s.m.i. identifica, a seconda della categoria di appartenenza dell'acqua da trattare, tre tipologie di impianti e livelli di trattamento:

- categoria A1: trattamento fisico semplice e disinfezione;
- categoria A2: trattamento fisico e chimico normale e disinfezione;
- categoria A3: trattamento fisico e chimico spinto, affinamento e disinfezione.

In particolare, gli impianti con trattamenti fisici semplici sono impianti in cui sono presenti solo le fasi di grigliatura, sedimentazione, staccatura e filtrazione.

Gli impianti con trattamenti fisico-chimici normali e spinti sono invece impianti in cui è presente la fase di chiariflocculazione e quelle necessarie alla correzione delle caratteristiche chimiche dell'acque (ad esempio addolcimento, stabilizzazione, deferrizzazione, demanganizzazione, desilicazione, fluorazione e defluorazione, aerazione).

Agli impianti sopra indicati possono aggiungersi ulteriori trattamenti quali:

- la disinfezione, possibile grazie a processi chimici come clorazione, cloro-ammoniazione, ozonizzazione, e/o fisici come irraggiamento con raggi ultravioletti (UVC), attinizzazione e processi oligodinamici;
- l'affinamento, possibile grazie ai processi come l'aerazione, la chiariflocculazione, la disinfezione e l'adsorbimento su carbone attivo.

Per gli impianti di potabilizzazione da acque profonde la complessità impiantistica è decisamente inferiore e le fasi di trattamento che è possibile identificare sono: ossidazione, adsorbimento su carboni attivi, disinfezione e accumulo finale.

A seconda della complessità impiantistica, gli interventi di efficienza energetica possono interessare l'intero impianto o solo una fase di trattamento [20].

### 3.2.3 Servizi di acquedotto: re-layout delle reti

Per re-layout delle reti si intende la realizzazione contestuale di tutti o parte degli interventi (installazione, dismissione, sostituzione) su sistemi di pompaggio, tratti di rete e serbatoi. Rientra in questa casistica anche la realizzazione di interconnessioni tra acquedotti.

Molto spesso questi interventi sono connessi alla realizzazione di interventi di distrettualizzazione, meglio descritti nel paragrafo successivo.

Interventi di questo tipo comportano:

1. un'ottimizzazione del bilanciamento delle reti tra punti di prelievo ed utilizzo (maggiore sfruttamento dell'energia potenziale, utilizzo di pozzi con minore prevalenza, ecc.);
2. una riduzione delle perdite idriche;
3. una riduzione delle perdine di carico nelle condotte.

### 3.2.4 Servizi di acquedotto: perdite di rete

Una parte delle perdite idriche totali deriva da quantitativi apparentemente persi, che scaturiscono da volumi sottratti senza autorizzazione (per esempio allacci abusivi) o da errori di misura dei contatori (perdite idriche apparenti). Le perdite idriche reali, calcolate come differenza tra perdite idriche totali e apparenti, rappresentano la componente fisica delle perdite dovute a corrosione o deterioramento delle tubazioni, rotture o giunzioni difettose.

Le perdite idriche reali possono essere ridotte e gestite attraverso gli interventi di seguito indicati.

#### I. Gestione e controllo delle pressioni

Come ampiamente evidenziato in letteratura, la riduzione della pressione e dei transitori di pressione nella condotta dovuta alla gestione delle valvole è in assoluto la strategia di maggiore efficacia tra quelle possibili. Infatti, la frequenza media con cui si verificano le rotture e la quantità di acqua dispersa dipendono quasi linearmente dalla pressione di esercizio. È perciò necessario ridurre e gestire efficientemente le pressioni nella rete al fine di ridurre le perdite, pur erogando la minima pressione operativa richiesta.

Una delle possibili tecniche per la riduzione delle sollecitazioni alle quali è sottoposta la rete è l'installazione di valvole di riduzione sulla rete di distribuzione (Pressure Valve Reduction - PVR), al fine di modulare la pressione al valore desiderato evitando pressioni in eccesso e picchi che porterebbero al decadimento meccanico delle condotte.



Ai fini del controllo delle pressioni, invece, la distrettualizzazione della rete è una delle tecniche più efficaci. Questa consiste nella suddivisione del sistema idrico in piccoli “distretti” con un numero limitato di ingressi e uscite, monitorati tramite misuratori di portata (comporta una fase di modellazione matematica del comportamento della rete, individuazione di aree a pressioni omogenee, inserimento di valvole di chiusure e PVR, e molto spesso ridimensionamento dei sistemi di pompaggio e interventi di re-layout come sopra indicato).

Sono generalmente individuabili due tecniche di distrettualizzazione: DMA (District Metering Areas) e PMA (Pressure Managed Areas). La principale differenza tra le due tecniche consiste nell’installazione, nelle PMAs, di sistemi di monitoraggio delle pressioni e gestione-controllo dei flussi dai serbatoi e dai sistemi di pompaggio. Si tratta di software che, quasi in tempo reale rispetto alla curva di domanda delle singole aree, regolano gli azionamenti degli inverter delle varie pompe e delle PVR.

## II. Adozione di tecniche di controllo attivo delle perdite

Per tecniche di controllo attivo delle perdite si intendono tutte quelle metodologie che consentono di identificare proattivamente perdite non segnalate e localizzarle puntualmente. Si possono distinguere due fasi principali: monitoraggio e circoscrizione delle perdite e conseguente localizzazione puntuale.

Il monitoraggio e circoscrizione delle perdite può avvenire mediante:

- sistemi di misurazione installati sulla rete (ad esempio durante i lavori di re-layout o distrettualizzazione);
- sistemi di prelocalizzazione satellitare.

La localizzazione puntuale delle perdite, invece, può avvenire mediante tecniche di “pinpointing” di tipo acustico e non acustico.

Infine, si ritengono particolarmente vantaggiosi gli interventi di protezione delle condotte, mediante l’installazione di sistemi di protezione catodica.

Si precisa che, ai fini dell’accesso al meccanismo dei certificati bianchi, sono ammissibili esclusivamente le tecniche monitoraggio e circoscrizione delle perdite.

## III. Modifica del layout e rinnovo su ampia scala dell’infrastruttura

Tra le strategie più onerose dal punto di vista economico è possibile indentificare il rinnovamento della rete su ampia scala secondo piani di intervento anche di medio-lungo tempo.

Come indicato nei paragrafi precedenti, la rigenerazione degli asset di rete comprende la sostituzione o il reling di intere condotte e l'installazione/sostituzione/dimissione di nuovi sistemi di pompaggio o serbatoi. Contestualmente a tali interventi è possibile prevedere l'installazione valvole PVR, misuratori di portata e pressione.

### *3.2.5 Impianti di depurazione: sistemi di movimentazione dei reflui*

Negli impianti di depurazione i mixer hanno la funzione di movimentare i liquami da trattare, per garantire l'omogeneizzazione in vasca ed una maggiore efficacia di assorbimento dell'ossigeno da parte dei batteri in modo da favorire il trattamento degli inquinanti presenti. Per questo l'utilizzo dei mixer ha un impatto diretto sulla resa del processo di abbattimento degli inquinanti. I due principali sistemi di mixer utilizzati negli impianti di depurazione sono ad eiezione o a miscelazione.

- I mixer ad eiezione sono sistemi di insufflaggio di aria (eiettori aria-acqua) o di acqua (idroiettori) formati principalmente da una pompa e da un ugello per l'immissione di aria o acqua che consentono la movimentazione del fluido nelle vasche di trattamento.
- I mixer a miscelazione sono formati invece da un motore elettrico che muove un'elica che imprime il moto al fluido da trattare.

L'utilizzo dei sistemi ad eiezione o a miscelazione varia in base alle condizioni di funzionamento dell'impianto, ad esempio in funzione della tipologia di refluo da trattare, della forma e dimensioni della vasca eccetera.

In entrambe le tipologie di sistemi il consumo di energia primaria è legato agli assorbimenti del motore elettrico presente sia nei mixer ad eiezione che in quelli a miscelazione. Pertanto, il consumo energetico di riferimento deve essere caratterizzato da motori che hanno almeno la classe di efficienza minima prevista dal regolamento CE 640/2009, che allo stato attuale è pari a motori di classe energetica IE3. Tra i motori con efficienza superiore a quella minima di riferimento si segnalano quelli a magneti permanenti.

Nel caso quindi di presentazione di progetti che prevedono l'installazione di mixer dotati di motori elettrici di classe di efficienza superiore a quella minima di riferimento, a prescindere dalla tipologia di mixer, è possibile calcolare il risparmio di energia primaria sulla base della differenza di rendimento elettrico del motore ai diversi regimi di funzionamento [20].

### 3.2.6 Impianti di depurazione: sistemi di generazione di aria compressa

La generazione dell'aria compressa, utilizzata per l'ossidazione dei carichi inquinanti, avviene tramite l'utilizzo di compressori. Tali sistemi rappresentano generalmente il maggiore assorbimento di un impianto di depurazione. Le pressioni di esercizio variano in base alle applicazioni, ma sono solitamente inferiori a 0,3 MPa.

Le principali tipologie di compressori utilizzate sono quelle a lobi, a vite o centrifughi. La scelta della tipologia di compressore varia in funzione della quantità di aria richiesta e dalla pressione di impianto. Infatti, per portate basse e livelli di pressione richiesti vicini a 3 bar vengono utilizzati compressori a vite, mentre nel caso di basse pressioni, intorno ad 1 bar, ed alte portate si utilizzano i compressori centrifughi.

In alcuni impianti nei quali si hanno richieste variabili nel tempo sono presenti due diverse tipologie di compressori che possono coprire l'intero range di funzionamento richiesto dall'impianto di depurazione, con maggiore efficienza di funzionamento.

Sul mercato sono presenti anche compressori con tecnologie ibride nelle quali si sfrutta il principio di funzionamento dei compressori a vite, ma con profili delle viti similari a quelli a lobi.

Nei compressori il consumo di energia primaria è legato principalmente all'assorbimento del motore elettrico, pertanto il fabbisogno energetico di riferimento deve essere soddisfatto almeno da compressori dotati di motori che hanno la classe di efficienza minima prevista dal regolamento CE 640/2009, che allo stato attuale è pari a motori di classe energetica IE3. Infatti, negli ultimi anni i produttori di compressori stanno dotando i loro sistemi con motori a magneti permanenti, tecnologia che garantisce livelli di efficienza energetica superiore agli standard previsti dal regolamento.

Nel caso quindi di presentazione di progetti che prevedono l'installazione di compressori dotati di motori elettrici di classe di efficienza superiore a quella minima di riferimento, a prescindere dalla tipologia di compressore, è possibile calcolare il risparmio di energia primaria sulla base della differenza di rendimento elettrico del motore ai diversi regimi di funzionamento [20].

In caso siano richieste grandi portate e basse pressioni è possibile installare delle soffianti che, rispetto ai compressori, sono in grado di conferire pressioni di mandata minori (comprese tra 0,5 e 3 bar effettivi) [28] e presentano rendimenti maggiori.

Oltre all'installazione di un compressore dotato di motori elettrici ad alta efficienza è spesso presente un sistema di regolazione della produzione dell'aria compressa in funzione delle reali necessità delle vasche di ossidazione attraverso delle apposite sonde immerse nelle vasche. Infatti, sulla base delle misure dei parametri caratteristici dei reflui (COD, ammonio, fosforo), è possibile variare la portata di aria prodotta evitando un'eventuale produzione superflua.

Nel caso quindi di presentazione di progetti che prevedono (a) l'installazione di compressori dotati di motori elettrici ad alta efficienza e (b) di sistemi di regolazione della produzione dell'aria, il programma di misura dovrà essere indipendente dalla variabilità delle condizioni di esercizio, oppure sarà necessario considerare tutte le variabili che possono cambiare le condizioni di funzionamento tra la situazione ex ante di riferimento e quella ex post (per esempio la pressione di esercizio, la quantità di refluo trattato, il carico inquinante). Dall'analisi dei dati di alcuni impianti si vede come il consumo specifico di energia elettrica degli impianti di generazione dell'aria compressa risulta inversamente proporzionale alla quantità di aria prodotta e refluo da trattare.

In alcuni impianti di depurazione l'aria compressa è stata sostituita con l'utilizzo di ossigeno puro in modo da aumentare le potenzialità e la resa della fase di ossidazione. Si specifica che, nel caso in cui il programma di misura proposto sia basato sulla misura della totale energia utilizzata per la fase di ossidazione, il calcolo del risparmio di energia primaria dovrà essere effettuato al netto dell'energia primaria utilizzata per la produzione di ossigeno puro. La contabilizzazione dell'energia primaria relativa all'ossigeno utilizzato dovrà avvenire sulla base della reale configurazione del sistema di alimentazione. In particolare [20]:

- ossigeno prodotto all'interno dello stabilimento produttivo: misura diretta dell'energia primaria necessaria per la produzione di ossigeno [kWh/Nm<sup>3</sup>];
- fornitura ossigeno allo stato liquido (trasporto tramite autobotti): deve essere considerata l'energia primaria necessaria per la separazione e la liquefazione (consumo tipico degli impianti ASU). Nel caso di ossigeno il valore del consumo specifico da utilizzare deve essere pari a 1 kWh/Nm<sup>3</sup>;
- fornitura ossigeno allo stato gassoso (gasdotto): misura diretta dell'energia primaria necessaria per la produzione di ossigeno [kWh/Nm<sup>3</sup>] allo stato gassoso dall'impianto centralizzato.

### 3.2.7 Impianti di depurazione: sistemi di diffusione di aria compressa

L'aerazione dei reflui avviene tramite dei diffusori nei quali viene insufflata l'aria proveniente dalle soffianti. Tra i sistemi maggiormente utilizzati vi sono i sistemi di diffusione dell'aria a membrana a bolle fini i quali offrono un'elevata resa di trasferimento di ossigeno (SOTE superiore al 20%) e una riduzione del consumo di energia elettrica delle soffianti, attraverso una minimizzazione delle perdite di carico del sistema.

I dischi diffusori possono essere a membrana o ceramici.

- Il diffusore a membrana è ideale nelle vasche a fanghi attivi e per l'aerazione in processi intermittenti. La membrana stessa agisce poi come valvola di ritegno quando si voglia interrompere l'aerazione. Il diffusore tubolare a membrana a bolle fini viene generalmente utilizzato per la pre-aerazione, l'aerazione dei liquami e la digestione aerobica dei fanghi nei processi di trattamento e depurazione. Nel mercato sono presenti membrane caratterizzate da diverse efficienze a seconda del livello di ottimizzazione della distribuzione dei fori di passaggio per l'aria sulla superficie della membrana.
- Il diffusore ceramico è un disco di allumina sinterizzata con porosità costante che assicura una distribuzione uniforme dell'aria insufflata a differenti portate.

La loro efficienza varia in funzione della sommergezza, della dimensione delle bolle, dei flussi d'aria specifici sui diffusori, della densità dei diffusori in vasca nonché della loro disposizione. In generale, l'efficienza energetica di aerazione delle linee di aria compressa è quantificabile con il parametro SAE (Standard Aeration Efficiency), espresso in  $\text{kgO}_2/\text{kWh}$  e tiene conto del contributo congiunto delle tre sezioni di impianto sopra indicate (produzione, distribuzione e diffusione dell'aria compressa).

### 3.2.8 Ulteriori interventi di efficienza energetica

In aggiunta agli specifici interventi sopra descritti, considerando che i consumi elettrici degli impianti di un SII sono essenzialmente legati all'impiego di motori elettrici e pompe, è possibile considerare anche i seguenti interventi di efficienza energetica:

- per la linea fanghi degli impianti di depurazione: le sezioni più energivore sono quella di ispessimento e quella di disidratazione e gli interventi possibili in queste sezioni riguardano l'installazione o la sostituzione di componenti più efficienti come pompe, centrifughe, filtropresse, essiccatori e forni;

- per la linea acque degli impianti di depurazione: nella sezione di pretrattamento, gli interventi possibili riguardano l'installazione o la sostituzione di componenti più efficienti come motori e pompe;
- nella rete fognaria, i possibili interventi riguardano l'installazione di sistemi di pompaggio più efficienti.

### 3.3 Stime relative al potenziale di penetrazione del risparmio

Soprattutto a causa del fattore storico e territoriale legato alla natura del SII, esistono ampi margini per un miglioramento della prestazione in termini di efficienza energetica. Di seguito vengono proposte alcune stime di massima sul possibile potenziale di penetrazione, che si basano in parte su dati riscontrati e in parte su dati ipotizzati [18].

Partendo dal valore di 7.062 GWh come consumo annuale di energia elettrica del SII, è interessante stimare il miglioramento che sarebbe ottenibile migliorando l'efficienza della depurazione (che come visto al Paragrafo 3.1.3 costituisce circa il 30% dei consumi totali del SII). Supponendo che la metà degli impianti di depurazione utilizzino tecnologie di aerazione di tipo tradizionale, e attribuendo al consumo energetico del comparto di aerazione il 50% del consumo totale degli impianti di depurazione, il risparmio a livello nazionale sarebbe pari a:

$$Re = 7062 \text{ GWh} \times \frac{30}{100} \times 0,5 \times \frac{50}{100} \times \frac{40}{100} = 211,5 \text{ GWh}$$

Sempre partendo dal valore di 7.062 GWh come consumo annuale di energia elettrica del SII si potrebbe ipotizzare che il 45% di questo consumo sia legato all'acquedotto (nell'indagine dell'AEEG, a differenza del comparto di depurazione, non veniva richiesta la percentuale di consumo di energia elettrica legata al sistema acquedottistico). Ipotizzando ancora che il 20% degli impianti possa essere sottoposto a modifiche di layout che ne migliorino mediamente l'efficienza energetica del 10 %, il risparmio energetico conseguibile sarebbe pari a:

$$Re = 7062 \text{ GWh} \times \frac{45}{100} \times \frac{20}{100} \times \frac{10}{100} = 63,58 \text{ GWh}$$

In relazione alla riduzione delle perdite idriche, ipotizzando sempre che il consumo degli acquedotti sia pari al 45% del totale nazionale di 7.062 GWh e che il 5% di questo consumo sia un costo fisso non correlabile ai volumi immessi in rete, si può fare una stima del risparmio energetico corrispondente a prefissate riduzioni delle perdite idriche. In base ai dati ISTAT [21] nel 2008 i volumi d'acqua immessi in rete erano pari a 8.143.513.000 m<sup>3</sup> mentre l'acqua consegnata era pari a 5.533.382.000 m<sup>3</sup>, corrispondenti a dispersioni del 32% del volume immesso in rete. Tenendo presente che la perdita idrica pari a zero ha un costo tendente a infinito, e che non è possibile determinare valori ottimali delle perdite idriche (ossia valori di ottimo economico) se non dall'analisi degli specifici sistemi acquedottistici, è possibile ipotizzare in via di massima due scenari di riduzione delle perdite (non correlati ai livelli di ottimo economico):

- con riduzione di 5 punti percentuali
- con riduzione di 10 punti percentuali

Ne conseguono i due seguenti scenari di risparmio:

$$Re(5) = \left( \frac{7062 \text{ GWh} \times \frac{45}{100} \times \frac{95}{100}}{8.143.513.000} \right) \times (8.143.513.000 - 5.533.382.000) \times \frac{5}{32}$$

$$= 151,19 \text{ GWh}$$

$$Re(10) = \left( \frac{7062 \text{ GWh} \times \frac{45}{100} \times \frac{95}{100}}{8.143.513.000} \right) \times (8.143.513.000 - 5.533.382.000) \times \frac{10}{32}$$

$$= 302,38 \text{ GWh}$$





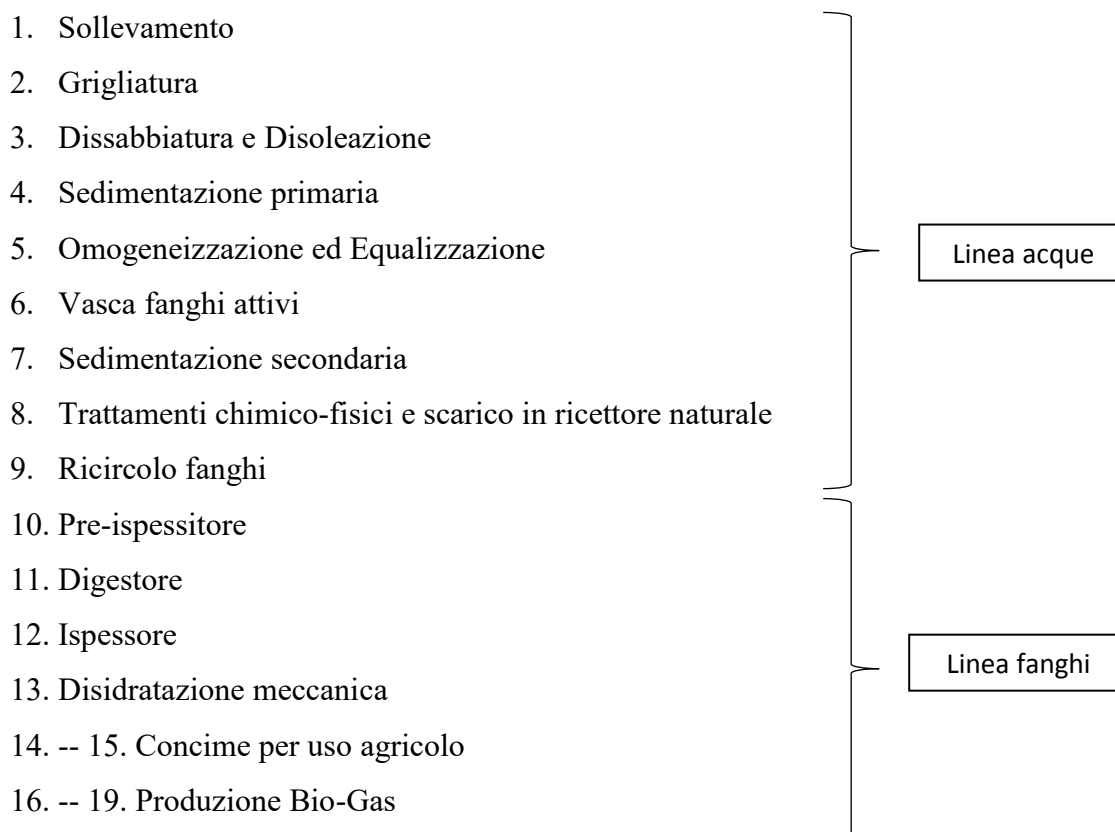
# Capitolo 4

## Sostituzione di mixer in impianto di depurazione

In questo capitolo verranno analizzati due interventi di sostituzione dei miscelatori, all'interno di due diversi impianti di depurazione. Si farà una stima dei risparmi energetici conseguibili e dei TEE che ne derivano; nella seconda parte del capitolo si valuterà la bontà delle diverse soluzioni proposte tramite i principali indicatori economici (VAN, PB e TIR).

### 4.1 L'intervento

Un impianto di trattamento delle acque reflue, come visto al capitolo precedente, si compone di diversi sottosistemi, ciascuno dei quali svolge una specifica funzione per ottenere la depurazione del flusso in entrata secondo quanto stabilito da normativa. In figura 4.1 si riporta uno schema di funzionamento di un impianto, in cui si distinguono le diverse fasi:



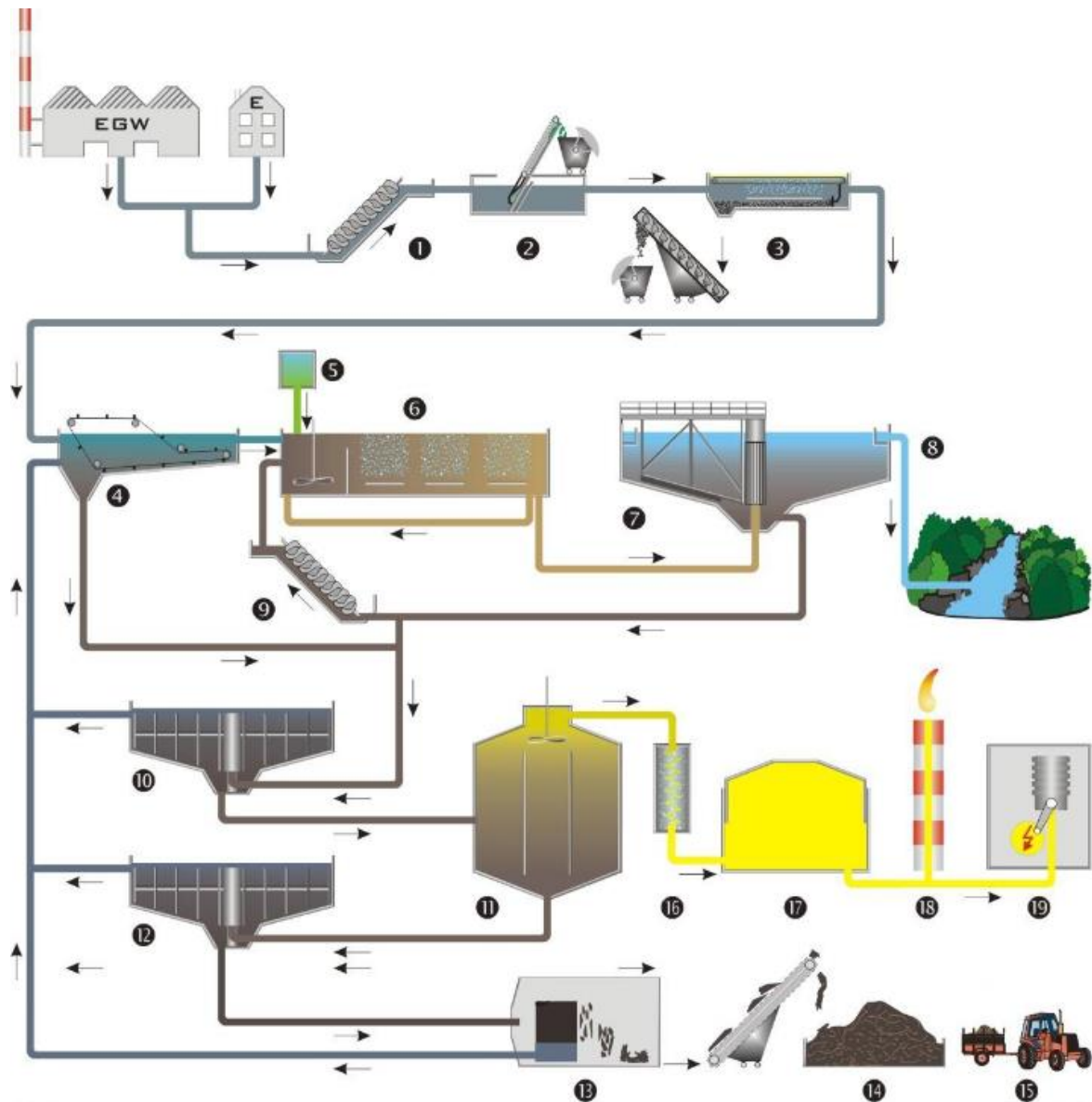


Figura 4.1 – Schema di un impianto di depurazione

Le acque da trattare spesso presentano una variabilità di portata e concentrazione di inquinanti che, per il buon funzionamento dell'impianto, devono essere rese quanto più possibili costanti. La correzione della variabilità di portata prende il nome di equalizzazione, mentre si parla di omogeneizzazione per la concentrazione di inquinanti. Per garantire queste condizioni ed evitare la sedimentazione dei solidi sospesi del refluo si utilizzano quindi grandi vasche di accumulo dotate di dispositivi di agitazione e miscelazione. [29]

In caso di impianti vecchi, in cui siano installate macchine con bassi rendimenti, è possibile effettuare una sostituzione dei mixer presenti nelle fasi di omogeneizzazione ed equalizzazione

e di trattamento con fanghi attivi ed ottenere così un risparmio di energia primaria che si può tradurre in Titoli di Efficienza Energetica.

Questo tipo di intervento è previsto anche dalla Guida Operativa del GSE [20] e viene catalogato sotto la voce “Installazione motori elettrici” in tabella 3.2, riportata al capitolo precedente.

Si illustrano ora due esempi concreti di calcolo dei risparmi ottenibili tramite sostituzione dei sistemi di movimentazione dei fluidi. I dati sono stati forniti dal gestore del Servizio Idrico Integrato per effettuare una stima dei risparmi energetici ed economici che un intervento di questo tipo poteva generare in due dei suoi impianti di depurazione. In questa ottica, ad inizio 2019 si è provveduto ad installare gli strumenti di misura necessari per il monitoraggio dei consumi ante intervento, di accordo tra Energy Manager aziendale e Responsabile della divisione Depurazione. Per questioni di accordi di riservatezza, i due impianti in esame saranno identificati come Impianto A e Impianto B.

#### IMPIANTO A

Attualmente l'impianto presenta 7 mixer così suddivisi:

- Equalizzazione: 3 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 2,1 , 2,9 , 2,9 kW)
- Denitro1: 2 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 2,9 kW ciascuno)
- Denitro2: 2 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 1,5 kW ciascuno)

Dall'analisi degli anni precedenti (2017 e 2018) si è visto che l'energia assorbita dall'insieme dei 7 mixer incide circa per il 28-30% sul totale dei consumi elettrici dell'impianto.

Nel periodo di monitoraggio, si sono registrati una portata giornaliera media in ingresso all'impianto pari a 2,08 m<sup>3</sup> di acque reflue e 3,7 mm di precipitazione giornaliera media.

#### IMPIANTO B

Attualmente l'impianto presenta 5 mixer così suddivisi:

- Equalizzazione: 2 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 5,5 kW ciascuno)
- Denitro1: 1 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 5,5 kW)
- Denitro2: 2 mixer (potenza assorbita da scheda tecnica 2,8 kW ciascuno)

Dall'analisi degli anni precedenti (2017 e 2018) si è visto che l'energia assorbita dall'insieme dei 5 mixer incide circa per il 30-32% sul totale dei consumi elettrici dell'impianto.

Nel periodo di monitoraggio, si sono registrati una portata giornaliera media in ingresso all'impianto pari a 1,74 m<sup>3</sup> di acque reflue e 4 mm di precipitazione giornaliera media.

Per quanto riguarda le nuove macchine da installare, il gestore ha individuato due possibili fornitori tra cui scegliere e, sulla base di questi, si è provveduto a calcolare il risparmio e sono state avanzate le due proposte alternative, identificate come soluzione 1 e soluzione 2:

1. Miscelatore sommerso compatto adattivo, efficienza di classe IE4. Questo motore sincrono a magneti permanenti, grazie alla sua vasta gamma di punti di lavoro, può essere impiegato in tutti i serbatoi previsti dagli impianti in esame, consentendo un investimento di capitale inferiore in parti e ricambi.
2. Miscelatori sommersi compatti, efficienza di classe IE3. Questa soluzione prevede l'installazione di motori a gabbia di scoiattolo a 6 poli con potenza nominale 1,5 kW o 2,9 kW oppure di motori a magneti permanenti asserviti a variatore di frequenza (VFD) con potenze nominali 3 e 5 kW, a seconda della necessità.

## 4.2 La baseline di riferimento

Per il calcolo della baseline di riferimento le normative prevedono un periodo di monitoraggio dei consumi ante intervento pari ad almeno 12 mesi, con misurazioni giornaliere. In determinati casi è possibile però sottoporre al GSE progetti che presentino un periodo di monitoraggio inferiore, dimostrando che questo è sufficiente e rappresentativo dei consumi effettivi.

In questo caso si è preso inizialmente in esame un periodo di circa 3 mesi, per valutare se questi fossero sufficienti per la definizione di una baseline affidabile. Nel caso in cui, dall'analisi dei dati acquisiti, il periodo di monitoraggio risultasse troppo breve, si provvederà ad allargare lo studio anche ai mesi successivi. In questo tipo di interventi, infatti, è desiderabile avere una fase di osservazione ante intervento più corta possibile, in modo da poter procedere quanto prima con le operazioni di sostituzione delle macchine inefficienti.

### IMPIANTO A

Nell'impianto in esame i mixer installati sono di tipo on-off, non sono soggetti a regolazione della potenza, e sono in funzione ininterrottamente 24 ore al giorno, per cui si è ritenuto di procedere al monitoraggio dell'energia assorbita dai motori nell'arco della giornata.

Per la determinazione dei consumi i 7 mixer sono stati suddivisi in due gruppi: Equalizzazione + Denitro1, per un totale di 5 mixer, e Denitro2, 2 mixer. La scelta di raggruppare le macchine è stata fatta per contenere i costi; la suddivisione è stata fatta in funzione delle ore di funzionamento e della conformazione dei quadri elettrici, per una maggiore semplicità di installazione. Gli strumenti di misura sono stati installati appositamente, per valutare l'energia

assorbita complessivamente dai due gruppi ante intervento e per il monitoraggio post intervento per la richiesta dei Titoli di Efficienza Energetica (verifica dei risparmi attesi).

Nella tabella 4.1 seguente si riportano i valori dell'energia misurata a inizio e a fine giornata e del consumo giornaliero dei due comparti.

Giorno	Data	EQUALIZZAZIONE + DENITRO1			DENITRO2		
		Energia inizio giornata	Energia fine giornata	Consumo giornaliero [kWh]	Energia inizio giornata	Energia fine giornata	Consumo giornaliero [kWh]
2	16-gen-19	4.981	5.308	327	1.188	1.262	74
3	17-gen-19	5.308	5.636	328	1.262	1.327	65
4	18-gen-19	5.636	5.964	328	1.327	1.401	74
5	19-gen-19	5.964	6.292	328	1.401	1.475	74
6	20-gen-19	6.292	6.619	327	1.475	1.548	73
7	21-gen-19	6.619	6.947	328	1.548	1.614	66
8	22-gen-19	6.947	7.242	295	1.614	1.688	74
9	23-gen-19	7.242	7.569	327	1.688	1.761	73
10	24-gen-19	7.569	7.897	328	1.761	1.835	74
11	25-gen-19	7.897	8.225	328	1.835	1.908	73
12	26-gen-19	8.225	8.520	295	1.908	1.983	75
13	27-gen-19	8.520	8.847	327	1.983	2.048	65
14	28-gen-19	8.847	9.175	328	2.048	2.114	66
15	29-gen-19	9.175	9.503	328	2.114	2.196	82
16	30-gen-19	9.503	9.830	327	2.196	2.261	65
17	31-gen-19	9.830	10.158	328	2.261	2.343	82
18	1-feb-19	10.158	10.486	328	2.343	2.408	65
19	2-feb-19	10.486	10.813	327	2.408	2.474	66
20	3-feb-19	10.813	11.141	328	2.474	2.556	82
21	4-feb-19	11.141	11.469	328	2.556	2.621	65
36	19-feb-19	15.991	16.319	328	3.637	3.703	66
37	20-feb-19	16.319	16.646	327	3.703	3.785	82
38	21-feb-19	16.646	16.908	262	3.785	3.850	65
39	22-feb-19	16.908	17.302	394	3.850	3.932	82
40	23-feb-19	17.302	17.564	262	3.932	3.998	66
41	24-feb-19	17.564	17.957	393	3.998	4.080	82
42	25-feb-19	17.957	18.219	262	4.080	4.145	65
43	26-feb-19	18.219	18.481	262	4.145	4.194	49
44	27-feb-19	18.481	18.874	393	4.194	4.293	99
45	28-feb-19	18.874	19.137	263	4.293	4.358	65
46	1-mar-19	19.137	19.529	392	4.358	4.423	65
47	2-mar-19	19.529	19.792	263	4.423	4.489	66

48	3-mar-19	19.792	20.185	393	4.489	4.588	99
49	4-mar-19	20.185	20.447	262	4.588	4.653	65
50	5-mar-19	20.447	20.840	393	4.653	4.718	65
51	6-mar-19	20.840	21.103	263	4.718	4.784	66
52	7-mar-19	21.103	21.496	393	4.784	4.850	66
53	8-mar-19	21.496	21.758	262	4.850	4.948	98
54	9-mar-19	21.758	22.151	393	4.948	5.014	66
55	10-mar-19	22.151	22.413	262	5.014	5.079	65
56	11-mar-19	22.413	22.807	394	5.079	5.145	66
57	12-mar-19	22.807	23.069	262	5.145	5.243	98
58	13-mar-19	23.069	23.462	393	5.243	5.308	65
59	14-mar-19	23.462	23.724	262	5.308	5.374	66
60	15-mar-19	23.724	23.986	262	5.374	5.440	66
61	16-mar-19	23.986	24.379	393	5.440	5.505	65
62	17-mar-19	24.379	24.642	263	5.505	5.603	98
63	18-mar-19	24.642	25.035	393	5.603	5.669	66
64	19-mar-19	25.035	25.297	262	5.669	5.734	65
65	20-mar-19	25.297	25.690	393	5.734	5.800	66
66	21-mar-19	25.690	25.952	262	5.800	5.898	98
67	22-mar-19	25.952	26.346	394	5.898	5.964	66
68	23-mar-19	26.346	26.608	262	5.964	6.029	65
69	24-mar-19	26.608	27.001	393	6.029	6.095	66
70	25-mar-19	27.001	27.263	262	6.095	6.160	65
71	26-mar-19	27.263	27.656	393	6.160	6.259	99
72	27-mar-19	27.656	27.918	262	6.259	6.324	65
73	28-mar-19	27.918	28.312	394	6.324	6.390	66
74	29-mar-19	28.312	28.574	262	6.390	6.455	65
75	30-mar-19	28.574	28.967	393	6.455	6.554	99
76	31-mar-19	28.967	29.229	262	6.554	6.619	65
77	1-apr-19	29.229	29.491	262	6.619	6.685	66
78	2-apr-19	29.491	29.884	393	6.685	6.750	65
79	3-apr-19	29.884	30.147	263	6.750	6.816	66
80	4-apr-19	30.147	30.540	393	6.816	6.914	98
81	5-apr-19	30.540	30.802	262	6.914	6.980	66
82	6-apr-19	30.802	31.195	393	6.980	7.045	65
83	7-apr-19	31.195	31.457	262	7.045	7.111	66
84	8-apr-19	31.457	31.851	394	7.111	7.176	65
85	9-apr-19	31.851	32.113	262	7.176	7.275	99
86	10-apr-19	32.113	32.506	393	7.275	7.340	65
87	11-apr-19	32.506	32.768	262	7.340	7.406	66
88	12-apr-19	32.768	33.161	393	7.406	7.471	65
89	13-apr-19	33.161	33.423	262	7.471	7.537	66
90	14-apr-19	33.423	33.817	394	7.537	7.602	65
91	15-apr-19	33.817	34.079	262	7.602	7.701	99

92	16-apr-19	34.079	34.341	262	7.701	7.766	65
93	17-apr-19	34.341	34.603	262	7.766	7.832	66
94	18-apr-19	34.603	34.865	262	7.832	7.897	65
95	19-apr-19	34.865	35.127	262	7.897	7.963	66
96	20-apr-19	35.127	35.652	525	7.963	8.028	65
97	21-apr-19	35.652	35.914	262	8.028	8.127	99
98	22-apr-19	35.914	36.176	262	8.127	8.192	65
99	23-apr-19	36.176	36.438	262	8.192	8.258	66
100	24-apr-19	36.438	36.962	524	8.258	8.323	65
101	25-apr-19	36.962	37.225	263	8.323	8.389	66
102	26-apr-19	37.225	37.487	262	8.389	8.454	65
103	27-apr-19	37.487	37.749	262	8.454	8.520	66
104	28-apr-19	37.749	38.273	524	8.520	8.585	65
105	29-apr-19	38.273	38.535	262	8.585	8.651	66
106	30-apr-19	38.535	38.797	262	8.651	8.716	65
107	1-mag-19	38.797	39.060	263	8.716	8.782	66
108	2-mag-19	39.060	39.584	524	8.782	8.847	65
109	3-mag-19	39.584	39.846	262	8.847	8.913	66
110	4-mag-19	39.846	40.108	262	8.913	8.978	65
111	5-mag-19	40.108	40.370	262	8.978	9.044	66
112	6-mag-19	40.370	40.895	525	9.044	9.110	66
		<b>Consumo Energetico Medio Giornaliero</b>		<b>323</b>	<b>Consumo Energetico Medio Giornaliero</b>		<b>72</b>

Tabella 4.1 – Monitoraggio consumi impianto A

I dati di monitoraggio disponibili vanno dal 16/01/2019 al 6/05/19; dal 5 al 18 febbraio non sono state effettuate misurazioni a causa di problemi tecnici, per un totale di 97 misure.

A partire dai dati forniti, si è calcolato il valore medio dell'energia assorbita dai due comparti  $\bar{E}_{E+D1}$  e  $\bar{E}_{D2}$  e il consumo energetico medio giornaliero complessivo  $\bar{E}_{TOT}$  come:

$$\bar{E}_{E+D1} = \frac{\sum E_{i,E+D1}}{97} = 323 \text{ kWh}$$

$$\bar{E}_{D2} = \frac{\sum E_{i,D2}}{97} = 72 \text{ kWh}$$

$$\bar{E}_{TOT} = \bar{E}_{E+D1} + \bar{E}_{D2} = 395 \text{ kWh}$$

Dalla divisione dell'energia media giornaliera per le ore di funzionamento dei mixer si ricava la potenza media dei due gruppi  $\bar{P}_{E+D1}$  e  $\bar{P}_{D2}$ :

$$\bar{P}_{E+D1} = \frac{\bar{E}_{E+D1}}{24} = \frac{323}{24} = 13,5 \text{ kW}$$

$$\bar{P}_{D2} = \frac{\bar{E}_{D2}}{24} = \frac{72}{24} = 3 \text{ kW}$$

In data 20 novembre 2018 sono state fatte delle misurazioni puntali di potenza assorbita dai diversi mixer tramite pinza amperometrica. I valori ricavati sono:

	Potenza misurata [kW]			Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	Mixer 3	
<b>Equalizzatore</b>	2,06	2,82	3,63	8,51
<b>Denitro1</b>	3,06	2,77	-	5,83
<b>Denitro2</b>	1,5	1,6	-	3,1

Tabella 4.2 – Misurazione potenze mixer in data 20/11/18, impianto A

Si può quindi notare come i valori medi ricavati dal monitoraggio siano in linea con i valori misurati tramite pinza amperometrica e con i dati di targa forniti dal costruttore.

Per valutare la bontà dei valori ottenuti per il loro utilizzo come baseline di riferimento in sede di presentazione di progetto a consuntivo PC, si è calcolata la loro deviazione standard  $\sigma$ . Per definizione la deviazione standard, detta anche scarto quadratico medio, è un indice di dispersione statistico e fornisce una stima della variabilità di una popolazione.

La deviazione standard  $\sigma$  si calcola come:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Per i due comparti considerati, è stata ricavata una deviazione standard  $\sigma_{E+D1}$  e  $\sigma_{D2}$  pari a:

$$\sigma_{E+D1} = \sqrt{\frac{\sum(E_{i,E+D1} - \bar{E}_{E+D1})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum(E_{i,E+D1} - 323)^2}{97}} = 71 \text{ kWh}$$

$$\sigma_{D2} = \sqrt{\frac{\sum(E_{i,D2} - \bar{E}_{D2})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum(E_{i,D2} - 72)^2}{97}} = 13 \text{ kWh}$$

È possibile poi rappresentare graficamente i valori ottenuti dal campionamento, il loro valore medio e lo scarto quadratico medio.



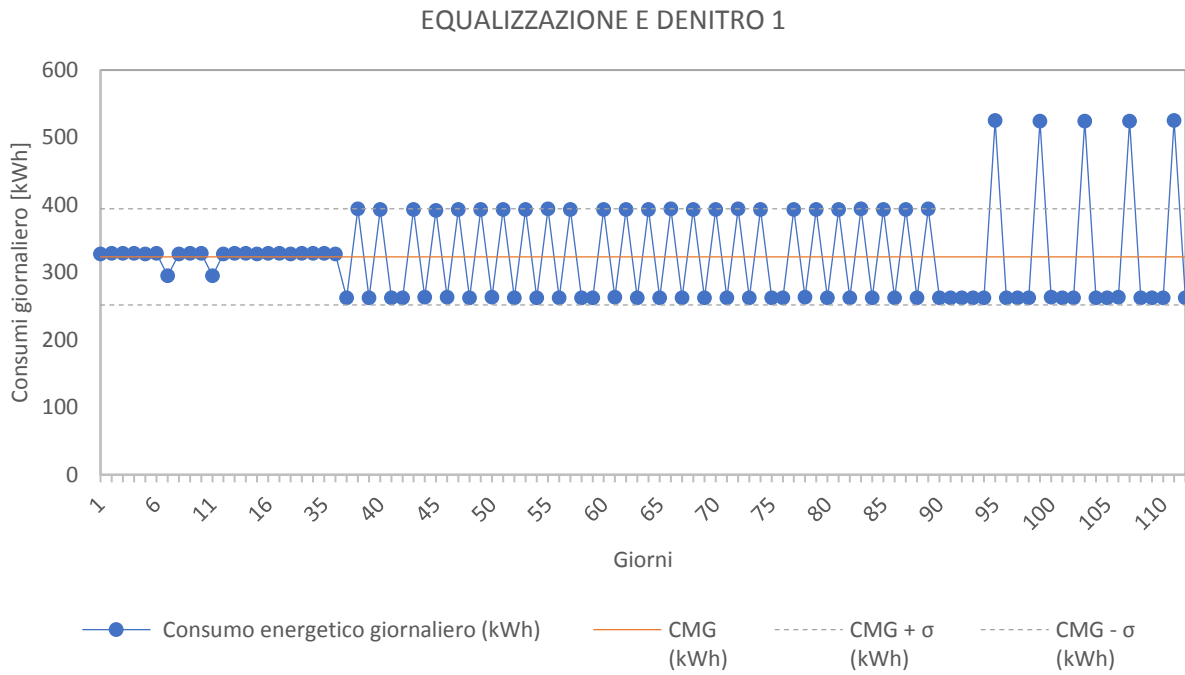


Figura 4.2 – Monitoraggio consumi Equalizzatore + Denitro1, impianto A

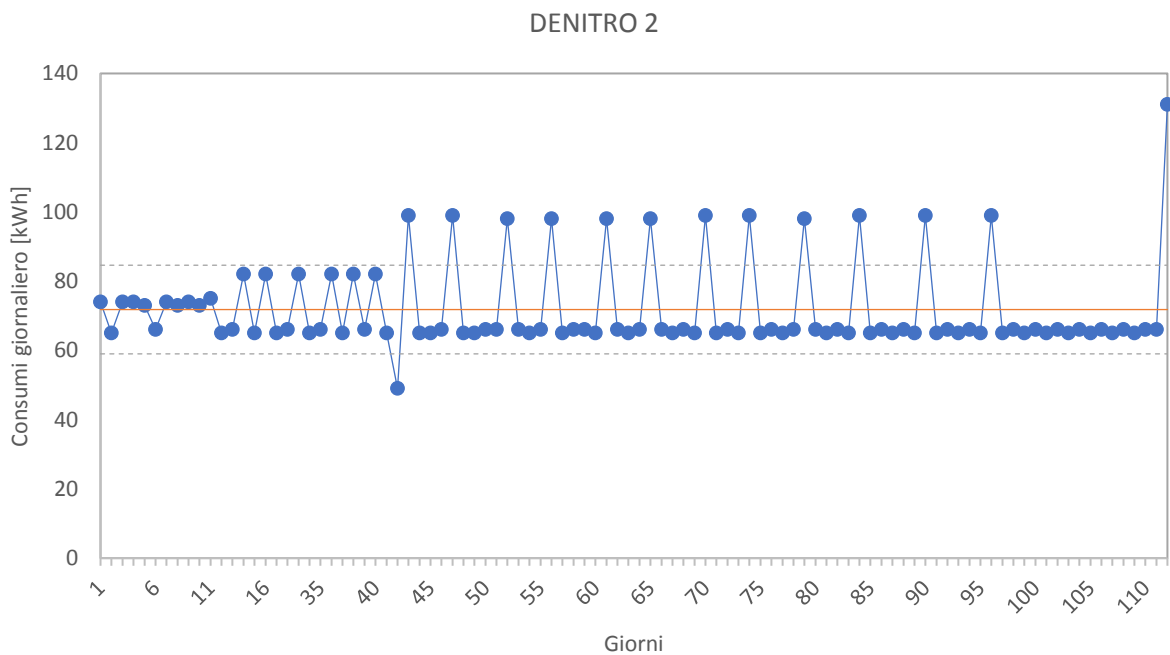


Figura 4.3 – Monitoraggio consumi Denitro2, impianto A

Dai grafici riportati nelle figure 4.1 e 4.2 si osserva come le misure rilevate, al netto di un paio di valori errati, frutto di probabile anomalia nel sistema di rilevazione, presentino un andamento oscillante con regolarità attorno al valore medio Trattandosi di macchine con funzionamento

continuo e senza regolazione di potenza, ci si aspettava di ottenere un assorbimento di energia dalla rete per lo più costante. Dal confronto con il gestore è emerso che il PLC non effettuava il campionamento ogni 24 ore come previsto ma ogni 10 e, in questo modo, la misura dell'energia è risulta essere falsata in quanto venivano alternati due giorni con misurazioni di 20 ore e un giorno di 30.

Alla luce di queste considerazioni e osservando che la grande maggioranza dei punti ricade nell'intorno del valore medio, all'interno dell'intervallo individuato dalla deviazione standard, si può affermare che il valore medio giornaliero di energia assorbita dai mixer così ricavato è rappresentativo dei consumi effettivi dei motori.

La potenza media giornaliera totale dei mixer da sostituire, al netto delle anomalie di misurazione, è pari a:

$$\bar{P}_{TOT,A} = \bar{P}_{E+D1} + \bar{P}_{D2} = 16,12 \text{ kW}$$

La baseline che si è ottenuta risulta affidabile e può essere presa come riferimento per il calcolo dei risparmi di energia. Nonostante le normative prevedano un periodo di monitoraggio di 12 mesi, proseguire oltre con la misurazione dei consumi non porterebbe a significative variazioni.

## IMPIANTO B

Nell'impianto B in esame i mixer installati sono di tipo on-off, non sono soggetti a regolazione della potenza. Analogamente a quanto accadeva nell'impianto A, i mixer installati nei due denitro sono in funzione ininterrottamente per 24 al giorno; le macchine presenti nella fase di equalizzazione, invece, subiscono spegnimenti e accensioni nell'arco della giornata per cui bisogna tener conto del loro numero di ore di funzionamento effettivo.

Per la determinazione dei consumi i 5 mixer sono stati suddivisi in due gruppi: Equalizzazione, 2 mixer, e Denitro1 + Denitro2, con un totale di 3 mixer. La scelta di raggruppare le macchine è stata fatta per contenere i costi; la suddivisione è stata fatta in funzione delle ore di funzionamento e della conformazione dei quadri elettrici, per una maggiore semplicità di installazione. In particolare, si è optato per un misuratore unico per tutti e tre i mixer in Denitro dato che questi lavorano 24h, mentre per l'Equalizzazione le due macchine vengono monitorate separatamente, registrando anche le ore di funzionamento dei mixer (che in regime normale funzionano entrambi) perché c'è un sistema di controllo che può fermarne il funzionamento se l'altezza del fluido presente in vasca scende sotto una determinata soglia. Gli strumenti di

misura sono stati installati appositamente, per valutare l'energia assorbita complessivamente dai gruppi ante intervento e per il monitoraggio post intervento per la richiesta dei Titoli di Efficienza Energetica (verifica dei risparmi attesi).

Vengono monitorati i valori dell'energia misurata a inizio e a fine giornata, del consumo giornaliero e il numero di ore di funzionamento di ciascuno dei mixer in equalizzazione. Ai fini di agevolare l'analisi e il confronto dei dati, si è calcolato poi un valore medio di potenza giornaliera:

$$P_i = \frac{E_i}{h}$$

Si ottengono così la tabella 4.3, riferita all'equalizzazione e la tabella 4.4 riferita ai due denitro.

Giorno	Data	EQUALIZZAZIONE					
		Energia inizio giornata	Energia fine giornata	Consumo giornaliero [kWh]	Ore esercizio Mixer 1	Ore esercizio Mixer 2	Potenza giornaliera [kW]
2	6-feb-19	1.064	1.155	91	00h 00'	20h 15'	4,494
3	7-feb-19	1.155	1.246	91	00h 00'	20h 14'	4,498
4	8-feb-19	1.246	1.331	85	00h 00'	18h 45'	4,533
5	9-feb-19	1.331	1.410	79	00h 00'	17h 17'	4,571
6	10-feb-19	1.410	1.487	77	00h 00'	16h 45'	4,567
7	11-feb-19	1.487	1.594	108	00h 00'	24h 00'	4,479
8	12-feb-19	1.594	1.673	79	00h 00'	17h 44'	4,427
9	13-feb-19	1.673	1.753	80	00h 00'	18h 10'	4,404
10	14-feb-19	1.753	1.818	66	00h 00'	15h 14'	4,300
11	15-feb-19	1.818	1.893	75	00h 00'	16h 42'	4,461
12	16-feb-19	1.893	1.968	75	00h 00'	16h 44'	4,482
13	17-feb-19	1.968	2.036	69	00h 00'	15h 29'	4,424
14	18-feb-19	2.036	2.091	55	00h 00'	12h 14'	4,496
15	19-feb-19	2.091	2.124	33	00h 00'	07h 03'	4,610
16	20-feb-19	2.124	2.170	46	00h 00'	10h 12'	4,510
17	21-feb-19	2.170	2.258	89	00h 00'	19h 43'	4,489
18	22-feb-19	2.258	2.342	84	00h 00'	18h 59'	4,425
19	23-feb-19	2.342	2.421	79	00h 00'	17h 30'	4,514
20	24-feb-19	2.421	2.497	76	00h 00'	16h 44'	4,512
21	25-feb-19	2.497	2.570	73	00h 00'	05h 25'	0,000
22	26-feb-19	2.570	2.651	82	00h 00'	18h 44'	4,351
23	27-feb-19	2.651	2.730	79	00h 00'	18h 13'	4,337
24	28-feb-19	2.730	2.798	68	00h 00'	15h 12'	4,474
25	1-mar-19	2.798	2.864	66	00h 00'	14h 52'	4,406
26	2-mar-19	2.864	2.936	73	00h 00'	15h 45'	4,603

<b>27</b>	3-mar-19	2.936	3.011	75	00h 00'	16h 14'	4,620
<b>28</b>	4-mar-19	3.011	3.071	60	00h 00'	13h 14'	4,496
<b>29</b>	5-mar-19	3.071	3.140	70	00h 00'	15h 43'	4,422
<b>30</b>	6-mar-19	3.140	3.221	81	00h 00'	18h 09'	4,463
<b>31</b>	7-mar-19	3.221	3.296	75	00h 00'	16h 58'	4,391
<b>32</b>	8-mar-19	3.296	3.361	66	00h 00'	14h 44'	4,446
<b>33</b>	9-mar-19	3.361	3.436	75	00h 00'	16h 27'	4,529
<b>34</b>	10-mar-19	3.436	3.506	71	00h 00'	15h 58'	4,415
<b>35</b>	11-mar-19	3.506	3.567	61	00h 00'	13h 59'	4,362
<b>36</b>	12-mar-19	3.567	3.613	46	00h 00'	10h 13'	4,454
<b>37</b>	13-mar-19	3.613	3.695	82	00h 00'	18h 46'	4,369
<b>38</b>	14-mar-19	3.695	3.764	69	00h 00'	15h 35'	4,428
<b>39</b>	15-mar-19	3.764	3.835	71	00h 00'	16h 19'	4,351
<b>40</b>	16-mar-19	3.835	3.905	71	00h 00'	15h 45'	4,476
<b>41</b>	17-mar-19	3.905	3.972	67	00h 00'	15h 12'	4,408
<b>42</b>	18-mar-19	3.972	4.048	76	00h 00'	16h 50'	4,515
<b>43</b>	19-mar-19	4.048	4.110	62	00h 00'	14h 00'	4,393
<b>44</b>	20-mar-19	4.110	4.190	81	00h 00'	18h 30'	4,351
<b>45</b>	21-mar-19	4.190	4.262	72	00h 00'	16h 29'	4,338
<b>46</b>	22-mar-19	4.262	4.333	72	00h 00'	16h 14'	4,405
<b>47</b>	23-mar-19	4.333	4.401	68	00h 00'	15h 15'	4,426
<b>48</b>	24-mar-19	4.401	4.468	67	00h 00'	15h 00'	4,467
<b>49</b>	25-mar-19	4.468	4.528	60	00h 00'	13h 28'	4,455
<b>50</b>	26-mar-19	4.528	4.613	85	00h 00'	19h 14'	4,419
<b>51</b>	27-mar-19	4.613	4.664	51	00h 00'	11h 29'	4,441
<b>52</b>	28-mar-19	4.664	4.708	44	00h 00'	09h 59'	4,407
<b>53</b>	29-mar-19	4.708	4.774	66	00h 00'	14h 58'	4,410
<b>54</b>	30-mar-19	4.774	4.846	73	00h 00'	16h 29'	4,398
<b>55</b>	31-mar-19	4.846	4.912	66	00h 00'	15h 44'	4,195
<b>56</b>	1-apr-19	4.912	4.955	43	00h 00'	09h 28'	4,489
<b>57</b>	2-apr-19	4.955	5.006	52	00h 00'	11h 42'	4,402
<b>58</b>	3-apr-19	5.006	5.099	93	00h 00'	19h 13'	4,814
<b>59</b>	4-apr-19	5.090	5.162	73	00h 00'	16h 17'	4,452
<b>60</b>	5-apr-19	5.162	5.267	105	00h 00'	24h 00'	4,375
<b>61</b>	6-apr-19	5.267	5.375	108	00h 00'	24h 00'	4,500
<b>62</b>	7-apr-19	5.375	5.469	94	00h 00'	20h 58'	4,459
<b>63</b>	8-apr-19	5.469	5.553	85	00h 00'	19h 01'	4,443
<b>64</b>	9-apr-19	5.553	5.643	90	00h 00'	20h 28'	4,373
<b>65</b>	10-apr-19	5.643	5.725	83	00h 00'	18h 46'	4,396
<b>66</b>	11-apr-19	5.725	5.829	104	00h 00'	24h 00'	4,313
<b>67</b>	12-apr-19	5.829	5.932	104	00h 00'	24h 00'	4,313
<b>68</b>	13-apr-19	5.932	5.967	35	00h 00'	07h 59'	4,322
<b>69</b>	14-apr-19	5.967	5.967	0	00h 00'	00h 00'	0,000
<b>70</b>	15-apr-19	5.967	5.967	0	00h 00'	00h 00'	0,000

71	16-apr-19	5.967	6.026	59	12h 11'	00h 00'	4,843
72	17-apr-19	6.026	6.116	91	19h 00'	00h 00'	4,763
73	18-apr-19	6.116	6.209	93	19h 05'	00h 00'	4,847
74	19-apr-19	6.209	6.292	83	17h 11'	00h 00'	4,830
75	20-apr-19	6.292	6.374	83	16h 59'	00h 00'	4,858
76	21-apr-19	6.374	6.423	49	09h 59'	00h 00'	5,434
77	22-apr-19	6.423	6.440	17	03h 40'	00h 00'	4,500
78	23-apr-19	6.440	6.524	84	17h 14'	00h 00'	4,874
79	24-apr-19	6.524	6.641	117	24h 00'	00h 00'	4,875
80	25-apr-19	6.641	6.760	120	24h 00'	00h 00'	4,979
81	26-apr-19	6.760	6.878	118	24h 00'	00h 00'	4,917
82	27-apr-19	6.878	6.997	119	24h 00'	00h 00'	4,938
83	28-apr-19	6.997	7.114	118	24h 00'	00h 00'	4,896
84	29-apr-19	7.114	7.228	114	24h 00'	00h 00'	4,750
85	30-apr-19	7.228	7.345	117	24h 00'	00h 00'	4,854
86	1-mag-19	7.345	7.481	137	24h 00'	00h 00'	5,688
87	2-mag-19	7.481	7.575	94	23h 17'	00h 00'	4,016
88	3-mag-19	7.575	7.687	113	22h 45'	00h 00'	4,945
89	4-mag-19	7.687	7.807	120	24h 00'	00h 00'	5,000
90	5-mag-19	7.807	7.928	121	24h 00'	00h 00'	5,042
91	6-mag-19	7.928	8.046	118	24h 00'	00h 00'	4,917
92	7-mag-19	8.046	8.164	118	24h 00'	00h 00'	4,896
93	8-mag-19	8.164	8.283	119	24h 00'	00h 00'	4,958
				<b>Potenza assorbita giornaliera media Mixer 1 [kW]</b>			<b>4,896</b>
				<b>Potenza assorbita giornaliera media Mixer 2 [kW]</b>			<b>4,377</b>
				<b>Potenza assorbita giornaliera media Totale [kW]</b>			<b>4,412</b>

Tabella 4.3 – Monitoraggio consumi equalizzatore impianto B

È importante notare in questo caso che i due mixer sono stati fatti funzionare in modo alternato, infatti dal giorno 2 al giorno 68 è stato messo in funzione il mixer 2, mentre dal giorno 71 al giorno 93 è stato fatto funzionare il mixer 1. La potenza calcolata è quindi, di fatto, riferita alla singola macchina.

Giorno	Data	DENITRO 1 + DENITRO 2				
		Energia inizio giornata	Energia fine giornata	Consumo giornaliero [kWh]	Ore esercizio Mixer 1, 2 e 3	Potenza giornaliera [kW]
2	6-feb-19	3.214	3.542	328	24h 00'	13,646
3	7-feb-19	3.542	3.867	325	24h 00'	13,542
4	8-feb-19	3.867	4.196	330	24h 00'	13,729
5	9-feb-19	4.196	4.536	340	24h 00'	14,146
6	10-feb-19	4.536	4.871	335	24h 00'	13,958
7	11-feb-19	4.871	5.194	323	24h 00'	13,458
8	12-feb-19	5.194	5.515	322	24h 00'	13,396
9	13-feb-19	5.515	5.834	319	24h 00'	13,292
10	14-feb-19	5.834	6.157	323	24h 00'	13,438
11	15-feb-19	6.157	6.478	322	24h 00'	13,396
12	16-feb-19	6.478	6.809	331	24h 00'	13,771
13	17-feb-19	6.809	7.138	329	24h 00'	13,708
14	18-feb-19	7.138	7.459	322	24h 00'	13,396
15	19-feb-19	7.459	7.784	325	24h 00'	13,542
16	20-feb-19	7.784	8.108	324	24h 00'	13,479
17	21-feb-19	8.108	8.432	325	24h 00'	13,521
18	22-feb-19	8.432	8.753	321	24h 00'	13,375
19	23-feb-19	8.753	9.083	330	24h 00'	13,729
20	24-feb-19	9.083	9.412	329	24h 00'	13,708
21	25-feb-19	9.412	9.732	320	24h 00'	13,333
22	26-feb-19	9.732	10.047	316	24h 00'	13,146
23	27-feb-19	10.047	10.362	315	24h 00'	13,104
24	28-feb-19	10.362	10.681	319	24h 00'	13,292
25	1-mar-19	10.681	11.003	322	24h 00'	13,417
26	2-mar-19	11.003	11.333	331	24h 00'	13,771
27	3-mar-19	11.333	11.664	331	24h 00'	13,792
28	4-mar-19	11.664	11.987	323	24h 00'	13,438
29	5-mar-19	11.987	12.306	319	24h 00'	13,292
30	6-mar-19	12.306	12.627	322	24h 00'	13,396
31	7-mar-19	12.627	12.945	318	24h 00'	13,250
32	8-mar-19	12.945	13.267	322	24h 00'	13,396
33	9-mar-19	13.267	13.596	330	24h 00'	13,729
34	10-mar-19	13.596	13.926	330	24h 00'	13,750
35	11-mar-19	13.926	14.249	323	24h 00'	13,458
36	12-mar-19	14.249	14.574	325	24h 00'	13,521
37	13-mar-19	14.574	14.897	323	24h 00'	13,458
38	14-mar-19	14.897	15.226	329	24h 00'	13,708
39	15-mar-19	15.226	15.551	326	24h 00'	13,563
40	16-mar-19	15.551	15.885	334	24h 00'	13,917
41	17-mar-19	15.885	16.217	332	24h 00'	13,833

42	18-mar-19	16.217	16.544	327	24h 00'	13,625
43	19-mar-19	16.544	16.869	325	24h 00'	13,521
44	20-mar-19	16.869	17.191	323	24h 00'	13,438
45	21-mar-19	17.191	17.514	323	24h 00'	13,458
46	22-mar-19	17.514	17.834	320	24h 00'	13,333
47	23-mar-19	17.834	18.164	330	24h 00'	13,750
48	24-mar-19	18.164	18.495	331	24h 00'	13,792
49	25-mar-19	18.495	18.817	322	24h 00'	13,396
50	26-mar-19	18.817	19.137	321	24h 00'	13,354
51	27-mar-19	19.137	19.458	321	24h 00'	13,354
52	28-mar-19	19.458	19.776	318	24h 00'	13,250
53	29-mar-19	19.776	20.094	318	24h 00'	13,250
54	30-mar-19	20.094	20.422	328	24h 00'	13,667
55	31-mar-19	20.422	20.737	315	24h 00'	13,125
56	1-apr-19	20.737	21.060	324	24h 00'	13,479
57	2-apr-19	21.060	21.380	320	24h 00'	13,313
58	3-apr-19	21.380	21.698	319	24h 00'	13,271
59	4-apr-19	21.698	22.016	318	24h 00'	13,229
60	5-apr-19	22.016	22.335	320	24h 00'	13,313
61	6-apr-19	22.335	22.666	331	24h 00'	13,771
62	7-apr-19	22.666	22.993	327	24h 00'	13,625
63	8-apr-19	22.993	23.311	318	24h 00'	13,250
64	9-apr-19	23.311	23.631	321	24h 00'	13,354
65	10-apr-19	23.631	23.547	-84	24h 00'	0,000
66	11-apr-19	23.547	24.267	720	24h 00'	0,000
67	12-apr-19	24.267	24.584	318	24h 00'	13,229
68	13-apr-19	24.084	24.918	834	24h 00'	0,000
69	14-apr-19	24.918	25.254	336	24h 00'	13,979
70	15-apr-19	25.254	25.576	323	24h 00'	13,438
71	16-apr-19	25.576	25.898	322	24h 00'	13,417
72	17-apr-19	25.898	26.215	317	24h 00'	13,208
73	18-apr-19	26.215	26.535	320	24h 00'	13,333
74	19-apr-19	26.535	26.855	320	24h 00'	13,313
75	20-apr-19	26.855	27.183	329	24h 00'	13,688
76	21-apr-19	27.183	27.515	332	24h 00'	13,813
77	22-apr-19	27.515	27.846	331	24h 00'	13,792
78	23-apr-19	27.846	28.171	326	24h 00'	13,563
79	24-apr-19	28.171	28.496	325	24h 00'	13,521
80	25-apr-19	28.496	28.827	331	24h 00'	13,792
81	26-apr-19	28.827	29.159	332	24h 00'	13,833
82	27-apr-19	29.159	29.490	331	24h 00'	13,792
83	28-apr-19	29.490	29.822	332	24h 00'	13,833
84	29-apr-19	29.822	30.144	322	24h 00'	13,417
85	30-apr-19	30.144	30.472	328	24h 00'	13,667

<b>86</b>	1-mag-19	30.472	30.808	336	24h 00'	14,000
<b>87</b>	2-mag-19	30.808	31.136	328	24h 00'	13,667
<b>88</b>	3-mag-19	31.136	31.466	331	24h 00'	13,771
<b>89</b>	4-mag-19	31.466	31.802	336	24h 00'	14,000
<b>90</b>	5-mag-19	31.802	32.141	339	24h 00'	14,125
<b>91</b>	6-mag-19	32.141	32.470	329	24h 00'	13,708
<b>92</b>	7-mag-19	32.470	32.798	328	24h 00'	13,667
<b>93</b>	8-mag-19	32.798	33.129	331	24h 00'	13,771
				<b>Potenza assorbita giornaliera media [kW]</b>		<b>13,109</b>

Tabella 4.4 – Monitoraggio consumi denitro1 e denitro2, impianto B

Il monitoraggio è cominciato il 6/02/2019 ed è stato interrotto l'8/05/2019, per un totale di 93 misure.

A partire dai dati forniti, è possibile calcolare il valore medio della potenza assorbita dai due comparti  $\bar{P}_E$  e  $\bar{P}_{D1+D2}$  come:

$$\bar{P}_E = \frac{\sum P_{i,E}}{93} = 4,4 \text{ kW}$$

$$\bar{P}_{D1+D2} = \frac{\sum P_{i,D}}{93} = 13,1 \text{ kW}$$

In data 20 novembre 2018 sono state fatte delle misurazioni puntali della potenza assorbita dai diversi mixer tramite pinza amperometrica. I valori ricavati sono:

	Potenza misurata [kW]		Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	
<b>Equalizzatore</b>	4,36	4,36	8,72
<b>Denitro1</b>	4,75	-	4,75
<b>Denitro2</b>	3,93	3,44	7,37

Tabella 4.5 – Misurazione potenze mixer in data 20/11/18, impianto B

Si può quindi notare come i valori medi ricavati dal monitoraggio siano in linea con i valori misurati tramite pinza amperometrica e con i dati di targa forniti dal costruttore.



Per valutare la bontà dei valori ottenuti per il loro utilizzo come baseline di riferimento in sede di presentazione di progetto a consuntivo PC, si è calcolata la loro deviazione standard  $\sigma$  come:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Per i due comparti considerati, si ricava una deviazione standard  $\sigma_E$  e  $\sigma_{D1+D2}$  pari a:

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum(P_{i,E} - \bar{P}_E)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum(P_{i,E} - 4,4)^2}{93}} = 0,849 \text{ kW}$$

$$\sigma_{D1+D2} = \sqrt{\frac{\sum(P_{i,D} - \bar{P}_{D1+D2})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum(P_{i,D} - 13,1)^2}{93}} = 2,418 \text{ kW}$$

È possibile poi rappresentare graficamente i valori ottenuti dal campionamento, il loro valore medio e lo scarto quadratico medio, come nelle figure 4.4 e 4.5 seguenti.

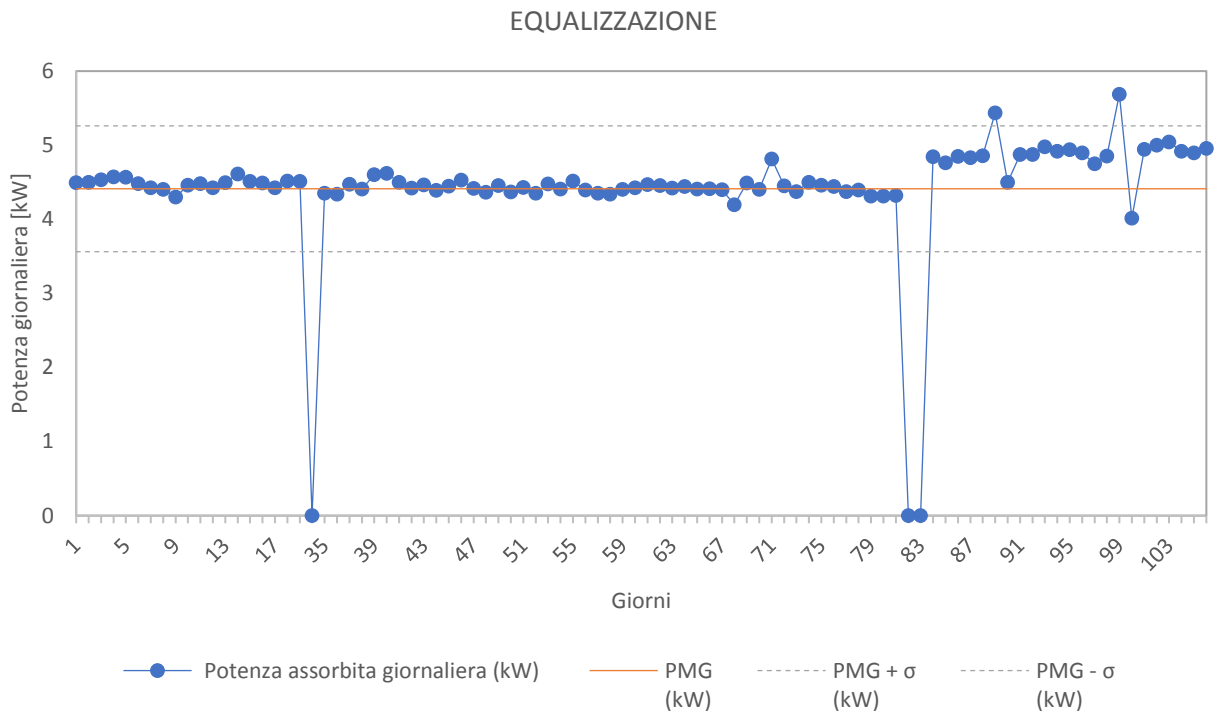


Figura 4.4 – Monitoraggio consumi Equalizzatore, impianto B

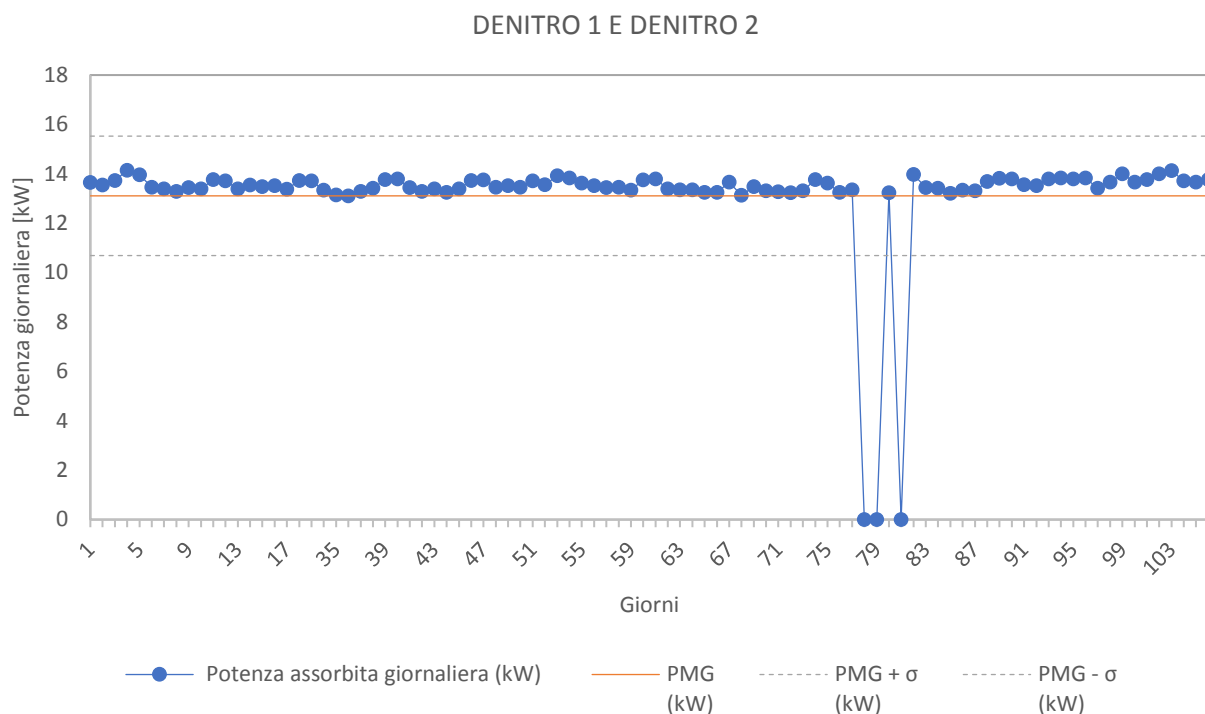


Figura 4.5 – Monitoraggio consumi Denitro1 e Denitro2, impianto B

Dai grafici riportati nelle figure 4.4 e 4.5 si osserva come le misure rilevate, al netto di un paio di punti corrispondenti a giorni in cui i mixer sono stati spenti, presentino un andamento piuttosto costante, con qualche piccola oscillazione nell'immediato intorno del valore medio. Da segnalare il gradino che si può visualizzare in figura 4.4 in concomitanza dell'accensione del mixer 1 e del contemporaneo spegnimento del mixer 2.

La totalità dei punti ricade nell'intorno del valore medio, all'interno dell'intervallo individuato dalla deviazione standard, si può affermare che il valore medio giornaliero di potenza assorbita dai mixer così ricavato è rappresentativo dei consumi effettivi dei motori.

La potenza media giornaliera totale dei mixer da sostituire, al netto delle anomalie di misurazione, è pari a:

$$\bar{P}_{TOT,B} = \bar{P}_{E1} + \bar{P}_{E2} + \bar{P}_{D2} = 22,89 \text{ kW}$$

La baseline che si ottiene risulta affidabile e può essere presa come riferimento per il calcolo dei risparmi di energia. Nonostante le normative prevedano un periodo di monitoraggio di 12 mesi, proseguire oltre con la misurazione dei consumi non porterebbe a significative variazioni.

### 4.3 Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili

Si procede ora con la valutazione di sostituzione dei mixer presenti, ormai vetusti, con macchine nuove che presentino rendimenti migliori. Si sono prese in considerazione due proposte alternative, per entrambi gli impianti, che saranno indicate come soluzione 1 e soluzione 2. Analizziamo prima le due soluzioni da un punto di vista energetico per identificare, per ciascun impianto, quale delle due proposte registra un maggiore risparmio di energia primaria e permette quindi di accedere ad un numero maggiore di Certificati Bianchi.

#### IMPIANTO A

Si fa una stima del risparmio di energia assorbita giornalmente  $E_r$  calcolando la differenza tra la potenza media pre-intervento  $\bar{P}_{pre}$  per il numero di ore di funzionamento post-intervento  $h_{post}$  (ipotizzate), meno la potenza media post-intervento  $\bar{P}_{post}$  (da valutazioni sui dati forniti dai costruttori) per il numero di ore post-intervento  $h_{post}$  (ipotizzate):

$$E_r = \bar{P}_{pre} \cdot h_{post} - \bar{P}_{post} \cdot h_{post} \text{ kWh/d}$$

La potenza media giornaliera ante intervento  $\bar{P}_{pre}$  è presa dalla potenza totale media giornaliera ricavata nel paragrafo precedente come baseline di riferimento, al netto delle anomalie:

$$\bar{P}_{pre,A} = \bar{P}_{TOT,A} = 16,12 \text{ kW}$$

Per il calcolo della potenza media giornaliera post intervento si sono distinte le due soluzioni  $\bar{P}_{post,A1}$  e  $\bar{P}_{post,A2}$  e, in base alla soluzione considerata, si è fatta la sommatoria delle potenze dei nuovi mixer. Si noti che le potenze per la soluzione 1 sono state stimate dal fornitore in funzione delle caratteristiche delle vasche esistenti, mentre per la soluzione 2 sono derivate da schede tecniche. Si riportano nelle tabelle seguenti i valori ricavati.

Soluzione 1	Potenza assorbita da scheda tecnica [kW]			Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	Mixer 3	
<b>Equalizzatore</b>	0,35	0,35	0,35	1,05
<b>Denitro1</b>	0,3	0,3	-	0,6
<b>Denitro2</b>	0,41	0,41	-	0,82
		<b>Potenza giornaliera media [kW]</b>		<b>2,47</b>

Tabella 4.6 –Potenze stimate dal fornitore soluzione 1, impianto A

Soluzione 2	Potenza assorbita da scheda tecnica [kW]			Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	Mixer 3	
Equalizzatore	1,87	1,87	1,87	5,61
Denitro1	1,87	-	-	1,87
Denitro2	3,64	-	-	3,64
		Potenza giornaliera media [kW]		11,12

Tabella 4.7 –Potenze da schede tecniche soluzione 2, impianto A

Nel caso ante intervento dell'impianto A si ha, come visto al paragrafo precedente, un funzionamento dei mixer continuo per 24 al giorno per cui si ipotizza che anche le nuove macchine manterranno lo stesso regime. Si ottiene in questo modo un risparmio di energia, per le due soluzioni,  $E_{r,1}$  e  $E_{r,2}$ :

$$E_{r,1} = P_{pre,A} \cdot 24 - P_{post,A1} \cdot 24 = 24 \cdot (16,12 - 2,47) = 327,6 \text{ kWh/d}$$

$$E_{r,2} = P_{pre,A} \cdot 24 - P_{post,A2} \cdot 24 = 24 \cdot (16,12 - 11,12) = 120 \text{ kWh/d}$$

Supponendo un funzionamento dell'impianto per 365 giorni all'anno, l'energia complessivamente risparmiata è:

$$E_{R,1} = E_{r,1} \cdot 365 = 119574 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} = 119,6 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}}$$

$$E_{R,2} = E_{r,2} \cdot 365 = 43800 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} = 43,8 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}}$$

Per il calcolo dell'energia risparmiata ai fini del rilascio di Certificati Bianchi, l'algoritmo che può essere proposto in sede di presentazione del progetto al GSE è:

$$RISP = P_{pre} \cdot h_{post} - E_{post} \text{ kWh}$$

Dove:

- $P_{pre}$  è la potenza di baseline ante intervento calcolata da monitoraggio giornaliero, come da normativa
- $h_{post}$  è il numero di ore di funzionamento dei mixer post intervento, misurate direttamente
- $E_{post}$  è l'energia assorbita dai mixer, misurata direttamente

L'Autorità per l'energia elettrica e il gas – ARERA – con la delibera EEN 3/08 del 20 marzo 2008 ha fissato il valore del fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria pari a  $f_e = 0,187 \cdot 10^{-3} \text{ tep/kWh}_e$  (ossia  $0,187 \text{ tep/MWh}_e$ ) ai fini del rilascio di Titoli di Efficienza Energetica. [3]

In altri termini significa aver fissato il rendimento del sistema nazionale di produzione e distribuzione dell'energia elettrica al valore di circa il 46% (se per 1 tep di energia primaria, che equivale a 11628 kWh, vengono messi a disposizione dell'utente  $1/(0,187 \times 10^{-3}) = 5348$  kWh, significa che il rendimento di trasformazione è pari  $5348/11628 = 0,46 = 46\%$ ).

Prendendo quindi a riferimento il valore di  $0,187 \text{ tep/MWh}$  si è stimato il risparmio di energia primaria conseguito annualmente come:

$$E_{tep,1} = E_{R,1} \cdot f_e = 119,6 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}} \cdot 0,187 \frac{\text{tep}}{\text{MWh}} = 22,36 \frac{\text{tep}}{\text{anno}}$$

$$E_{tep,2} = E_{R,2} \cdot f_e = 43,8 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}} \cdot 0,187 \frac{\text{tep}}{\text{MWh}} = 8,19 \frac{\text{tep}}{\text{anno}}$$

Dato che, come stabilito da normativa, per ogni tep di risparmio conseguito grazie alla realizzazione di un intervento di efficienza energetica viene riconosciuto dal GSE un Certificato per un periodo pari alla Vita Utile indicata nel DM 11/01/2017 e s.m.i., si può stimare il numero di TEE a cui si può accedere per ogni anno:

$$CB_1 = E_{tep,1} = 22,36 \frac{\text{tep}}{\text{anno}} \cong 22 \frac{\text{TEE}}{\text{anno}}$$

$$CB_2 = E_{tep,2} = 8,19 \frac{\text{tep}}{\text{anno}} \cong 8 \frac{\text{TEE}}{\text{anno}}$$

Si nota come la soluzione 1 sia più efficiente e permetta un risparmio annuale pari quasi a tre volte quello ottenibile tramite soluzione 2 in virtù del fatto che i mixer considerati nella soluzione 1 hanno classe di efficienza migliore (IE4) rispetto a quelli proposti nella soluzione 2 (IE3).

## IMPIANTO B

Analogamente, si può fare una stima del risparmio di energia assorbita giornalmente  $E_r$  calcolando la differenza tra la potenza media pre-intervento  $\bar{P}_{pre}$  per il numero di ore di funzionamento post-intervento  $h_{post}$  (ipotizzate), meno la potenza media post-intervento  $\bar{P}_{post}$

(da valutazioni sui dati forniti dai costruttori) per il numero di ore post-intervento  $h_{post}$  (ipotizzate).

In questo caso, dato che il numero di ore di funzionamento dei mixer è diverso in base alla macchina che si prende in considerazione, il risparmio di energia assorbita è stata calcolata come sommatoria dei risparmi degli  $n$  mixer. Si ottiene quindi una formula di questo tipo:

$$E_r = \sum_{i=1}^n (\bar{P}_{pre} \cdot h_{post} - \bar{P}_{post} \cdot h_{post})_i \text{ kWh/d}$$

La potenza media giornaliera ante intervento  $\bar{P}_{pre}$  è data dalla potenza media giornaliera di ciascun mixer ricavata nel paragrafo precedente come baseline di riferimento, al netto delle anomalie:

$$\bar{P}_{pre,E1} = 4,9 \text{ kW}$$

$$\bar{P}_{pre,E2} = 4,44 \text{ kW}$$

$$\bar{P}_{pre,D1+D2} = 13,55 \text{ kW}$$

Per la potenza media giornaliera post intervento si sono distinte le due soluzioni  $\bar{P}_{post,B1}$  e  $\bar{P}_{post,B2}$  e, in base alla soluzione considerata, si è fatta la sommatoria delle potenze dei nuovi mixer. Si noti che le potenze per la soluzione 1 sono state stimate dal fornitore in funzione delle caratteristiche delle vasche esistenti, mentre per la soluzione 2 sono derivate da schede tecniche. Si riportano nelle tabelle seguenti i valori ricavati.

	Potenza misurata [kW]		Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	
<b>Equalizzatore</b>	1,072	1,072	3,44
<b>Denitro1</b>	0,49	-	0,49
<b>Denitro2</b>	0,79	0,79	1,58
	<b>Potenza giornaliera media totale [kW]</b>		<b>5,51</b>

Tabella 4.8 – Potenze stimate dal fornitore soluzione 1, impianto B

	Potenza misurata [kW]		Potenza assorbita totale [kW]
	Mixer 1	Mixer 2	
<b>Equalizzatore</b>	2,397	2,397	4,79
<b>Denitro1</b>	1,35	-	1,35
<b>Denitro2</b>	3,64	3,64	7,28
	<b>Potenza giornaliera media totale [kW]</b>		<b>13,42</b>

Tabella 4.9 – Potenze da schede tecniche soluzione 2, impianto B

Si procede ora al calcolo del risparmio dei mixer, considerando come numero di ore di funzionamento giornaliero una media delle ore di lavoro di ciascuna macchina nei giorni di misura (escludendo i giorni di stop). Quindi, per il mixer 1 dell'equalizzatore, che nel primo periodo di monitoraggio è spento in quanto guasto, si ha un numero di ore di lavoro totali pari a 472,4 distribuite su 23 giorni e si ottiene:

$$h_{E1} = \frac{472,4}{23} = 20,5 \text{ ore/giorno}$$

Analogamente per il mixer 2 dell'equalizzatore, che durante il periodo campionamento viene monitorato per 66 giorni lavorando un totale di 1089,3 ore, si ottiene:

$$h_{E2} = \frac{1089,3}{66} = 16,5 \text{ ore/giorno}$$

I tre mixer installati delle due vasche di denitro hanno funzionamento continuo e costante per 24 ore al giorno per cui si ipotizza che anche le nuove macchine manterranno lo stesso regime:

$$h_{D1+D2} = 24 \text{ ore/giorno}$$

Si stima un risparmio di energia giornaliero, per le due soluzioni proposte  $E_{r,1}$  e  $E_{r,2}$ , pari a:

$$\begin{aligned}
 E_{r,1} &= \sum_{i=1}^5 (\bar{P}_{pre} \cdot h_{post} - \bar{P}_{post,B1} \cdot h_{post})_i = \\
 &= (\bar{P}_{pre,E1} - \bar{P}_{post,E1}) \cdot h_{E1} + (\bar{P}_{pre,E2} - \bar{P}_{post,E2}) \cdot h_{E2} + (\bar{P}_{pre,D1+D2} - \bar{P}_{post,D1+D2}) \cdot h_{D1+D2} \\
 &= (4,9 - 1,072) \cdot 20,5 + (4,44 - 1,072) \cdot 16,5 + (13,55 - 2,07) \cdot 24 = 409,6 \text{ kWh/d}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{r,2} &= \sum_{i=1}^5 (\bar{P}_{pre} \cdot h_{post} - \bar{P}_{post,B2} \cdot h_{post})_i = \\
 &= (\bar{P}_{pre,E1} - \bar{P}_{post,E1}) \cdot h_{E1} + (\bar{P}_{pre,E2} - \bar{P}_{post,E2}) \cdot h_{E2} + (\bar{P}_{pre,D1+D2} - \bar{P}_{post,D1+D2}) \cdot h_{D1+D2} \\
 &= (4,9 - 2,397) \cdot 20,5 + (4,44 - 2,397) \cdot 16,5 + (13,55 - 8,63) \cdot 24 = 203,1 \text{ kWh/d}
 \end{aligned}$$

Supponendo un funzionamento dell'impianto per 365 giorni all'anno, l'energia complessivamente risparmiata è:

$$\begin{aligned}
 E_{R,1} &= E_{r,1} \cdot 365 = 149'504 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} = 149,5 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}} \\
 E_{R,2} &= E_{r,2} \cdot 365 = 74'131,5 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} = 74,1 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}}
 \end{aligned}$$

Per il calcolo dell'energia risparmiata ai fini del rilascio di Certificati Bianchi, l'algoritmo che può essere proposto in sede di presentazione del progetto al GSE è:

$$RISP = \sum_{i=1}^n (\bar{P}_{pre} \cdot h_{post} - E_{post})_i \text{ kWh}$$

Dove:

- $P_{pre}$  è la potenza di baseline ante intervento calcolata da monitoraggio giornaliero, come previsto da normativa;
- $h_{post}$  è il numero di ore di funzionamento dei mixer post intervento, misurate direttamente;
- $E_{post}$  è l'energia assorbita dai mixer, misurata direttamente.

Prendendo a riferimento il valore di  $f_e = 0,187 \cdot 10^{-3} \text{ tep/kWh}_e$  (ossia  $0,187 \text{ tep/MWh}_e$ ) per la conversione dell'energia elettrica in energia primaria ai fini del rilascio di Titoli di Efficienza Energetica, come stabilito da ARERA con la delibera EEN 3/08 [30], si può stimare il risparmio di energia primaria conseguito annualmente:

$$\begin{aligned}
 E_{tep,1} &= E_{R,1} \cdot f_e = 149,5 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}} \cdot 0,187 \frac{\text{tep}}{\text{MWh}} = 27,96 \frac{\text{tep}}{\text{anno}} \\
 E_{tep,2} &= E_{R,2} \cdot f_e = 74,1 \frac{\text{MWh}}{\text{anno}} \cdot 0,187 \frac{\text{tep}}{\text{MWh}} = 13,86 \frac{\text{tep}}{\text{anno}}
 \end{aligned}$$



Dato che, come stabilito da normativa, per ogni tep di risparmio conseguito grazie alla realizzazione di un intervento di efficienza energetica viene riconosciuto dal GSE un Certificato per un periodo pari alla Vita Utile indicata nel DM 11/01/2017 e s.m.i., si può stimare il numero di TEE a cui si può accedere per ogni anno:

$$CB_1 = E_{tep,1} = 27,96 \frac{tep}{anno} \cong 28 \frac{TEE}{anno}$$

$$CB_2 = E_{tep,2} = 13,86 \frac{tep}{anno} \cong 14 \frac{TEE}{anno}$$

Si nota come la soluzione 1 sia più efficiente e permetta un risparmio annuale doppio rispetto a quello ottenibile tramite soluzione 2 in virtù del fatto che i mixer considerati nella soluzione 1 hanno classe di efficienza migliore (IE4) rispetto a quelli proposti nella soluzione 2 (IE3).

#### 4.4 Valutazione dell'investimento

Il problema della scelta degli investimenti è complesso, trattandosi di operare una decisione che comporta esborsi ravvicinati (concentrati e/o distribuiti nel tempo) a fronte di ricavi, o minori costi, differiti nel tempo. Occorre un criterio che permetta di scegliere tra alternative diverse. In questo caso si è deciso di fare un'analisi che prescindesse dagli incentivi per poter valutare gli interventi sui due diversi piani energetico ed economico e per confrontare in modo diretto la bontà delle due soluzioni proposte.

I costi dell'investimento iniziale per l'acquisto dei nuovi mixer sono stati resi disponibili dal fornitore a seguito di trattativa (29/08/18) e vengono riportati nella tabella 4.10 seguente.

I <sub>0</sub>	Impianto A		Impianto B	
	Soluzione 1	Soluzione 2	Soluzione 1	Soluzione 2
<b>Equalizzatore</b>	23.770,80	9.763,20	15.847,20	12.000,00
<b>Denitro1</b>	15.847,20	3.254,40	15.847,20	6.548,40
<b>Denitro2</b>	15.847,20	2.800,00	15.847,20	4.150,00
<b>Totale [€]</b>	55.465,20	15.817,60	47.541,60	22.698,40

Tabella 4.10 – Costi di investimento iniziale mixer

Per valutare l'effettiva convenienza connessa all'investimento per la sostituzione dei mixer esistono diversi metodi che possono essere utilizzati in funzione dell'entità dell'investimento, della durata della sua efficacia e del grado di precisione che si vuole ottenere [31]. In questa trattazione si sono presi in esame il Payback (PB o Tempo di Ritorno Semplice), il Valore Attuale Netto (VAN) e il Tasso Interno di Rendimento (TIR). L'indicatore di riferimento, nel caso di interventi di efficienza energetica, è il VAN, che permette di attualizzare esborsi e ricavi e fare un confronto mirato tra diverse opzioni di investimento.

#### 4.4.1 Payback (PB)

Il Payback (PB) corrisponde al tempo di ritorno dell'investimento e rappresenta il numero di anni necessari affinché il flusso di cassa negativo, associato all'investimento iniziale per l'acquisto dei mixer, sia compensato dai flussi di cassa positivi, ovvero dai risparmi conseguibili mediante le macchine stesse. Se ne deduce che minore è il PB e più vantaggioso è l'investimento. Il PB si calcola come [31]:

$$PB = \frac{Spesa_{tot}}{E_R \cdot c_{ee}} \quad \text{anni}$$

Dove:

- $PB$  : tempo di ritorno semplice dell'investimento [anni];
- $Spesa_{tot}$  : investimento iniziale per l'acquisto dei mixer [€];
- $E_R$  : risparmio di energia elettrica annuale [kWh/anno];
- $c_{ee}$  : costo dell'energia elettrica prelevata dalla rete [€/kWh]

Considerando un costo dell'energia elettrica  $c_{ee} = 0,17 \text{ €/kWh}$  come indicato dal gestore del Servizio Idrico Integrato, per i due impianti si sono ricavati i seguenti valori di tempo di ritorno semplice:

PB	Impianto A	Impianto B
<b>Soluzione 1</b>	2,73	1,87
<b>Soluzione 2</b>	2,12	1,80

Tabella 4.11 – Payback degli investimenti

Si nota come, senza considerare l'apporto dato dagli incentivi, i tempi di ritorno tra la soluzione 1 e la soluzione 2 siano comparabili e inferiori ai tre anni per entrambi gli impianti in esame. Per l'impianto B, in particolare, l'investimento si ripaga in meno di due anni.

#### 4.4.2 Valore Attuale Netto (VAN)

Questo indicatore, a differenza del PB, consente di valutare quale sarà il vero valore del denaro nel tempo, attraverso un tasso di sconto che permette di attualizzare i flussi di cassa degli anni futuri all'investimento iniziale al loro valore equivalente oggi.

Il VAN si calcola come somma algebrica dell'investimento iniziale e dei flussi di cassa per gli anni successivi, attualizzati al tasso di sconto. [31]

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+k)^i} \quad \text{€}$$

Dove:

- $VAN$  : Valore Attuale Netto [€];
- $I_0$  : investimento iniziale [€];
- $(E_R \cdot c_{ee})_i$  : flusso di cassa che corrisponde al risparmio di energia elettrica conseguito per il costo dell'energia, all'anno  $i$  [€];
- $k$  : tasso di attualizzazione, che tiene conto dei rischi associati all'investimento e dell'inflazione del denaro nel tempo [%];
- $i$  : numero di anni progressivi da 1 a  $n$ ;
- $n$  : durata attesa di vita dell'intervento, in [anni].

Per il calcolo del VAN per le diverse soluzioni si è considerato un arco temporale di  $n = 10$  anni, durante i quali si ipotizza un risparmio energetico costante e pari a  $E_R$  calcolato in precedenza, un costo dell'energia  $c_{ee} = 0,17$  €/kWh come indicato dal gestore del Servizio Idrico Integrato e un tasso di attualizzazione pari a  $k = 4$  % come costo opportunità del capitale. Si è ottenuto così un Valore Attuale Netto, per ciascun investimento:

VAN	Impianto A	Impianto B
<b>Soluzione 1</b>	109.409,68	158.602,33
<b>Soluzione 2</b>	44.576,13	79.517,30

Tabella 4.12 – Valore Attuale Netto degli investimenti

Si nota una marcata differenza tra le due soluzioni, a vantaggio della proposta numero 1 che genera un Valore Attuale Netto più che doppio rispetto alla proposta 2.

#### 4.4.3 Tasso Interno di Rendimento (TIR)

Il Tasso Interno di Rendimento è il tasso di attualizzazione che eguaglia i flussi di cassa attualizzati in ingresso ed in uscita, rendendo quindi nullo il valore del VAN.

Sostituendo il valore VAN=0 nell'equazione precedente, si ottiene la definizione di TIR [31]:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1 + TIR)^i}$$

Il TIR misura la redditività di un progetto e rappresenta il rendimento effettivo dell'investimento. Il criterio del TIR stabilisce che il rendimento di un progetto deve essere superiore al ritorno offerto da progetti alternativi, aventi lo stesso profilo di rischio, cioè lo stesso tasso di attualizzazione. Per questo in generale un progetto di investimento crea valore quando il suo TIR è maggiore del tasso di attualizzazione  $k$ , scelto per il calcolo del VAN. In particolare, il Tasso Interno di Rendimento degli investimenti in esame risulta:

TIR	Impianto A	Impianto B
<b>Soluzione 1</b>	35%	53%
<b>Soluzione 2</b>	46%	55%

Tabella 4.13 –Tasso Interno di Rendimento degli investimenti

La soluzione 2 genera un TIR superiore rispetto alla soluzione 1.

Dall'analisi dei tre indicatori proposti si ricavano informazioni diverse circa la bontà delle due proposte di investimento. Appurato che il Payback non individua una soluzione nettamente migliore rispetto all'altra dato che, in entrambi i casi, si ha un tempo di ritorno accettabile (inferiore ai tre anni); dall'analisi del VAN e del TIR emergono risultati che, a prima vista, sembrano discordanti.

Il Valore Attuale Netto generato dalla soluzione 1, infatti, è molto più elevato rispetto a quello della soluzione 2 ma quest'ultima presenta un Tasso Interno di Rendimento maggiore di qualche punto percentuale. Questo è dovuto al fatto che le due soluzioni presentano costi d'investimento iniziale molto diversi.

Per spiegare questa differenza si prende in esame l'Indice di Profitto (IP), indicatore che si ottiene suddividendo il Valore Attuale Netto per il costo d'investimento  $I_0$  e fornisce un'indicazione del Valore generato per 1€ investito:

VAN/ $I_0$	Impianto A	Impianto B
<b>Soluzione 1</b>	1,97	3,34
<b>Soluzione 2</b>	2,82	3,50

Tabella 4.14 – Indice di Profitto degli investimenti

Entrambe le soluzioni proposte sono buone e danno vantaggi economici sostenibili anche senza la presenza di incentivi; in particolare, dall'analisi puramente economica degli investimenti proposti si ricava che la soluzione 2 ha un Indice di Profitto maggiore rispetto alla soluzione 1.

In questo caso, l'indicatore economico principe è il VAN dal momento che si mettono a confronto due investimenti alternativi che hanno vita tecnica stimata uguale (10 anni) e che non richiedono considerazione speculative particolari, le quali si rifanno tipicamente agli indici TIR e IP. Nella scelta dell'investimento, inoltre, si deve tener conto anche del numero di Certificati Bianchi che si possono ottenere e che, per gli impianti in esame, si è visto essere molto maggiore per la soluzione 1.

In un'ottica di efficienza energetica, la soluzione migliore risulta essere la numero 1, che presenta risparmi maggiori sia in termini energetici sia economici.



# Capitolo 5

## Sostituzione dei compressori d'aria in impianto di depurazione

Si analizza in questo capitolo l'impatto in termini di risparmio energetico ed economico dato dalla sostituzione di compressori classici con turbosoffianti per l'insufflaggio dell'aria all'interno delle vasche di ossidazione.

### 5.1 L'intervento

Il trattamento delle acque reflue è un processo di rimozione dei contaminanti costituito da una combinazione di più processi di natura chimica, fisica e biologica. Tra questi il più importante è il trattamento ossidativo biologico e consiste nella biodegradazione da parte di microorganismi di tutte le sostanze organiche presenti nell'acqua da depurare, fino a trasformarle in sostanze più semplici ed innocue dal punto di vista ambientale. Questo trattamento non è altro che un'estensione dell'autodepurazione che ha luogo spontaneamente nei corsi d'acqua [32] operata, nel caso dell'impianto di trattamento, in un ambiente in cui si mantengono artificialmente determinate condizioni ottimali allo scopo di concentrare e accelerare il processo in atto.

Per l'ossidazione biologica si possono utilizzare più tecniche, tra cui le più tradizionali sono:

- impianti a letti percolatori (o a filtri percolatori);
- impianti a fanghi attivati (o fanghi biologici).

Gli impianti a fanghi attivi sono di gran lunga i più usati e risultano più efficaci (abbattimento del BOD\* > 90%) rispetto agli impianti a letto percolatore.

La fase ossidativa è la fase fondamentale della depurazione a fanghi attivi e prevede un'abbondante aerazione perché i batteri presenti nel refluo stesso hanno bisogno di ossigeno per degradare la sostanza organica biodegradabile e più è alto il carico organico e maggiore sarà la richiesta di ossigeno. In figura 5.1 si riporta lo schema di massima della fase ossidativa.

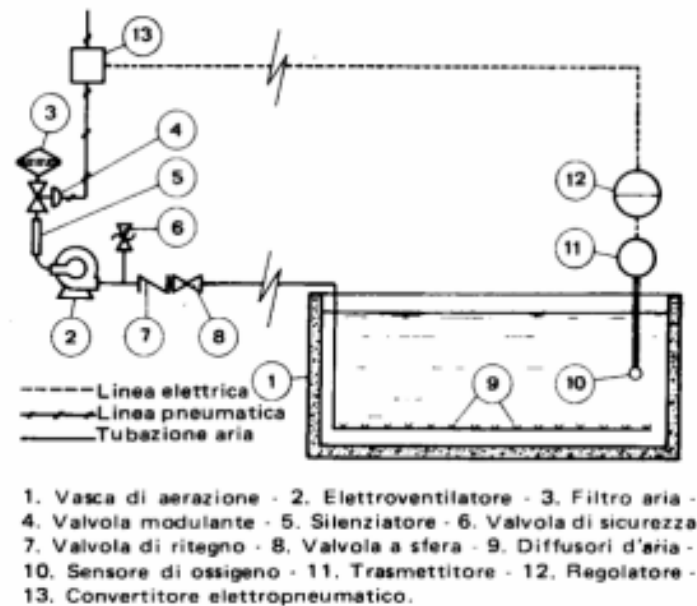


Figura 5.1 – Schema di fase ossidativa

Si deve tener conto anche del fatto che la turbolenza interna del refluo dovuta all'ossigenazione della vasca non deve superare un certo livello per evitare la distruzione dei fiocchi di fango e la conseguente morte dei microrganismi che lo abitano. In pratica, bisogna cercare il più possibile di ossigenare la vasca cercando però, allo stesso tempo, di non distruggere i fiocchi di fango e i microrganismi presenti al loro interno. Per assicurare il buon funzionamento del processo, nella vasca di ossidazione si devono avere e mantenere i seguenti parametri: pH abbastanza neutro tra 6 e 8, una concentrazione di  $O_2$  disciolto maggiore di 2 mg/l e temperature comprese tra 25 °C e 32 °C, evitando di farle scendere troppo durante l'inverno. [34]

L'aerazione del liquame può essere effettuata mediante:

- aerazione meccanica;
- insufflaggio d'aria;
- insufflaggio di ossigeno.

La generazione dell'aria, utilizzata per l'ossidazione dei carichi inquinanti, avviene tramite l'utilizzo di compressori. Tali sistemi rappresentano generalmente il maggiore assorbimento di un impianto di depurazione. Le pressioni di esercizio variano in base alle applicazioni, ma le richieste sono solitamente inferiori a 0,3 MPa.

Le principali tipologie di compressori installate ad oggi sono quelle a lobi, a vite o centrifughi. La scelta della tipologia varia in funzione della quantità di aria richiesta e dalla pressione di



impianto. Infatti, per portate basse e livelli di pressione richiesti vicini a 3 bar sono utilizzati compressori a vite, mentre nel caso di basse pressioni, intorno ad 1 bar, ed alte portate si utilizzano i compressori centrifughi [20].

In caso siano richieste grandi portate e basse pressioni è possibile sostituire i vecchi compressori e installare delle soffianti che, rispetto ai compressori, sono in grado di conferire pressioni di mandata minori (comprese tra 0,5 e 3 bar effettivi) [28] e presentano rendimenti molto maggiori.

Si illustra ora il procedimento per il calcolo dei risparmi energetici connessi alla sostituzione dei generatori di aria compressa. Si è preso come esempio un impianto di depurazione che, per questioni di accordi di riservatezza, viene indicato come Impianto C. Nell'impianto in esame sono installati 3 compressori a lobi (sotto inverter) da 45 kW ciascuno, di cui uno di scorta.

## 5.2 La baseline di riferimento

Per il calcolo della baseline di riferimento le normative prevedono un periodo di monitoraggio dei consumi ante intervento pari ad almeno 12 mesi, con misurazioni giornaliere. In determinati casi è possibile però sottoporre al GSE progetti che presentino un periodo di monitoraggio inferiore, dimostrando che questo è sufficiente e rappresentativo dei consumi effettivi.

Nel caso di interventi nella sezione di trattamento ossidativo biologico, l'indicatore utilizzato per confrontare le condizioni ante e post intervento è la *SAE* : *Standard Aeration Efficiency*, cioè l'efficienza di aerazione in condizioni reali [ $\text{kgO}_2/\text{kWh}$ ], pari al rapporto tra i  $\text{kgO}_2$  forniti e l'energia elettrica consumata dal sistema di produzione dell'aria compressa.

La definizione della baseline di interventi di sostituzione dei compressori richiede quindi:

- Misure di portata di ossigeno elaborata giornalmente dai compressori [ $\text{kgO}_2$ ]
- Misure del consumo energetico giornaliero dei compressori [ $\text{kWh}$ ]

Si richiede perciò al gestore di installare, in corrispondenza dei compressori, dei misuratori di portata d'aria [ $\text{Sm}^3$ ], tipicamente a filo caldo, da cui si ricava l'apporto di ossigeno (moltiplicando per  $0,285 \text{ kgO}_2/\text{Sm}^3_{\text{aria}}$ ) [20] e dei contatori di energia trifase con monitoraggio giornaliero.

Nel nostro caso i dati messi a disposizione dal soggetto fornitore del Servizio Idrico Integrato riguardano esclusivamente gli assorbimenti elettrici totali all'anno 2015 dell'Impianto C. Non si hanno a disposizione misure dirette della portata di ossigeno, per cui si è ipotizzato di operare una sostituzione che preveda l'installazione di soffianti in grado di elaborare la stessa identica portata d'aria dei compressori attualmente presenti in impianto, in modo da poter fare un confronto a parità di  $\text{kgO}_2$ . In tabella 5.1 si riporta l'inventario elettrico con il dettaglio delle utenze considerate.

	PR/SA/SG		potenza di targa	potenza nominale	elementi installati	fattore di carico	potenza assorbita	ore di lavoro	energia assorbita	percentuale sul totale
UTILIZZATORI	USO	REPARTO	[kW]	[kW]	unità	%	[kW]	[ore/anno]	[kWh/anno]	%
POMPA AUTOCLAVE (1+1 scorta)	PR	POZZO	7,50	-	2	33%	4,88	8.760	42.705	2,22%
AUTOCAMPIONATORE AUTOMATICO	SG	INGRESSO RETE FOGNA	1,35	-	1	70%	0,95	8.760	8.278	0,43%
ELETTROP. 1 (LINEA 1)	PR	SOLLEVAMENTO	5,90	-	1	70%	4,13	8.760	36.179	1,88%
ELETTROP. 2-3 (LINEA 1)	PR	SOLLEVAMENTO	9,00	-	2	70%	12,60	8.760	110.376	5,75%
ELETTROP. 1-2 (LINEA 2) (1+1 scorta)	PR	SOLLEVAMENTO	22,00	-	2	35%	15,40	8.760	134.904	7,02%
ELETTROP. 3-4 (LINEA 2) (1+1 scorta)	PR	SOLLEVAMENTO	22,00	-	2	35%	15,40	1.500	23.100	1,20%
ELETTROP. BYPASS 4-5 (1+1 scorta)	PR	SOLLEVAMENTO	38,90	-	2	35%	27,23	1.500	40.845	2,13%
MOT. COMPRESS. PARATOIA BYPASS	SA	SOLLEVAMENTO	1,10	-	1	70%	0,77	365	281	0,01%
MOTORE PARATOIA BYPASS	PR	SOLLEVAMENTO	1,54	-	1	70%	1,08	365	393	0,02%
CENTRALINA SONDE	SG	SOLLEVAMENTO	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
PARANCO	SG	SOLLEVAMENTO	1,30	-	1	70%	0,91	365	332	0,02%
MOTORE GRIGLIA ROTANTE (LINEA 1)	PR	GRIGLIATURA	2,50	-	1	70%	1,75	1.500	2.625	0,14%
MOTORE GRIGLIA ROTANTE (LINEA 2)	PR	GRIGLIATURA	0,55	-	1	70%	0,39	1.500	578	0,03%
MOTORE GRIGLIA FINE (LINEA 1)	PR	GRIGLIATURA	0,37	-	1	70%	0,26	8.760	2.269	0,12%
MOT. NASTRO TRASPORT. (LINEA 1)	PR	GRIGLIATURA	0,75	-	1	70%	0,53	365	192	0,01%
MOTORE COMPATTATORE (LINEA 1)	PR	GRIGLIATURA	0,75	-	1	70%	0,53	365	192	0,01%
COMPRESS. APERTURA PARATOIA	SA	GRIGLIATURA	1,50	-	1	70%	1,05	365	383	0,02%
MOT. PARAT. BYPASS GRIGLIA LINEA 2	PR	GRIGLIATURA	0,55	-	1	70%	0,39	100	39	0,00%
MOTORE GRIGLIA FINE (LINEA 2)	PR	GRIGLIATURA	0,60	-	1	70%	0,42	8.760	3.679	0,19%
MOT. NASTRO TRASPORT. (LINEA 2)	PR	GRIGLIATURA	0,37	-	1	70%	0,26	365	95	0,00%
MOTORE COMPATTATORE (LINEA 2)	PR	GRIGLIATURA	0,75	-	1	70%	0,53	365	192	0,01%
MOTORE DISSABBIATORE	PR	DISSABBIATURA	1,10	-	1	70%	0,77	2.920	2.248	0,12%
MOT. CLASSIFICAT. SABBIE (LINEA 1)	PR	DISSABBIATURA	0,25	-	1	70%	0,18	2.920	511	0,03%
ELETTROPOMPA SABBIA	PR	DISSABBIATURA	2,51	-	1	70%	1,76	365	641	0,03%
COCLEA CLASSIF. SABBIE (LINEA 1-2)	PR	DISSABBIATURA	0,75	-	2	70%	1,05	365	383	0,02%
MOTORE CALSIFIC. SABBIE (LINEA 2)	PR	DISSABBIATURA	0,75	-	1	70%	0,53	2.920	1.533	0,08%
COMPRESSORE 1 (LINEA 1)	SA	DISOLEATURA	15,00	-	1	70%	10,50	8.760	91.980	4,79%
COMPRESSORE 2 (LINEA 1) scorta	SA	DISOLEATURA	7,50	-	1	70%	5,25	0	0	0,00%
MISURA PORTATA AD ULTRASUONI	SG	DISOLEATURA	0,075	-	2	70%	0,11	8.760	920	0,05%
MOTORE CARROPONTE 1 - trazione	PR	DISOLEATURA	1,50	-	1	70%	1,05	8.760	9.198	0,48%
MOT. CAR. 1 - rasch. sup. (LINEA 1)	PR	DISOLEATURA	2,20	-	1	70%	1,54	365	562	0,03%
COMPR. 1-2 (1+1 scorta) (LINEA 2)	SA	DISOLEATURA	15,00	-	2	35%	10,50	8.760	91.980	4,79%
MOT. CAR. 1 - rasch. sup. (LINEA 2)	PR	DISOLEATURA	0,25	-	1	70%	0,18	8.760	1.533	0,08%
POMPE 1-2-3 (2+1 scorta)	PR	SOL. ACQUE SURNATANTI	9,00	-	3	47%	12,69	8.760	111.164	5,79%
ELETTROMISCELATORE 1-2-3	SA	DENITRIFICAZIONE	2,40	-	3	70%	5,04	8.760	44.150	2,30%
ELETTROMISCELATORE 4-5-6	SA	DENITRIFICAZIONE	5,15	-	3	70%	10,82	8.760	94.739	4,93%
ELETTROPOMPA TORBIDA 1-2	PR	OSSIDAZ. (1° STADIO)	8,80	-	2	70%	12,32	365	4.497	0,23%
COMPRESSORE 1-2-3 (2+1 scorta)	SA	OSSIDAZ. (1° STADIO)	45,00	-	3	43%	58,05	8.760	508.518	26,47%
CENTRALINA RILEVAZIONE DATI	SG	OSSIDAZ. (1° STADIO)	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
QUADRO CENTRALINA A SONDE	SG	OSSIDAZ. (1° STADIO)	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
P. DOSAGGIO DEFOSFATANTE	SA	OSSIDAZ. (1° STADIO)	0,042	-	1	70%	0,03	8.760	258	0,01%
MOTORE AERATORE 1-2	SA	OSSIDAZ. (2° STADIO)	15,00	-	2	65%	19,50	8.760	170.820	8,89%
MOTORE CARROPONTE 1	PR	SEDIMENT. SECONDARIA	0,75	-	1	70%	0,53	8.760	4.599	0,24%
MOT. CARROP. 2-3-4 (2+1 scorta)	PR	SEDIMENT. SECONDARIA	0,25	-	3	47%	0,35	8.760	3.088	0,16%
MISURA PORTATA MAGNETICO	SG	RICIRCOLO	0,08	-	1	70%	0,06	8.760	491	0,03%
PARANCO	SG	RICIRCOLO	1,00	-	1	70%	0,70	365	256	0,01%
ELETTROPOMPA 1	PR	RICIRCOLO	8,80	-	1	70%	6,16	8.760	53.962	2,81%
ELETTROPOMPA 2 (scorta)	PR	RICIRCOLO	10,50	-	1	70%	7,35	0	0	0,00%
VAL. MOTORIZZATA RICIRCOLO 1 e 2	PR	RICIRCOLO	0,68	-	1	70%	0,48	365	174	0,01%
ELETTROPOMPA 3	PR	RICIRCOLO	8,80	-	1	70%	6,16	8.760	53.962	2,81%
ELETTROPOMPA 4 (scorta)	PR	RICIRCOLO	7,50	-	1	70%	5,25	0	0	0,00%
VALV. MOTORIZZATA RICIRCOLO 3 e 4	PR	RICIRCOLO	0,03	-	1	70%	0,02	365	8	0,00%
VALV. MOTORIZ. SUPERO - DIGEST.	PR	RICIRCOLO	0,03	-	1	70%	0,02	365	8	0,00%
TRASM. ULTRASUONI LIV. SERBATOI	SG	DISINFEZIONE	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
POMPA DOSATRICE MAGNETICA	SA	DISINFEZIONE	0,073	-	1	70%	0,05	8.760	448	0,02%
POMPA DI SENTINA	SA	DISINFEZIONE	0,25	-	1	70%	0,18	8.760	1.533	0,08%
QUADRO DOSAG. ACIDO PARACETICO	SG	DISINFEZIONE	0,50	-	1	70%	0,35	8.760	3.066	0,16%
MISURA PORTATA MAGNETICO	SG	DISINFEZIONE	0,08	-	1	70%	0,06	8.760	491	0,03%

CENTRALINA RILEVAZIONE DATI	SG	DISINFEZIONE	0,08	-	1	70%	0,06	8.760	491	0,03%
QUADRETTO CENTRALINA	SG	DISINFEZIONE	0,50	-	1	70%	0,35	8.760	3.066	0,16%
AUTOCAMPIONATORE AUTOMATICO	SG	DISINFEZIONE	1,35	-	1	70%	0,95	8.760	8.278	0,43%
MOT. CARROP. ISPESSITORE. VECCHIO	PR	ISPESSIMENTO	0,25	-	1	70%	0,18	8.760	1.533	0,08%
MOT. CARROP. ISPESSITORE. NUOVO	PR	ISPESSIMENTO	0,37	-	1	70%	0,26	8.760	2.269	0,12%
ELETTROP. CARIC. FANGHI ISP. VEC.	PR	DIGESTIONE FANGHI	2,00	-	1	70%	1,40	730	1.022	0,05%
ELETTROP. CARIC. FANGHI ISP. NUO.	PR	DIGESTIONE FANGHI	1,90	-	1	70%	1,33	730	971	0,05%
MOTORE AERATORE 1-2	PR	DIGESTIONE FANGHI	3,00	-	2	70%	4,20	8.760	36.792	1,92%
VALV. MOTOR. IN INGRESSO GRIGLIA	PR	TRATTAMENTO BOTTINI	0,12	-	1	70%	0,08	2.190	184	0,01%
GRIGLIA FINE 1	SG	TRATTAMENTO BOTTINI	1,10	-	1	70%	0,77	8.760	6.745	0,35%
MOTORE GRIGLIA FINE 1	PR	TRATTAMENTO BOTTINI	1,00	-	1	70%	0,70	2.190	1.533	0,08%
QUADRO COMANDO GRIGLIA FINE 1	SG	TRATTAMENTO BOTTINI	1,50	-	1	70%	1,05	8.760	9.198	0,48%
ELETTROP. CARIC. BOTTINI DENITRO	PR	TRATTAMENTO BOTTINI	2,00	-	1	70%	1,40	3.650	5.110	0,27%
MOTORE AGITATORE 1-2	SA	TRATTAMENTO BOTTINI	3,00	-	2	70%	4,20	8.760	36.792	1,92%
CENTRALINA SONDE	SG	TRATTAMENTO BOTTINI	0,75	-	1	70%	0,53	8.760	4.599	0,24%
MOT. NASTROPR. PER PRESSIONE TELI	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	1,50	-	1	70%	1,05	2.920	3.066	0,16%
NASTROTRASPORTATORE 1-2	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	2,20	-	2	70%	3,08	2.920	8.994	0,47%
COCLEA ORIZZONTALE	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	2,20	-	1	70%	1,54	2.920	4.497	0,23%
COCLEA ELEVATRICE	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	3,00	-	1	70%	2,10	2.920	6.132	0,32%
COMPRESSORE ARIA	SA	DISIDR. MECC. FANGHI	10,00	-	1	70%	7,00	2.920	20.440	1,06%
MONOPOMPA FANGHI 1-2	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	7,50	-	2	70%	10,50	2.920	30.660	1,60%
ELETTROP. LAV. TELI 1-2 (1+1 scorta)	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	7,50	-	2	70%	10,50	2.920	30.660	1,60%
MOT. MISCELATORI POLI+FANGO	PR	DISIDR. MECC. FANGHI	2,20	-	1	70%	1,54	2.920	4.497	0,23%
POMPA ELETTROLITA 1-2 (1+1 scorta)	SA	DISIDR. MECC. FANGHI	2,20	-	2	35%	1,54	2.920	4.497	0,23%
QUADRO CENTRALINA AUTOMIX	SG	DISIDR. MECC. FANGHI	0,645	-	1	70%	0,45	8.760	3.955	0,21%
POMPA DOSAGGIO POLIELETTROLITA	SA	DISIDR. MECC. FANGHI	0,042	-	1	70%	0,03	2.920	86	0,00%
CENTRALINA DATI TELECONTROLLO	SG	SERVIZI	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
REGISTRATORE DATI TELECONTROLLO	SG	SERVIZI	0,075	-	1	70%	0,05	8.760	460	0,02%
TRASFORMATORE MT-BT (400 kVA)	SG	SERVIZI	2,05	-	1	95%	1,95	8.760	17.060	0,89%
<b>TOTALE</b>			<b>639,31</b>	<b>-</b>		<b>51%</b>	<b>328,00</b>		<b>1.921.239</b>	<b>100%</b>
<b>TOTALE CONSUNTIVO</b>									<b>2.021.179</b>	
<i>niff</i>									<b>00 000</b>	<b>€%</b>

Tabella 5.1 – Inventario elettrico impianto C

Si evidenzia che la compressione dell'aria in fase di ossidazione assorbe il 26,47% dell'energia elettrica totale utilizzata dall'impianto nell'arco dell'anno.

$$E_{comp,2015} = 26\% (E_{TOT}) = 508 \cdot 518 \frac{kWh}{anno}$$

Rappresenta la voce di maggior consumo dell'impianto C.

### 5.3 Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili

Si procede ora con la valutazione di sostituzione dei compressori esistenti con soffianti nuove che presentino rendimenti migliori. In letteratura [34] si trovano valori di rendimento dei compressori a lobi  $\eta_{comp} = 45 \div 65\%$  a confronto con i rendimenti delle turbosoffianti  $\eta_{soff} = 70 \div 80\%$ . Si ha quindi un incremento del rendimento medio pari al 15%.

Si può fare una stima del risparmio di energia elettrica annuale che si avrebbe nell'impianto C a seguito di un intervento di sostituzione dei compressori considerando che l'energia ceduta al fluido resti costante, per cui:

$$E_{comp} \cdot \eta_{comp} = E_{soff} \cdot \eta_{soff}$$

Dove:

- $E_{comp}$  : energia elettrica assorbita dai compressori
- $\eta_{comp}$  : rendimento medio dei compressori
- $E_{soff}$  : energia elettrica assorbita dalle soffianti
- $\eta_{soff}$  : rendimento medio delle soffianti

Non avendo a disposizione i valori reali di rendimento dei compressori installati nell'impianto C, ci si è posti nella condizione più cautelativa ( $\eta_{comp} = 65\%$  e  $\eta_{soff} = 70\%$ ) e, utilizzando i valori di energia elettrica annuale all'anno 2015, si è ottenuto un risparmio di energia  $E_R = E_{comp} - E_{soff}$  :

$$E_R = E_{comp} - \frac{E_{comp} \cdot \eta_{comp}}{\eta_{soff}} = 508 \cdot 518 - \frac{508 \cdot 518 \cdot 0,65}{0,70} = 36 \cdot 323 \text{ kWh/anno}$$

Per la contabilizzazione dei risparmi generabili da interventi nella sezione di trattamento ossidativo biologico, ai fini del rilascio di Certificati Bianchi, le Linee Guida del GSE riportano l'algoritmo del risparmio seguente [4]:

$$RISP = \left( \frac{1}{SAE_{baseline}} - \frac{1}{SAE_{ex\ post}} \right) \cdot kg\ O_2 \cdot f_e \text{ tep}$$

Dove:

- $RISP$  : risparmio di energia primaria [tep]
- $kg\ O_2$  : quantità di ossigeno presente nel volume di aria elaborato dal sistema di produzione dell'aria compressa nella situazione *ex post*; è pari alla quantità di aria (espressa in  $Sm^3$ ) per  $0,285\ kgO_2/Sm^3_{aria}$
- $SAE_{baseline}$  : Standard Aeration Efficiency, efficienza di aerazione in condizioni reali riferita alla soluzione di baseline [ $kgO_2/kWh$ ], pari al rapporto tra i  $kgO_2$  forniti e l'energia elettrica consumata dal sistema di produzione dell'aria compressa

- $SAE_{ex\ post}$  : efficienza di aerazione in condizioni reali riferita alla soluzione ex post, pari al rapporto tra i kgO<sub>2</sub> forniti e l'energia elettrica consumata dal sistema di produzione dell'aria compressa
- $f_e$  : fattore di conversione, pari a 0,000187 tep/kWh in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale.

Dato che, come stabilito da normativa, per ogni tep di risparmio conseguito grazie alla realizzazione di un intervento di efficienza energetica viene riconosciuto dal GSE un Certificato per un periodo pari alla Vita Utile indicata nel DM 11/01/2017 e s.m.i., si può fare una stima approssimativa del numero di TEE a cui si può accedere per ogni anno, nell'ipotesi che ante e post intervento venga elaborata la stessa portata d'aria e che a questa venga fornita la stessa energia media:

$$E_{tep} = E_R \cdot f_e = 36 \cdot 323 \frac{kWh}{anno} \cdot 0,187 \times 10^{-3} \frac{tep}{kWh} = 6,8 \frac{tep}{anno}$$

$$CB = E_{tep} = 6,8 \frac{tep}{anno} \cong 7 \frac{TEE}{anno}$$

Si nota che, anche ponendosi nella condizione più cautelativa in cui si abbia un aumento di rendimento solo del 5%, i risparmi di energia primaria generati dalla sostituzione dei compressori con delle soffianti non sono trascurabili.

Un'ulteriore prova del risparmio ottenibile dalla sostituzione dei compressori a lobi con le turbosoffianti è dato dal confronto del consumo elettrico specifico delle due tipologie di macchine. Il confronto, riportato in tabella 5.2, è stato fatto considerando modelli di macchine in grado di erogare una portata simile [35] [36].

COMPRESSORE A LOBI				TURBOSOFFIANTE				Confronto lpg
P	Q	p	lpg	P	Q	p	lpg	
[kW]	[m <sup>3</sup> /h]	[mbar]	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[kW]	[m <sup>3</sup> /h]	[mbar]	[kWh/m <sup>3</sup> ]	[%]
30	1080	700	<b>0,028</b>	20	900	800	<b>0,022</b>	<b>-20%</b>
55	1950	700	<b>0,028</b>	40	1900	800	<b>0,021</b>	<b>-25%</b>
90	3100	700	<b>0,029</b>	60	2900	800	<b>0,021</b>	<b>-29%</b>

Tabella 5.2 – Confronto tra compressori a lobi e turbosoffianti

Dall'osservazione degli indici di prestazione generale calcolati si nota come la turbosoffiante garantisca delle prestazioni superiori a quelle del compressore a lobi e, inoltre, tale disparità aumenta al crescere della taglia della macchina.

## 5.4 Valutazione dell'investimento

Il problema della scelta degli investimenti è complesso, trattandosi di operare una decisione che comporta esborsi ravvicinati (concentrati e/o distribuiti nel tempo) a fronte di ricavi, o minori costi, differiti nel tempo. Occorre un criterio che permetta di scegliere tra alternative diverse. [31] Si è deciso di fare un'analisi generale (avendo pochi dati a disposizione), che prescindesse dagli incentivi per poter valutare l'intervento sui due diversi piani energetico ed economico.

Considerando un costo dell'energia elettrica  $c_{ee} = 0,17 \text{ €/kWh}$  come indicato dal gestore del Servizio Idrico Integrato, il risparmio di energia elettrica annuale  $E_R$ , che si stima si possa ottenere dalla sostituzione dei generatori di aria compressa, si può tradurre in un mancato costo:

$$C_R = E_R \cdot c_{ee} = 36 \cdot 323 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} \cdot 0,17 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 6 \cdot 174,9 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Nell'ipotesi che il gestore desideri avere un Payback (PB) inferiore ai 3 anni, l'intervento di sostituzione può essere interessante se il costo di investimento  $I_0$  risulta inferiore a:

$$I_0 < C_R \cdot 3 \text{ anni} = 18 \cdot 524,7 \text{ €}$$

Considerando di dover sostituire i due compressori installati, si ottiene un costo limite per le nuove macchine di  $18 \cdot 524,7 \div 2 = 9 \cdot 262,35 \text{ €}$  l'una, valore superiore alla media di mercato.

Per valutare l'effettiva convenienza connessa all'investimento per la sostituzione dei generatori di aria compressa esistono diversi metodi che possono essere utilizzati in funzione dell'entità dell'investimento, della durata della sua efficacia e del grado di precisione che si vuole ottenere [5]. In questa trattazione si sono presi in esame il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso Interno di Rendimento (TIR) e l'Indice di Profittabilità (IP). L'indicatore di riferimento, nel caso di interventi di efficienza energetica, è il VAN, che permette di attualizzare esborsi e ricavi e fare un confronto mirato tra diverse opzioni di investimento.

Assumendo un risparmio energetico  $C_R = E_R \cdot c_{ee}$  costante, una vita utile della macchina di  $n = 10$  anni, un tasso di attualizzazione pari a  $k = 4\%$  come costo opportunità del capitale e un costo di investimento  $I_0 = 18'524,7$  €, si sono ottenuti i seguenti valori degli indicatori economici:

- Valore Attuale Netto:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+k)^i} = 31'559 \text{ €}$$

- Tasso Interno di Rendimento:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+TIR)^i} \rightarrow TIR = 31\%$$

- Indice di Profitto:

$$IP = \frac{VAN}{I_0} = 1,7$$

L'intervento risulta conveniente e sostenibile anche senza la presenza di incentivi, a maggior ragione se si considera che per le stime effettuate ci si è posti in condizioni cautelative, nel caso di minor incremento di rendimento e alto costo di investimento. A questi risultati di natura economica, va aggiunta la possibilità di richiedere Certificati Bianchi per la realizzazione dell'intervento di efficienza energetica, come riconosciuto dal GSE.

La sostituzione di compressori a lobi con turbosoffianti presenta risparmi sia in termini energetici sia economici ed è replicabile in impianti di taglia medio-grande. Negli impianti di piccola taglia tale intervento non è realizzabile in quanto le turbosoffianti in commercio presentano una taglia minima troppo grande per le esigenze di questi impianti.



# Capitolo 6

## Regolazione della produzione di aria compressa in impianti di depurazione

In questo capitolo si presenta il metodo di calcolo del risparmio energetico ed economico dato dall'installazione di un sistema di regolazione della produzione dell'aria compressa per l'ossidazione del refluo attraverso l'uso di sensori direttamente inseriti nelle vasche di aerazione e si presentano i risultati ottenuti da un intervento reale di questo tipo.

### 6.1 L'intervento

La stabilità di un impianto e la sua gestione economica sono estremamente importanti per i depuratori di piccole dimensioni. Per questo vale la pena dare uno sguardo più da vicino al cuore di un impianto biologico, ovvero alla vasca di aerazione. L'efficienza e stabilità del trattamento reflui dipendono in gran parte da com'è regolata la vasca di aerazione in quanto un'ossigenazione insufficiente pregiudicherebbe il risultato della depurazione, mentre un'ossigenazione eccessiva comporterebbe costi non indifferenti di energia per i dispositivi di aerazione. Infatti, oltre il 50% dei consumi energetici dei piccoli impianti di depurazione servono ad apportare ossigeno ai fanghi attivati.

Oltre all'apporto di ossigeno per l'ossidazione biologica, all'interno dell'impianto si ha una richiesta di ossigeno anche nelle vasche di denitrificazione e una condizione necessaria per ottenere una denitrificazione efficiente e mirata è che non vi siano trasferimenti di ossigeno inutili ma, dato che l'aeratore a rotore negli impianti tradizionali funziona in maniera continua, durante i periodi di bassi carichi si può determinare un'eccessiva ossigenazione nella vasca dei fanghi attivi, con conseguenti sprechi nei consumi energetici. Tali condizioni operative hanno suggerito la scelta di avere un sistema controllo semplice ma in grado di reagire adeguatamente a differenti situazioni di carico, in modo da stabilizzare il processo di trattamento. [37]

Si valuta allora di inserire nelle vasche di ossidazione un sistema di regolazione della produzione dell'aria compressa in funzione delle reali necessità delle vasche di ossidazione attraverso delle apposite sonde immerse nelle vasche. Queste rilevano il livello di ossigeno disciolto e, sulla base delle misure dei parametri dei reflui (COD, ammonio, fosforo), sono in grado di accendere o spegnere i generatori di aria per fornire al refluo il giusto quantitativo di ossigeno, evitando un'eventuale produzione superflua. In questo modo si ha un risparmio di energia netto, dato dalla riduzione del numero di ore di funzionamento dei compressori.

Negli impianti tradizionali con aeratore a rotore funzionante in maniera continua, questo è usato anche per mantenere la circolazione nella vasca di ossidazione ed evitare stratificazione, dovrebbe pertanto essere sostituito con un agitatore meccanico che assolva la stessa funzione, qualora non fosse presente.

È da notare che oltre al risparmio energetico, il beneficio che si consegue con questo tipo di intervento è duplice in quanto si ha anche un miglioramento della qualità dell'acqua in uscita, con l'aumento dei composti organici e dell'azoto totale abbattuti, dovuto al fatto che il processo di depurazione attuato dai microrganismi diventa più efficace se a questi viene fornito il quantitativo di ossigeno ottimale. Questo vantaggio è complementare ma non essenziale ai fini dell'intervento di efficienza energetica, dato che, una volta che siano rispettati i limiti allo scarico, non è prevista premiazione per un ulteriore aumento di purezza dell'acqua in uscita dall'impianto. Questo è uno dei cosiddetti benefici multipli dell'efficienza energetica.

## 6.2 La baseline di riferimento

Per il calcolo della baseline di riferimento le normative prevedono un periodo di monitoraggio dei consumi ante intervento pari ad almeno 12 mesi, con misurazioni giornaliere. In determinati casi è possibile però sottoporre al GSE progetti che presentino un periodo di monitoraggio inferiore, dimostrando che questo è sufficiente e rappresentativo dei consumi effettivi.

Secondo le linee guida fornite dal GSE, nel caso di interventi nella sezione di trattamento ossidativo biologico, l'indicatore da utilizzare per confrontare le condizioni ante e post intervento sarebbe la *SAE* : *Standard Aeration Efficiency*, cioè l'efficienza di aerazione in condizioni reali [ $\text{kgO}_2/\text{kWh}$ ], pari al rapporto tra i  $\text{kgO}_2$  forniti e l'energia elettrica consumata dal sistema di produzione dell'aria compressa.

Nel caso di interventi volti a regolare la produzione di aria compressa però, utilizzando questo indicatore, non si andrebbe ad individuare nessun miglioramento in termini di efficienza energetica perché la SAE permette di confrontare il rendimento di generazione dell'aria compressa per kg di ossigeno elaborato ma, se non vengono sostituiti i generatori di aria compressa, il rendimento specifico resta uguale. Questo tipo di interventi, infatti, pur essendo effettuato nel complesso dell'impianto di depurazione, non rientra all'interno della categoria di azioni di efficienza previste nella sezione di trattamento ossidativo, ma nella categoria degli interventi di tipo comportamentale/gestionale, per i quali è previsto un periodo di incentivazione tramite Certificati Bianchi pari a 3 anni. [20]

Bisogna andare a definire un nuovo indice che renda confrontabile la situazione ante e post intervento e permetta di individuare inequivocabilmente il risparmio di energia elettrica che si ottiene; il programma di misura dovrà essere indipendente dalla variabilità delle condizioni di esercizio. Per questo motivo si è valutato di calcolare l'energia assorbita dai compressori  $E_{pre}$  in rapporto ai chilogrammi di fango prodotti in uscita dall'impianto  $kg_{COD,pre}$ , [kWh/kg<sub>COD</sub>].

La definizione della baseline di interventi di regolazione della produzione di aria compressa richiede quindi:

- Misure del consumo energetico giornaliero dei compressori [kWh]
- Misure di portata di fango prodotto in uscita dall'impianto [kg<sub>COD</sub>]

Si richiede perciò al gestore di installare, in corrispondenza dei compressori, dei contatori di energia trifase con monitoraggio giornaliero e dei misuratori per la portata dei fanghi in uscita dall'impianto.

Una volta acquisite le misure è possibile determinare il valore medio giornaliero di energia assorbita per fango prodotto:

$$\frac{E_{pre}}{kg_{COD,pre}}$$

Questa costituirà la baseline di riferimento per il calcolo dei risparmi di energia primaria, conseguenti all'implementazione del sistema di regolazione della produzione di aria compressa, e per la stima dei Certificati Bianchi a cui si potrà accedere.

### 6.3 Calcolo del risparmio energetico e dei TEE ottenibili

Da quanto trasmesso dal gestore del Servizio Idrico Integrato, la regolazione dei compressori secondo le reali necessità dell'impianto porterebbe un risparmio atteso attorno al 30% sui consumi totali.

Per la contabilizzazione dei risparmi energetici generabili da interventi di regolazione della produzione di aria compressa ai fini del rilascio di Certificati Bianchi, l'algoritmo che può essere proposto in sede di presentazione del progetto al GSE è:

$$RISP = \left( \frac{E_{ante}}{kg_{COD,ante}} - \frac{E_{post}}{kg_{COD,post}} \right) \cdot kg_{COD,post} \cdot f_e \quad tep$$

Dove:

- $RISP$  : risparmio di energia primaria [tep]
- $E_{ante}$  : energia media giornaliera assorbita dai generatori di aria compressa ante intervento [kWh]
- $kg_{COD,ante}$  : portata media giornaliera di reflui all'uscita dall'impianto in condizioni ante intervento [kg]
- $E_{post}$  : energia media giornaliera assorbita dai generatori di aria compressa post intervento [kWh]
- $kg_{COD,post}$  : portata media giornaliera di reflui all'uscita dall'impianto in condizioni post intervento
- $f_e$  : fattore di conversione, pari a 0,000187 tep/kWh in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale

Dato che, come stabilito da normativa, per ogni tep di risparmio conseguito grazie alla realizzazione di un intervento di efficienza energetica di origine comportamentale viene riconosciuto dal GSE un Certificato all'anno per un periodo pari a 3 anni [20] si può fare una stima del numero totale di Titoli a cui si può accedere:

$$CB \cong RISP \cdot 3$$

## 6.4 Valutazione dell'investimento

Il problema della scelta degli investimenti è complesso, trattandosi di operare una decisione che comporta esborsi ravvicinati (concentrati e/o distribuiti nel tempo) a fronte di ricavi, o minori costi, differiti nel tempo. Occorre un criterio che permetta di scegliere tra le alternative. [31]

In questo caso, al costo d'investimento di un sistema di sonde da posizionare all'interno delle vasche di ossidazione si ottengono risparmi importanti. Considerando un costo dell'energia elettrica  $c_{ee} = 0,17 \text{ €/kWh}$  e un risparmio di energia elettrica annuale  $E_R$  del 30% sul totale come indicato dal gestore del Servizio Idrico Integrato, nell'ipotesi in cui venga prodotta una portata di fango media circa costante all'uscita dall'impianto, il risparmio in termini economici si può tradurre in un mancato costo:

$$C_R = E_{TOT} \cdot 0,3 \cdot c_{ee} \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Una volta noti il costo di investimento  $I_0$ , il risparmio annuale  $E_R$ , il tasso di attualizzazione  $k$  e ipotizzando la vita utile del sistema di sonde, si possono calcolare i valori dei principali indicatori economici:

- Payback Semplice:

$$PB = \frac{I_0}{E_R \cdot c_{ee}} \text{ anni}$$

- Valore Attuale Netto:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+k)^i} \text{ €}$$

- Tasso Interno di Rendimento:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+TIR)^i} \rightarrow TIR \%$$

- Indice di Profitto:

$$IP = \frac{VAN}{I_0}$$

L'intervento è interessante perché promette un vantaggio economico, in termini di minori costi per l'approvvigionamento dell'energia elettrica, senza il bisogno di investimenti importanti o modifiche impiantistiche o di processo.

## 6.5 Risparmi reali

Si riporta ora l'esempio di un impianto in cui questo intervento di regolazione della generazione dell'aria compressa è già stato avviato. L'impianto in questione è il già citato Impianto A in cui dal 14/02/2019 è attivo il sistema di regolazione. Il gestore del Servizio Idrico Integrato ci ha fornito i dati relativi ai consumi elettrici mensili totali dell'impianto all'anno 2018 e i consumi da febbraio a maggio 2019 che vengono riportati in tabella 6.1 seguente:

	Energia assorbita dall'impianto [kWh]		Risparmio [%]
	2018	2019	
<b>Gennaio</b>	51.044	-	-
<b>Febbraio</b>	42.961	36.167	16%
<b>Marzo</b>	47.340	34.706	27%
<b>Aprile</b>	48.392	34.504	29%
<b>Maggio</b>	47.302	37.584	21%
<b>Giugno</b>	41.274		
<b>Luglio</b>	37.724		
<b>Agosto</b>	38.548		
<b>Settembre</b>	37.590		
<b>Ottobre</b>	38.600		
<b>Novembre</b>	40.054		
<b>Dicembre</b>	37.127		
<b>Media giornaliera [kWh/giorno]</b>	<b>1.392</b>	<b>1.161</b>	<b>17%</b>
<b>Consumo annuale [kWh/anno]</b>	<b>507.956</b>	<b>423.692</b>	<b>17%</b>

Tabella 6.1 – Consumi mensili 2018/2019 impianto A

A partire dai dati dei consumi forniti, si è calcolato un valore di energia media giornaliera assorbita dall'impianto [kWh/giorno] per l'anno 2018 e per il caso post intervento (si sono presi in considerazione solo i mesi di marzo, aprile e maggio nei quali in sistema è stato sempre in funzione), evidenziando un risparmio che si aggira attorno al 17%. Moltiplicando questi valori giornalieri per 365 si è ricavata l'energia totale assorbita dall'impianto A nel 2018 e si è fatta una stima dei consumi che l'impianto potrebbe dover sostenere nel 2019 sulla base delle tre mensilità considerate.

Si ottiene in questo modo un risparmio energetico annuale previsto  $E_R$  pari a:

$$E_R = E_{2018} - E_{post} = 507'956 - 423'692 = 84'264 \frac{kWh}{anno}$$

Questo tipo di interventi richiede qualche mese di set up per cui i risultati più importanti si cominceranno a vedere a partire dai mesi estivi. Rappresentando graficamente l'andamento dei consumi elettrici dell'impianto A (figura 6.1), si vede già una netta riduzione dell'assorbimento dalla rete a livello di impianto.

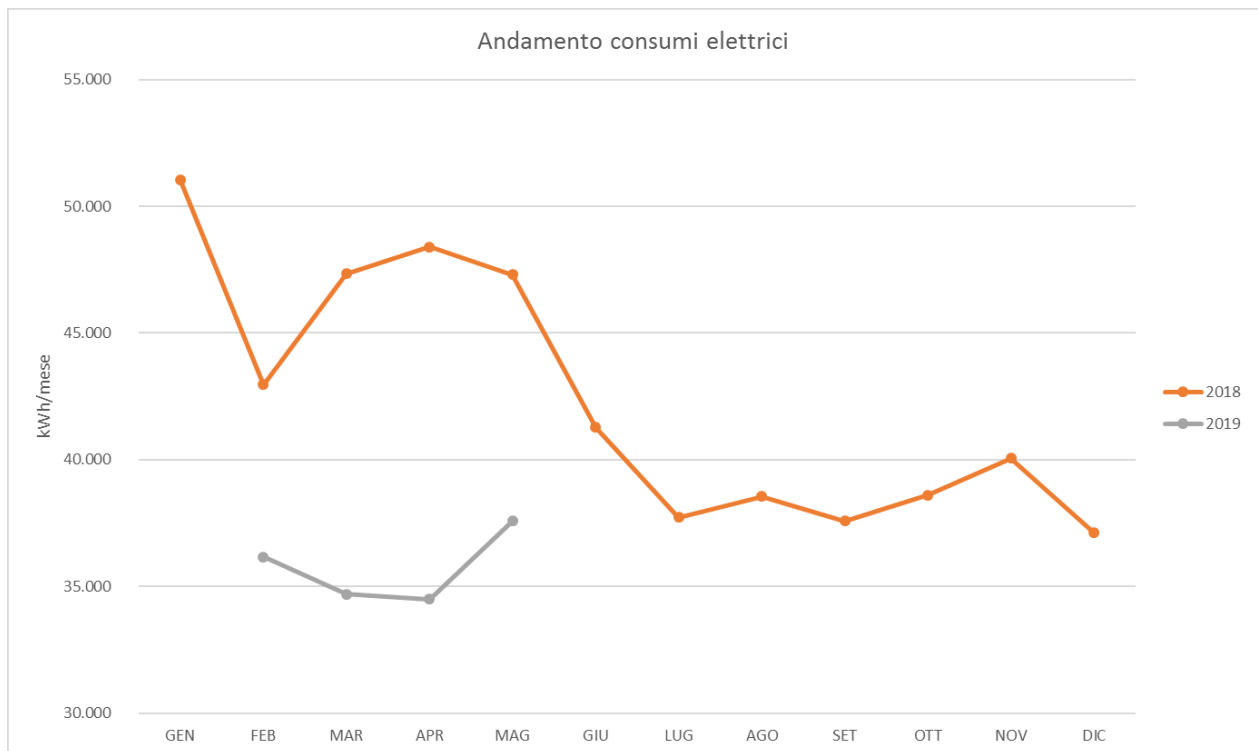


Figura 6.1 – Andamento consumi mensili 2018/2019 impianto A

È da sottolineare che si tratta di consumi totali dell'impianto per cui il loro andamento subisce l'influenza anche di fattori esterni rispetto al sistema di regolazione della produzione di aria

compressa. In particolare, si segnala l'aumento dei consumi nel mese di maggio che, da quanto emerso con il confronto con il gestore, sarebbero da imputare a delle precipitazioni straordinarie che hanno costretto le pompe di sollevamento dell'impianto ad un lavoro massiccio rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente.

Per poter stabilire con certezza l'impatto che l'installazione del sistema di regolazione ha avuto sui consumi dell'impianto A è necessario definire un indice di prestazione che sia indipendente dalla variabilità delle condizioni di esercizio.

Il fornitore del sistema di regolazione ha reso noto che l'intervento, chiavi in mano, comporta un costo di investimento pari a  $I_0 = 10'000$  €. Considerando un costo dell'energia elettrica  $c_{ee} = 0,17$  €/kWh come indicato dal gestore del Servizio Idrico Integrato, nell'ipotesi in cui tutto il risparmio energetico misurato tra la condizione ante e quella post intervento sia imputabile all'intervento di regolazione stesso, allora il risparmio di energia elettrica annuale  $E_R$  si può tradurre in un mancato costo:

$$C_R = E_R \cdot c_{ee} = 84'264 \frac{kWh}{anno} \cdot 0,17 \frac{\text{€}}{kWh} = 14'324,88 \frac{\text{€}}{anno}$$

Assumendo che il risparmio  $C_R = E_R \cdot c_{ee}$  sia costante, considerando una vita utile di  $n = 10$  anni e un tasso di attualizzazione pari a  $k = 4$  % come costo opportunità del capitale, si possono quindi calcolare i valori dei principali indicatori economici:

- Payback Semplice:

$$PB = \frac{I_0}{E_R \cdot c_{ee}} = 0,7 \text{ anni}$$

- Valore Attuale Netto:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+k)^i} = 106'187,6 \text{ €}$$

- Tasso Interno di Rendimento:

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \frac{(E_R \cdot c_{ee})_i}{(1+TIR)^i} \rightarrow TIR = 143 \%$$

- Indice di Profitto:

$$IP = \frac{VAN}{I_0} = 10,6$$



Risulta subito chiaro che, anche qualora il risparmio rilevato nei 3 mesi considerati non fosse imputabile in toto al nuovo sistema di regolazione della produzione di aria compressa, i vantaggi energetico ed economico che si evidenziano da questo confronto sono enormi.

Inoltre, secondo le misurazioni effettuate dal gestore del Servizio Idrico Integrato il 28/02/2019, a 14 giorni all'entrata in funzione del sistema, l'azoto totale in uscita è passato da una media di 9.8 mg/l nel 2018 a 5.2 mg/l, con una riduzione del 47%. Dall'analisi di questo caso reale si conferma quindi anche la presenza di benefici multipli dell'intervento di efficienza energetica.



# Conclusioni

L'obiettivo fondamentale di questo lavoro di tesi è stato quello di fornire una guida fruibile per l'accesso al meccanismo dei Certificati Bianchi, nell'ottica di incoraggiare gli interventi di efficienza energetica. In un panorama di sempre maggior sensibilizzazione rispetto alle tematiche ambientali, l'efficienza energetica è un importante mezzo che ci permette di mantenere gli standard produttivi consumando di meno e generando benefici economici e sociali.

L'analisi dei casi proposti ha evidenziato grandi margini di miglioramento nell'ambito del Servizio Idrico Integrato, in particolare nel settore della depurazione, afflitto da situazioni di arretratezza fisiologica. A fronte di spese relativamente modeste e interventi abbastanza semplici e puntuali, si può ottenere una marcata riduzione dei consumi elettrici.

Dalla valutazione economica degli interventi proposti è emerso come, in tutti e tre i casi studiati, il ritorno economico sia tale da renderli di fatto convenienti e permettere di affrontare l'investimento anche senza la necessità di ricevere incentivi statali o europei.

Nello specifico i valori del risparmio annuale di energia primaria che si possono ottenere con la sostituzione dei miscelatori variano dagli 8 tep/anno ai 22 tep/anno per l'impianto A e dai 14 tep/anno ai 28 tep/anno per l'impianto B, in base alla soluzione considerata per i nuovi mixer da installare, con tempi di ritorno che si aggirano attorno ai 2 anni e VAN che vanno dai 44'576 € per la soluzione 2 dell'impianto A ai 158'602 € per la soluzione 1 dell'impianto B.

Nella sostituzione dei compressori per la generazione di aria compressa con delle turbosoffianti, in condizioni cautelative si è ottenuto un risparmio di energia primaria annuale di 7 tep/anno e VAN pari a 31'559 €, con Payback imposto inferiori a 3 anni.

Dall'analisi del caso reale di installazione di un sistema di regolazione dell'aria compressa si è ricavato un risparmio di energia primaria di poco inferiore a 16 tep/anno, VAN pari a 106'188 € e tempo di ritorno dell'investimento inferiore ad un anno.

È importante però evidenziare che le stime riguardanti il risparmio energetico, impiegate per determinare la fattibilità degli interventi proposti, sono frutto di considerazioni semplificate e/o di dati raccolti da letteratura. Nel caso della sostituzione dei compressori con delle

---

turbosoffianti, inoltre, le stime di investimento sono state calcolate in modo retroattivo, andando ad imporre come dato di partenza il tempo di ritorno massimo accettabile. Si consiglia pertanto di valutare ogni eventuale investimento con appropriate misure ante intervento e di rivolgersi a soggetti in grado di valutare la concreta fattibilità di ogni intervento.

# Indice delle Figure

Figura 1.1 - Quadro di sintesi del conseguimento dei risparmi, anni 2014-2020.....	5
Figura 1.2 - Ruoli e responsabilità nell'ambito del Decreto Certificati Bianchi.....	10
Figura 1.3 - Addizionalità nel mercato di incentivazione dei TEE.....	20
Figura 1.4 - Andamento di domanda e offerta nel mercato TEE.....	23
Figura 1.5 - Andamento dei TEE emessi e dei risparmi stimati, rispetto al target e agli obblighi aggiornati.....	23
Figura 1.6 - Andamento dei prezzi spot nel mercato dei TEE negli ultimi mesi.....	25
Figura 2.1 - Diagramma di Gantt delle fasi di un progetto di efficienza energetica.....	30
Figura 2.2 - Flusso applicativo SIAD.....	31
Figura 2.3 - Scarica Istanza Precompilata.....	33
Figura 2.4 - Carica Istanza Compilata.....	33
Figura 2.5 – Gestione allegati.....	34
Figura 2.6 - Gestione Firma – Presa Visione.....	35
Figura 2.7 - Gestione Firma – Box Firma.....	35
Figura 2.8 – Gestione Invio.....	36
Figura 2.9 –Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia di alimentazione.....	42
Figura 2.10 –Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia termica.....	43
Figura 2.11 - Prospetto di compilazione del programma di misura dell'energia elettrica.....	43
Figura 2.12 - Esempio di schema a blocchi del progetto PC.....	44
Figura 2.13 - Prospetto di compilazione delle variabili operative che influenzano il consumo.....	45
Figura 2.14 - Prospetto di compilazione dei consumi ante intervento.....	45
Figura 2.15 - Prospetto di compilazione dei consumi di riferimento.....	46
Figura 2.16 - Prospetto di compilazione dei risparmi RC.....	48
Figura 3.1 – Schema del servizio idrico integrato.....	56
Figura 3.2 - Prelievi di acqua per uso potabile per tipologia di fonte.....	57
Figura 3.3 - Flusso del processo tipo di un impianto di depurazione.....	59
Figura 4.1 - Schema di un impianto di depurazione.....	82

---

Figura 4.2 - Monitoraggio consumi Equalizzatore + Denitro1, impianto A.....	89
Figura 4.3 - Monitoraggio consumi Denitro2, impianto A.....	89
Figura 4.4 - Monitoraggio consumi Equalizzatore, impianto B.....	97
Figura 4.5 - Monitoraggio consumi Denitro1 e Denitro2, impianto B.....	98
Figura 5.1 - Schema di fase ossidativa.....	112
Figura 6.1 - Andamento consumi mensili 2018/2019 impianto A.....	127

# Indice delle Tabelle

Tabella 1.1 - Obiettivi quantitativi nazionali di risparmio di energia primaria 2017-2020 [Mtep].....	9
Tabella 1.2 - Obblighi quantitativi nazionali annui incremento dell'efficienza energetica 2017-2020 [MTEE].....	9
Tabella 3.1 - Investimenti pro-capite nel SII nell'anno 2014.....	65
Tabella 3.2 - Tipologie di interventi realizzabili nel SII.....	69
Tabella 4.1 - Monitoraggio consumi impianto A.....	85
Tabella 4.2 - Misurazione potenze mixer in data 20/11/18, impianto A.....	88
Tabella 4.3 - Monitoraggio consumi equalizzatore impianto B.....	91
Tabella 4.4 - Monitoraggio consumi dentro1 e dentro2, impianto B.....	94
Tabella 4.5 - Misurazione potenze mixer in data 20/11/18, impianto B.....	96
Tabella 4.6 - Potenze stimate dal fornitore soluzione 1, impianto A.....	99
Tabella 4.7 - Potenze da schede tecniche soluzione 2, impianto A.....	100
Tabella 4.8 - Potenze stimate dal fornitore soluzione 1, impianto B.....	102
Tabella 4.9 - Potenze da schede tecniche soluzione 2, impianto B.....	103
Tabella 4.10 - Costi di investimento iniziale mixer.....	105
Tabella 4.11 - Payback degli investimenti.....	106
Tabella 4.12 - Valore Attuale Netto degli investimenti.....	107
Tabella 4.13 - Tasso Interno di Rendimento degli investimenti.....	108
Tabella 4.14 - Indice di Profitto degli investimenti.....	109
Tabella 5.1 - Inventario elettrico impianto C.....	116
Tabella 5.2 - Confronto tra compressori a lobi e turbosoffianti.....	118
Tabella 6.1 - Consumi mensili 2018/2019 impianto A.....	126





# Bibliografia/Sitografia

- [1] V. Venturini, “Il meccanismo dei certificati bianchi in Europa”, 2010
- [2] ENEA, “I Titoli di Efficienza Energetica: Cosa sono e come si ottengono i Certificati Bianchi – Guida Operativa”, 2011
- [3] <https://www.gse.it/servizi-per-te/mercati-energetici/aste-co2/pacchetto-clima-energia>
- [4] A. Federici, C. Martini, P. Falconi, and A. Nicola, “I meccanismi di incentivazione per l’efficienza energetica”, 2014
- [5] ENEA, “Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2018”, 2018
- [6] <https://www.mise.gov.it/index.php/it/energia/efficienza-energetica/fondo-nazionale-efficienza-energetica>
- [7] ISPRA, “Inventario nazionale ISPRA delle emissioni in atmosfera dei gas serra e le proiezioni al 2030,” 2018
- [8] GSE, “Rapporto Annuale Certificati Bianchi”, 2017
- [9] D. Di Santo, “Il meccanismo dei TEE : funzionamento , mercato e osservazioni”, 2017
- [10] <https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/certificati-bianchi/valutazione-progetti>
- [11] FIPER, “Analisi sul mercato dei titoli di efficienza energetica ( TEE )”, 2017
- [12] [www.dariodisanto.com/certificati-bianchi-unanalisi-sullo-schema/](http://www.dariodisanto.com/certificati-bianchi-unanalisi-sullo-schema/)
- [13] Autorità energia, “Resoconto sull’andamento del mercato dei TEE”, 2017
- [14] Politecnico di Milano, “Energy Efficiency Report”, 2018
- [15] GSE, “Certificati Bianchi - Chiarimenti operativi per la presentazione dei progetti”, 2017
- [16] GSE, “SIAD – Manuale Utente”, Rev 1.0 05/12/2018
- [17] GSE, “Certificati Bianchi – Contenuti minimi progetti a consuntivo PC”, 2017

- [18] ENEA, “Certificati Bianchi - Guida operativa per il Servizio Idrico Integrato”, 2014
- [19] ISTAT, “Censimento delle acque per uso civile”, 2017
- [20] GSE, “Certificati Bianchi - Guide settoriali: Il Servizio Idrico Integrato”, 2019
- [21] ISTAT, “Censimento delle risorse idriche a uso civile”, 2009
- [22] TERNA, “Dati Statistici sull’Energia Elettrica in Italia”, 2012
- [23] Federutility, “Stime sui dati raccolti nel corso dell’indagine AEEG a seguito della delibera n. 347/2012/R/IDR”, 2014
- [24] AEEG. DCO n. 339/2013/R/IDR
- [25] Utilitalia, “Blue book 2017: il settore idrico in Italia”, 2017
- [26] <https://web.uniroma1.it/cde/sites/default/files/chiacchierini.doc>
- [27] <https://www.idrotecnicaitaliana.it/lacquaonline/servizio-idrico-integrato/2016/investimenti-nel-servizio-idrico-integrato/>
- [28] C. Pidatella, G. Ferrari Aggradi, D. Pidatella, “Corso di meccanica, macchine ed energia per Meccanica ed Energia”, Zanichelli, 2017
- [29] [https://it.wikipedia.org/wiki/Trattamento\\_delle\\_acque\\_reflue](https://it.wikipedia.org/wiki/Trattamento_delle_acque_reflue)
- [30] ARERA, “Delibera EEN 3/08 - Aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tep connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica”, 2008
- [31] Arturo Lorenzoni, *Università di Padova*, Appunti del corso di Economia dell’energia, A.A. 2017-2018.
- [32] Walter Simmler, “Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry”, 2002
- [33] <http://guardiacivica.it/sito/documenti/acquereflue.pdf>
- [34] Washington State University<sup>88</sup>, “High speed Turbo Blower for Wastewater Treatment”, 2012
- [35] <http://www.gardnerdenver.com/it/robuschi/soffiatori/robox-evolution/>

[36] <http://www.aerzen.it/Prodotti/Turbo>

[37] <http://www.reasol.it/wp-content/uploads/2015/11/RegolazO2.pdf>



# Ringraziamenti

Mi sembra scontato, ma doveroso, cominciare con il dire che il più grande grazie va a mia mamma e mio papà che, al di là del supporto economico, non mi hanno mai fatto mancare il loro supporto personale. Mi hanno sempre appoggiato nelle mie scelte, credendo in me e nella mia capacità di giudizio.

Continuando su questa linea devo ringraziare mia sorella Silvia, ho imparato da lei più cose di quanto lei non possa neanche immaginare. Donna forte e concreta, se da piccola può avermi dato del filo da torcere, da grande è stata per me un grande esempio (e grazie a Cristian che ha contribuito al percorso di crescita suo e mio).

Grazie agli “gli Zii” per definizione, Franco e Ivana, che mi hanno accudito, sfamato e comprato vestiti come ad una figlia. Ma grazie agli zii tutti, per il senso di famiglia che avete sempre coltivato e salvaguardato e che ci ha arricchiti tutti.

Per chiudere questa serie, grazie anche a Marisella, Mirella, Elena e Roberto che reputo parte della mia famiglia, non per diritto di nascita ma per meriti acquisiti. Grazie per avermi accolto nella vostra famiglia.

Voglio procedere ora in ordine cronologico, a partire da quelle pazze delle “Tipe della B” che dalla prima media non hanno mai smesso di crederci. Voi siete le mie fondamenta, voi mi avete reso quella che sono, quindi grazie. Una menzione speciale se la merita la Ele, che ha dovuto avere a che fare con i miei attacchi di rabbia panico affetto pianto anche per tutto il liceo e nonostante ciò non mi ha mai abbandonata. Mi ha mandato a quel paese un paio di volte, ne sono sicura, ma poi per qualsiasi cosa lei c’era. E c’è ancora.

Parlando di liceo non posso non ringraziare la Elena, la compagna di banco perfetta, quella che “non ho studiato niente!” – “neanche io!” e poi era vero e prendevamo 4 tutte e due. Tu mi hai introdotto a molti luoghi di perdizione, uno su tutti la biblioteca.

Una volta approdata all’università, chi mi conosce bene lo sa, le difficoltà dal punto di vista scolastico e personale non sono mancate. Ma poi sono arrivate le mie salvatrici: Laura e Micaela, questo Grazie è tutto per voi. La condivisione dimezza la fatica e raddoppia la gioia, e noi in questi 3 anni abbiamo condiviso tanto, dagli schemi ai pasti alle storie di vita. Per me siete diventate ormai irrinunciabili.

Dulcis in fundo, ma io sono una persona golosa e di dolcezze ne ho due: Marco e la Vale. Le persone più importanti della mia vita.

La Vale, la mia BFF. Una delle persone più incredibili che io conosca. In questi 10 anni siamo cambiate e cresciute tanto; e l'abbiamo fatto insieme. Io e te contro il mondo, nella quotidianità e nell'eccezionalità. In questi anni sei stata un po' liceale anche tu, un po' studentessa di ingegneria anche tu e oggi ti laurei un po' anche tu. E io non potrei essere più felice di così.

Marco, tu hai avuto più fiducia in me di chiunque altro, me compresa. Mi tocca dare ragione ai miei quando tentano di insinuare che se mi sono laureata è stato anche per merito tuo. Mi hai fatto sentire stimata e dato il coraggio di credere in me. Da quando ti ho conosciuto niente è stato più come prima. Mi hai regalato una vita che non osavo sperare. Sei l'Amore, e nessuno risultato raggiunto ha senso senza di questo, nessun risultato ha senso senza di te.

E io non potrei essere più felice di così.