



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica

Repowering di una centrale di cogenerazione e teleriscaldamento con automazione e telelettura: validazione dei sistemi, verifica strumentale e calcolo delle prestazioni ambientali ed energetiche

Repowering of a cogeneration and district heating plant, with automation and smart metering: validation, experimental analysis and calculation of environmental and energy performances

Relatore:
Prof. Fabio Serpilli

Tesi di Laurea di:
Elisa Salvi

Correlatore:
Ing. Matteo Lorenzetti

Anno Accademico
2020-2021

REPOWERING DI UNA CENTRALE DI COGENERAZIONE E TELERISCALDAMENTO CON AUTOMAZIONE E TELELETTURA: VALIDAZIONE DEI SISTEMI, VERIFICA STRUMENTALE E CALCOLO DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI ED ENERGETICHE

ABSTRACT

Lo scopo del presente lavoro, realizzato nell'ambito di un progetto formativo e di orientamento svolto nel contesto di un rapporto di collaborazione tra il DIISM dell'Università Politecnica delle Marche e il Gruppo ASTEA, è analizzare il processo di revamping di una centrale di cogenerazione e teleriscaldamento ad Osimo, di proprietà del Gruppo ASTEA, al fine di ottimizzarne le prestazioni ambientali ed energetiche e di ridurre l'impatto ambientale.

La micro-grid, smart, costituita dall'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento, si inserisce, in un periodo di profondi cambiamenti e di iniziative globali sul tema del clima, all'interno di programmi di ricerca e sperimentazione multidisciplinari (che richiede competenze di termodinamica, acustica, chimica, misure, automazione), finanziati dalla comunità europea, sul tema dell'efficienza dei sistemi e della riduzione delle emissioni inquinanti, sia gassose che acustiche, con risultati interessanti per l'intera comunità. Il progetto ha una valenza di economia circolare con ricadute sia sull'azienda, grazie anche al processo in atto di automatizzazione, che insieme agli altri interventi permette il raggiungimento di obiettivi economici e ambientali, che sugli operatori di filiera - fornitori, che sui clienti finali, che non solo sono parte attiva dei progetti, ma che diventeranno protagonisti attraverso la disponibilità dei propri dati di consumo, accessibili su portale on line.

Il cliente avrà quindi la possibilità di monitorare i consumi e gestire i carichi in maniera ottimale.

I benefici rivolti alla collettività invece, riguardano la tutela dell'ambiente, attraverso la riduzione di CO₂ (10% - 65%), e l'aumento dei risparmi di energia primaria sotto forma di TEP (5% - 25%).

Il presente lavoro ha consentito di effettuare un'attività di validazione dei sistemi in uso, mediante calcoli delle prestazioni energetiche ed ambientali dell'impianto di cogenerazione sottoposto ad un processo di revamping, del quale alcune attività sono state già realizzate ed altre sono in fase di attuazione o progettazione. L'attività è stata svolta utilizzando dati reali strumentali di campo, disponibili su varie piattaforme aziendali, e testando l'impianto in varie configurazioni d'esercizio possibili, inclusa la conduzione delle macchine a carichi parziali oltre che nominali.

This work is a part of a training guidance project carried out in the context of a collaborative relationship between D.I.I.S.M. of the Polytechnic University of Marche and the ASTEA Group.

The purpose of this work is to analyse the process of repowering of a cogeneration and district heating plant in Osimo, owned by the ASTEA Group, in order to optimize its environmental and energy performance and reduce the environmental impact.

The smart micro-grid (in this case, consisting of a cogeneration and district heating plant) is part of a period of deep changes and global initiatives on the climate, within multi-disciplinary research and testing programmes in the fields: thermodynamics, acoustics, chemical, measurements, and automation. The European community have funded these programmes, on the issue of system efficiency and the reduction of polluting emissions, both gaseous and acoustic, with interesting results for the whole community.

The project has a value of circular economy with repercussions on the company. That is thanks to the ongoing process of automation, which together with other interventions, allows the achievement of economic and environmental goals) that on the operators of the supply chain, that on end customers, who are not only an active part of the projects, but who will become protagonists. That happens through the availability of their consumption data, accessible on an online portal.

The customer will then have the ability to monitor consumption and manage loads optimally.

The benefits to the community, on the other hand, relate to the protection of the environment, through the reduction of CO₂ (10% - 65%), and the increase in primary energy savings in the form of TEP (5% - 25%).

This work has enabled validation of the systems in use to be carried out, through calculations of the energy and environmental performance of the cogeneration plant, undergoing a repowering process. Some stages have already been carried out and others are being implemented or designed. The activity was carried out using real field instrumental data, available on various business platforms, and testing the plant in various operating configurations, including the management of the machines at partial as well as nominal loads.

INDICE

CAPITOLO 1 - ARCHITETTURA DEL LAVORO

- 1.1 PREMESSA
- 1.2 PROGETTO

CAPITOLO 2 - IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE DEL GRUPPO ASTEA

- 2.1 PREMESSA
- 2.2 IMPIANTI IDROELETTRICI
- 2.3 IMPIANTI FOTOVOLTAICI
- 2.4 LA COGENERAZIONE
- 2.5 IL TELERISCALDAMENTO
- 2.6 SMART METERING TELERISCALDAMENTO
- 2.7 SMART METERING SERVIZIO IDRICO INTEGRATO
- 2.8 RIFERIMENTI

CAPITOLO 3 - PRESTAZIONI ENERGETICHE DELLA NUOVA CENTRALE DI COGENERAZIONE

- 3.1 MOTIVAZIONI DEL REVAMPING DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE
- 3.2 UNITA' DI COGENERAZIONE CAR (1.2 MW_E E 1.3 MW_T)
- 3.3 PRESTAZIONI DELL'UNITA' DI COGENERAZIONE
- 3.4 POMPA DI CALORE (140 kW EROGATI)
- 3.5 CALCOLO DEL RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA
- 3.6 COGENERATORE DI PICCOLA TAGLIA (140 kW_E e 209 kW_T) E POMPA DI CALORE (197 kW) – FUTURA APPLICAZIONE
- 3.7 IMPIANTO SOLARE TERMICO (170 MWh/a – 250 m²) – FUTURA APPLICAZIONE
- 3.8 CONCLUSIONI
- 3.9 RIFERIMENTI

CAPITOLO 4 - EMISSIONI ATMOSFERICHE

- 4.1 EMISSIONI GASSOSE ANTE REVAMPING
- 4.2 ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE POST REVAMPING
- 4.3 CALCOLI TEORICI DELLE EMISSIONI IN AMBIENTE
- 4.4 VALORI MISURATI DELLE EMISSIONI DELL'UNITA' COGENERATIVA POST REVAMPING
- 4.5 CONCLUSIONI

CAPITOLO 5 - EVOLUZIONE ACUSTICA DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE

- 5.1 INTRODUZIONE
- 5.2 IL QUADRO NORMATIVO
- 5.3 DOCUMENTAZIONE
- 5.4 CAMPO DI APPLICAZIONE
- 5.5 LA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI OSIMO
- 5.6 IMPATTO E CLIMA ACUSTICO INERENTE LA VECCHIA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI (ANTE REVAMPING) E CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELLE SORGENTI EMISSIVE DENOMINATE GRIGLIE (CARICO RIDOTTO E SOLO CALDAIE ACCESE)
- 5.7 ULTERIORE INDAGINE ACUSTICA DELLA ZONA IN CONDIZIONI DI MASSIMA POTENZA: VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO NOTTURNO DELLA TURBINA A GAS, DELLA CENTRALE DI TRASFORMAZIONE ENEL E IMPATTO SUI LIMITI DI ZONA DELLA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA
- 5.8 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE IL RINNOVO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI CONSISTENTE NELLA SOSTITUZIONE DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE CALDAIE ATTUALMENTE ESISTENTI
- 5.9 MISURA ANTE OPERAM FINALIZZATE ALLA PROGETTAZIONE ACUSTICA DEL FONDO ISOLAMENTO E FONDO ASSORBIMENTO DELLE BOCHE DI LUPO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI AD OSIMO E SUCCESSIVE MISURE POST OPERAM PER LA VERIFICA DELLA BONTA' DELL'INTERVENTO PROGETTATO ED ESEGUITO

- 5.10 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI COGENERATORE, CAMINO, SISTEMA DI ESPULSIONE ARIA, ASPIRAZIONE, DRY COOLER E CABINATO
- 5.11 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI CALDAIA DI INTEGRAZIONE E SOCCORSO
- 5.12 VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE ALL'ATTUALE CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI A SEGUITO DELLA SOSTITUZIONE DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE DISMESSE
- 5.13 CONCLUSIONI
- 5.14 RIFERIMENTI

CAPITOLO 6 - RETI INTELLIGENTI DELLE MULTIUTILITY

- 6.1 PREMESSA
- 6.2 INTRODUZIONE
- 6.3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO
- 6.4 LE ATTIVITA': OSIMO DEMO SITE
- 6.5 CONCLUSIONI
- 6.6 RIFERIMENTI

CAPITOLO 7 - CONCLUSIONI

APPENDICE A – UNITA' DI MISURA

CAPITOLO 1 ARCHITETTURA DEL LAVORO



1.1 PREMESSA

1.2 PROGETTO

1.1 PREMESSA

La collaborazione tra DIISM UNIVPM e l'Area Ricerca e Sviluppo del gruppo ASTEA, in linea con i progetti europei Muse Grids e Interrface, cui partecipano come partners, ha consentito di approfondire alcune tematiche che riguardano la sostenibilità energetico ambientale attraverso l'ottimizzazione dell'interazione tra produzione, distribuzione e vendita di energia all'interno dell'isola energetica costituita da una Smart Micro Grid. Sono state approfondite tematiche inerenti la cogenerazione e la rete termica di teleriscaldamento (oltre a quella idrica), con focus sulla rete locale, analizzando i principali interventi realizzati e le soluzioni progettuali adottate, per rendere più efficienti gli impianti e ridurre le immissioni e emissioni in ambiente.

L'attività svolta è consistita in:

- Analisi dei processi e di dati, residenti nei sistemi di gestione e controllo, relativi ai vari componenti dell'impianto di cogenerazione e della rete di teleriscaldamento;
- Verifica progettuale del comportamento di alcuni sistemi impiantistici anche prototipali (tra cui ad esempio una tipologia di pompa di calore tra le prime ad essere installata in Europa);
- Analisi tecnico economica di future applicazioni;
- Esecuzione di misure;
- Sperimentazione di Smart Metering e del relativo sistema di acquisizione;

Oggetto del lavoro è stato l'approfondimento delle tematiche inerenti una centrale di cogenerazione e le reti termiche di teleriscaldamento asservite, con focus sulle reti locali. La tecnologia utilizzata in costante sviluppo è inserita all'interno di un processo di revamping attualmente non ancora concluso. L'analisi di dati reali, attraverso campagne di misure, ha consentito di individuare soluzioni progettuali per migliorare le strutture esistenti, e di proporre progetti inerenti nuove installazioni, per rendere più efficienti le attuali infrastrutture.

Nello specifico, è stato analizzato nel dettaglio l'impianto di cogenerazione localizzato a Osimo, asservito ad una rete di teleriscaldamento per la distribuzione dell'energia termica agli stabili residenziali e commerciali di una Smart Grid costituita da oltre 1.200 unità. Le indagini svolte hanno permesso inizialmente di determinare i parametri caratteristici di funzionamento e gli indici di performance energetica e ambientale; sulla base di questi sono stati individuati potenziali miglioramenti della gestione della produzione di energia e della distribuzione del calore. Successivamente sono state valutate possibili alternative di conduzione dell'impianto, quali ad esempio la definizione di nuove strategie di controllo del cogeneratore, attraverso l'installazione di un sistema di automazione smart, in grado di ridurre le perdite e ottimizzare le performance energetiche ed economiche derivanti. Una parte dell'attività è stata focalizzata nell'analisi delle perdite energetiche e le soluzioni per ridurle, grazie allo sviluppo di un "controllore" dei dati di input del sistema costituito dagli Smart Meter e dal relativo sistema di monitoraggio remoto. L'automatizzazione così concepita consentirà in un futuro prossimo di poter determinare in real-time le performance energetiche dei principali componenti impiantistici, e definire, conseguentemente, nuove strategie di controllo in grado di ridurre le perdite, aumentare la capacità di fornitura delle reti esistenti, ridurre le immissioni acustiche ed atmosferiche in ambiente.

1.2 PROGETTO

Il progetto di lavoro si articola in 6 capitoli (oltre al presente), il 2°, 3°, 4°, 5° e 6°, ognuno dei quali descrive i percorsi effettuati di analisi, sviluppo di modelli di calcolo, test strumentali e di validazione. Vediamo in sintesi i contenuti di tali capitoli:

Il secondo capitolo denominato “Impianti di produzione del Gruppo ASTEA” focalizza l’attenzione sugli impianti produttivi esistenti e su quelli di futura installazione. Viene approfondita l’analisi dei dati a disposizione, elaborati organicamente al fine di indicare il risparmio energetico e i benefici ambientali corrispondenti degli impianti a fonti rinnovabili (idroelettrici e fotovoltaici) o assimilate (cogenerazione). Un approfondimento viene posto per l’impianto di cogenerazione e la rete di teleriscaldamento, indicando l’evoluzione temporale e la transizione dall’unità con turbogas a quella con motore alternativo, il calcolo delle perdite energetiche di rete e le modalità di gestione della linea energetica con l’utilizzo sperimentale degli “smart meter” e del sistema di tele lettura attualmente in fase di test di campo.

Il terzo capitolo denominato “Prestazioni energetiche della nuova centrale di cogenerazione” in cui vengono evidenziate le motivazioni tecnico economiche del progetto di revamping della centrale di cogenerazione, viene effettuata un’analisi approfondita delle prestazioni del nuovo impianto, attraverso l’elaborazione dei dati disponibili e i calcoli eseguiti, vengono analizzati con accuratezza i possibili miglioramenti ottenibili con l’installazione di ulteriori macchine e impianti, quali pompe di calore, piccola unità cogenerativa e caldaia di soccorso relativa, impianto solare termico.

Il quarto capitolo denominato “Emissioni atmosferiche” analizza le emissioni gassose in ambiente nel passaggio dalla configurazione della centrale di cogenerazione caratterizzata da unità turbogas a quella caratterizzata da unità motore alternativo a combustione interna e caldaia di integrazione e soccorso. Nel capitolo vengono riportati sia i dati teorici delle emissioni di CO₂ in ambiente, calcolati sulla base dei dati di input da specifica tecnica, che i dati riportati nelle autorizzazioni, che i valori misurati.

Il quinto capitolo denominato “Evoluzione acustica della centrale di cogenerazione” analizza il complesso passaggio che è stato realizzato per ridurre l’impatto ambientale procedendo all’installazione della nuova unità cogenerativa costituita dal motore alternativo a combustione interna, in sostituzione della turbogas ormai obsoleta. Questo capitolo basato su valutazioni previsionali di impatto acustico (eseguite sulla base di misure in opera sia sulle macchine che in ambiente esterno) e su valutazioni strumentali d’impatto acustico, ha messo in evidenza la riduzione dell’inquinamento acustico ambientale attraverso un’importante attività di progettazione e di bonifica.

Il sesto capitolo descrive l’iter del progetto all’interno di un sistema di reti intelligenti delle multi Utility (Multi Utilities Smart Energy Grids) oggetto dello studio congiunto del D.I.I.S.M. dell’Università Politecnica delle Marche e del Gruppo ASTEA. La pianificazione strategica degli interventi allo scopo di aumentare l’utilizzo delle fonti rinnovabili a servizio delle reti energetiche e l’integrazione del sistema elettrico con i sistemi energivori è realizzata per individuare le soluzioni più efficienti rispetto a molteplici indicatori di sostenibilità. Lo scopo è quello di creare e sostenere la cooperazione fra ricerca scientifica e società, favorendo una maggiore interazione tra processo di efficienza energetica e società civile rendendola più consapevole e partecipe.

CAPITOLO 2

IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE DEL GRUPPO ASTEA



2.1 PREMESSA

2.2 IMPIANTI IDROELETTRICI

2.3 IMPIANTI FOTOVOLTAICI

2.4 LA COGENERAZIONE

2.5 IL TELERISCALDAMENTO

2.6 SMART METERING TELERISCALDAMENTO

2.7 SMART METERING SERVIZIO IDRICO INTEGRATO

2.8 RIFERIMENTI

2.1 PREMESSA

Quella del Gruppo ASTEA è una storia antica e profondamente radicata al territorio, che trae la sua origine agli inizi del 1900, quando i comuni di Osimo e Recanati decisero di gestire in proprio alcuni servizi ritenuti essenziali allo sviluppo della comunità locale.

Oggi il Gruppo ASTEA è probabilmente l'unico gruppo delle Marche che opera in tutti i servizi pubblici a rete dell'acqua, del gas e dell'energia elettrica, e che svolge anche servizi di igiene ambientale. Molti i comuni serviti, compresi nelle Province di Ancona e Macerata, tra i quali Osimo, Polverigi, Montecassiano, Montefano, Montelupone, Porto Recanati, Potenza Picena e Recanati. Innumerevoli i servizi offerti, dalla distribuzione di acqua, gas ed energia elettrica; alla produzione di energia elettrica, alla produzione, distribuzione e vendita di calore, allo spazzamento, raccolta e trasporto di rifiuti, ai servizi di illuminazione pubblica e lampade votive; alla vendita di energia elettrica e gas nel mercato libero.

Il Gruppo ASTEA ha istituito cinque anni fa la specifica Area Ricerca e Sviluppo a supporto degli Impianti di produzione Energie Rinnovabili. Lo scopo è stato quello di sviluppare soluzioni innovative legate al Risparmio energetico, all'Efficienza energetica, alle Energie Rinnovabili e alla gestione ottimale delle risorse disponibili. Temi in linea con la necessità di ridurre, in accordo a quanto previsto da programmi internazionali di Horizon2020, le emissioni inquinanti in ambiente e di diminuire i consumi di combustibile fossile.

Sono stati effettuati interventi di risanamento del settore interno della produzione di energia che hanno permesso di recuperare una forte competitività economica, rispetto al passato.

Contestualmente sono stati avviati accordi di collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche su temi di ricerca e sviluppo legati al mondo dell'energia.

Il Gruppo ASTEA crede fortemente nello sviluppo di sinergie con il mondo accademico, nei settori della ricerca e della formazione. Per questo è sempre stato molto attivo nella partecipazione a progetti europei, nazionali e regionali, che hanno consentito di testare soluzioni innovative grazie al contributo e confronto con realtà anche internazionali, e già da diversi anni con sagacia e forte impegno ha presentato proposte su temi delle "smart grid", efficienza e riduzione dell'impatto ambientale. Tra queste i due progetti in partnership con UNIVPM - DIISM denominati MUSE GRIDS e INTERFACE, che sono stati finanziati dalla comunità europea per il periodo 2019-2022.

A novembre 2018 è stato avviato il progetto quadriennale Muse Grids con un budget di circa 6 milioni di euro, di cui 459.375 € di competenza di ASTEA, finanziato nell'ambito della piattaforma europea Horizon 2020 che coinvolge 18 partners di 7 nazioni differenti. MUSE GRIDS mira a dimostrare in due contesti, uno urbano (città di Osimo), l'altro rurale (città di Oud-Heverlee in Belgio), un insieme di soluzioni volte all'interazione delle reti locali allo scopo di massimizzare la produzione di energia rinnovabile e contestualmente ridurre la dipendenza dalle fonti fossili. I due dimostratori pilota intendono promuovere e testare un sistema energetico intelligente che interagisca con la comunità locale.

In particolare, ad Osimo sono previsti interventi sulla centrale di cogenerazione, sulla rete di teleriscaldamento e su un distretto idrico del centro storico, come anche l'integrazione e la gestione intelligente di una piccola flotta di veicoli elettrici, con la finalità di rendere più efficiente il processo di produzione e trasporto, ridurre le perdite di linea, mettere a disposizione dei clienti allacciati alla rete calore e alla rete idrica analizzata i dati di consumo su base oraria. Ciò allo scopo di migliorare l'efficienza del sistema, massimizzare l'autoconsumo della produzione rinnovabile a Osimo e ridurre la CO₂ emessa in ambiente. Il dimostratore di Osimo verrà utilizzato quale potenziale strumento di replica a livello europeo. Infatti le strategie di gestione del nostro impianto di cogenerazione e teleriscaldamento sono di notevole interesse per i paesi del nord Europa e la "micro grid" adottata ad Osimo può esservi facilmente esportata: verranno infatti effettuati studi di fattibilità e simulazioni in siti pilota virtuali in India, Israele e Spagna. ASTEA Spa, sperimenterà in campo soluzioni di ottimizzazione della produzione e dei consumi, attraverso una strategia di demand response e l'uso coordinato di strumenti di efficientamento energetico.

Il progetto Muse Grids porterà sicuramente benefici sia al cittadino che ad ASTEA.

I benefici ai Cittadini possono dividersi in benefici collettivi e individuali. Quelli collettivi riguardano la tutela dell'ambiente, attraverso la riduzione, nell'area sperimentata, di CO₂ (10% - 65%), TEP (5% - 25%) e delle perdite idriche lungo la rete salvaguardando quindi le acque pubbliche (10% - 15%). Quelli individuali sono: la disponibilità dei dati di consumo attraverso un'applicazione software per smartphone dedicata oppure mediante l'accesso ad un portale online sul sito ASTEA. L'utente avrà quindi la possibilità di monitorare i consumi e gestire i carichi in maniera ottimale. Non meno importanti sono il minor impatto ambientale (respiriamo tutti aria più pulita) e gli incentivi alla partecipazione.

Nell'ambito di questo progetto sono state svolte una serie di attività:

- Progettazione dello storage termico da installare nella centrale di cogenerazione;
- Storage elettrici da installare selezionati e ordinati;
- Stazioni di ricarica elettriche e veicoli elettrici consegnati e in fase di installazione;
- Smart Storage termici elettrici installati nella sede ASTEA di Osimo e nella centrale di cogenerazione;
- Sistema di monitoraggio dei dati – sistema di automazione dell'impianto di cogenerazione e dei siti di produzione di energia gestiti in fase di installazione;
- Sistema di monitoraggio dei dati della sede ASTEA di Osimo in fase di fornitura;
- Sistema di monitoraggio dei dati del teleriscaldamento e del distretto idrico del Duomo di Osimo per il monitoraggio delle perdite idriche e riduzione consumi di energia elettrica;
- Studio dell'impatto socio-economico mediante un sondaggio generale, predisposto e da inviare ai clienti.

A febbraio 2019 è stato avviato un altro progetto quadriennale denominato Interrface che ha un budget di circa 17 milioni di € di cui 429.625 € di competenza del Gruppo ASTEA, finanziato nell'ambito della piattaforma europea Horizon2020 che coinvolge 42 partners internazionali. Interrface mira a integrare nei contesti cittadini in cui opera ASTEA, Osimo e Recanati, tecnologie, soluzioni innovative.

Lo Stato avanzamento di Interrface a fine 2019 è il seguente:

- Sondaggio socio-economico sui bisogni dei clienti effettuato;
- Studio e localizzazione dei siti di installazione degli storage elettrici sulla rete di distribuzione elettrica, per risolvere problemi di congestione di rete e ridurre i fenomeni di inversione di corrente, eseguito;
- Indagine di mercato per l'individuazione di un fornitore degli storage elettrici effettuata.

Il Gruppo ASTEA può vantare una produzione di energia elettrica e termica che si basa su tre diverse tipologie impiantistiche: idroelettrico, fotovoltaico, cogenerazione e teleriscaldamento

2.2 IMPIANTI IDROELETTRICI

La centrale idroelettrica di Sambucheto, in provincia di Macerata realizzata nel lontano 1902 è gestita dal Gruppo ASTEA (all'epoca Azienda Speciale per l'Impianto Idroelettrico) dal 1906. All'epoca venne anche realizzata la rete di distribuzione per trasportare l'energia prodotta. Tale impianto sfrutta l'acqua del fiume Potenza che viene incanalata attraverso un'opera di presa in un canale a cielo aperto della lunghezza di 1.582 ml, quindi attraversa un apposito strigliatore per poi confluire in una condotta forzata che va ad alimentare una turbina Kaplan ad asse verticale della potenza massima di 447 kVA.

La centrale sfrutta l'acqua del fiume Potenza che viene incanalata attraverso un'opera di presa e convogliata verso una turbina che, collegata ad un alternatore, genera energia elettrica.

La generazione di energia elettrica che ne deriva viene catalogata come energia da fonti rinnovabili e viene ceduta direttamente al Gestore del Servizio Elettrico.

La centrale idroelettrica di Sambucheto, in provincia di Macerata realizzata nel lontano 1902 è gestita dal Gruppo ASTEA (all'epoca Azienda Speciale per l'Impianto Idroelettrico) dal 1906. Tale impianto sfrutta l'acqua del fiume Potenza che viene incanalata attraverso un'opera di presa in un canale a cielo aperto della lunghezza di 1.582 ml, quindi attraversa un apposito strigliatore per poi confluire in una condotta forzata che va ad alimentare una turbina Kaplan ad asse verticale della potenza massima di 447 kVA.

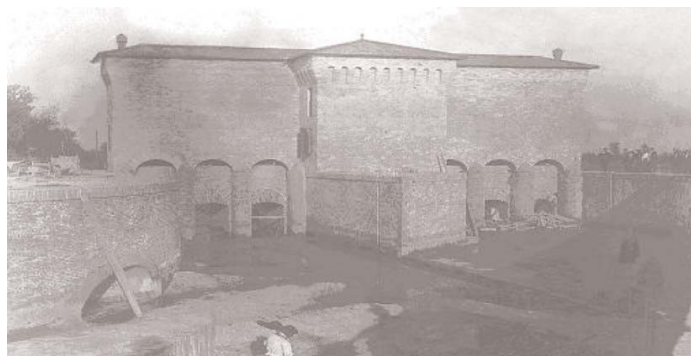


Fig. 2.1 - Foto dell'opera di presa della centrale idroelettrica dell'epoca



Fig. 2.2 - La centrale idroelettrica di Sambucheto – vista dall'esterno



Fig. 2.3 - Opera di presa sul fiume Potenza

Nella tabella che segue sono riportate le produzioni degli ultimi anni che sono strettamente correlate ai fermi impianti dovuti alla vetustà della turbina.

	2016	2017	2018	2019
Potenza elettrica di picco (kW _p)	447	447	447	447
Energia prodotta (MWh)	2.222	1.496	1.645	1.759
Energia prodotta (kWh) / mm pioggia caduta	2.063	1.443	1.778	1.657
Tonnellate di CO ₂ evitate	696	476	523	542
TEP risparmiate	415	280	308	329

Tab. 2.1 - Produzione della centrale idroelettrica

La generazione di energia elettrica che ne deriva, viene catalogata come energia da fonti rinnovabili e viene ceduta direttamente al Gestore del Servizio Elettrico (GSE).

Nel corso del 2018 è stata costruita una nuova centralina idroelettrica lungo una condotta dell'acquedotto di Osimo al fine di recuperare i carichi idraulici in esubero. Questo tipo di intervento è presente tra quegli interventi all'interno dei processi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica suggeriti dall'Enea nella sua guida operativa dei TEE. La condotta di derivazione esercisce ad una pressione di 22 bar relativi. Al fine di poter immettere l'acqua direttamente all'interno della vasca di precarico (esercente a pressione atmosferica), è necessario ridurre la pressione dell'acqua sino alla pressione richiesta utilizzando apposita valvola di laminazione. Tutta l'energia di pressione (salto utile 220 m e portata media di circa 30 l/s) contenuta nell'acqua di derivazione, prima dell'intervento veniva pertanto dissipata. Attualmente l'inserimento del nuovo impianto costituita da turbina Pelton e generatore asincrono garantisce i livelli di pressione atmosferica richiesta e consente il recupero dell'energia che veniva dissipata attraverso valvole di laminazione. L'energia prodotta viene utilizzata per alimentare la centrale di sollevamento e la parte eccedente consegnata in rete.

Di seguito si riportano in tabella 2.2 la produzione di energia elettrica, l'aliquota auto-consumata e l'aliquota immessa in rete di tale centralina idroelettrica.

	2018	2019
Potenza installata (kW)	110	110
Energia elettrica prodotta (MWh)	474,44	512,72
Energia elettrica auto consumata (MWh)	470,15	507,77
% autoconsumo	99%	99%
Energia elettrica immessa in rete (MWh)	4,29	4,95
Tonnellate di CO ₂ evitate	151	158
TEP risparmiate	89	96

Tab. 2.2 – Energia prodotta dalla centrale idroelettrica di Padiglione

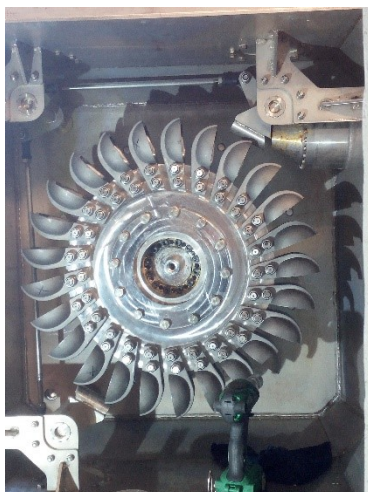


Fig. 2.4 - Girante della turbina PELTON su acquedotto ASTEA



Fig. 2.5 - Turbina KAPLAN risalente all'anno 1952 installata su fiume Potenza - derivazione acqua fluente

2.3 IMPIANTI FOTOVOLTAICI

ASTEVA SPA dispone di 7 impianti per la produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica. Un impianto è del tipo “ad inseguimento” ed è stato realizzato nel 2008, mentre gli altri sono in parte installati su tetto, in parte pensiline e a terra, tutti installati a partire dal 2012.

Gli impianti si configurano come impianti di auto-produzione in quanto la percentuale di energia elettrica auto-consumata è superiore al 70% di quella prodotta.

Nel 2019 l'energia auto consumata è stata pari a 359 MWh (corrispondente ad una percentuale di autoconsumo del 79%) superiore agli anni precedenti.

Gli impianti fotovoltaici consentono un risparmio di energia e la riduzione delle emissioni in atmosfera delle sostanze che hanno effetto inquinante e di quelle che contribuiscono all'effetto serra, quali anidride carbonica, anidride solforosa, ossidi d'azoto e polveri.

	2016	2017	2018	2019
Impianti (n.)	2	6	7	7
Potenza installata (kW)	266	315	346	346
Energia elettrica prodotta (MWh)	363	449	414	454
Energia elettrica auto consumata (MWh)	261	330	330	359
% autoconsumo	72%	73%	77%	79%
Tonnellate di CO ₂ evitate	114	143	132	140
TEP risparmiate	68	84	77	85

Tab. 2.3 – Energia prodotta dagli impianti fotovoltaici



Fig. 2.6 – Impianto Fotovoltaico di Porto Recanati

2.4 LA COGENERAZIONE

Tra i sistemi innovativi per la produzione di calore, un ruolo di primo piano spetta alla cogenerazione, ovvero a quel processo che consente di produrre in modo combinato energia elettrica e calore. Concettualmente si tratta di una tecnologia molto semplice: qualunque processo di produzione termoelettrica è in grado di trasformare solo in parte l'energia chimica dei combustibili in energia elettrica; gran parte dell'energia primaria viene infatti dispersa sotto forma di calore, per lo più tramite i fumi evacuati dal camino. Negli impianti con cogenerazione il calore residuo viene invece recuperato in una forma sfruttabile da utilizzatori civili o industriali. In questo modo l'energia utilizzabile (elettricità più calore) è sensibilmente più elevata, a parità di combustibile consumato, rispetto a un impianto senza cogenerazione (il risparmio può arrivare fino al 40%).

Il calore di scarico recuperato può essere utilizzato per varie finalità:

- per la produzione di acqua calda;
- per la produzione di vapore per il teleriscaldamento o per i processi industriali;
- per processi di essiccazione;
- per produrre un'ulteriore quota di energia (ciclo combinato).

Come evidente dal disegno di fig. 2.7, il funzionamento dell'impianto avviene attraverso un motore alimentato con combustibili fossili che, fornendo energia meccanica ad un alternatore, produce energia elettrica. Il calore rilasciato dal processo di combustione viene recuperato attraverso un sistema di scambiatori (uno aria-acqua per i fumi di scarico, uno acqua-acqua per il liquido di raffreddamento del motore ed uno olio-acqua per l'olio del motore) e viene quindi usato per soddisfare un'utenza termica a bassa temperatura.

È importante distinguere in questa sede che differenza esiste tra la tecnologia del teleriscaldamento e quella della cogenerazione. Il primo sistema consiste nel produrre, ad esempio presso una centrale, una grande quantità di energia elettrica, successivamente immessa nella rete di distribuzione, mentre il calore in eccesso viene trasportato a grande distanza, verso un'utenza privilegiata, spesso civile.

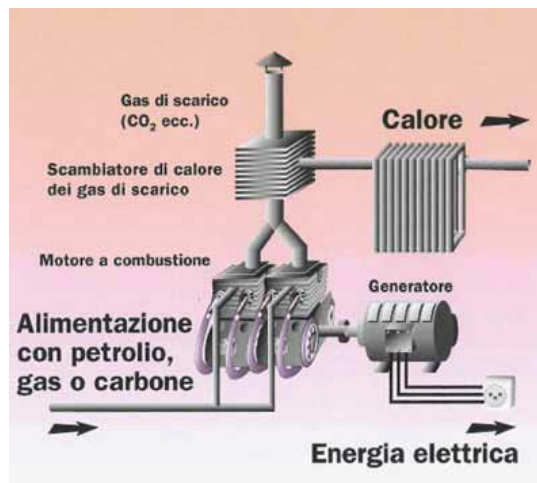


Fig. 2.7 - Schema di un impianto di cogenerazione

Nella cogenerazione invece si parla di produzione di energia diffusa in quanto il calore prodotto viene utilizzato direttamente presso l'utenza o comunque a brevi distanze da essa. La stessa utenza è inoltre il bacino di consumo dell'energia elettrica prodotta.

I benefici ambientali della cogenerazione sono principalmente dovuti ad una minore emissione in atmosfera di gas serra e di altri inquinanti grazie al ridotto consumo di carburante rispetto ai sistemi tradizionali (tra il 20% ed il 30% di emissioni in meno, a seconda dell'impianto e del combustibile utilizzato). Per avere un'idea dell'entità delle emissioni evitabili, si pensi che per produrre un kWh di energia elettrica con un impianto di cogenerazione alimentato a metano, si risparmiano circa 450 grammi di CO₂ rispetto a un sistema tradizionale per la produzione separata. Ad un minor consumo di combustibili corrisponde ovviamente anche una riduzione delle spese che consente di ammortizzare l'impianto in pochi anni (il tempo è variabile a seconda delle dimensioni e delle

caratteristiche del sistema installato). Affinché però l'investimento sostenuto per la sua realizzazione sia effettivamente conveniente, si devono garantire due importanti requisiti:

- la domanda di calore soddisfatta dall'impianto deve essere a bassa temperatura. La convenienza si riduce con l'aumentare della temperatura richiesta, a meno che non si tratti di esigenze specifiche industriali sullo stesso sito della produzione combinata;
- dal momento che l'energia elettrica non è accumulabile e il calore lo è relativamente, ma a costi elevati, la cogenerazione è proponibile soprattutto quando le due domande sono contemporanee e si manifestano nello stesso luogo (trasmettere il calore a grande distanza è tecnicamente ed economicamente oneroso, a causa dell'elevata dissipazione che si avrebbe durante la trasmissione).

Oltre al fattore ambientale ed economico non si può trascurare la componente strategica: i sistemi di cogenerazione consentono di risparmiare energia primaria e in un paese come l'Italia, fortemente dipendente dall'approvvigionamento estero di combustibili fossili, la riduzione dei consumi di energia primaria è la prima strada verso la sostenibilità del sistema energetico nazionale e come tale deve essere valorizzata e incentivata.

ASTEA gestisce una centrale di cogenerazione, ubicata nel comune di Osimo, entrata in funzione nell'ottobre 1991. La centrale è alimentata a gas metano, che viene attualmente prelevato dalla rete nazionale, ma che sino al 2005 veniva prodotto direttamente da un pozzo marginale situato nel comune di Montefano. La centrale di cogenerazione sfrutta una tecnologia in grado di produrre contemporaneamente energia elettrica e calore. L'energia elettrica prodotta viene venduta sulla Borsa Elettrica mentre il calore viene sfruttato per gestire la rete di teleriscaldamento.

La centrale è una centrale a gas costituita da un motore alternativo in cogenerazione, da tre caldaie ausiliare, di cui una stand by alle altre due, una pompa di calore che recupera l'energia termica a bassa temperatura altrimenti dissipata dal dry cooler LT del motore cogenerativo. Sul tetto della centrale e della stazione di ripompaggio sono installati due piccoli impianti fotovoltaici.

Il motore alternativo a combustione interna ha sostituito nel dicembre 2016 la turbogas 501 KH della Allison - a ciclo Cheng (macchina con iniezione di vapore in camera di combustione), diventata ormai obsoleta con rendimenti bassi.



Fig. 2.8 - Vista della centrale di cogenerazione

La configurazione di quest'impianto assicurava la massima flessibilità in termini di risposta alle fluttuazioni del carico termico.

I gas di scarico all'uscita della turbina venivano inviati alla caldaia a recupero, montata in posizione verticale, producendo vapore saturo per il teleriscaldamento e/o surriscaldato per l'iniezione in turbina. In particolare il vapore prodotto nel corpo cilindrico della caldaia può essere inviato allo scambiatore condensante, al degassatore e/o al surriscaldatore. La possibilità di inviare vapore indifferentemente allo scambiatore del teleriscaldamento oppure alla turbina a gas consente elevati rendimenti di conversione dell'energia, anche ai carichi parziali.

Per cercare di recuperare la maggior parte dell'entalpia contenuta nei fumi era stato installato il recuperatore finale, che alimentava un circuito chiuso d'acqua surriscaldata. Il ciclo chiuso è pressurizzato attraverso un collegamento con la linea di mandata delle pompe di alimento caldaia.

Il calore prodotto dal recuperatore finale veniva ceduto in parte alla rete di teleriscaldamento tramite uno scambiatore ausiliario a piastre, in parte all'acqua demineralizzata prodotta dall'impianto demi, tramite un preriscaldatore acqua demineralizzata, anche esso a piastre. L'acqua demineralizzata veniva mandata al degassatore dove veniva riscaldata ulteriormente e liberata dai gas in condensabili in essa contenuti, quindi inviata all'economizzatore della caldaia a recupero. L'impianto consisteva altresì di due caldaie d'integrazione (attualmente presenti) in grado di sopperire alle punte di richiesta termica e di evitare l'interruzione dell'erogazione di calore durante i fermi della turbina.

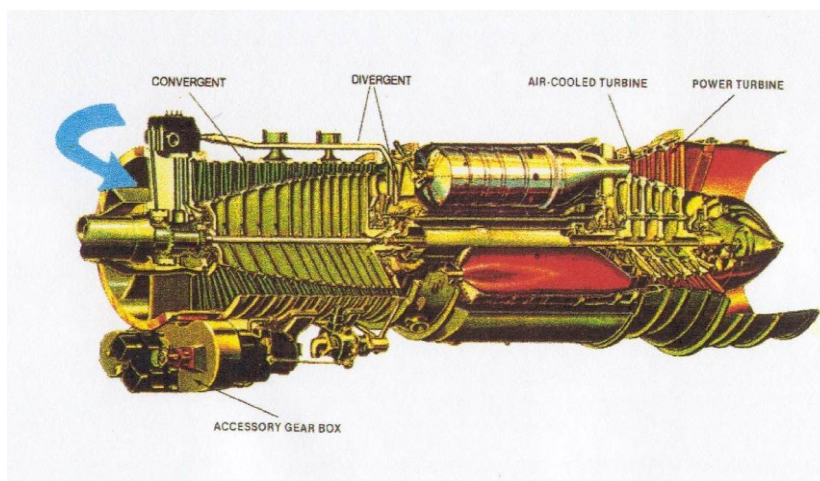


Fig. 2.9 - Turbina ALLISON 501 KH

Tali caldaie erano inserite in parallelo con gli scambiatori alimentati dalla caldaia a recupero.

La centrale è in grado di ottenere una potenza elettrica di 5,3 MW e una potenza termica di 7,2 MW. Gli impianti della centrale sono stati alloggiati all'interno di un unico fabbricato allo scopo di avere maggiore facilità nella manutenzione ed un minor costo, una migliore insonorizzazione ed un ridotto impatto visivo. Inoltre la centrale è stata costruita in posizione abbastanza nascosta ed è stata circondata con piante ad alto fusto per migliorare ulteriormente l'aspetto visivo.

Nella figura 2.10 è illustrato uno spaccato dell'impianto di cogenerazione di Osimo.

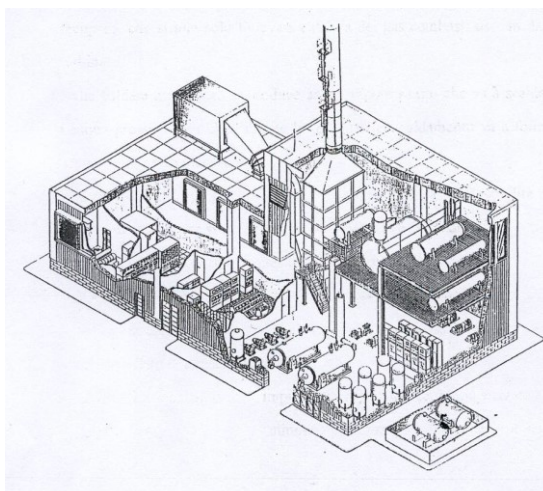


Fig. 2.10 - Spaccato della centrale cogenerativa di Osimo.

Le prestazioni in esercizio dell'impianto alle condizioni di riferimento di 15°C e 1,003 bar (corrispondenti all'altezza di installazione della macchina, 100 m sul livello del mare) erano quelle riportate nel grafico di figura 2.11. La figura riporta due curve che delimitano il campo di

funzionamento della macchina, la curva limite superiore e quella inferiore. La curva limite superiore a sua volta individua la flessibilità della macchina: la macchina eserciva secondo una configurazione che andava dalla massima iniezione di vapore in camera di combustione (5,3 MW elettrici e 1,1 MW termici) alla configurazione in cui si aveva che tutto il vapore veniva inviato al condensatore per produrre energia termica per la rete di teleriscaldamento (3,5 MW elettrici e 7,1 MW termici)

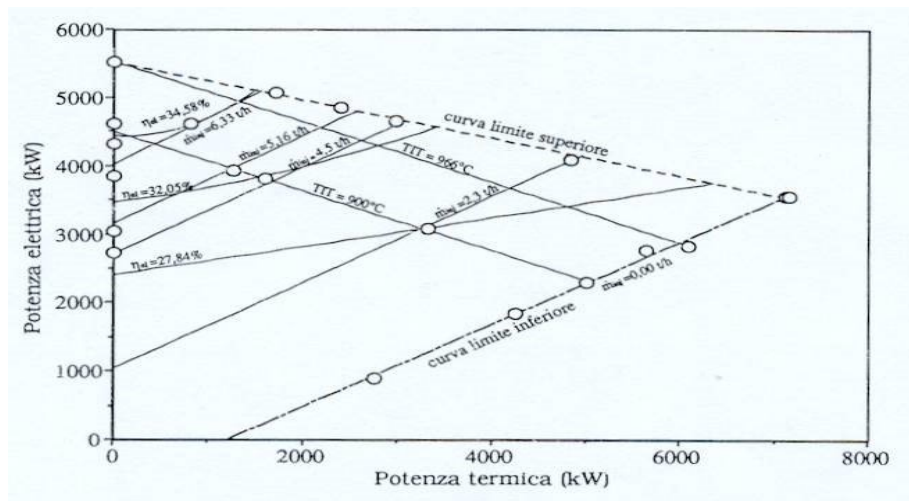


Fig. 2.11 - Prestazioni in esercizio dell'impianto.

Le prestazioni dell'impianto indicate in figura 2.11 erano funzione della iniezione di vapore in turbina e della temperatura massima di iniezione in turbina.

La centrale di cogenerazione è stata oggetto, a partire dal 2013, di un importante progetto di rinnovamento nato dall'esigenza di apportare correzioni ad un impianto ormai obsoleto e sovradimensionato in termini termici e finalizzato al miglioramento dei parametri di efficienza energetica complessiva. A seguire una descrizione dei principali interventi:

- Ottobre 2016 è stata messa in servizio una cabina di riduzione dedicata esclusivamente all'alimentazione della centrale allacciata direttamente dalla rete di trasporto nazionale;
- Dicembre 2016 si sono conclusi i lavori di sostituzione della turbina a gas con un motore cogenerativo a combustione interna di potenza elettrica alle condizioni nominali di circa 1.200 kW elettrici e 1.300 kW termici, a fronte di un consumo di circa 2.970 kW termici;
- Marzo 2017 è stata completata l'installazione di una caldaia di integrazione e soccorso da 4,2 MW, con rendimento pari al 94,9%;
- Settembre 2019 è stato installato un sistema di recupero del calore di scarto che prima non veniva sfruttato, proveniente dal raffreddamento del turbocompressore del motore. L'energia di scarto recuperata viene ora utilizzata per alimentare un sistema a pompa di calore acqua-acqua che integrerà la produzione di energia termica destinata alla rete di teleriscaldamento e opera in serie con il motore a combustione interna.

È stata installata un'idonea catena di misurazione dell'energia immessa e prodotta dal motore cogenerativo ai fini dell'ottenimento della certificazione di Centrale ad Alto Rendimento (CAR) e dei conseguenti Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica (TEE) che vengono riconosciuti dal GSE. La pompa di calore installata è dotata di un'idonea catena di misura dell'energia termica recuperata, ai fini del riconoscimento di un ulteriore modesto numero di TEE.

Questi interventi hanno permesso di aumentare il rendimento globale dell'impianto e quindi avere un minor consumo di gas a parità di energia prodotta, con evidenti vantaggi in termini ambientali, per le minori emissioni di gas inquinanti conseguenti il processo di combustione, ed in termini di risparmio economico.

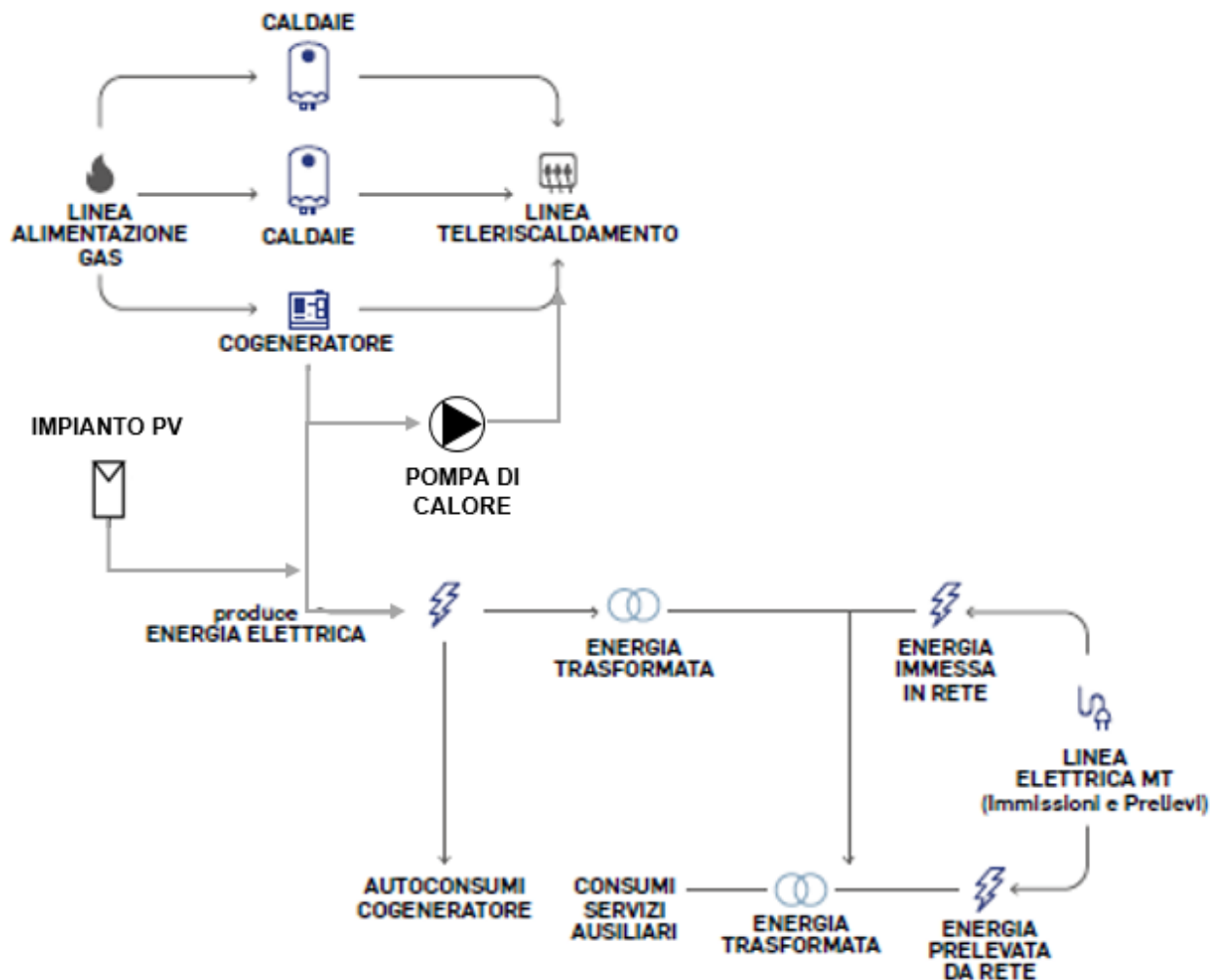


Fig. 2.12 – Schema di funzionamento centrale cogenerazione (comprensivo di cogeneratore, caldaie ausiliari, impianto fotovoltaico, pompa di calore e sistema di collegamento alla linea elettrica MT del distributore di energia locale)

	2016	2017	2018	2019
Potenza elettrica installata (MW)	1,2	1,2	1,2	1,2
Produzione di energia elettrica (MWh)	4.749	5.958	6.148	5.932
Potenza termica installata (MW)	10,30	14,50	14,50	14,50
Produzione di energia termica (MWh)	19.738	20.112	20.476	19.303

Tab. 2.4 - Energia prodotta dalla centrale di cogenerazione

	2016	2017	2018	2019
Gas metano (Sm ³)	3.196.206	3.165.079	3.229.363	3.010.584

Tab. 2.5 - Risorse impiegate nella centrale di cogenerazione (GRI EU2)

	2016	2017	2018	2019
Efficienza di produzione	81%	88%	88%	89%

Tab. 2.6 - Efficienza complessiva centrale (GRI EU11)

		2017	2018	2019
Tonnellate di CO ₂ evitate		337,7	431,5	421,6
Certificati Bianchi / (TEP risparmiate)		729	742	742

Tab. 2.7 – Tonnellate di CO₂ evitate con la centrale di cogenerazione

I dati energetici contenuti nelle tabelle precedenti evidenziano che, nonostante il fisiologico invecchiamento dell'impianto, il rendimento è aumentato dall'88% del 2018 all'89% del 2019, grazie all'introduzione per gli ultimi 3 mesi del 2019 della pompa di calore che permette di sfruttare l'energia dissipata dal Dry cooler LT.

Inoltre, per l'unità di cogenerazione installata, essendo stata riconosciuta ad Alto Rendimento, è previsto l'accesso al meccanismo dei Certificati Bianchi, secondo le condizioni e le procedure stabilite dal DM 5 settembre 2011. Il Gestore dei Servizi Elettrici provvede al riconoscimento dei certificati bianchi a conclusione di una attività di verifica e controllo in cui provvederà a determinarne il numero esatto. Nell'anno 2019 sono stati ricevuti 750 certificati bianchi, che corrispondono a un equivalente numero di tonnellate di petrolio risparmiate, che sono stati commercializzati sul mercato dei titoli efficienza energetica al prezzo di circa 260 €/cadauno. L'incremento dei certificati bianchi è stato possibile grazie all'efficientamento del motore di cogenerazione mediante l'introduzione della pompa di calore.

2.5 IL TELERISCALDAMENTO

Le grandi centrali normalmente utilizzate per la produzione di calore sono dotate di sistemi cogenerativi in grado di rilasciare in rete non solo calore, ma anche energia elettrica. Così come l'elettricità viene normalmente convogliata alla rete elettrica, il calore prodotto può essere distribuito alle utenze attraverso una rete di teleriscaldamento.

La centrale di produzione del calore porta ad elevate temperature (esempio 90-95°C in inverno e 75° in estate per la sola acqua calda sanitaria) l'acqua che raggiunge gli edifici attraverso la rete di distribuzione (tubazione rossa della figura). Giunta allo scambiatore di calore, l'acqua della rete trasferisce all'acqua dell'impianto domestico il calore necessario per riscaldare l'edificio. Al termine di questo processo, l'acqua ormai raffreddata (es. 60°C), ritorna in Centrale per essere nuovamente riscaldata.

La fitta rete di tubazioni di un impianto di teleriscaldamento necessita di importanti opere di allacciamento interrate. Al fine di contenere i costi, conviene quindi realizzare tali opere in concomitanza con la costruzione o manutenzione di reti fognarie e del gas. Le utenze più idonee ad essere servite con questo sistema possono essere molto eterogenee: da poche utenze (es. pochi condomini, quartieri) fino ad intere città.

Le centrali collegate a reti di teleriscaldamento possono produrre calore attraverso la combustione di carburanti fossili, biomassa vegetale o rifiuti. Esistono anche impianti di teleriscaldamento completamente alimentati da energia pulita proveniente da sottosuolo (energia geotermica): queste ultime, così come quelle che impiegano biomasse vegetali, sono sicuramente quelle caratterizzate dal minor impatto ambientale e sulla salute umana.

Spesso tra l'altro si assiste alla realizzazione di impianti di teleriscaldamento integrati cioè alimentati, in sinergia, da più fonti energetiche.

In qualsiasi caso i sistemi di teleriscaldamento rappresentano un'importante soluzione tecnologica per garantire un uso razionale delle risorse energetiche e per contribuire alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera. Questo perché, nonostante nella maggior parte degli impianti si utilizzino combustibili fossili per il funzionamento delle caldaie centrali, l'efficienza di una sola grande caldaia è molto superiore rispetto a tanti piccoli impianti dislocati nelle abitazioni. Ad una maggior efficienza corrispondono consumi minori con una conseguente riduzione di gas inquinanti in atmosfera. Inoltre si aggiunge a ciò che concentrare in pochi camini di emissione, gestiti e controllati da sofisticati sistemi e da personale qualificato, offre maggiori garanzie di sicurezza rispetto ad avere tanti piccoli camini a bassa quota nel territorio cittadino.

Scegliendo in modo opportuno la taglia dell'impianto di cogenerazione che opera il teleriscaldamento si realizza una importante ottimizzazione: si evitano i grossi impianti di produzione di energia elettrica e al tempo stesso si eliminano tanti impianti distribuiti di riscaldamento domestico.

In questa maniera si ottiene una riduzione e una razionalizzazione del consumo di fonti energetiche fossili che comporta chiari vantaggi ambientali in termini di riduzione delle emissioni di gas climalteranti e sostanze inquinanti e pericolose per la salute umana tra cui:

- anidride carbonica, gas dannoso per l'ambiente in quanto principale responsabile dell'effetto serra;
- ossidi di zolfo e ossidi di azoto, gas dannosi sia per la salute umana che per l'ambiente in quanto principali responsabili delle piogge acide;
- ossido di carbonio, gas altamente dannoso per la salute umana.

Infine, la produzione di energia elettrica in prossimità dei centri di utilizzo, influisce positivamente sul sistema di trasporto e distribuzione dell'energia in quanto riduce la necessità di costruire nuovi elettrodotti con conseguente riduzione dell'elettrosmog.

Il teleriscaldamento è il servizio che ha qualificato una porzione della città di Osimo a partire dagli inizi degli anni '90, contestualmente all'installazione della centrale di cogenerazione. Questa tecnologia permette di concentrare la produzione di calore nella centrale di via Vici e si pone come un'alternativa più efficiente e con maggiori controlli alle convenzionali caldaie domestiche.

Il servizio viene pagato sulla base del consumo effettuato, misurato da un contatore e si basa sulla logica del "costo evitato".

Con il teleriscaldamento il calore arriva direttamente all'utente, eliminando la necessità di installare caldaie, canne fumarie, serbatoi per il combustibile, cancellandone così tutte le spese connesse:

con questo sistema infatti, l'utente non deve più pensare alla manutenzione della caldaia, né preoccuparsi dell'efficienza del bruciatore e della regolarità della combustione.

I vantaggi per il cliente sono spiegabili sia in termini di sicurezza in quanto vengono eliminati i pericoli di fuga gas, incendi o improvvise esplosioni, sia in termini di gestione (si pensi semplicemente all'assenza delle manutenzioni ordinarie), tutto ciò mantenendo la possibilità di regolare in maniera autonoma la temperatura interna delle unità abitative.

Inoltre occorre considerare anche il minore impatto ambientale dovuto principalmente al risparmio di energia ed al minor inquinamento dell'aria in quanto si riducono i consumi e si utilizza al meglio il combustibile.

Tra gli altri vantaggi, invece delle migliaia di camini dei singoli impianti, non sempre efficienti e controllati, vi è un solo camino di emissione dei fumi gestito e controllato da personale qualificato.



Fig. 2.13 - Schema funzionamento rete teleriscaldamento

La rete di teleriscaldamento di Osimo ha una configurazione del tipo ramificato, con allacciate 1270 utenze divise per uso domestico (1177) e altri usi (93): nella totalità dei consumi però le altre utenze rivestono un ruolo molto importante, poiché associabili ad attività commerciali ed industriali.

La scelta della configurazione ramificata è stata obbligatoria poiché dettata dalla topografia estremamente accidentata del luogo, con dislivelli tra i diversi gruppi di utenze di oltre 150 metri: è risultato necessario l'inserimento di una stazione di ripompaggio nel circuito, che ora collega due circuiti.

Il circuito principale parte dalla centrale di cogenerazione e serve utenze fino a un dislivello massimo di 100 metri (tra quota 90 e quota 190 m).

Il circuito secondario, invece, parte dalla stazione di ripompaggio e consente di raggiungere le utenze ubicate nel centro storico di Osimo, fino a un dislivello di 75 metri (tra quota 180 e quota 255).

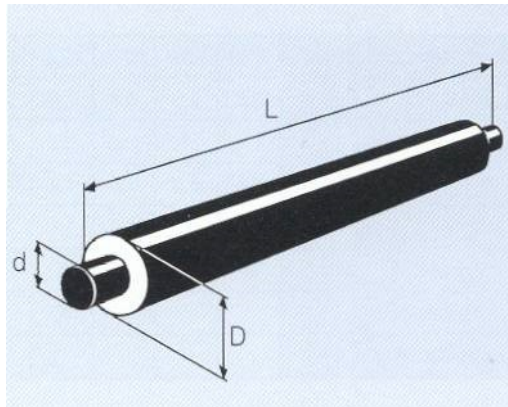
La rete di distribuzione, identica per i due circuiti, è realizzata mediante una doppia tubazione ABB (ASEA BROWN BOVERI) preisolata in poliuretano, con protezione meccanica esterna in polietilene. Tale tubazione, più in dettaglio, è costituita da un tubo di servizio in acciaio, uno strato isolante di schiuma poliuretanicca e da un rivestimento esterno in plastica.

Il sistema di tubi ABB utilizzato, inoltre, è un sistema BONDED (compatto); ciò significa che il tubo di servizio, la schiuma in poliuretano e il tubo guaina sono realizzati in modo da formare un corpo unico.

Il fluido vettore utilizzato è acqua calda pressurizzata ad una temperatura media di 90-95 °C (in inverno) in mandata mentre la temperatura media di ritorno dall'utenza è di circa 75 °C; la pressione massima d'esercizio è 16 bar.

Le perdite energetiche della sola rete di teleriscaldamento sono valutabili mediante l'utilizzo della norma UNI EN ISO 12241-09 "Isolamento termico per gli impianti negli edifici e per le installazioni

industriali". La suddetta norma fornisce dei metodi per il calcolo delle proprietà relative al trasporto di calore degli impianti in edilizia e installazioni industriali in regime stazionario sotto flusso termico monodimensionale.



Tubo bonded ABB.

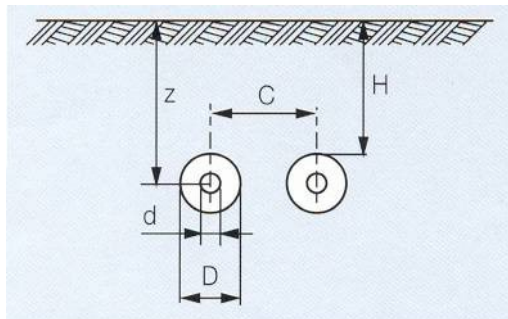


Fig. 2.14 - Interramento delle tubazioni

Il flusso termico per metro di tubazione interrata è calcolato mediante la seguente formula:

$$Q_{l,e} = \frac{\theta_i - \theta_{se}}{R'_i + R_e} \quad (1)$$

Dove:

θ_i = temperatura del fluido in K;

θ_{se} = temperatura superficiale del terreno in K;

R'_i = resistenza termica della tubazione;

R_e = resistenza termica del terreno.

La resistenza termica della tubazione è data dalla seguente relazione:

$$R'_i = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda_j} \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right) \quad \left(\frac{m K}{W} \right) \quad (2);$$

Mentre invece per quanto riguarda la resistenza del terreno si usa la relazione semplificata fornita dalla norma (il rapporto H_e/D_i è sempre maggiore di 2):

$$R_e = \frac{1}{2\pi\lambda_e} \ln \frac{4 * H_e}{D_i} \quad \left(\frac{m K}{W} \right) \quad (3)$$

Dove:

λ_e = conducibilità termica del terreno ambiente;

H_e = distanza tra il centro della tubazione e la superficie del terreno;

D_i = diametro interno della generica tubazione;

D_e = diametro esterno della generica tubazione;

λ_j = conducibilità termica della generica tubazione.

Di seguito vengono riportati i valori delle singole distanze e delle caratteristiche delle tubazioni:

Diametro (mm)	Diametro esterno (mm)	Spessore isolante (mm)	Distanza tubi (mm)	Diametro tubazioni (mm)	Spessore tubazioni (mm)	Interramento (m)	L totale linea (m)	Interramento/Di
20	90	70	240	21,7	1,7	1,5	1629	75
25	90	65	240	28,5	3,5	1,5	1570	60
32	110	78	260	37,2	5,2	1,5	1610	46,875
40	110	70	260	43,1	3,1	1,5	927	37,5
50	125	75	275	54,5	4,5	1,5	2499	30
65	140	75	290	70,3	5,3	1,5	1737	23,08
80	160	80	310	82,5	2,5	1,5	1334	18,75
100	200	100	350	107,1	7,1	1,5	2119	15
125	225	100	375	132,5	7,5	1,5	1821	12
150	250	100	400	160,3	10,3	1,5	1654	10
200	315	115	465	210,1	10,1	2	586	10
250	400	150	550	263	13	2,5	826	10

Tab. 2.8 - Caratteristiche geometriche della rete

Mentre le caratteristiche termofisiche della tubazione e del terreno sono:

	Tubazione	Guaina Tubazione	Isolante	Terreno
Conducibilità (W/mK)	76	0,43	0,0277	1,5

Tab. 2.9 - Conducibilità dei vari componenti

Velocità d'impianto (v)	0,5 < v < 2 (m/s)
Densità (ρ)	1000 kg/m ³
Calore specifico (c)	4,186 kJ/kg K
Temperatura fluido mandata (T)	95 °C
Temperatura fluido ritorno	68 °C

Tab. 2.10 - Caratteristiche operative d'impianto

Diametro (mm)	Perdite (W/m)	Perdite Ritorno (W/m)	Perdite Totali (kW)	Perdite Giornaliere (kWh)	Perdite Mensili (MWh)
20	8,72	5,66	23,43	562,34	17,43
25	10,07	6,53	26,06	625,44	19,39
32	10,45	6,78	27,73	665,59	20,63
40	12,44	8,07	19,01	456,14	14,14
50	13,59	8,82	55,99	1343,83	41,66
65	15,85	10,28	45,39	1089,35	33,77
80	17,34	11,25	38,13	915,11	28,37
100	17,51	11,36	61,18	1468,23	45,52
125	20,17	13,09	60,57	1453,65	45,06
150	22,73	14,74	61,97	1487,31	46,11
200	24,67	16,01	23,84	572,09	17,73
250	23,97	15,55	32,64	783,29	24,28
Totale	197,50	128,12	475,93	11422,37	354,09

Tab. 2.11 - Perdite energetiche delle tubazioni di teleriscaldamento nel mese di gennaio

Utilizzando un programma di calcolo elaborato internamente dall'Area Ricerca e Sviluppo di ASTEA SPA si è proceduto al calcolo delle perdite energetiche della rete di teleriscaldamento (ad eccezione delle perdite dei terminali d'utenza stimate mediamente in circa 80 MWh/mese), così come dettato dalla norma ad eccezione della resistenza termica che si ha tra le tubazioni (la norma riferisce solo il caso di una tubazione interrata e non una coppia), ottenendo, nel mese di gennaio, i risultati in tabella 2.11.

Nel calcolo della resistenza termica si è trascurato sia il contributo della tubazione sia quella della guaina, trascurabili rispetto alla resistenza termica dell'isolante.

Noti i valori delle resistenze, si è cercata la distribuzione di temperatura superficiale del terreno nei vari periodi dell'anno, così come possiamo vedere in figura:

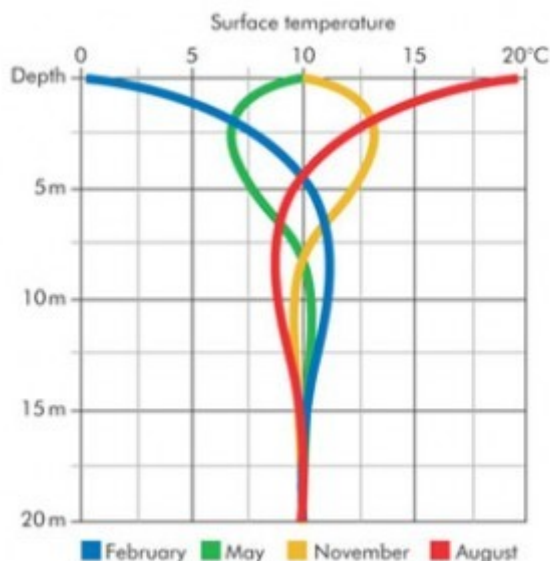


Fig. 2.15 - Distribuzione della temperatura del terreno nei vari mesi dell'anno

Per quanto riguarda invece la temperatura dell'aria esterna sono stati considerati valori mediati sui dati della centralina installata, riferiti al 2019.

Sono state registrate le seguenti perdite che nel 2019 sono state ridotte a circa 5.704 MWh su una quantità di energia distribuita pari a 19.263 MWh. Le perdite corrispondono a circa il 29,6% su base annua. Le perdite percentualmente sono più concentrate nel periodo estivo quando raggiungono picchi del 60%, rispetto al periodo invernale in cui risultano pari a circa il 19%. Tale differenza è giustificata dal fatto che nel periodo estivo, a fronte di consumi molto limitati, dovuti essenzialmente al consumo di acqua calda sanitaria, deve comunque essere tenuto in circolo acqua calda all'interno delle tubazioni (il cui volume complessivo è circa 400 m³) che scambiano calore a temperatura di circa 75 °C con il terreno più freddo.

ANNO	DISPERSIONI TOTALI (kWh)	Dispersioni termiche lungo la rete 85% delle dispersioni totali (kWh)	Dispersioni termiche diverse da quelle lungo la rete 15% delle dispersioni totali (kWh)	LUNGHEZZA RETE di Mandata (m)
2016	6.220.961	5.285.501	935.460	22.260
2017	6.090.144	5.169.822	920.322	22.323
2018	6.083.148	5.161.619	921.529	22.291
2019	5.704.215	4.961.110	743.105	22.291

Tab. 2.12 - Perdite energetiche delle tubazioni di teleriscaldamento e degli scambiatori

La lunghezza complessiva della rete di distribuzione in mandata incluse le derivazioni e gli allacci è pari a 22.291 m (tale valore va moltiplicato per due per tener conto della tubazione di ritorno). La

rete serve la parte sud-ovest della città nonché la zona Ospedale e parte del centro storico del Comune di Osimo.

	2016	2017	2018	2019
Lunghezza rete inclusi allacci(m)	22.260	22.323	22.291	22.291
Volumetria allacciata (mc)	670.343	672.033	675.273	675.273
Consumi totali (MWh)	13.517	14.022	14.393	13.559
Perdite di rete (W/m)	15,95	15,57	15,57	14,6

Tab. 2.13 - Dati caratteristici

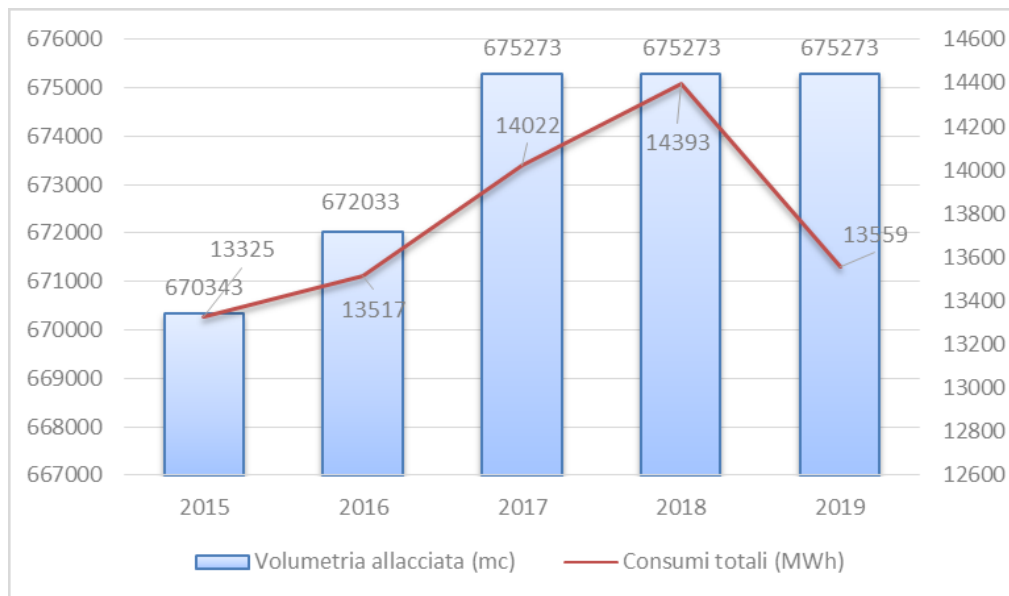


Fig. 2.16 – Trend consumi e volumetria allacciata

Nel 2018 grazie alla riduzione della temperatura di produzione dell'energia termica, è stato possibile ridurre del 2% le perdite di rete per unità di lunghezza di doppia tubazione, passando da 15,95 W/m nel 2016 a 15,57 W/m nel 2018.

Nel 2019 grazie ad un ulteriore abbassamento della temperatura di produzione dell'energia termica ed ad una riduzione delle temperature di ritorno mediante opportuni interventi, è stato possibile ridurre di un ulteriore 6% le perdite di rete per unità di lunghezza di doppia tubazione, passando da 15,57 W/m nel 2018 a 14,6 W/m nel 2019.

Le zone servite dal teleriscaldamento ad Osimo sono evidenziate nella seguente mappa.

Vi sono:

- una dorsale ad acqua calda pressurizzata a 95°C in mandata in inverno (in estate circa 75 °C) e 70°C in ritorno a servizio del quartiere Sud- Ovest del capoluogo e copre tutta la zona da Via Vici al Liceo Scientifico in zona "Gattuccio";
- una dorsale ad acqua calda pressurizzata a 95 ° in mandata in inverno (in estate circa 75 °C) e 65°C in ritorno dalla Scuola Media "Caio Giulio Cesare" sino al Teatro "La Fenice" in pieno Centro Storico.

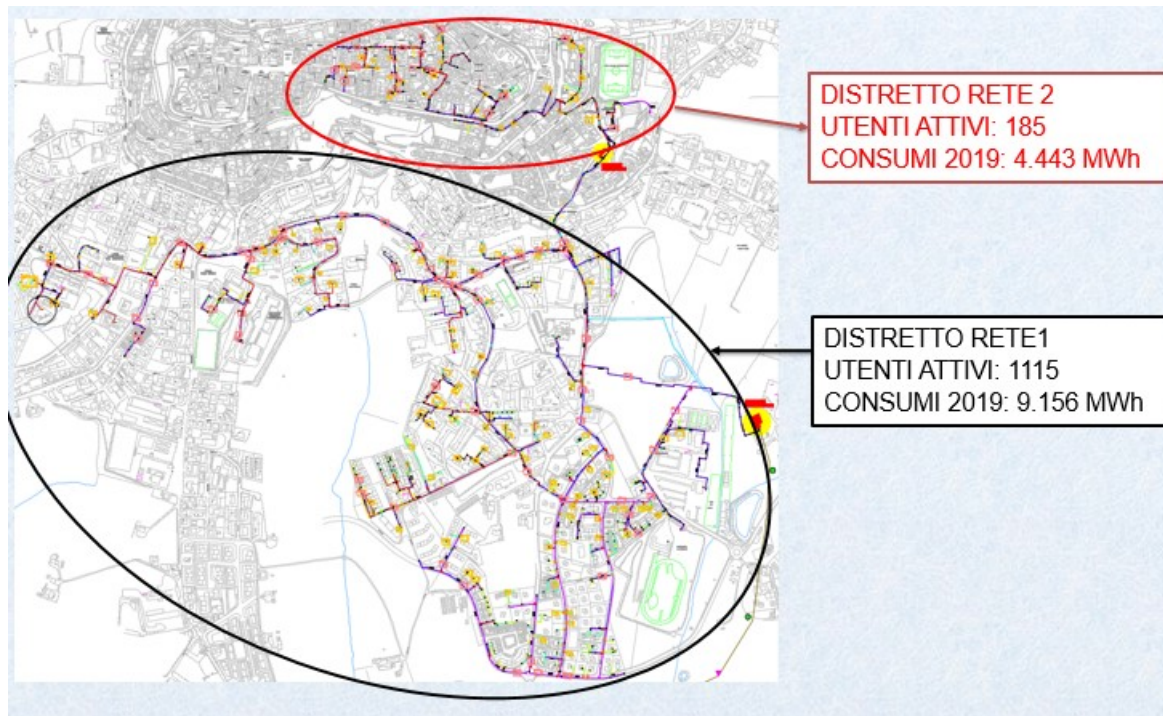


Fig. 2.17 - Mappa della rete di tele riscaldamento (gentile concessione ASTEA)

2.6 SMART METERING TELERISCALDAMENTO

Con il termine "smart metering" si intendono i sistemi che consentono la telelettura e tele gestione dei contatori di energia elettrica, gas e acqua e teleriscaldamento. I vantaggi dei sistemi di smart metering sono numerosi: oltre alla riduzione di costi per le letture e per le operazioni di gestione del contratto (es., cambio fornitore, disattivazione etc.) che possono essere effettuate in modo automatico a distanza, e con maggiore frequenza, senza un intervento in loco dell'operatore i sistemi di smart metering consentono altri vantaggi, che dipendono dal settore in cui sono applicati. Tra questi vantaggi vi sono:

- Per tutti i settori con contatori individuali: migliore consapevolezza del cliente finale in relazione ai propri consumi e promozione dell'efficienza energetica e dell'uso razionale delle risorse;
- Per tutti i settori (energia elettrica, gas, idrico, teleriscaldamento): migliore gestione della rete e migliore individuazione delle perdite tecniche e commerciali.
- Per i settori liberalizzati (energia elettrica e gas): facilitazione della concorrenza per la possibilità di ottenere una lettura "spot" (al di fuori del ciclo di lettura) in occasione del cambio di fornitore.

ASTE SPA ha installato da diversi anni contatori di calore tele leggibili.

Essi ad oggi sono dotati di modulo radio per la trasmissione del dato che viene ricevuto mediante una postazione mobile, walk-by/drive-by. L'operatore organizza dei tour per le vie interessate in modo tale da raccogliere le letture inviate dai contatori. Il progetto in fase di implementazione si pone come obiettivo quello di rendere i dati di consumo del calore tele leggibili per azzerare i costi ed il tempo necessari per la lettura dei consumi, per implementare strategie di demand-side management per ottimizzare la gestione del teleriscaldamento, per incrementare la qualità del servizio fornito al cliente, per migliorare il monitoraggio delle perdite termiche e automatizzare il processo di fatturazione. Il progetto di telelettura si basa essenzialmente su due tecnologie:

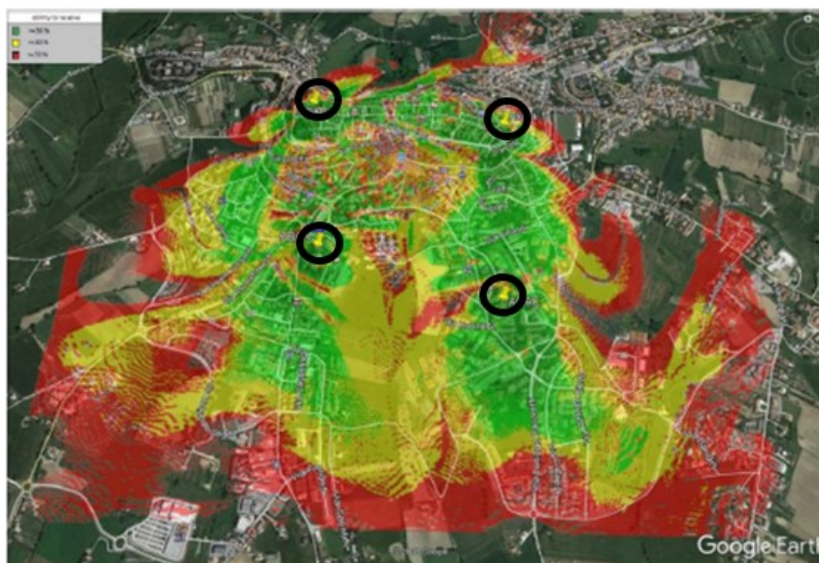


Fig. 2.18 - Copertura garantita sul territorio dal sistema fisso di telelettura

- 1) Un sistema fisso costituito da 4 stazioni riceventi radio 868Mhz dislocate nel centro di Osimo (indicate con pallini neri nella figura relativa) che permettono la copertura dell'intero territorio in cui sono installati i contatori calore. Un'alta frequenza di lettura genera una notevole quantità di dati che permette ai gestori visualizzazioni in tempo reale, storicizzazioni dei consumi, analisi e verifiche. I consumi possono essere visualizzati quando richiesti, gli intervalli di lettura sono liberamente programmabili e modificabili in qualsiasi momento. I contatori inviano unidirezionalmente i dati ai ricevitori RDC che comunicano via GPRS al FTP server utilizzando una SIM card (una per ogni ricevitore) con servizio dati attivo. In questo modo i dati dei misuratori sono raccolti dal FTP server.

2) Il software che rappresenta una piattaforma cloud per la visualizzazione, l'estrazione e la gestione dei dati di consumo dei contatori calore tele leggibili raccolti dal FTP server.

Le funzioni a cui adempie la piattaforma cloud sono le seguenti:

- Gestione dati consumi con un unico sistema;
- Visualizzazione integrata su mappa con localizzazione contatori;
- Visualizzazione dei dati con filtri annuali, mensili, settimanali, giornalieri, orari;
- Rappresentazione grafica dei dati del misuratore;
- Motore di analisi es: rilevamento perdite volto al risparmio energetico; confronto dei consumi dei contatori, rilevazione allarmi, letture mancanti dei contatori;
- Dashboard interattiva;
- Monitoraggio degli allarmi;
- Notifica tramite e-mail letture dei contatori, allarmi o risultati dell'analisi;
- Importazione da csv ed esportazione in csv / xlsx; (file personalizzati su richiesta);
- Export dei dati relativi ai consumi dei contatori;
- Utilizzo dell'API REST per collegamenti a software di terze parti;
- Importazione e aggiornamento automatico delle anagrafiche utenti su tracciati csv e relativa associazione ai misuratori;
- Applicazione per smartphone/tablet IOS/ANDROID per consultazione/visualizzazione consumi contatori da parte dei clienti;
- Gestione contatori in associazione con software di lettura walk by;
- Memorizzazione e visualizzazione informazioni dal campo associate al misuratore, ad es. foto, commenti.

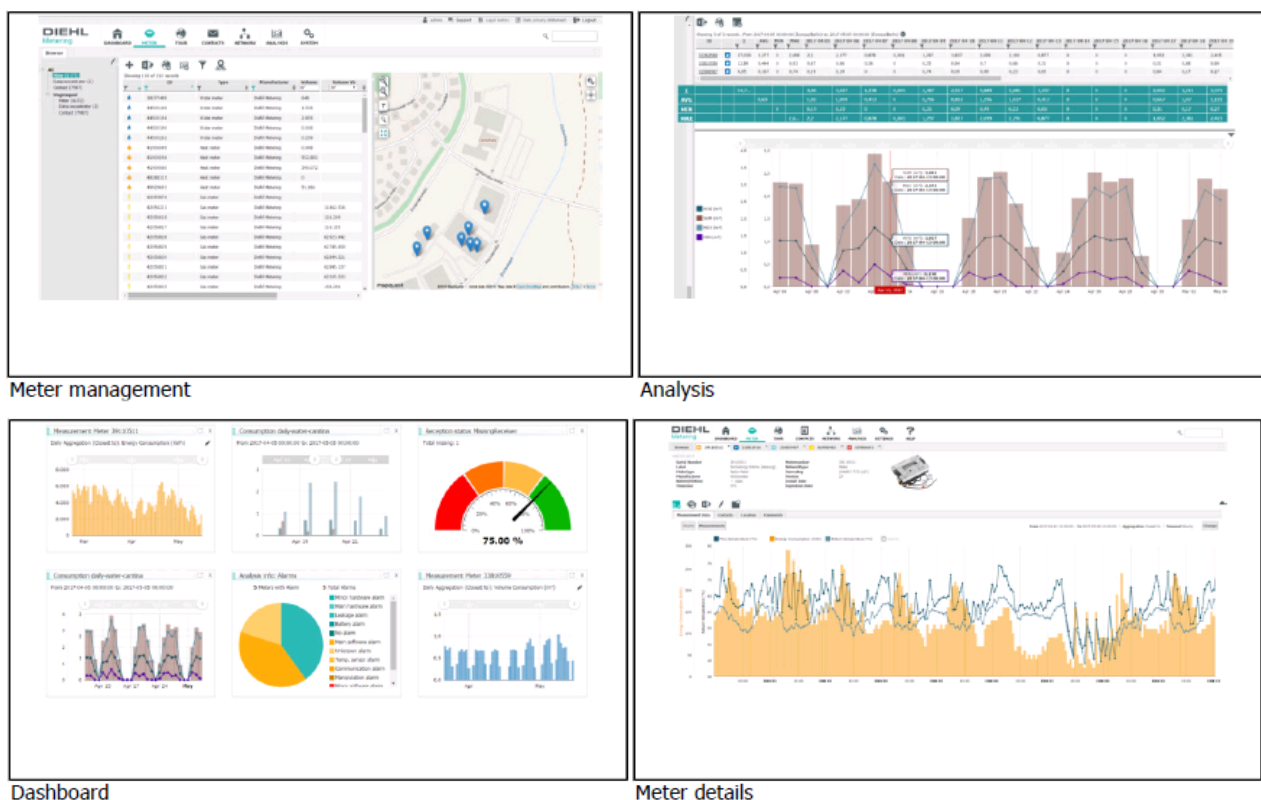


Fig. 2.19 - Alcune funzionalità del sistema di telelettura e tele gestione

I dati vengono trasmessi in tempo reale dai misuratori e raccolti dai ricevitori. Non è necessario chiedere i dati ai misuratori, sono sempre disponibili. Il telegramma dati di ogni misuratore è raccolto in tempo reale dal ricevitore che è continuamente sincronizzato via Server. Ciò consente di avere il dato disponibile in tempo reale, con uno sfasamento di un'ora.

Ad oggi gli obiettivi raggiunti sono i seguenti:

- Installazione di 3 postazioni riceventi fisse su 4. La quarta verrà montata in concomitanza con la taratura dell'intero sistema al termine della sostituzione dei contatori idrici nel duomo di Osimo;
- Fornitura della piattaforma cloud che necessita del collaudo e dei test in campo per verificare il suo funzionamento;
- Telelettura dei dati di consumo del 93% dei contatori calore mediante le 3 stazioni riceventi radio già installate.

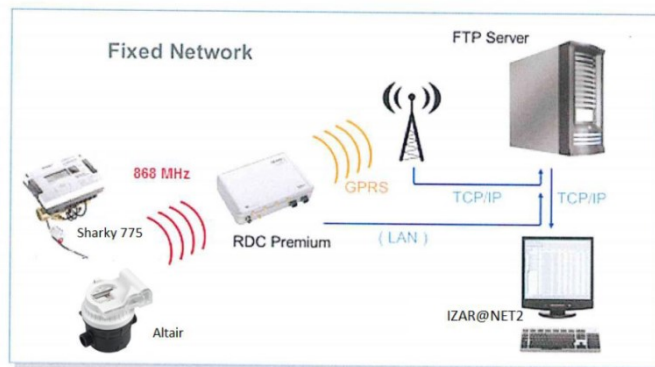


Fig. 2.20 - Sistema di trasmissione dei dati

2.7 SMART METERING SERVIZIO IDRICO INTEGRATO

Nel sistema acquedottistico gestito da ASTEA si evidenzia una differenza importante tra il quantitativo di acqua che viene emunta dalle sorgenti idriche e quella acquistata da terzi e il quantitativo di acqua che viene consumata dalla clientela. Questa differenza rappresenta le perdite idriche della rete ASTEA. Sono perdite idriche di natura “fisica” e di natura “apparente”. Le perdite “fisiche” sono quelle che avvengono a causa di rotture delle condotte di adduzione e di distribuzione, dei serbatoi di accumulo, delle vasche di compensazione di pressione e quelle legate al funzionamento anomalo delle condotte di troppo pieno.

Le perdite apparenti sono rappresentate invece dall’acqua impiegata e non contabilizzata, come:

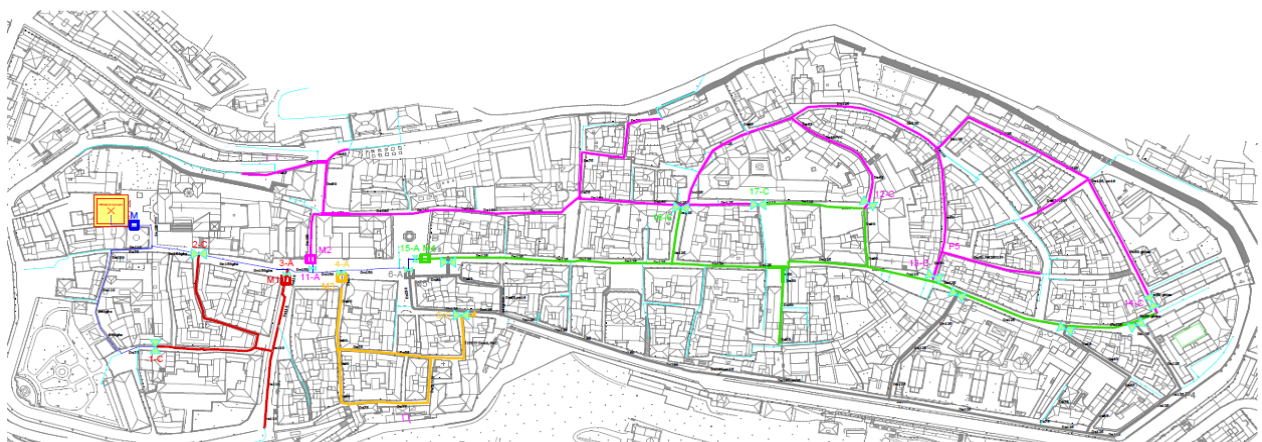
- Acqua per la pulizia delle condotte;
- Acqua contabilizzata male a causa di malfunzionamento dei contatori;
- Acqua indebitamente prelevata.

Attraverso l’attività di monitoraggio si possono ridurre le perdite fisiche nelle condotte e nei serbatoi, le perdite apparenti relative ai consumi illegali, le quantità fatturate a causa di malfunzionamenti dei contatori meccanici.

In tale scenario ASTEA ha evidenziato la necessità di giungere, con un percorso graduale, ad un monitoraggio real time, e quindi ad una gestione ottimizzata supportata da un software e da un sistema di telelettura applicato alla rete acquedottistica.

Pertanto è stato avviato un progetto sperimentale di “micro smart grid idrica” che mira a monitorare in tempo reale il funzionamento della rete acquedottistica, ottimizzare la gestione dell’impianto acquedottistico, migliorare il servizio e la gestione operativa.

In tal senso è stato costruito il demosite di Osimo, in cui è stata modellato la distrettualizzazione di n. 6 distretti, per un parco contatori pari a 1.650 clienti.



DISTRETTO	SMART METERS	CONSUMO MEDIO Anno 2019 [m ³ /h]
M	100/100	1,27
M1	110/110	0,80
M2	64/650	7,51
M3	140/140	1,22
M4	400/400	5,36
M5	250/250	3,1
TOTALE	1.064/1.650	19,26

Fig. 2.21 - Distretti idrici del centro storico di Osimo (gentile concessione ASTEA)

Nella figura 2.21 sono indicati i sotto distretti idrici del centro storico del comune di Osimo. Alla data del 3 giugno 2020 risultavano essere stati installati 1.064 contatori tele leggibili su 1.650 complessivi.

Tranne che nel distretto individuato dal misuratore di portata M2, in tutti gli altri distretti, ciascuno caratterizzato dal suo misuratore di portata in ingresso, sono state completate le installazioni.

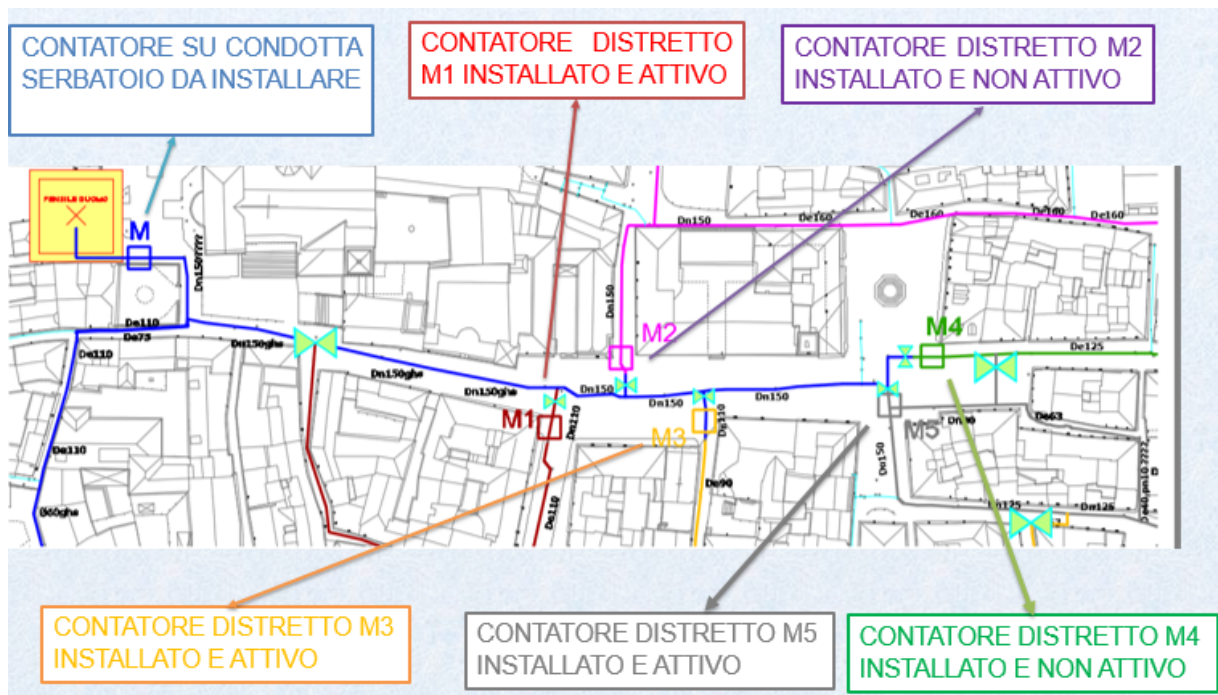


Fig. 2.22 - Analisi dei contatori di distretto installati alla data del 03/06/2020 nel centro storico di Osimo

I contatori idrici tele leggibili, dotati dello stesso sistema di acquisizione dati dei contatori del teleriscaldamento, consentono al sistema di telelettura l'esecuzione del monitoraggio continuo, e, attraverso il confronto tra i dati dei contatori della clientela e quelli di ciascun distretto, è possibile effettuare il bilancio idrico di distretto, analizzare le minime portate notturne, calcolare differenze e quindi, individuare eventuali perdite.

SERVIZIO	TRADIZIONALI NON DOTATI DI MODULO RADIO	CONTATORI DOTATI DI MODULO RADIO	TIPOLOGIA CONTATORE CON MODULO RADIO	SOSTITUITI AL 20/05/2020	TELELETTI DA INFRASTRUTTURA FISSA	PERCENTUALE TELELETTI
ACQUA POTABILE	1650	0	VOLUMETRICI ALTAIR	256	254	99%
			STATICI HYDRUS	808	767	95%
			VOLUMETRICI WESAN DI DISTRETTO	5	5	100%
			TOTALE	1069	1026	96%
TELERISCALDAMENTO	0	1300	SHARKY	-	1214	93%

Fig. 2.23 - Sostituzione contatori e ricezione del sistema di telelettura al 03/06/2020

La ricezione radio dei contatori calore non ha ancora copertura del 100% perché è necessaria l'installazione della quarta antenna prevista dal progetto originario.

La ricezione radio dei contatori idrici non è del 100% perché è necessaria la fase finale di calibrazione e orientamento delle antenne delle stazioni riceventi presenti nel centro storico.



Fig. 2.24 - Portale

Il portale utilizzato consente il monitoraggio delle perdite idriche per confronto tra le portate orarie immesse in ciascun distretto e delle del contatore virtuale che somma le portate di ciascun contatore sotteso.

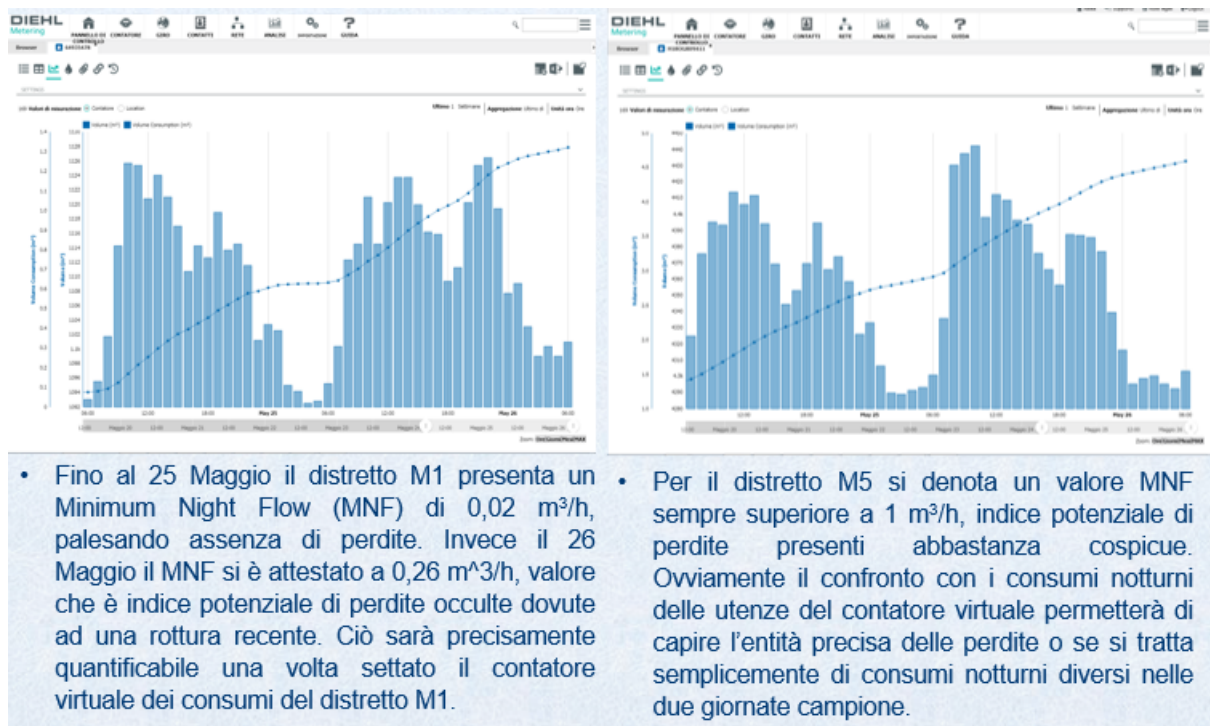


Fig. 2.25 - Analisi di eventuali perdite su due distretti idrici campione

Il portale evidenzia che dalla semplice analisi dell'andamento notturno delle portate in due giorni consecutivi è possibile avere degli elementi per indagare ulteriormente sulla presenza di eventuali perdite notturne. L'analisi dei dati evidenzia una differenza di consumo notturno in giornate successive. E' stato pertanto analizzato il contatore virtuale somma di tutti i contatori insistenti su tale distretto ed è stato verificato che si trattava di consumi notturni diversi e non di perdite di rete.

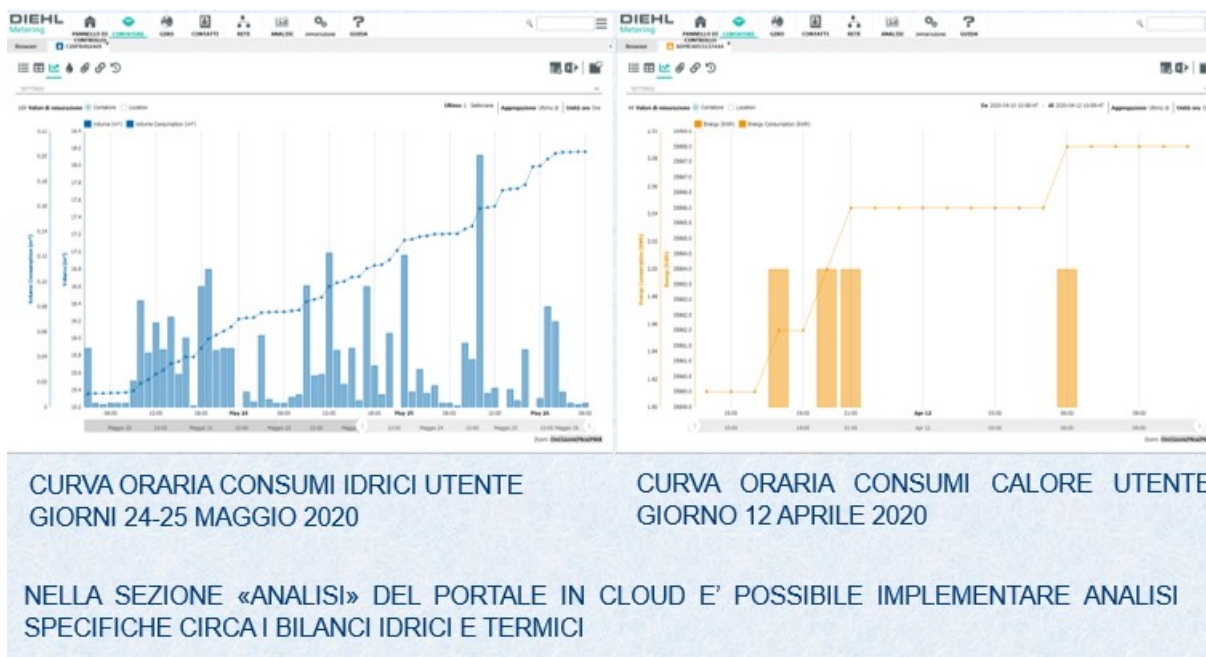


Fig. 2.26 - Curva dei consumi idrici e del teleriscaldamento di un cliente campione



Fig. 2.27 - Schematizzazione dei clienti della rete del teleriscaldamento su mappa

La fig. 2.27 rappresenta un esempio dei contatori del teleriscaldamento analizzati. Mappa analoga è stata costruita per i contatori dei distretti idrici di Osimo Centro. Cliccando su ciascun punto è possibile visualizzare tutte le informazioni relative al punto stesso.

O strumento installato consente oltre a quanto sinora descritto anche la verifica delle pressioni di rete (una volta installati i relativi misuratori di pressione) ed il confronto con la pressione teorica. La misura di tali differenze, unita alla misura delle portate consente di localizzare eventuali perdite, quantificarle e procedere alla tempestiva riparazione della condotta ammalorata. Lo strumento può essere utilizzato anche per operare interventi di manutenzione predittiva.

Lo strumento di controllo delle pressioni consentirà di analizzare da un punto di vista idraulico la rete e laddove si registrassero valori di esubero rispetto al minimo necessario per garantire il servizio nella condizione di portata massima ripristinare tale valore agendo sulla gestione delle valvole di rete e riducendo le rotture e i costi energetici di pompaggio.

2.8 RIFERIMENTI

- Direttiva n. 200/22/CE del 31/3/2004 (Contatori acqua) - D.P.R. 23 agosto 1982, n. 854 di attuazione della direttiva 75/33
- Decreto legge n. 93 del 21/04/2017 Normativa sui Controlli dei contatori
- Direttiva 2014/32/CE (MID) Strumenti di Misura
- Bilancio di sostenibilità 2019 del Gruppo ASTEA
- AIRU, Il riscaldamento Urbano – annuario 2019
- Enea, Rapporto annuale efficienza energetica 2019, 31 maggio 2019
- RSE, Impianti Termoelettrici, www.rse-web.it
- A. Sanson, G. Giuffrida, Enea-CNR-RSE- Decarbonatazione dell'economia italiana, Il catalogo delle tecnologie energetiche, 2017
- GMA Controls, Dhiel Metering, IZAR - tecnologia applicata per soluzioni AMR / AMI, 2020

CAPITOLO 3

PRESTAZIONI ENERGETICHE DELLA NUOVA CENTRALE DI COGENERAZIONE



- 3.1 MOTIVAZIONI DEL REVAMPING DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE
- 3.2 UNITA' DI COGENERAZIONE CAR (1.2 MW_E E 1.3 MW_T)
- 3.3 PRESTAZIONI DELL'UNITA' DI COGENERAZIONE
- 3.4 POMPA DI CALORE (140 kW EROGATI)
- 3.5 CALCOLO DEL RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA
- 3.6 COGENERATORE DI PICCOLA TAGLIA (140 kW_E e 209 kW_T) E POMPA DI CALORE (197 kW) – FUTURA APPLICAZIONE
- 3.7 IMPIANTO SOLARE TERMICO (170 MWh/a – 250 m²) – FUTURA APPLICAZIONE
- 3.8 CONCLUSIONI
- 3.9 RIFERIMENTI

3.1 MOTIVAZIONI DEL REVAMPING DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE

ASTEVA SPA ha elaborato un **progetto “smart grid”** consistente nel graduale revamping (repowering) della centrale di cogenerazione, nella creazione di un sistema intelligente di gestione della produzione di energia, dell'impatto ambientale attraverso l'ottimizzazione delle risorse energetiche rinnovabili e assimilate, della riduzione delle perdite degli impianti e della rete di teleriscaldamento. Il miglioramento dei parametri di efficienza ed ambientali potrà essere ottenuto al termine del progetto è iniziato con la graduale sostituzione della turbina a gas con un motore alternativo a combustione interna a gas.

L'impianto di cogenerazione è destinato alla produzione combinata di energia elettrica e termica a servizio della linea di teleriscaldamento sita ad Osimo in via Vici 18, di proprietà di ASTEA Spa.

PRODUZIONE			
Energia termica lorda	MWh	20.852	
Energia termica invernale lorda	MWh	17.160	
Energia termica estiva lorda	MWh	3.692	
Energia elettrica lorda	MWh	14.914	
Energia elettrica invernale lorda	MWh	8.890	
Energia elettrica estiva lorda	MWh	6.024	
VENDITE			
Energia termica netta	MWh	14.867	
Energia termica invernale netta	MWh	13.331	
Energia termica estiva netta	MWh	1.536	
Energia elettrica netta	MWh	14.137	
Energia elettrica invernale netta	MWh	8.412	
Energia elettrica estiva netta	MWh	5.725	
PERDITE ENERGETICHE			
Energia termica	MWh	5.985	28,7%
Energia termica invernale	MWh	3.829	22,3%
Energia termica estiva	MWh	2.156	58,4%
Energia elettrica	MWh	777	5,2%
Energia elettrica invernale	MWh	478	5,4%
Energia elettrica estiva	MWh	299	5,0%
ACQUISTI			
Acquisto gas	kSm3	6.293	
Rendimenti			
rendimento termico caldaia			90,5%
rendimento termico turbina			19,4%
rendimento termico turbina+ caldaia			35,2%
rendimento elettrico turbina			30,6%
rendimento 1° princ. turbina			50,1%
rendimento 1° princ. Turbina+caldaia			59,0%
PES turbina			-20,5%
PES turbina + caldaia			-15,1%

Tab. 3.1 - Scheda delle caratteristiche dell'impianto di cogenerazione con turbina a gas

Tale impianto in passato era costituito dalla turbina a gas quale unità cogenerativa mostrava dal punto di vista tecnico-economico una serie di criticità che vado a dettagliare.

- Perdite energetiche elevate, soprattutto nel periodo estivo in rapporto percentuale a causa della necessità di tenere in circolo energia termica (non stoccabile), ma con bassi consumi della clientela;
- Bassi rendimenti;
- I ricavi estivi erano addirittura inferiori ai costi di approvvigionamento del gas per usi estivi;
- I costi di manutenzione della turbina «full risk» rappresentano il 20% dei ricavi da vendita di energia elettrica;
- Il margine commerciale rimaneva basso;
- Gli ammortamenti della centrale e TLR risultavano elevati;
- Il valore residuo da ammortizzare era basso; il turbogas e la caldaia a recupero erano stati ammortizzati quasi interamente.

L'analisi dei dati tecnici evidenzia:

- Le perdite energetiche estive dovute alla necessità di mantenere in circolo l'acqua per uso sanitario sono pari al 58,4%; le perdite energetiche complessive dell'impianto sono pari al 28,7%;
- I rendimenti d'impianto sono bassi rispetto all'attuale tecnologia (rendimento elettrico del 30,6% contro valori medi del parco europeo del 40% e di primo principio del 50,1% contro valori medi dell'80%);
- Il PES (Primary Energy Saving) della turbina che esprime quanto si risparmia rispetto a produzioni separate ed efficienti di energia elettrica e termica è molto negativo e pari al -20,5%;
- Il PES dell'impianto che esprime quanto si risparmia rispetto a produzioni separate ed efficienti di energia elettrica e termica è molto negativo e pari al -15,1%;

Inoltre l'analisi complessiva evidenzia:

- Errato dimensionamento dell'impianto di cogenerazione in relazione alla curva di durata dell'energia termica di «base load» erogata alla clientela;
- Rendimenti d'impianto bassi rispetto alla tecnologia attuale e valori di risparmio energetico negativi se applicati i parametri ARERA (ente di regolazione)
- Numero di clienti allacciati (circa 1.300) per km di rete (circa 20) molto basso – servizi venduti riscaldamento e acqua calda sanitaria (niente calore per processo o acqua refrigerata)
- Obbligo nel periodo estivo di mantenere in circolo acqua calda sanitaria senza un adeguato sistema di termoregolazione
- Perdite energetiche elevate lungo la rete e in corrispondenza delle sotto centrali d'utenza a causa delle elevate temperature di progetto e gestione della rete
- Vetustà della caldaia a recupero e relativi rischi di rottura; verifica dello stato della rete
- I rischi di rottura della turbina salvaguardati attraverso un contratto «full service» dai costi elevatissimi (contrattualizzati minimo 6.000 ore e 16.000 MWh).
- Costi di approvvigionamento del gas elevati rispetto ai ricavi dalla vendita di energia elettrica a prezzi di borsa.

Il progetto di revamping della centrale di cogenerazione, che alimenta la rete di teleriscaldamento di una parte della comunità di Osimo, prevede la seguente configurazione (a regime):

N.	DENOMINAZIONE	Pot.Elettrica	Pot.Termica (kW) o volume (m3) o superficie (m2)	NOTA (programma di revamping)
1	Unità cogenerativa CAR	1.200 kW	1.300 kW	Sostituita Turbogas
1	Caldaia principale		4.600 kW	Recente installazione
2	Caldaie integrazione e soccorso		10.200 kW	Già presenti - in stand by alla nuova caldaia
1	Pompa di calore – recupero energia LT cogeneratore		140 kW	Installata a fine 2019
1	Impianto Fotovoltaico		12 kW	Installato a tetto
1	Impianto Fotovoltaico		5 kW	Installato su sistema pompaggio
1	Serbatoio di accumulo termico		85 m ³	In fase installazione
1	Caldaia di stand by		1.500 kW	In progettazione
1	Cogeneratore piccola taglia	140 kW	209 kW	In progettazione
1	Pompa di calore aria-aria		197 kW	In progettazione
1	Impianto solare termico		250-500 m ²	In progettazione

Tab. 3.2 – Componenti dell'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento

Al momento sono in fase di progettazione la caldaia di stand by di piccola taglia, il cogeneratore di piccola taglia, la pompa di calore aria-aria e l'impianto solare termico. E' in fase di costruzione il

serbatoio di accumulo termico, la pompa di calore alimentata dal recupero termico a bassa temperatura del cogeneratore è in fase di “test running”, mentre tutti gli altri item sono stati installati. Il progetto trae la sua origine dall’analisi di redditività dell’impianto, dalla necessità di mantenere efficiente il servizio sinora offerto alla clientela, dalla necessità di ridurre il gap tra costo del gas acquistato con contratto bilaterale e a prezzo fisso o indicizzato a TTF Hub olandese, la remunerazione dell’energia elettrica a prezzi di borsa, la remunerazione dei certificati bianchi dell’unità di cogenerazione ad alto rendimento a prezzi stabiliti dal mercato.

Le tematiche affrontate nel corso del progetto, al fine di definire le macchine più adatte, hanno riguardato: l’analisi degli scenari, lo stato dell’arte, la conduzione della centrale a turbogas, il miglioramento del sistema in termini di efficienza, la normativa in vigore, la possibilità di accesso ai titoli di efficienza energetica, la revisione dell’attuale contrattualistica.

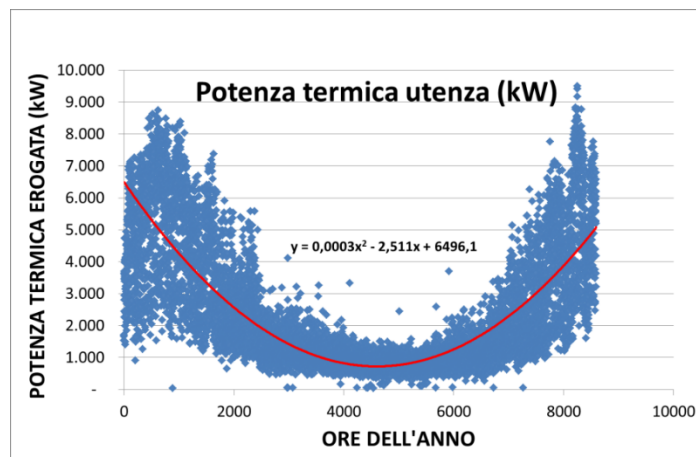


Fig. 3.1 - Curva della potenza termica annua su base oraria

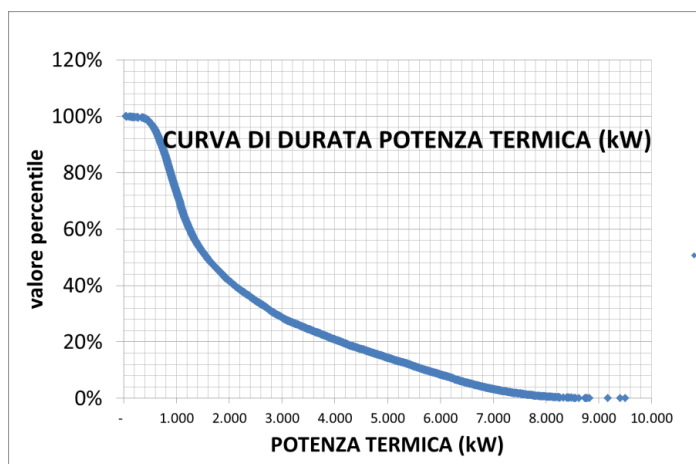


Fig. 3.2 - Curva di durata della potenza termica

La scelta delle macchine di revamping è stata effettuata tenendo conto sia della potenza termica del parco clienti, e cioè della potenza termica erogata a bocca di centrale, che della curva di durata della stessa.

I due grafici evidenziano che la potenza termica massima erogata a dicembre è di circa 10 MW (qualche decina di ore all’anno); le richieste minime si registrano durante il periodo estivo (dal 1° maggio - 2.880 ore al 30 settembre - 6.550 ore); la potenza termica circa 500-800 kW si mantiene per tutta la durata dell’anno (vedere la curva di durata).

3.2 UNITA' DI COGENERAZIONE CAR (1.2 MW_E E 1.3 MW_T)

La prima installazione effettuata ha riguardato l'unità di cogenerazione. Ci si è orientati su una unità cogenerativa denominata CAR (cogenerazione ad alto rendimento) che erogasse una potenza elettrica di 1.200 kW, al fine di garantire un rapporto tra potenza elettrica installata e potenza termica erogata superiore al 10%, e ciò al fine di ottenere uno sgravio delle accise del gas. Per contenere i costi del gas è stata altresì realizzata una cabina di riduzione del gas in prossimità della linea di adduzione alla centrale, direttamente connesso alla rete di trasmissione nazionale Snam (distante qualche km dalla centrale), riducendo i costi di acquisto del gas, in quanto su di essi non gravano i costi del distributore locale.

L'unità cogenerativa scelta eroga una potenza termica di circa 1.300 kW. Considerata la curva di durata della potenza termica richiesta l'unità di cogenerazione rimane accesa per circa 5.500 ore annue. L'unità cogenerativa è spenta nei mesi di luglio e agosto per manutenzione straordinaria; durante il periodo invernale di riscaldamento (1 novembre -15 aprile) l'unità cogenerativa risulta sempre accesa; durante le mezze stagioni (16 aprile – 15 maggio e 1 ottobre -14 novembre) l'unità è accesa durante il periodo diurno e solo in parte durante il periodo notturno; nel rimanente periodo dell'anno l'unità cogenerativa risulta parzialmente accesa durante le ore diurne di maggior consumo. Al fine di realizzare un maggior consumo in modalità cogenerativa verrà installato un piccolo cogeneratore, da utilizzare per oltre 7.000 ore all'anno, in particolare per coprire il periodo di fermo dell'unità maggiore.

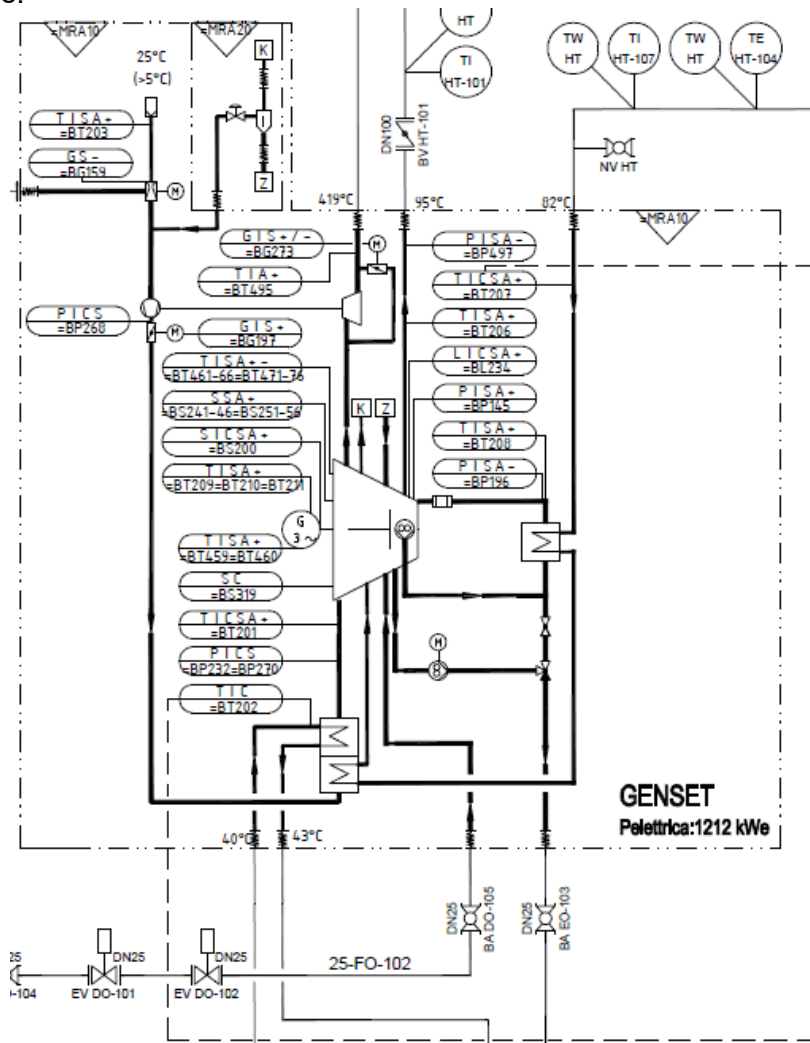


Fig. 3.3 - Schema dell'unità cogenerativa

L'unità cogenerativa è stata scelta sulla base delle seguenti considerazioni tecniche legate soprattutto alle sue "performance". In particolare in questo periodo di tirocinio sono stati monitorate i principali parametri d'impianto che hanno indicato:

- Rendimento elettrico elevato (circa 41% a pieno carico)
- Rendimento termico utile elevato (circa 43% a pieno carico)
- Rendimento globale di impianto (84% a pieno carico)
- Temperatura di mandata alla miscelazione per la rete del teleriscaldamento più bassa (max 82 °C), e quindi conseguente riduzione delle perdite energetiche di rete
- Gestione autonoma per un numero elevato di ore nel periodo estivo;
- Ulteriore possibilità di recuperare dal cogeneratore l'energia termica a bassa temperatura (circa 43 °C, con ritorno a 40°C) altrimenti dispersa (circa 110-120 kW), utilizzando una pompa di calore prototipale;
- Riduzione delle emissioni inquinanti di NO_x (124 mg/Nm³) e CO (96 mg/Nm³), rispetto ai limiti ammessi

Il nuovo impianto di Cogenerazione, è costituito dalle seguenti apparecchiature:

n. 1 motore endotermico alimentato da gas metano, accoppiato con alternatore sincrono trifase da 400 Volt con le seguenti caratteristiche principali:

- Potenza elettrica: 1.200 kW_E;
- Potenza di targa dell'alternatore: 1900 kVA;

n. 1 sistema di recupero dell'energia termica prodotta dal motore endotermico costituito da:

- n. 1 scambiatore a piastre di potenza nominale 687 kW per il recupero dell'energia termica dal circuito di raffreddamento delle camicie del motore, del I stadio intercooler e dell'olio di lubrificazione, sotto forma di acqua calda;
- n. 1 scambiatore fumi di potenza nominale 706 kW per il recupero dell'energia termica dei fumi di scarico del motore sotto forma di acqua calda, dotato di bypass fumi e "diverter";

n. 1 dry cooler con batterie separate per il raffreddamento d'emergenza del circuito II stadio intercooler e del circuito camicie del motore endotermico;

n. 1 linea fumi dotata di silenziatori (sezione reattiva e sezione ad assorbimento) e di n. 1 catalizzatore per l'abbattimento del monossido di carbonio;

n. 1 camino per l'espulsione dei fumi in atmosfera dotato di bocchelli per analisi fumi;

n. 1 quadro elettrico di potenza con Interruttore di macchina;

n. 1 quadro elettrico di potenza e controllo delle apparecchiature asservite all'Impianto di Cogenerazione, collegato a Sistema di Supervisione;

n. 1 box insonorizzato di contenimento del gruppo elettrogeno, dotato di sistema di ventilazione filtrato e insonorizzato;

n. 1 serbatoio dell'olio di servizio e serbatoi di stoccaggio dell'olio nuovo ed esausto;

n. 1 trasformatore elevatore 20.000 V / 400 V di potenza nominale 1600 kVA per il collegamento dell'impianto di cogenerazione in parallelo al Distributore Elettrico (tensione nel punto di 6 connessione 20.000 V).

La funzionalità della nuova unità cogenerativa e le relative prestazioni sono state dichiarate dall'appaltatore in sede di gara. Funzionalità e prove di prestazioni dovevano essere effettuate secondo il protocollo sotto indicato:

- La verifica delle prove di funzionamento dell'impianto di cogenerazione;
- La verifica delle prestazioni

ITEM	Verificato	Note
Verifiche dell'intervento delle sicurezze	SI	
Verifiche dei sistemi di controllo automatici e relativa strumentazione (trasduttori, attuatori)	SI	
Avviamento dell'impianto a freddo	SI	
Avviamento dell'impianto a caldo	SI	
Verifiche dell'intervento delle sicurezze	SI	
Verifiche dei sistemi di controllo automatici e relativa strumentazione (trasduttori, attuatori)	SI	
Arresto dell'impianto in condizioni normali	SI	
Arresto di emergenza dell'impianto	SI	Test eseguito supervisione BOSCH
Salite e discese programmate di carico elettrico e termico	SI	Verifiche eseguite durante l'esercizio provvisorio
Distacco di carico	SI	Test eseguito "arresto in sicurezza" supervisione BOSCH
Funzionamento dell'impianto al 50% del carico	SI	Limite minimo ammesso per esercizio continuo 65% della massima potenza elettrica
Funzionamento dell'impianto al 75% del carico	SI	Test run con esito positivo
Funzionamento dell'impianto al 100% del carico	SI	Test run con esito positivo
Prove di affidabilità (test run)	SI	Esito negativo relativamente ad allarme ai bassi carichi (questione risolvibile con diverso settaggio)
Verifica della modalità di esercizio ad inseguimento termico	SI	Esito incerto (questione in fase di risoluzione)

Tab. 3.3 – Modalità dell'esecuzione delle prove di funzionamento dell'unità cogenerativa secondo le specifiche del costruttore

PROVE DI FUNZIONAMENTO A VUOTO:	Verificato	Note
Sistema di avviamento	SI	
Controllo del colore dei gas di scarico	SI	
Funzionamento del regolatore di velocità	SI	
Strumentazione	SI	
Efficienza del giunto d'accoppiamento	SI	Garanzie Intergeren
Efficienza a vuoto dell'alternatore	SI	Garanzie Marelli Generators
Efficienza del quadro di comando e controllo	SI	
Verifica delle vibrazioni	SI	
Sollecitazioni sugli appoggi	SI	
Verifica di tutti i flessibili	SI	
Verifica funzioni sistema di supervisione	SI	

Tab. 3.4 – Prove di funzionamento a vuoto dell'unità cogenerativa secondo le specifiche del costruttore

PROVE DI FUNZIONAMENTO SOTTO CARICO:	Verificato	Note
Verifica del corretto funzionamento dei sistemi elettrici ausiliari, interruttore di macchina, ecc.	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica
Verifica del corretto funzionamento delle commutazioni e delle logiche predisposte nel sistema di controllo automatico	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica
Verifica del corretto funzionamento in termini di tensione, frequenza, corrente con le tolleranze ammesse	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica
Verifica delle armoniche	SI	
Verifica del funzionamento corretto dei dry cooler	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica
Verifica delle temperature, portate e potenze dei circuiti di recupero del calore (efficienza degli scambiatori a piastre e a tubi)	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica
Verifica delle condizioni di raffreddamento dell'alternatore	SI	Verifiche effettuate in fase di connessione con la rete elettrica

Tab. 3.5 – Prove di funzionamento sotto carico unità cogenerativa secondo le specifiche del costruttore

3.3 PRESTAZIONI DELL'UNITA' DI COGENERAZIONE

Le condizioni ambientali alle quali si riferiscono le prestazioni sono qui di seguito riportate:

- Quota altimetrica del sito 100 m s.l.m.
- Temperatura dell'aria comburente 25°C
- Umidità relativa dell'aria comburente 60%

Durante il funzionamento dell'impianto vengo eseguiti periodicamente sia il test run che la misura delle prestazioni di esercizio (avendo la disponibilità dei dati ormai su sistema di automazione informatizzato), una volta misurate le effettive condizioni in sito e confrontate con quelle di riferimento. Relativamente alle prestazioni energetiche si deve considerare che ad un aumento di 10°C della temperatura dell'aria comburente corrisponde un calo massimo di rendimento elettrico di un punto percentuale.

Le prestazioni nominali si riferiscono alle seguenti condizioni:

P.C.I. metano (condizioni di riferimento=condizioni nominali standard STD: 9,593 kWh/Sm³)

- T_{amb}=15 °C;
- p_{amb}=1,013 bar_a

Al fine di effettuare le opportune conversioni utili per la determinazione delle grandezze si fa sempre riferimento al PCI medio del gas di alimentazione. A titolo indicativo i valori medi mensili sono stati:

- Densità del gas (dati ARERA) 0,68456 kg/ Sm³
- P.C.I. metano (alle condizioni STD) 9,401 kWh/Sm³
- Z metano 0,99801

Per riportare le condizioni, da quelle correnti di alimentazione del gas a quelle nominali (condizioni nominali standard), si utilizza la seguente formula per calcolare la portata di gas:

$$V_b = V \frac{p}{p_b} \frac{T_b}{T} \frac{Z_b}{Z}$$

Ove:

- V_b = volume del gas nelle condizioni di riferimento - condizioni standard (Sm³/h)
- V = volume del gas nelle condizioni di esercizio (m³/h)
- T_b = temperatura alle condizioni standard (288,15 K)
- T = temperatura alle condizioni di esercizio (K)
- p_b = pressione assoluta alle condizioni standard (1,013 bar_a)
- p = pressione assoluta alle condizioni di esercizio (bar_a)
- Z_b = fattore di comprimibilità alle condizioni standard (1)
- Z = fattore di comprimibilità alle condizioni di esercizio (bar_a)

3.3.1 Dati prestazionali indicati dal costruttore

I parametri soggetti a verifica prestazionale sono quelli riportati nella seguente tabella, da normalizzare alle condizioni di riferimento, con le relative efficienze in base al carico di funzionamento:

Rif.	Grandezza	U.M.	CARICO			Tolleranza	Note
			100%	75%	50%		
A	Potenza termica introdotta	kW	2.777	2.147	1.506	+5%	
B	Potenza elettrica resa ai morsetti dell'alternatore (a cosφ 1)	kW	1.212	909	606	-3%	Penale contrattuale
C	Rendimento elettrico del modulo di cogenerazione (a cosφ 1)	%	43,6%	42,3%	40,2%		
D	Potenza termica utile per l'utenza (T _{IN} 60°C e T _{OUT} 80°C)	kW	1.347	1.069	780	-8%	Penale contrattuale
E	Rendimento termico del modulo di cogenerazione	%	48,5%	49,8%	51,8%		

F	Emissioni NOx con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	250	250	250	0%	Penale contrattuale
G	Emissioni CO con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	250	250	250	0%	Penale contrattuale
H	Prestazioni acustiche						Penale contrattuale
I	Rendimento di primo principio	%	92,1%	92,1%	92,0%		%

Tab. 3.6 – Prestazioni sotto carico dell'unità cogenerativa secondo le specifiche del costruttore

Sotto viene riportata la tabella con le condizioni che erano state indicate nel contratto di approvvigionamento, al netto delle tolleranze.

Rif.	Grandezza	U.M.	CARICO		
			100%	75%	50%
A	Potenza termica introdotta	kW	2.915,9	2.254,3	1.581,3
B	Potenza elettrica resa ai morsetti dell'alternatore (a cos ϕ 1)	kW	1.175,6	881,7	587,8
C	Rendimento elettrico del modulo di cogenerazione (a cos ϕ 1)	%	40,3%	39,1%	37,2%
D	Potenza termica utile per l'utenza (T _{IN} 60°C e T _{OUT} 80°C)	kW	1.239,2	983,5	717,6
E	Rendimento termico del modulo di cogenerazione	%	42,5%	43,6%	45,4%
F	Emissioni NOx con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	250	250	250
G	Emissioni CO con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	250	250	250
H	Prestazioni acustiche				
I	Rendimento di primo principio	%	82,8%	82,7%	82,6%

Tab. 3.7 - Prestazioni sotto carico dell'unità cogenerativa secondo le specifiche del costruttore

A seguire viene riportata la tabella con i valori riscontrati in un periodo di verifica, al netto delle tolleranze e la nota relativa ad eventuali penali contrattuali.

3.3.2 Dati misurati in opera

Dalla tabella risulta che i rendimenti elettrico e termico sono inferiori a quelli dichiarati, ma compresi all'interno delle tolleranze di norma. Tali parametri talvolta dipendono da avarie ai cilindri. Infatti, durante la vita dell'impianto tali fenomeni sono stati evidenziati. Ciò accade quando si registrano valori di temperatura dei cilindri difformi, in particolare uno, in qualche circostanza, per il quale le temperature sono risultate inferiori rispetto a quello degli altri non si esclude che sia i valori di rendimento che quelli inerenti la potenza introdotta con il combustibile possano dipendere da tale evento. Pertanto in tali casi si procede ad ulteriori verifiche una volta effettuata la manutenzione necessaria per ripristinare il corretto funzionamento di tutti i cilindri.

L'impianto di Cogenerazione funziona ad inseguimento termico del fabbisogno delle utenze, ovvero è in grado di modulare il proprio carico in modo da produrre solo l'energia termica che può essere assorbita dalla rete di teleriscaldamento.

Nel corso dell'ultimo trimestre dell'anno 2019 è stata effettuata una modifica impiantistica che ha interessato indirettamente la nuova unità cogenerativa, e cioè l'introduzione di una pompa di calore acqua-acqua.

Rif.	Grandezza	U.M.	CARICO		
			100%	75%	50%
A	Potenza termica introdotta	kW	2.936,1	2.325,0	1627,8
B	Potenza elettrica resa ai morsetti dell'alternatore (a cos ϕ 1)	kW	1.199,5	917,5	611,7

C	Rendimento elettrico del modulo di cogenerazione (a $\cos\varphi = 1$)	%	40,9%	39,5%	37,6%
D	Potenza termica utile per l'utenza ($T_{IN} 60^{\circ}C$ e $T_{OUT} 80^{\circ}C$)	kW	1.293,6	1.039,4,5	748,4
E	Rendimento termico del modulo di cogenerazione	kW	44,1%	44,7%	46,0%
F	Emissioni NOx con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	124,1	118,2	118,8
G	Emissioni CO con tenore di O2 del 5% sui fumi secchi	mg/Nm ³	96,3	65,3	34,6
H	Prestazioni acustiche				
I	Rendimento di primo principio	%	84,9%	84,2%	83,6%

Prestazioni alle condizioni nominali	U.M.	P _{EL} 100%	P _{EL} 75%	P _{EL} 50%
Potenza elettrica assorbita dagli ausiliari	kW	34,1	33,9	33,7
Potenza termica recuperata dai fumi di scarico	kW	678,5	693,4	536,3
Potenza termica recuperata lato acqua e olio motore	kW	608,8	441,3	266,3
Potenza termica recuperata totale	kW	1.287,2	1.135,3	802,6
Scostamento del valore di potenza termica recuperata totale rispetto alla verifica effettuata tramite contatori	%	-0,5%	9,2%	7,2%
Potenza termica dispersa da intercooler LT	kW	111 +-8%	89,4	69,1
Scostamento del valore di potenza termica dispersa da intercooler LT rispetto ai valori di specifica	%	28%	21%	64%
Portata acqua di raffreddamento intercooler LT	m ³ /h	40	40	40
Temperatura uscita ingresso acqua intercooler LT	°C	39,8/43,3	40,0/42,2	39,7/41,4
Temperatura gas di scarico motore	°C	418,4	446,7	473,9
Portata volumetrica dei fumi umidi (0 °C)	Nm ³ /h	5.310,8	4.941,0	3.505,0
Portata volumetrica dei fumi secchi (0 °C)	Nm ³ /h	4.992,2	4.644,0	3.154,0
Portata massica dei fumi	Kg/h			
Composizione molare dei fumi				
Calore specifico a p costante dei fumi	J/g K			
Temperatura dei fumi al camino	°C	89	84,6	79,4
Potenza dissipata per irraggiamento	kW			

Tab. 3.8 - Valori misurati in opera

3.4 POMPA DI CALORE (140 kW EROGATI)

La pompa di calore installata nel quarto trimestre 2019 e attualmente sottoposta a test di prova, rappresenta una soluzione tecnica innovativa per sfruttare l'energia a bassa temperatura, altrimenti dissipata, utilizzando energia proveniente dal motore alternativo a gas di cogenerazione installato nel sistema di teleriscaldamento. Nel caso specifico questa soluzione tecnica utilizza sorgenti di energia a bassa temperatura dal motore a gas. Durante il funzionamento del sistema di cogenerazione il fluido caldo a bassa temperatura proveniente dall'intercooler, viene utilizzato quale sorgente fredda a circa 40 °C dalla quale il fluido frigorifero di una pompa assorbe energia per rilasciarla, fino ad una temperatura di 75 °C, all'acqua calda del circuito di teleriscaldamento.

Negli ultimi decenni ci sono stati sforzi notevoli per un'aria più pulita e per la riduzione dei gas serra. In tal senso sono stati firmati diversi accordi e protocolli finalizzati altresì al contenimento dei consumi energetici. Il controllo del consumo energetico in Europa e un maggiore utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili, insieme al risparmio energetico e ad una maggiore efficienza energetica costituiscono una parte importante del pacchetto di misure necessarie per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e per conformarsi al protocollo di Kyoto, conformemente alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico e gli obblighi comunitari successivi e agli impegni internazionali per ridurre le emissioni.

Con lo sviluppo di tecniche e la crescente domanda di energia (ancora prodotta principalmente da fonti non rinnovabili, la cui combustione grava pesantemente sull'ambiente) nel mondo, richiede uno sfruttamento maggiore delle fonti rinnovabili. In particolare l'attenzione e enfasi va posta verso l'uso razionale dell'energia e l'autosufficienza energetica degli edifici commerciali e pubblici, in termini di energia elettrica calore e freddo. Ad oggi esistono pochi studi riguardanti l'accoppiamento di Pompe di calore che producono energia ad alta temperatura e Motori cogenerativi

Uno studio è stato fatto per aumentare la capacità di riscaldamento di un sistema utilizzando una pompa di calore elettrica alimentata dal calore recuperato da un motore cogenerativo a gas.

Mancarella ha presentato uno studio relativo inerente l'energia recuperata e la riduzione delle emissioni di CO₂ di sistemi di cogenerazione accoppiati ad elettrici. Blarke e Dotzauer hanno sviluppato un nuovo sistema di cogenerazione, con accoppiamento con Pompa di Calore e stoccaggio di acqua refrigerata, utilizzando il calore dei gas di scarico del motore cogenerativo.

Concetti simili sono stati presentati da Blarke che ha confrontato una caldaia elettrica e pompe di calore, applicati alla cogenerazione distribuita nella Danimarca occidentale. Capunder et al. hanno introdotto un modello di ottimizzazione per la valutazione tecnico economica tra diverse modalità di generazione di energia.

Gli obiettivi delle idee presentate sullo sfruttamento della energia a bassa temperatura fornita da motori a gas di cogenerazione, sono i seguenti:

- per determinare una nuova soluzione tecnologica da inserire in impianti cogenerativi convenzionali alimentanti linee di teleriscaldamento ad alta temperatura, attraverso lo sfruttamento di energia di risulta a bassa entalpia;
- per massimizzare l'efficienza complessiva dei motori a gas di cogenerazione;
- per selezionare dai punti di vista tecnico economico la pompa di calore più adatta a tali applicazioni.

La cogenerazione consente la produzione combinata di energia elettrica e termica. L'energia termica proveniente dai fumi di scarico del motore, dalla camicia, e dal raffreddamento dell'olio viene interamente utilizzata per alimentare la rete di teleriscaldamento ad alta temperatura. L'energia che viene immessa dal camino nell'ambiente a temperatura di circa 95 °C, e l'energia che viene utilizzata per raffreddare l'aria di alimentazione del turbocompressore del motore a combustione interna generalmente non vengono recuperate. La prima in quanto necessita di particolari accortezze per scongiurare problemi eventuali di condensa acida, la seconda in quanto rappresenta energia a basso contenuto entalpico essendo la temperatura di acqua glicolata pari a circa 40-43 °C, e pertanto viene dissipata in ambiente mediante dry cooler.

Le caratteristiche dell'impianto e l'energia recuperabile sono riportate in tabella.

Gas naturale PCI	kWh/Sm ³	9,4
Energia entrante	kWh	2.940
Energia elettrica	kWh	1.196
Energia termica recuperata	kWh	1.296
Intercooler 1° stadio	kWh	625
Olio di lubrificazione	kWh	625
Camicia	kWh	625
Fumi esausti fino a 95 °C	kWh	671
Energia dissipata	kWh	447
Energia irraggiata	kWh	92
Energia ausiliari	kWh	34
Energia sensibile e latente fumi	kWh	210
Energia intercooler 2° stadio	kWh	111
Energia recuperabile da progetto	kWh	111
Rendimento elettrico	%	40,7%
Rendimento termico	%	44,1%
Efficienza totale	%	84,8%
Energia recuperabile da progetto	%	3,8%

Tab. 3.9 - Schema energia del cogeneratore utilizzato per verificare la possibilità di inserire una pompa di calore sull'intercooler 2° stadio

Il calore a bassa temperatura prodotto dal motore a gas è attualmente inutilizzato e scaricato nell'ambiente, secondo le seguenti modalità:

- Il gas di combustione viene scaricato dal camino del motore a gas a pieno carico ad una temperatura di circa 95 °C, dopo essere stato raffreddato all'interno dello scambiatore fumi, alimentato ad una temperatura di 418 °C. La potenza termica recuperata dal motore a gas a pieno carico è pari a circa 671 kW. La potenza termica dissipata in ambiente e recuperabile attraverso il raffreddamento dei fumi e la loro condensazione a circa 47 °C è stimata in circa 210 kW;
- il calore proveniente dal raffreddamento dell'aria del turbocompressore - secondo stadio - viene ceduto ad una miscela di acqua e glicol al 35% in volume che si riscalda sino ad una temperatura di circa 43 °C e di qui viene inviata ad un dry cooler che la raffredda sino a circa 40 °C, scambiando energia con l'aria dell'ambiente esterno. La potenza termica dissipata in ambiente dal motore a pieno carico e recuperabile sotto forma di calore latente è stimata in circa 111 kW. Recuperando questa forma di energia l'efficienza totale dell'impianto aumenta del 3,8%.

La pompa di calore è una macchina che preleva energia termica gratuita a bassa temperatura e azionata da un motore elettrico che fornisce energia consente di produrre energia termica a più alta temperatura riversandola sull'ambiente da riscaldare. Vedasi schema relativo in figura.

Il principio di sfruttamento delle sorgenti a bassa temperatura dell'impianto di cogenerazione mediante pompa di calore ad alta temperatura è semplice. Si possono sfruttare i gas di scarico del motore a combustione interna o quelli delle caldaie di integrazione e soccorso, utilizzando due scambiatori di calore supplementari. Analogamente si può sfruttare il calore, altrimenti disperso in ambiente, dell'intercooler. In questo primo progetto è stata posta l'attenzione sul recupero di calore

dall'intercooler essendo tale recupero meno complesso dal punto di vista tecnico. Operando questa modifica impiantistica si ottengono risparmi netti integrali annui (RNI/a) senza tau pari a 12.

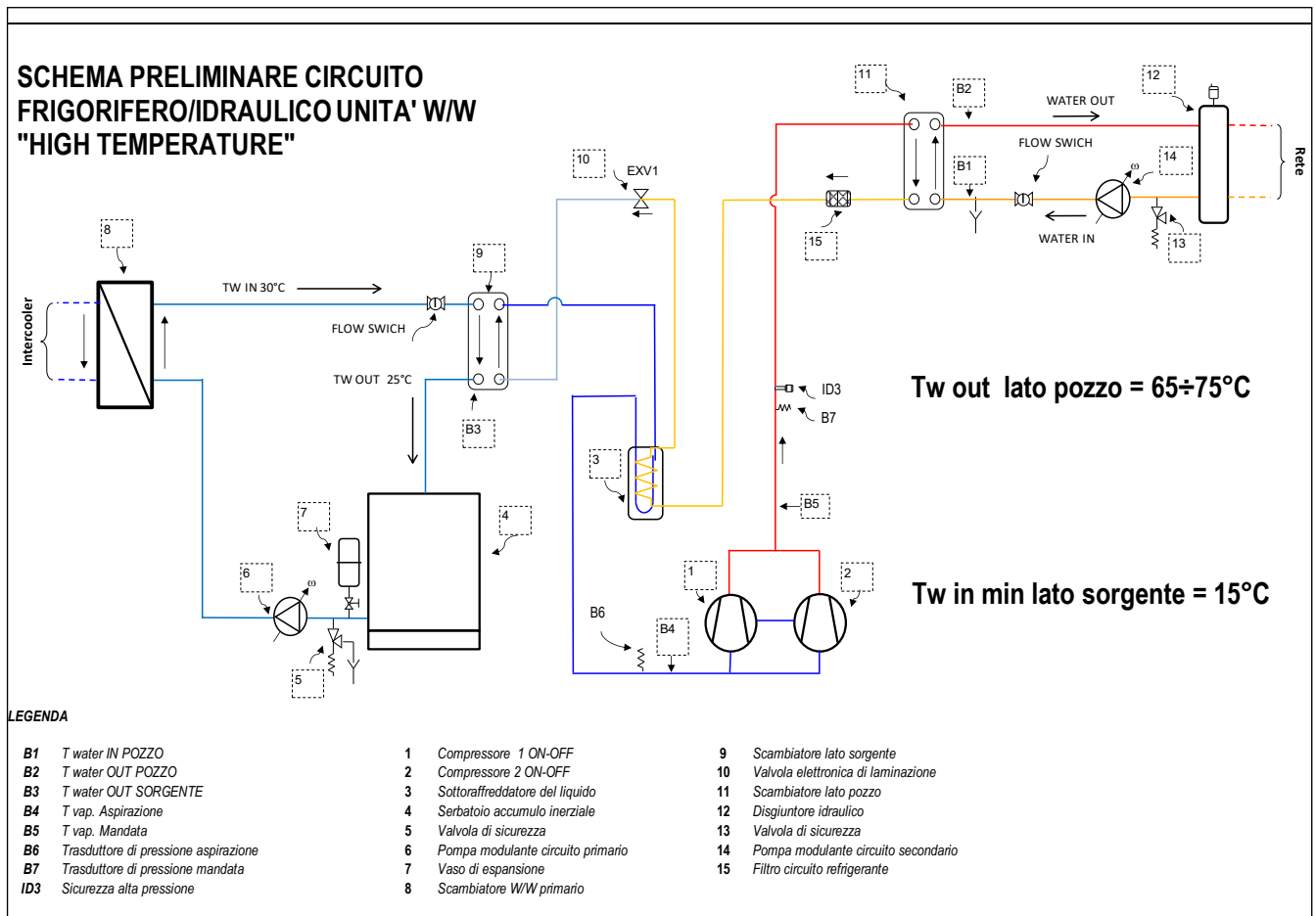


Fig. 3.4 - Schema della pompa di calore

$$RNI = \frac{E_T^{\text{dry cooler}}}{\eta_T^{\text{rif}}} \cdot 0,086 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{tep}}{\text{kWh}_T} \right) - (E_E^{\text{pompa circ.}} + E_E^{\text{PdC}}) \cdot 0,187 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{tep}}{\text{kWh}_T} \right) \cdot \alpha \cdot \tau$$

RNI = risparmio netto integrale di energia primaria (Tep)

$E_T^{\text{dry cooler}}$ = energia termica del dry cooler altrimenti dissipata in ambiente (kWh)

Il valore dell'RNI ottenuto al netto della durabilità non è di per se stesso sufficiente ad ottenere il riconoscimento dei titoli per la sola pompa di calore in quanto il valore è inferiore al minimo annuo pari a 20. Poiché però la pompa di calore è inserita nel circuito dell'unità cogenerativa ad alto rendimento, ASTEA Spa ha ottenuto nell'anno 2020, relativamente ai consumi 2019 ulteriori certificati bianchi aggiuntivi. Su base annua il numero complessivo annuo di certificati bianchi attribuibili alla pompa di calore è pari a circa 40 (valore compatibile con il calcolo sopra eseguito). Nella tab. 3.11 è stata riportata una stima economica della remunerazione annua dell'investimento effettuato, considerando:

- Energia dissipata in inverno dalla rete di teleriscaldamento pari al 26%
- COP medio stagionale pari a 4 (ricavato dalle misure eseguite durante il test run)
- Prezzo di vendita al cliente dell'energia termica pari a 85 €/MWh (estate 2020)
- Certificati bianchi dovuti alla pompa di calore calcolati su base annua pari a 41
- Remunerazione dell'energia elettrica consumata e non venduta alla rete dal cogeneratore a prezzo zonale pari a circa 45 €/MWh (estate 2020)

- Tasso di ammortamento annuo pari al 5%;
- Tasso di costo del denaro nullo (approssimazione)

Energia termica recuperata dal Dry cooler (kW hT)	Energia termica immessa in rete da PdC (kW hT)	EE consumata dalla PdC (kW hel)	EE consumata a pompa lineare (kW hel)	Età rif. centrale termica (%)	Fatt. conv. termico (tep/kW h _{ter} m)	Fatt. conv. EE (tep/kW h _{ee})	addizionalità α	durabilità (tau)	Risparmio netto integrale senza tau (RNI)	Risparmio netto integrale con tau (RNI)	Valore TEP in caso di cumulo per soglia minima (€/TEP)	Valore TEP in caso di cumulo per soglia minima (€) x 5 anni
11.973	10.000	27.500	2.750		0,000086	0,000187	100%	1,36	2,76	1,27	€ 260	€ 2.409
14.415	89.000	22.250	2.225	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	2,23	1,50	€ 260	€ 1.949
13.512	64.000	16.000	1.600	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	1,60	1,39	€ 260	€ 1.402
10.970	49.000	12.250	1.225	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	1,23	1,13	€ 260	€ 1.073
		-	-		0,000086	0,000187	100%	1,36		-	€ 260	€ -
		-	-		0,000086	0,000187	100%	1,36		-	€ 260	€ -
		-	-		0,000086	0,000187	100%	1,36		-	€ 260	€ -
		-	-		0,000086	0,000187	100%	1,36		-	€ 260	€ -
		-	-		0,000086	0,000187	100%	1,36		-	€ 260	€ -
13.445	40.000	10.000	1.000	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	1,00	1,37	€ 260	€ 176
19.331	59.000	14.750	1.475	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	1,48	1,97	€ 260	€ 1.292
11.070	85.000	21.250	2.125	94%	0,000086	0,000187	100%	1,36	2,13	1,16	€ 260	€ 1.862
114.716	96.000	124.000	12.400						2,44	11,78		€ 10.863
									insufficiente (min 20)	Eseguendo il calcolo come risparmio del cogeneratore si ottiene lo stesso valore di circa 42 CB/annui		

Tab. 3.10 - Calcolo del risparmio di energia primaria

	PdC Energia (kW hT)	ore accensione	Cogenera (kW hel)	E term. venduta ((kW h)	Ricavi E Ter (€)	Ricavi CB (€)	minori ricavi cogenera autoc. (€)	Costo mant. PdC (€)	Amm. 5% (€)	Tot. (€)
Gennaio	10.000	743	27.500	31.400	€ 1.919	€ 2.409	-€ 238	€ 107	- 268	€ 1.930
Febbraio	89.000	513	22.250	55.860	€ 1.598	€ 949	-€ 1.001	€ 38	- 268	€ 1.366
Marzo	64.000	456	16.000	31.360	€ 1.666	€ 402	-€ 720	€ 36	- 268	€ 1.145
Aprile	49.000	359	12.250	24.010	€ 1.041	€ 273	-€ 551	€ 32	- 268	€ 1.347
Maggio			-	-	€ .	€ .	€ .	€ .	- 268	-€ 268
Giugno			-	-	€ .	€ .	€ .	€ .	- 268	-€ 268
Luglio			-	-	€ .	€ .	€ .	€ .	- 268	-€ 268
Agosto			-	-	€ .	€ .	€ .	€ .	- 268	-€ 268
Settembre			-	-	€ .	€ .	€ .	€ .	- 268	-€ 268
Ottobre	40.000	310	10.000	19.600	€ 666	€ 176	-€ 450	€ 15	- 268	€ 869
Novembre	59.000	417	14.750	43.660	€ 1.711	€ 292	-€ 664	€ 30	- 268	€ 1.132
Dicembre	85.000	581	21.250	52.900	€ 1.347	€ 862	-€ 956	€ 34	- 268	€ 1.068
Totale	96.000	3.479	124.000	328.790	€ 17.947	€ 0.863	-€ 1.580	€ 300	-€ 3.214	€ 10.516

Tab. 3.11 – Remunerazione annua dell'investimento

La configurazione attuale prevede l'inserimento in parallelo della pompa di calore al motore a combustione interna, per un fattore di contemporaneità di circa il 70% (valori più elevati non si riescono ad ottenere in quanto l'unica soluzione impiantistica possibile in parallelo riduce la portata alimentante il cogeneratore, per cui, nel momento in cui si scende al limite ammesso, il sistema privilegia il funzionamento "più nobile" del cogeneratore e spegne la pompa di calore).

Effettuando un'analisi dei dati di potenza termica e di disponibilità dell'impianto di cogenerazione, nell'ipotesi di temperatura di ritorno massima di 63 °C e supponendo un salto termico di 5 °C, e quindi una temperatura di fornitura di 68 °C, è ipotizzabile di realizzare, al lordo dell'entropia e di

rendimenti di processo, 496 MWh termici annui, consumando 124 MWh di energia elettrica prodotta dal cogeneratore.

Descrizione	U.M.	INGRESSO SORGENTE 30°C					
		MONO			TANDEM		
		ZH100 KCE -TWD			ZH100 KCE -TWD		
Compressore	*						
T Water out	*	65	70	75	65	70	75
evp. Dew al compressore	°C						
cond. Dew	°C	65,5	70,5	75,5	65,5	70,5	75,5
Surriscaldamento medio (sh)	°C	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Sottoraffreddamento medio (st)	°C	3	3	3	3	3	3
Potenza frigorifera (Pf Cooling)	Wf	61.100	56.400	51.500	119.756	110.544	100.940
Imput compressore (Cp)	We	15.800	17.550	19.500	31.600	35.100	39.000
Potenza termica al condensatore (Pt Heating)	Wt	76.110	73.073	70.025	149.776	143.889	137.990
Potenza elettrica totale	We	15.830	17.580	19.530	31.630	35.130	39.030
Portata acqua lato pozzo	kg/h	13.091	6.284	4.015	25.761	12.374	7.911
DT	°C	5	10	15	5	10	15
Perdite di carico interne	kPa	35	35	35	35	35	35
Potenza idraulica (Phy)	W	127	61	39	250	120	77
Efficienza	%	0,34	0,27	0,23	0,42	0,33	0,29
Potenza elettrica da includere lato pozzo	W	377	229	169	599	363	268
Portata acqua (lato sorgente DT5°C)	kg/h	10.509	9.701	8.858	20.598	19.014	17.362
Perdite di carico interne	kPa	40	40	40	40	40	40
Potenza idraulica (Phy)	W	117	108	98	229	211	193
Efficienza	%	0,33	0,32	0,31	0,41	0,40	0,38
Potenza elettrica da includere lato sorgente	W	356	337	317	563	533	501
Ausiliari	We	30	30	30	30	30	30
COP teorico	W/W	4,62	4,04	3,51	4,59	4,00	3,47

Tab. 3.12 - Caratteristiche della pompa di calore

La pompa di calore ad alta temperatura installata ha una potenza nominale di circa 140 kW_T. I valori conseguiti in termini di COP (rapporto tra la potenza termica erogata e la elettrica fornita dal cogeneratore, è, nelle condizioni attuali di funzionamento (temperatura dell'acqua proveniente dal teleriscaldamento circa uguale a 63 °C e ceduta a 68 °C) è pari a 4.0.

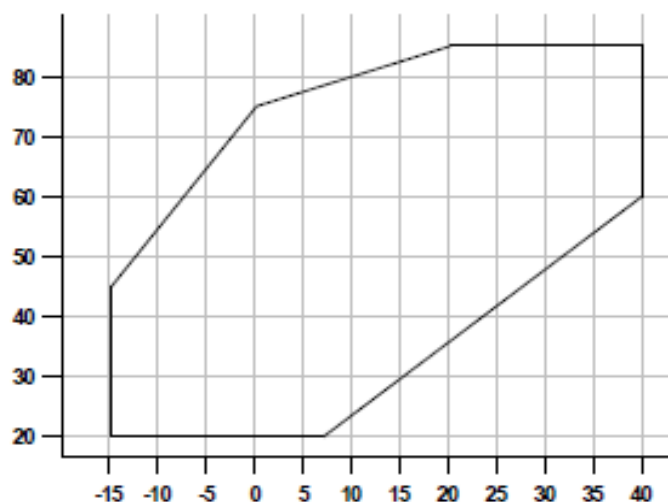


Fig. 3.5 - Caratteristiche del compressore della pompa di calore. Compressore scroll tipo Copeland ZH100KCE-TWD (temperatura evaporazione su ascisse – temperatura condensazione su ordinate)

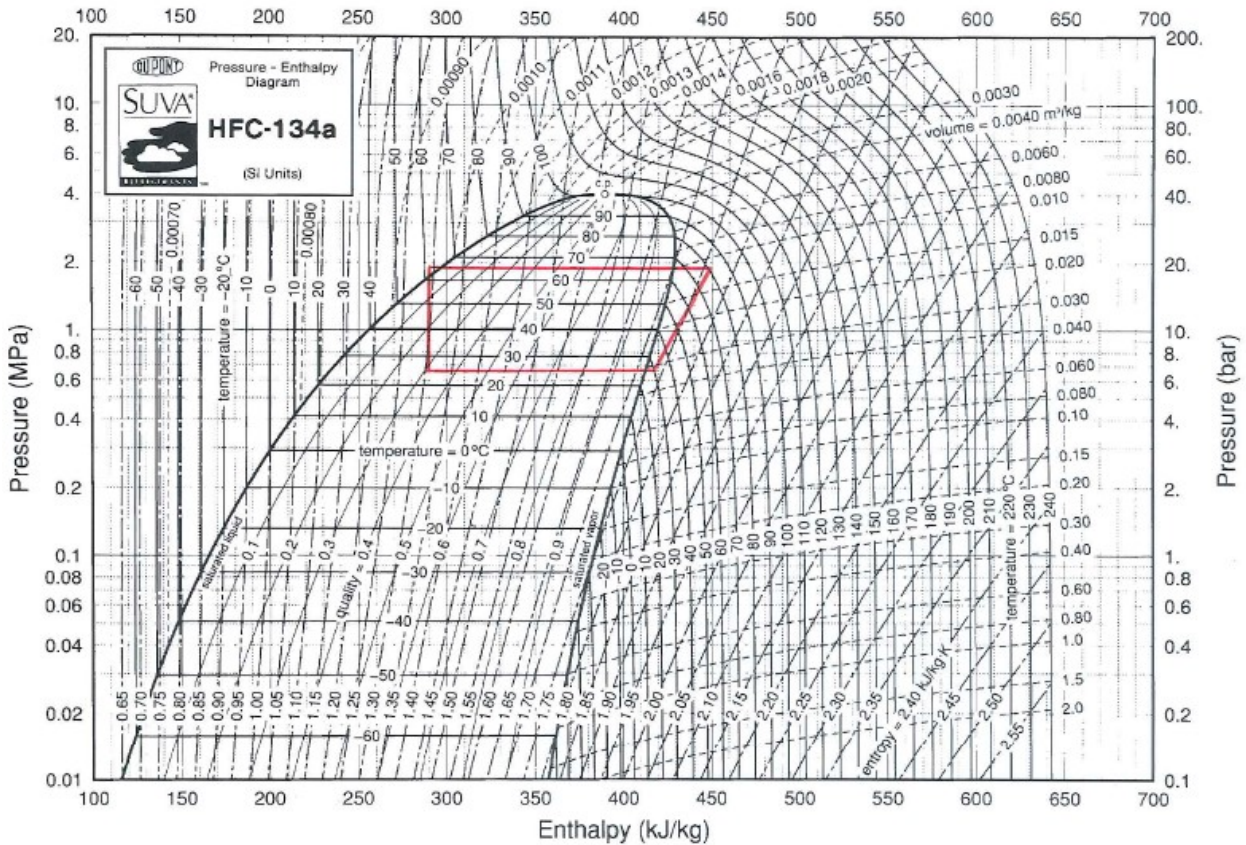


Fig. 3.6 - Ciclo di funzionamento della pompa di calore

Note le temperature di evaporazione e condensazione, l'entità del sotto raffreddamento e del surriscaldamento, è possibile tracciare il ciclo della pompa di calore sul diagramma h-p.

Nel diagramma è rappresentato un punto di funzionamento della macchina

- T evaporazione = 25°C
- T condensazione = 65,5°C
- Entalpia evaporazione = 125kJ/kg
- Pressione condensazione / pressione evaporazione = 2,8
- Sotto raffreddamento linea liquido = 3K
- Surriscaldamento evaporatore = 5K
- Temperatura linea aspirazione = 30°C

Noto il salto entalpico all'evaporatore, e l'utilizzo di due compressori in parallelo, si producono, teoricamente circa 120 kWh in un'ora (i valori teorici sono molto simili a quelli ottenuti in opera - oscillazioni del 5%):

$$P_{evap} = h_{evap} * \text{flusso massico} * n.\text{compress} = 125 \left(\frac{kJ}{kg} \right) * 0,488 \left(\frac{kg}{s} \right) * 2 = 122 \text{ kW}$$

3.5 CALCOLO DEL RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA

L'energia di alimentazione dell'unità di cogenerazione annua è data dalla sommatoria delle energie di alimentazione mensili, ciascuna delle quali viene calcolata con la seguente formula:

$$\text{Energia di alimentazione [kWh]} = \text{Consumo gas cogeneratore [Sm}^3] * \text{PCI [kWh/Sm}^3]$$

Il consumo di gas è il dato consuntivo misurato dal sistema di misura identificato; il PCI viene rilevato dai verbali mensili SNAM.

Il calore prodotto dall'impianto di cogenerazione e ceduto all'area di consumo (rete di teleriscaldamento) è la somma dei dati consuntivi misurati dai sistemi di misura.

Il conta calorie è installato sulla derivazione dalla rete teleriscaldamento in recupero termico dai circuiti di raffreddamento motore e fumi a bordo dell'impianto di cogenerazione.

Un ulteriore conta calorie è installato sul circuito Bassa Temperatura dell'impianto di cogenerazione, a monte rispetto alla Pompa di calore che trasferisce energia termica a temperatura più elevata alla rete teleriscaldamento. Nonostante l'impianto sia dotato di conta calorie anche sul lato teleriscaldamento della Pompa di Calore, si è scelto cautelativamente di considerare come energia termica recuperata quella effettivamente recuperata dal cogeneratore a monte dell'inevitabile apporto elettrico della Pompa di Calore stessa.

L'energia elettrica prodotta dall'impianto di cogenerazione è il dato consuntivo rilevato dal sistema di misura identificato con TAG EC EL-01.

L'energia elettrica esportata in rete è il dato consuntivo rilevato dal sistema di misura identificato con TAG EC EL-02.

L'energia elettrica auto consumata in sito è la differenza tra l'energia elettrica prodotta e l'energia elettrica esportata in rete.

Dal momento che il punto di connessione col Distributore Elettrico è comune all'impianto di cogenerazione e all'impianto fotovoltaico, si è scelto cautelativamente di considerare tutta l'energia elettrica esportata in rete come afferente all'impianto di cogenerazione. Questo metodo di calcolo cautelativo è stato adottato fin dall'entrata in esercizio dell'impianto fotovoltaico.

La misura delle ore di funzionamento del cogeneratore viene effettuata mensilmente tramite lettura del Conta ore presente a bordo del cogeneratore.

Nella seguente tabella vengono riepilogati i dati consuntivi anno 2019, rilevati dai rispettivi sistemi di misura, di consumo di gas metano, PCI (e conseguente energia di alimentazione), energia elettrica prodotta da impianto di cogenerazione, energia elettrica esportata in rete, energia elettrica auto consumata, calore utile prodotto da impianto di cogenerazione recuperato da raffreddamento motore e fumi, calore utile prodotto da impianto di cogenerazione recuperato da circuito Bassa Temperatura mediante Pompa di Calore.

Ore Cogen. (h)	Gas consumato Cogen. (Sm ³)	PCI (kWh/Sm ³)	Energia consumata Cogen. (kWh)	Energia elettrica prodotta da Cogen. (kWh)	Energia elettrica prodotta da Cogen. e ceduta alla rete (kWh)	Energia elettrica prodotta da Cogen. e auto consumata (kWh)	Calore recuperato da Cogen: raffreddamento motore e fumi (kWh)	Calore recuperato da Cogen.: (pompa di calore su circuito LT (kWh)
5.073	1.556.683	9,393	14.621.906	5.931.600	5.453.232	478.368	6.151.700	177.300

Tab. 3.13 - Energia associata all'unità cogenerativa (anno 2019)

Nella tabella che segue viene riportata la verifica del rendimento globale superiore al 75%, così come definito dal DM 04/08/2011, e il conseguente calcolo del PES, secondo la seguente formula:

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{REF H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{REF E_{\eta}}} \right]$$

CALCOLO PES 2019			
Energia elettrica prodotta da unità cogenerativa	EL EC-01	kWh	5.931.600
Di cui ceduta in rete	EL EC-02	kWh	5.453.232
Di cui auto consumata		kWh	478.368
Calore recuperato da unità cogenerativa		kWh	6.329.000
Di cui da raffreddamento da motore e fumi	EC HWE-01	kWh	6.151.700
Di cui da pompa di calore circuito bassa temperatura	EC LT-120	kWh	177.300
Gas consumato da unità cogenerativa		Sm ³	1.556.683
Energia di alimentazione unità cogenerativa		kWh	14.621.906
Rendimento globale	>75%		83,85%
Rendimento elettrico di produzione unità cogenerativa		CHP E _η	40,57%
Rendimento termico di produzione unità cogenerativa		CHP H _η	43,28%
Rendimento di riferimento produzione separata Energia Elettrica (valore base) Reg EU 2015/2402		Ref E _η	53,00%
Fattore di correzione legato alle condizioni climatiche (Regione Marche) Reg EU 2015/2402			0,369%
Fattore di correzione legato alle perdite sulla rete tensione di collegamento 12-50 kV Reg EU 2015/2402			93,331%
Rendimento di riferimento produzione separata Energia Elettrica valore corretto Reg EU 2015/2402		Ref E _η	49,81%
Rendimento di riferimento produzione separata di calore Reg EU 2015/2402		Ref H _η	92,00%
PES 2019			22,17%

Tab.3.14 - PES unità cogenerativa e pompa di calore anno 2019

Nella tabella che segue viene riportato il calcolo dei certificati bianchi (CB anno 2019)

CALCOLO CB 2019			
Energia elettrica prodotta da unità cogenerativa	EL EC-01	kWh	5.931.600
Di cui ceduta in rete	EL EC-02	kWh	5.453.232
Di cui auto consumata		kWh	478.368
Calore recuperato da unità cogenerativa		kWh	6.329.000
Di cui da raffreddamento da motore e fumi	EC HWE-01	kWh	6.151.700
Di cui da pompa di calore circuito bassa temperatura	EC LT-120	kWh	177.300
Gas consumato da unità cogenerativa		Sm ³	1.556.683
Energia di alimentazione unità cogenerativa		kWh	14.621.906
Rendimento globale	>75%		83,85%
Rendimento di riferimento produzione separata Energia Elettrica (valore base) Guida CAR Rev. 2019		η _E RIF	46,00%
Fattore di correzione legato alle condizioni climatiche (Regione Marche) Reg EU 2015/2402			0,369%
Fattore di correzione legato alle perdite sulla rete tensione di collegamento 12-50 kV Reg EU 2015/2402			93,331%
Rendimento di riferimento produzione separata Energia Elettrica valore corretto Reg EU 2015/2402		η _E RIF	43,28%
Rendimento di riferimento produzione separata di calore Reg EU 2015/2402		η _T RIF	90,00%
RISP 2019		MWh	6.117
ORE DI MARCIA			5.073
POTENZA MEDIA		MW	1,169
K armonizzato			1.386
Linee guida applicazione DM 05/09/2011			
CB 2019		N.	729

Tab. 3.15 - Certificati Bianchi unità cogenerativa e pompa di calore anno 2019

3.6 COGENERATORE DI PICCOLA TAGLIA (140 kW_E e 209 kW_T) E POMPA DI CALORE (197 kW) – FUTURA APPLICAZIONE

Durante il periodo estivo e nelle stagioni intermedie dove si ha una riduzione di richiesta termica della rete, non è possibile garantire un funzionamento costante del cogeneratore e, di conseguenza, nemmeno la pompa di calore ha le condizioni necessarie al funzionamento:

Per questo motivo è stato effettuato uno studio preliminare relativo a due interventi all'interno della centrale di cogenerazione, entrambi volti ad aumentare l'utile della linea produzione durante i mesi estivi ed intermedi, sia tramite miglioramento dell'efficienza energetica dei sistemi impiegati per la produzione di calore, sia tramite accesso ai meccanismi incentivanti:

- Installazione di un cogeneratore e una pompa di calore, dimensionati ad hoc per il funzionamento estivo;
- Installazione di un impianto solare termico.

L'intervento riguardante l'installazione di due sistemi per la produzione di calore ad alta temperatura, da cedere alla rete di teleriscaldamento, prevede:

- Un cogeneratore a gas Vitobloc, con Potenza nominale termica pari a 209 kW, e Potenza nominale elettrica pari a 140 kW;
- Una pompa di calore aria-acqua, con Potenza nominale termica pari a 197 kW e Potenza elettrica assorbita pari a 51,5 kW, con un COP pari a 3,84.

Il dimensionamento è stato effettuato in modo tale che i due sistemi lavorino in serie per una quantità di ore prossime al 100% nei mesi estivi.

La pompa di calore dovrà cedere calore all'acqua sul circuito di ritorno del teleriscaldamento, provocando un innalzamento di temperatura della portata elaborata di circa 5°C; successivamente il cogeneratore cederà il calore recuperato dai gas di scarico e dal proprio circuito di inter-refrigerazione provocando un innalzamento di temperatura della portata di acqua elaborata di circa 20°C; l'eventuale fabbisogno termico della rete verrà soddisfatto dalle caldaie di integrazione già presenti.

La soluzione impiantistica presentata è dovuta alle seguenti considerazioni:

Funzionamento di cogeneratore e pompa di calore in serie: per non avere problemi legati alla bassa portata di acqua circolante all'interno della rete di teleriscaldamento durante i mesi estivi;

Pompa di calore precedente al cogeneratore: in modo tale da migliorare le condizioni di funzionamento della pompa di calore, che in questo modo dovrà cedere calore ad una temperatura leggermente inferiore (63 ÷ 64 °C), migliorando di conseguenza il COP; diversamente il cogeneratore non ha problemi legati alle temperature, potendo cedere calore anche ad acqua con temperatura pari a 75°C, raggiungendo temperature di mandata massime di 94°C.

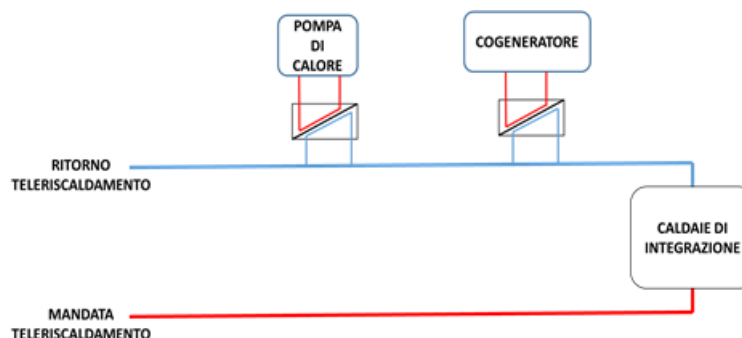


Fig. 3.7 - Schema impiantistico del collegamento di cogeneratore e pompa di calore con la rete di teleriscaldamento

La pompa di calore consentirà di auto-consumare in maniera ottimale l'energia elettrica prodotta dal cogeneratore, riducendo il guadagno derivante dalla re-immissione in rete ma consentendo in questo modo di ridurre i consumi di gas delle caldaie in maniera significativa.

La taglia del cogeneratore e della pompa di calore sono state selezionate sulla base della curva di richiesta termica della rete di teleriscaldamento durante i mesi di Luglio e Agosto, e tenendo conto dei seguenti parametri:

Capacità di soddisfare il carico di base di richiesta termica;

Ore di funzionamento al carico massimo;

Il cogeneratore Vitobloc 200 del tipo EM 140-207 è stato come più adatto al regime di funzionamento richiesto; una pompa di calore da 197 kW_T con COP=3,84 è stata selezionata come la più idonea per garantire un funzionamento in completo autoconsumo (assorbimento di potenza elettrica nominale pari a 51,5 kW_E) e per fornire un quantitativo di energia termica opportuno a ridurre il gas che sarebbe altrimenti consumato con le caldaie ed al tempo stesso ridurre il numero di regolazioni dei parametri operativi della stessa.

Sistema	Parzializzazione massima	Ore di funzionamento Luglio - Agosto
Pompa di calore	35% Pn	1.399 (~100%)
Cogeneratore	70% Pn	1.399 (~100%)

Tab. 3.16 - Range operativo di cogeneratore e pompa di calore

	Situazione attuale	Nuova configurazione
Richiesta termica rete	1.771 MWh	1.771 MWh
Prelievo energia elettrica centrale	60 MWh	/
Re-immissione energia elettrica	/	676 MWh
Energia termica prodotta dalle caldaie	1.771 MWh	354 MWh
Energia termica prodotta dal cogeneratore	/	1.041 MWh
Energia termica prodotta dalla pompa di calore	/	376 MWh
Consumo di gas caldaie	200.875 Sm ³	40.154 Sm ³
Consumo di gas cogeneratore	/	232.131 Sm ³
Energia elettrica prodotta dal cogeneratore	/	834 MWh

Tab. 3.17 - Riepilogo flussi energetici nelle configurazioni ante e post intervento

I due interventi sono mirati al miglioramento del bilancio della linea produzione associata al teleriscaldamento nel periodo estivo, corrispondente al periodo di produzione che influenza il bilancio complessivo annuale della linea stessa.

Questo perché, a causa dall'aumento delle perdite termiche (proporzionali alle temperature di mandata e ritorno oltre che alla massa di acqua all'interno della rete di teleriscaldamento, e non alle portate richieste di energia termica e quindi più importanti in proporzione nei periodi di bassa richiesta), unite alla modulazione o spegnimento del cogeneratore, con conseguente perdite dei ricavi derivanti dai certificati bianchi e dalla vendita di energia elettrica, i costi di produzione superano i ricavi.

Oltre al miglioramento economico ottenibile a seguito dei due interventi, si evidenzia il notevole impatto che avrebbe, agli occhi della comunità, l'installazione di sistemi per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile (impianto solare termico) e tramite l'utilizzo ottimale di fonti di energia efficienti (cogenerazione associata a pompe di calore); il duplice beneficio derivante dagli interventi descritti giustifica l'attuazione dell'investimento.

3.7 IMPIANTO SOLARE TERMICO (170 MWh/a – 250 m2) FUTURA APPLICAZIONE

L'intervento progettato riguarda l'installazione di un impianto di produzione di energia termica solare, con lo scopo principale di aumentare la visibilità, agli occhi dell'opinione pubblica, della società Astea come società volta all'innovazione tecnologica attraverso una transizione sempre più forte verso la produzione di energia da fonti rinnovabili.

L'area di installazione sarà nei terreni in prossimità della centrale di cogenerazione locata in Via Vici; quest'area è stata selezionata tenendo conto di vari fattori:

- Impatto ambientale;
- Proprietà del terreno;
- Vincoli imposti al piano regolatore;
- Esposizione solare.

La scelta della tipologia di collettori solari è ricaduta sui pannelli piani, la cui tecnologia si è notevolmente sviluppata, a tal punto da raggiungere, e in alcuni casi superare, i rendimenti di produzione dei collettori solari sottovuoto, senza presentare l'inconveniente della fragilità.

I vantaggi di tali collettori sono di seguito riassunti:

- Abbattimento dei tempi di installazione (rispetto alla soluzione dei collettori sottovuoto);
- Miglior sfruttamento della superficie a disposizione;
- Tubazioni limitate per il collegamento dei vari pannelli alle montanti principali;
- Necessità di minori raccordi che causano dispersioni termiche;
- Assorbimento migliore delle dilatazioni termiche (soprattutto grazie al numero ridotto di raccordi utilizzati)

Tutti i punti elencati contribuiscono, inoltre, ad aumentare l'efficienza dell'impianto e ad abbattere i costi dell'investimento iniziale.

Il campo solare contribuirà a soddisfare la richiesta del carico termico della rete di teleriscaldamento attraverso il calore ceduto alla rete stessa, dal fluido termovettore (acqua glicolata) circolante all'interno dei collettori solari.

Nella stima della produttività di tale impianto, e quindi nella scelta della superficie, tuttavia, si è tenuto conto dei seguenti fattori:

- Curva di producibilità giornaliera dell'impianto solare termico;
- Temperatura minima operativa: la temperatura minima del fluido termovettore affinché il calore prodotto dall'impianto solare possa essere scambiato con la rete di teleriscaldamento
- ΔT del fluido termovettore (lato solare):

Parallelamente a questi fattori, nella stima dell'energia termica prodotta dall'impianto solare, si è dovuto necessariamente tenere in considerazione gli impianti di produzione già installati, cogeneratore e pompa di calore, nel trovare la soluzione impiantistica ottimale e, sulla base di questa, capire il regime di funzionamento dell'impianto solare.

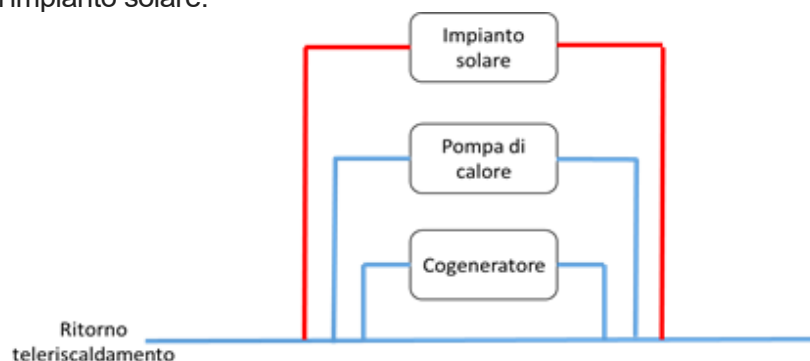


Fig. 3.8 - Schema dei sistemi futuri di piccolo cogeneratore, impianto solare e pompa di calore

Lo schema impiantistico scelto permetterà di non andare ad influenzare le temperature operative dei due impianti già esistenti; tuttavia si dovrà tener conto, nella valutazione della produttività dell'impianto solare, della riduzione di carico della rete nei mesi intermedi, dove la portata circolante all'interno della rete si riduce.

L'aggiunta dell'impianto solare termico non dovrà difatti inficiare, in questi periodi, sulle ore di funzionamento del cogeneratore, già regolate a causa dell'abbassamento di carico della rete.

Il risultato dell'analisi condotta, sulla base di tutti i vincoli di progettazione sopra elencati, ha stabilito le seguenti caratteristiche dell'impianto solare termico:

Impianto solare termico con collettori piani	
Superficie	250 m ²
Temperatura minima operativa	75 °C
ΔT regime estivo	30 °C
ΔT regime invernale	15 °C
Portata minima di funzionamento	2 m ³ /h
Portata massima di funzionamento	6,25 m ³ /h
Fattore di modulazione cogeneratore	0,6

Tab. 3.18 - Riepilogo caratteristiche di massima dell'impianto solare

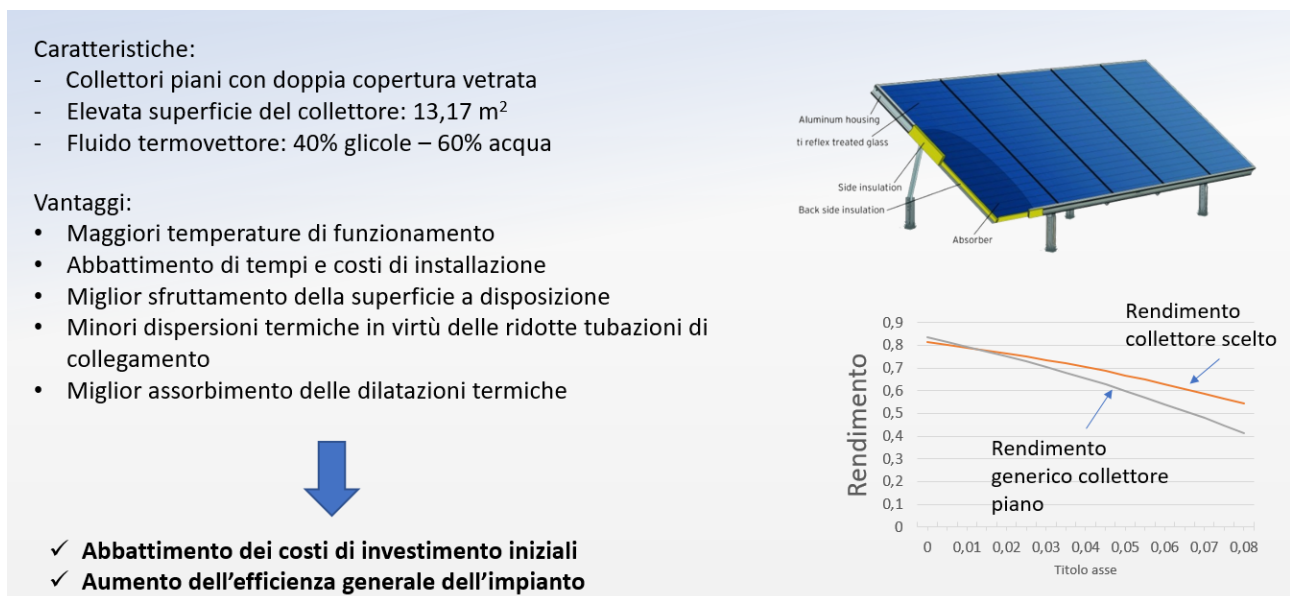


Fig. 3.9 Tipo di collettore solare scelto (pannelli Green One Tech commercializzati da KPV)

La stima della produzione, derivante dalla simulazione, di un impianto con queste caratteristiche, è di 178,36 MWh_T, di cui 166,6 MWh effettivamente immessi in rete, ottenendo un coefficiente di valutazione γ superiore al 90%.

Il coefficiente di valutazione è definito come segue:

$$\gamma = \frac{E_{T, \text{ disponibile}}}{E_{T, \text{ prodotta}}}$$

Dove per $E_{T, \text{ prodotta}}$ si intende l'energia termica effettivamente prodotta dai collettori solari, mentre per $E_{T, \text{ disponibile}}$ si intende l'energia termica effettivamente scambiabile con la rete di teleriscaldamento.

La frazione solare annuale risulta essere pari allo 0,9% della produzione termica complessiva della centrale di teleriscaldamento, mentre la frazione solare estiva, calcolata nel periodo che va dal mese di Aprile al mese di Ottobre, risulta essere del 2,38%.

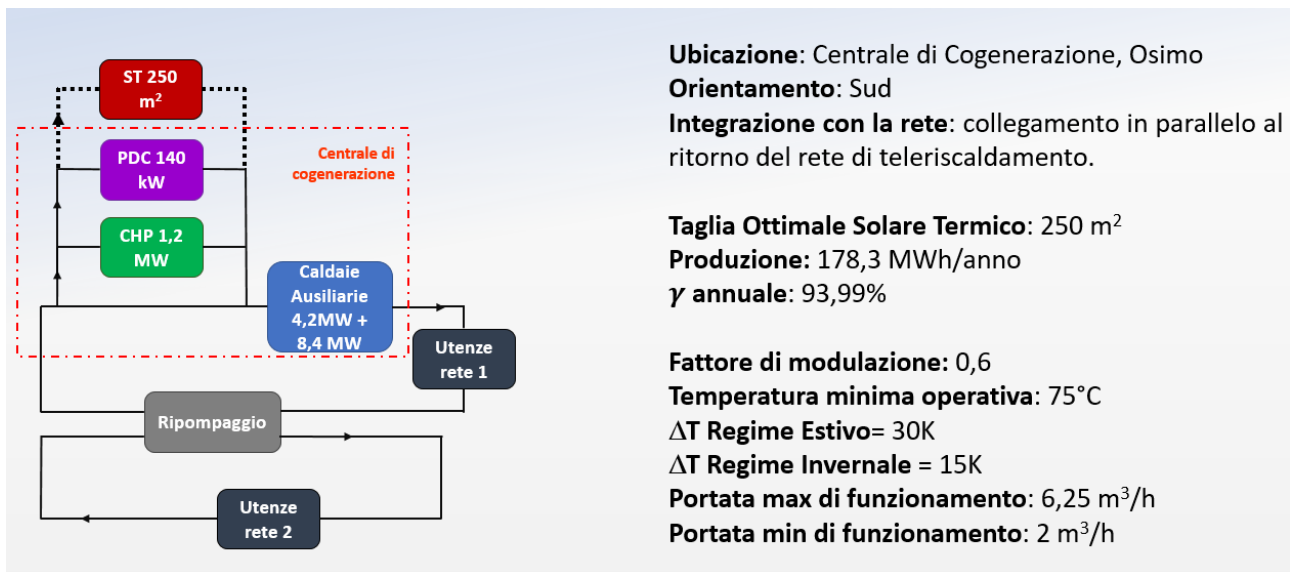


Fig. 3.10 - Flow chart del solare termico da 250 m², inserito nell'impianto di cogenerazione

Dalla presente analisi emerge come la tecnologia solare possa in generale portare miglioramenti alla rete di teleriscaldamento. Tuttavia, considerato che nel bilancio della centrale la produzione e relativa vendita di energia elettrica da cogeneratore ha un ruolo importante in termini economici è fondamentale riuscire ad integrare la nuova fonte energetica rinnovabile senza penalizzare la produzione derivante dall'unità di cogenerazione ad alto rendimento.

Analizzando vari scenari si può dimostrare la validità dell'investimento che viene remunerato anche grazie ai contributi del conto termico.

3.8 CONCLUSIONI

L'evoluzione dello sviluppo del revamping della centrale di cogenerazione con gli interventi realizzati e quelli futuri consente di realizzare importanti risparmi energetici, riduzione dell'impatto ambientale e un notevole miglioramento economico della linea energetica.

I due ulteriori interventi futuri proposti sono mirati al miglioramento del bilancio della linea produzione associata al teleriscaldamento nel periodo estivo, corrispondente al periodo di produzione che va ad inficiare sul bilancio complessivo annuale della linea stessa.

Questo perché, a causa dall'aumento delle perdite termiche (causate a loro volta dalla permanenza dell'acqua all'interno della rete di teleriscaldamento nei periodi di bassa richiesta), unite alla modulazione o spegnimento del cogeneratore, con conseguente perdite dei ricavi derivanti dai certificati bianchi e dalla vendita di energia elettrica, i costi di produzione superano i ricavi.

I ricavi economici derivanti dall'esecuzione dei due interventi vanno inoltre affiancati al notevole impatto che avrebbe, agli occhi della comunità, l'installazione di sistemi per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile (impianto solare termico) e tramite l'utilizzo ottimale di fonti di energia efficienti (cogenerazione associata a pompe di calore); il duplice beneficio derivante dagli interventi descritti giustifica l'attuazione dell'investimento.

Altresì è da evidenziare che la gestione della rete come «smart grid» può contribuire a migliorare l'efficienza del sistema di teleriscaldamento, soprattutto grazie al nuovo sistema di automazione.

Si sottolinea l'importanza di gestire la rete a temperature più basse al fine di ridurre le perdite energetiche attuali pari a circa 6.000 MWh. Le perdite energetiche per il 75-80% sono attribuibili alle tubazioni, per il rimanente 20-25% alle dispersione nei tratti tra sotto centrali di quartiere e scambiatori dei clienti.

Le perdite energetiche lungo le tubazioni possono essere diminuite riducendo ulteriormente le temperature di alimentazione e quelle di ritorno (sulle quali i margini di manovra sono molto più ridotti). Analogamente possono essere ridotte le perdite localizzate intervenendo sulle coibentazioni delle sotto centrali d'utenza.

Sistemi di misura e controllo in tempo reale, quali quelli che si stanno realizzando e illustrati in un altro capitolo, consentiranno di condurre il teleriscaldamento in condizioni di maggior efficienza.

Maggiori efficienze potrebbero essere realizzate inserendo un opportuno sistema di pompa di calore alimentato dai fumi di centrale.

3.9 RIFERIMENTI

- Specifiche tecniche della turbina Allison 501 KH – Ansaldo Energia
- Bartolini C.M., Costantini L., Salvi D., “Analisi delle Prestazioni in Esercizio di una Centrale Cogenerativa a Ciclo Cheng”, VI Convegno Nazionale ATI: Gruppi Combinati: Prospettive Tecnico ed Economiche, pp. 391-403, Genova, nov. 1992
- Bartolini C.M., Salvi D., “Performance Assessment of Steam Injection Gas Turbine with Inlet Air Cooling”, ASME Turbo Expo, Congress Exposition and Users Symposium, Orlando USA, June 2-7, 1997
- Caresana F., Comodi G., Pelagalli L., Salvi D., “New Running Strategies of a Stig Power Plant for District Heating”, Proceedings of GT2006 ASME TURBO EXPO 2006, Barcelona Spain, May 8-11, 2006
- Specifiche tecniche del motore alternativo a combustione interna tipo MVM TCG 2020 V12 – Intergen
- Specifiche tecniche della pompa di calore (fluido frigorifero 134°) – Ergo
- Mancarella P. “Cogeneration systems with electric heat pumps: energy-shifting properties and equivalent plant modelling”, Energy Convers Manag. 2009; 50: 1991e9 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.010>
- Blarke MB, Dotzauer E. “Intermittency-friendly and high-efficiency cogeneration: operational optimisation of cogeneration with compression heat pump, flue gas heat recovery, and intermediate cold storage”, Energy 2011; 36: 6867e78 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.008>
- Caf A., Urbancl D., Trop P., Goricanec D. "Exploitation of low-temperature energy sources from cogeneration gas engines", Energy 108 (2016) 86e92; <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.119>; 0360-5442/© 2015 Elsevier Ltd.
- Giacomelli N., “Installazione pompe di calore presso centrale di cogenerazione di Centro Città”, Airu - Retrofitting impianti di teleriscaldamento: Evolvere al passo con il tempo utilizzando le risorse locali, Milano 21/11/2017
- Badami M., Gerboni R., Portoraro A., “Determination and assessment of indices for the energy performance of district heating with cogeneration plants”, Energy 127 (2017) 697e703 <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.136>; 0360-5442/© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved
- Bo Zhang, Yuanchao Wang, Lisha Kang, Jinsheng Lv, “Study of an innovative ejector heat pump-boosted district heating system”, Applied Thermal Engineering 58 (2013) 98e107 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.04.021>
- Ohkyung Kwon, Dongan Cha, Chasik Park, “Performance evaluation of a two-stage compression heat pump system for district heating using waste energy”; Energy 57 (2013) 375e381 <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.012>
- Decreto 5 settembre 2011 - Definizione del nuovo regime di sostegno per la cogenerazione ad alto rendimento
- Guida alla cogenerazione ad alto rendimento CAR, marzo 2018 – GSE
- Specifiche tecniche pannelli solari – Green One Tech

CAPITOLO 4

EMISSIONI ATMOSFERICHE



- 4.1 EMISSIONI GASSOSE ANTE REVAMPING
- 4.2 ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE POST REVAMPING
- 4.3 CALCOLI TEORICI DELLE EMISSIONI IN AMBIENTE
- 4.4 VALORI MISURATI DELLE EMISSIONI DELL'UNITA' COGENERATIVA POST REVAMPING
- 4.5 CONCLUSIONI

4.1 EMISSIONI GASSOSE ANTE REVAMPING

A seguito del rilascio da parte dello sportello SUAP del Comune di Osimo dell'autorizzazione alle emissioni in atmosfera relativa all'Impianto di Cogenerazione ubicato nel Comune di Osimo, ASTEA, gestore del servizio di teleriscaldamento per il quale l'impianto suddetto è destinato, ha approvato un programma di rinnovo della centrale di cogenerazione avendo però la necessità di apportare alcune modifiche rispetto a quanto autorizzato. Il tutto alla base del fatto che la stessa centrale di cogenerazione dotata di impianto turbogas risulta tecnologicamente obsoleta. Scopo dell'intervento è stato quello di migliorare e ottimizzare le prestazioni dell'impianto riducendo da una parte i consumi di energia primaria e i costi di esercizio/manutenzione e, dall'altra, le quantità di inquinanti emesse in atmosfera mantenendo ovviamente invariate le fasi del ciclo di processo (alimentazione degli impianti, produzione di energia termica ed elettrica) indicate nel suddetto progetto autorizzato che alimentano nei 365 giorni dell'anno mediante l'erogazione di energia il primo anello di una rete di teleriscaldamento a servizio delle utenze.

Ai fini di una migliore comprensione della modifica impiantistica apportata per la modalità di conduzione della centrale di cogenerazione nelle condizioni di **ante revamping**, viene riportato per semplicità lo schema di fig. 4.1 che sintetizza la configurazione di esercizio del vecchio impianto nella fase di produzione di energia termica ed elettrica.



Fig. 4.1 - Configurazione impiantistica ante revamping

Essa prevedeva una gestione del sistema turbogas-caldaia a recupero (emissioni denominate E1, E5 e E6) orientata prevalentemente ad esercire nella condizione di massimo carico elettrico e minimo carico termico mediante iniezione di vapore in turbina.

Questa logica di esercizio consentiva di massimizzare il rendimento elettrico di conversione con potenze elettriche in uscita nell'ordine di 4,8–5,3 MW_E e, nel contempo, garantire potenze termiche di 1–2 MW_T. Risultava piuttosto rara la configurazione di esercizio con assenza di iniezione di vapore in turbina, configurazione attraverso cui la turbina forniva potenze elettriche paria a 3,8-4,0 MW_E e potenze termiche di 6–6,5 MW_T. Poiché la produzione di energia termica era privilegiata rispetto alla produzione di energia elettrica, l'impianto operava opportunamente al fine di garantire

la totalità di richieste di energia termica da parte delle utenze. A tal riguardo, anche nell'eventualità di disservizio della turbina a gas era possibile erogare la potenza termica necessaria mediante le due caldaie ausiliarie di integrazione e soccorso (emissioni denominate E2 e E3) funzionanti in parallelo. L'inserimento e il disinserimento delle caldaie ausiliarie di integrazione e soccorso con l'impianto funzionante nel suo assetto normale non provocava transitori.

4.2 ANALISI DELLA CONFIGURAZIONE POST REVAMPING

In riferimento alla modifica apportata per la modalità di conduzione della centrale di cogenerazione nella configurazione del **post revamping**, le procedure adottate per la gestione dei nuovi impianti tecnologici introdotti, sono sintetizzabili attraverso i seguenti due schemi riepilogativi:

1. Schema configurazione di esercizio del sistema cogenerativo (vedi fig.4.2);
2. Schema configurazione di esercizio delle caldaie (vedi fig.4.3).

CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO POST-INTERVENTI SISTEMI COGENERATIVI CENTRALE

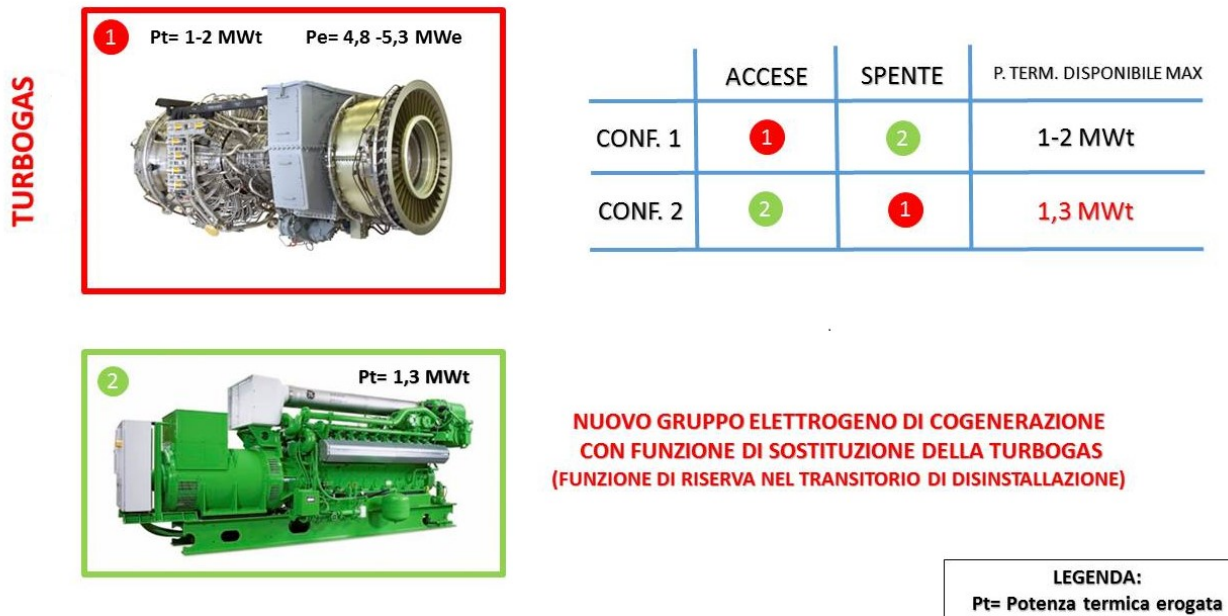


Fig. 4.2 - Configurazione di esercizio dell'unità di cogenerazione di piccola taglia a seguito di revamping

La fig. 4.2 definisce le possibili configurazioni di esercizio dei sistemi cogenerativi all'interno della centrale. Dalla valutazione della tabella riepilogativa, si evince:

a) Introduzione di una unità cogenerativa, costituita da un gruppo elettrogeno di cogenerazione (motore fisso a quattro tempi), alimentato a metano, il cui funzionamento non avviene mai simultaneamente a quello del gruppo turbogas-caldaia di recupero bensì in completa sostituzione della stessa. La potenza termica in ingresso è inferiore a 3.000 kW_T , con potenza elettrica pari a ca. 1200 kW_E mentre, la potenza termica massima complessiva erogata dalla nuova unità (gruppo elettrogeno di cogenerazione) è di $1,3 \text{ MW}_T$ strettamente riferita a una potenza termica nominale in alimentazione inferiore a 3 MW .

Apparecchiature utilizzate:	n°1 gruppo elettrogeno di cogenerazione (M68)
Condizioni di funzionamento:	automatico
Periodicità max. di funzionamento:	24h/g; 7gg/set. 365gg/anno
Tempo di avvio:	max.30 min.
Tempo di arresto:	max.30 min.
Emissioni generate:	E1A, E1B
Impianto di abbattimento:	convertitore catalitico di CO
Turno di lavoro:	06,00 - 12,20 / 14,00 - 20,20 (con reperibilità)

b) nel transitorio di funzionamento verso il nuovo assetto cogenerativo il gruppo turbogas-caldaia a recupero ha svolto la funzione temporanea di riserva nelle condizioni autorizzative originarie al fine di consentire un corretto "settaggio" della centrale per l'introduzione della nuova unità cogenerativa

e quindi la definitiva dismissione del gruppo turbogas-caldaia a recupero (emissione E1) e i relativi impianti ad essi annessi. Al termine del transitorio di funzionamento e quindi con la nuova condizione di regime si evidenzia che per quanto concerne le autorizzate emissioni E5 ed E6 (già considerate scarsamente rilevanti) seppur non connesse al gruppo turbogas sono state comunque mantenute quali ricambi d'aria adibiti alla protezione e sicurezza degli ambienti di lavoro, così come l'emissione E4 relativa al gruppo elettrogeno operativo solo in condizioni di emergenza mentre, l'autorizzata emissione E7 (scarsamente rilevante), essendo questa direttamente connessa alla funzionalità della turbogas (produzione acqua demineralizzata), è stata dismessa, una volta dismessa la turbogas. Sulla base dei parametri tecnici acquisiti da impianti analoghi di aziende operanti nel settore della produzione di energia elettrica e calore, è stato possibile stilare il seguente quadro emissivo preliminare aggiornato:

PUNTO DI EMISSIONE	PROVENIENZA	PORTATA (Nm ³ /h)	TIPO DI SOSTANZA INQUINANTE	CONCENTRAZIONE DELL'INQUINANTE IN EMISSIONE (mg/Nm ³)	FLUSSO DI MASSA TOTALE (g/h)
E1A	N° 1 Gruppo elettrogeno di cogenerazione (Potenza Termica nominale <3MW)	5.800	NOx	350	2.030
			CO	280	1.624
E1B	Sistema di raffreddamento del gruppo elettrogeno di cogenerazione	90.000	Aria calda	Scarsamente rilevante	

Tab. 4.1 - Quadro delle emissioni dell'unità cogenerativa post revamping

Da ciò scaturisce che il flusso orario di ciascun inquinante potenzialmente emesso è sempre ben al disotto di quanto previsto ed autorizzato dal "vecchio" gruppo turbogas-caldaia di recupero con una riduzione in percentuale che varia per il NOx da 72% a 77% e per il CO da 2,5% a 47%: ciò ancora a dimostrazione della "non sostanzialità della modifica effettuata" in termini quali-quantitativi degli inquinanti emessi.

La fig. 4.3 di seguito riportata propone invece le possibili modalità di esercizio delle caldaie di integrazione e riserva all'interno della centrale. Dalla valutazione della tabella riepilogativa, si evince che:

a) L'introduzione di una nuova caldaia per la produzione di acqua calda, alimentata a metano, il cui funzionamento non avviene mai contemporaneamente a quello delle due caldaie installate (insieme alla turbogas) che hanno mantenuto le condizioni originarie di esercizio autorizzate (emissioni E2 e E3). Pertanto, il funzionamento del nuovo generatore di calore, avviene solamente in sostituzione ad una delle due caldaie già presenti, in ragione di una turnazione di funzionamento dettata da un inizio di vetustà delle due caldaie esistenti.

La potenza termica erogata dalla nuova unità, è inferiore o al più uguale alla potenza termica erogata da una delle due caldaie attualmente installate (4,6 MW_T): ciò implica che la potenza termica complessiva disponibile si mantiene sempre pari a 9,2 MW_T ossia identica a quella autorizzata. La nuova caldaia presenta una potenza termica in ingresso di ca. 5,1 MW_T e rendimento di conversione di circa il 94%;



Fig. 4.3 - Configurazione di esercizio delle caldaie di integrazione e soccorso post revamping

Apparecchiature utilizzate: n°1 caldaia per la produzione di acqua calda (M67)
 Condizioni di funzionamento: automatico
 Periodicità max. di funzionamento: 24h/g; 7gg/set. 365gg/anno
 Tempo di avvio: 5 min.
 Tempo di arresto: 5 min.
 Emissioni generate: E8
 Impianto di abbattimento: nessuno
 Turno di lavoro: 06,00 - 12,20 / 14,00 - 20,20 (con reperibilità)

- b) nel caso in cui si verificano guasti-malfunzionamenti delle caldaie di integrazione attualmente presenti, la nuova caldaia potrà assumere la funzione di riserva;
 c) durante il periodo estivo in cui si verifica una riduzione di richiesta da parte dell'utenza tale da far funzionare una sola delle tre caldaie previste e più esattamente la nuova caldaia la quale assume la funzione di sostituzione parziale riducendo così i consumi e i costi di gestione della centrale.

Sulla base dei parametri tecnici acquisiti da impianti analoghi di aziende operanti nel settore della produzione di energia elettrica e calore, è stato possibile stilare il seguente quadro emissivo aggiornato:

PUNTO DI EMISSIONE	PROVENIENZA	PORTATA (Nm ³ /h)	TIPO DI SOSTANZA INQUINANTE	CONCENTRAZIONE DELL'INQUINANTE IN EMISSIONE (mg/Nm ³)	FLUSSO DI MASSA TOTALE (g/h)
E8	N° 1 caldaia per la produzione di acqua calda (Potenza termica nominale 4,6 MW)	7.000	NOx	230	1.610
			CO	80	560

Tab. 4.2 - Quadro delle emissioni della nuova caldaia di integrazione e soccorso post revamping

Poiché tale caldaia nella peggiore configurazione di esercizio funziona in sostituzione di una delle due centrali esistenti di integrazione, i limiti in concentrazione e flusso di massa degli inquinanti emessi e riportati in tabella rispettano i limiti stabili nella pre-esistente autorizzazione.

Pertanto, nelle condizioni di regime la nuova modifica apportata ha previsto l'installazione di n°1 unità cogenerativa (gruppo elettrogeno di cogenerazione) alimentato a gas metano di potenza termica nominale complessiva inferiore a 3 MW in sostituzione del gruppo turbogas-caldaia a recupero e l'introduzione di ulteriori n° 1 caldaia di potenzialità termica utile pari a ca. 4,6 MW cad. con funzione di sostituzione e riserva alle caldaie in esercizio nella centrale restando invariata la potenzialità di esercizio complessiva.

La fig. 4.4 seguente, sintetizza invece il programma degli interventi attuati.

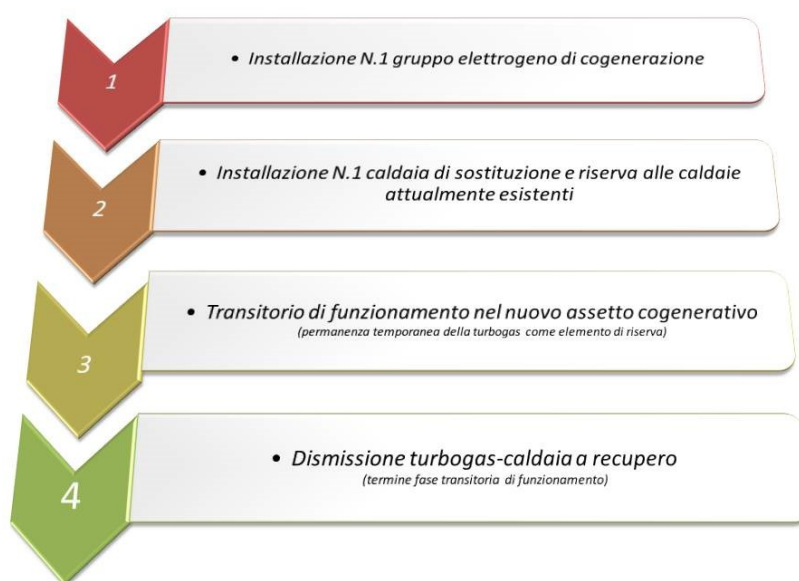


Fig. 4.4 - Interventi relativi al processo di revamping e alla dismissione della turbogas

La scelta adottata è stata dettata da:

- Riduzione dei consumi di energia primaria in termini di combustibile,
- Incremento dell'indice di affidabilità del sistema cogenerativo,
- Riduzione della quantità di inquinanti emessa in atmosfera,
- Riduzione dei costi di gestione/manutenzione e controllo.

Per quanto concerne le materie prime, sono stati mantenuti validi i dati quantitativi del progetto autorizzato in origine con la turbogas, pur se i consumi di acqua e metano di rete sono sicuramente inferiori a seguito della nuova tecnologia adottata. Eccezione fatta per l'acido cloridrico e la soda caustica che non sono più presenti.

In merito alle caratteristiche del combustibile utilizzato per l'unità cogenerativa e le caldaie, trattandosi di gas naturale prelevato dalla rete nazionale (SNAM), essi sono:

- Pressione di consegna massima: circa 30 bar
- Pressione di consegna all'interfaccia ASTEA/centrale minima: 1,5 bar
- Temperatura: 10-20°C

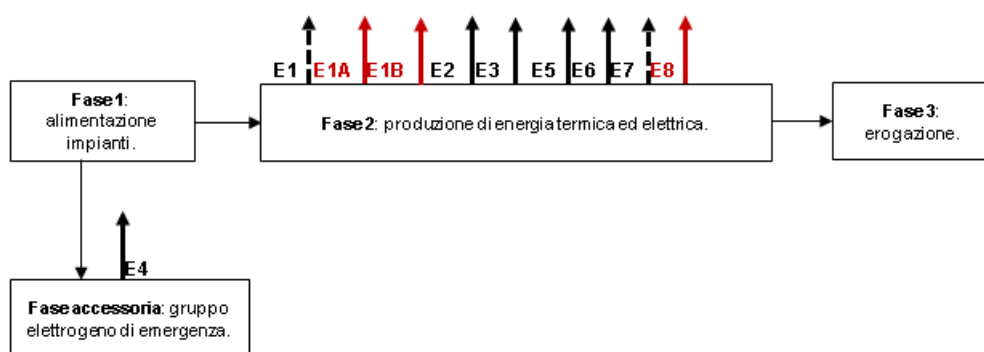
Il gas naturale è composto da una miscela con qualsiasi combinazione tra quelle disponibili in Italia e precisamente: nazionale, libico, algerino, russo e olandese.

Le caratteristiche chimico-fisiche del combustibile base calcolate secondo le norme ASME ed AGA risultano le seguenti (riferite a 0°C e 1,01325 bar):

CARATTERISTICA	VALORE
Potere calorifico inferiore (kJ/Sm ³)	33.876
Potere calorifico superiore (kJ/Sm ³)	37.624
Densità media (kg/Sm ³)	0,678
Viscosità dinamica P _A s 10-4	0,105

La composizione base del gas naturale è la seguente:

Composizione centesimale (cromatografia del gas)	% vol.
Azoto	0,59
Anidride carbonica	0,01
Idrogeno solforato	-
Metano	99,27
Etano	0,06
Propano	0,05
I-butano	0,01
N-butano	Tracce
I-pentano	Tracce
N-pentano	-
Esani	Tracce
Eptani	Tracce
Ottani+	0,01



- E2, E3, E4 Emissioni che continuano ad esistere dopo la sostituzione della turbogas
- E5, E6 Emissioni esistenti (riferite ai ricambi di aria)
- E1A, E1B, E8 Emissioni introdotte con la nuova configurazione di esercizio post turbogas
- E1, E7 Emissione dismessa solo dopo l'esaurimento della fase transitoria

Fig. 4.5 - Schema di processo (flow-sheet con indicazione dei punti di emissione) per ogni tipologia di attività presente e per il complessivo ciclo produttivo

4.3 CALCOLI TEORICI DELLE EMISSIONI IN AMBIENTE

E' stata effettuata la verifica delle emissioni teoriche di anidride carbonica (CO₂) in ambiente del motore alternativo ed il confronto con la turbogas nelle due condizioni di esercizio (massima e minima potenza elettrica. I calcoli teorici sono stati altresì effettuati per verificare la possibilità di raffreddare i fumi di scarico e utilizzarli come ulteriore sorgente per produrre energia termica dal raffreddamento sensibile dei fumi e dalla condensazione del vapore acqueo contenuto in essi (fino ad una temperature superiore alla temperatura di formazione di condensa).

I risultati evidenziano che le emissioni di CO₂ del motore alternativo, soprattutto per una questione di maggiori quantitativi di massa coinvolti, sono notevolmente inferiori di quelle della turbogas.

TURBOGAS con massima iniezione di vapore in camera di combustione

m _c	kg/s	0,305
m _{vap}	kg/s	2,400
m _{fumi}	kg/s	18,250
m _{aria}	kg/s	15,545
m _{aria teorica}	kg/s	5,299
eccesso _{aria}	%	193,4%
n _{CH4}	moli/s	19,044
n _{O2}	moli/s	111,732
n _{O2 (nei fumi)}	moli/s	73,644
n _{N2 (nei fumi)}	moli/s	427,496
n _{CO2 (nei fumi)}	moli/s	19,044
n _{H2O (nei fumi)}	moli/s	38,088
n _{H2O VAP (nei fumi)}	moli/s	133,333
n _{tot (nei fumi)}	moli/s	691,605
m _c	Sm ³ /h	1.616
m _c	Nm ³ /h	1.532
m _c	Nm ³ /s	0,426
densità	kg/Nm ³	0,716
m _c	kg/s	0,305
Portata fumi	Nm ³ /h	55.771



	CH ₄	O _{2 (teor)}	N _{2 (teor)}	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂ O	H ₂ O _{tot}	FUMI
rapporto moli	1	2		1	2					
moli/s	19,04	38,09	145,73	19,04	38,09	73,64	427,50	133,33	171,42	691,60
kg/s	0,3047	1,22	4,08	0,84	0,69	2,36	11,97	2,40	3,09	18,25
moli/moli				2,75%	5,51%	10,65%	61,81%	19,28%	24,79%	100,00%
kg/kg				4,59%	3,76%	12,91%	65,59%	13,15%	16,91%	100,00%
bar									24,79%	
°C									65	

t_{in} fumi	c_s (kJ/kg)	m_{fumi} (kg/s)	P_{sens} (kW)	P_{lat} (kW)	P_{ter1} (kW)	P_{ter2} (kW)	P_{tertot} (kW)	P_{elt} (kW)	P_{in} (kW)
100	1,005	15,85	558	7.405	7.963	891	8.854	5.350	15.057

Tab. 4.3 - Dati teorici relativi alla turbogas con iniezione di vapore (massima potenza elettrica)

TURBOGAS con iniezione di vapore nulla in camera di combustione

m_c	kg/s	0,275
m_{vap}	kg/s	-
m_{fumi}	kg/s	15,830
m_{aria}	kg/s	15,555
$m_{aria\ teorica}$	kg/s	4,781
eccesso aria	%	225,4%
n_{CH4}	moli/s	17,181
n_{O2}	moli/s	111,802
$n_{O2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	77,440
$n_{N2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	427,765
$n_{CO2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	17,181
$n_{H2O\ (nei\ fumi)}$	moli/s	34,363
$n_{H2O\ VAP\ (nei\ fumi)}$	moli/s	-
$n_{tot\ (nei\ fumi)}$	moli/s	556,749

m_c	Sm ³ /h	1.458
m_c	Nm ³ /h	1.382
m_c	Nm ³ /s	0,384
densità	kg/Nm ³	0,716
m_c	kg/s	0,275
Portata fumi	Nm ³ /h	44.896

	CH ₄	O ₂ (teor)	N ₂ (teor)	→	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂ O	H ₂ O _{tot}	FUMI
rapporto moli	1	2			1	2					
moli/s	17,18	34,36	131,47		17,18	34,36	77,44	427,77	-	34,36	556,75
kg/s	0,27	1,10	3,68		0,76	0,62	2,48	11,98	-	0,62	15,83
moli/moli					3,09%	6,17%	13,91%	76,83%	0,00%	6,17%	100,00%
kg/kg					4,78%	3,91%	15,65%	75,66%	0,00%	3,91%	100,00%
bar										0,06	
°C										36	

t_{in} fumi	c_s (kJ/kg)	m_{fumi} (kg/s)	P_{sens} (kW)	P_{lat} (kW)	P_{ter1} (kW)	P_{ter2} (kW)	P_{tertot} (kW)	P_{elt} (kW)	P_{in} (kW)
100	1,005	15,83	1.018	1.484	2.503	7.100	9.603	3.350	13.584

Tab. 4.4 - Dati teorici relativi alla turbogas senza iniezione di vapore (minima potenza elettrica)

MOTORE ALTERNATIVO (massima potenza elettrica)

m_c	kg/s	0,057
m_{vap}	kg/s	-
m_{fumi}	kg/s	1,846
m_{aria}	kg/s	1,789
$m_{aria\ teorica}$	kg/s	0,992
eccesso $_{aria}$	%	80,4%
n_{CH4}	moli/s	3,564
n_{O2}	moli/s	12,862
$n_{O2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	5,734
$n_{N2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	49,210
$n_{CO2\ (nei\ fumi)}$	moli/s	3,564
$n_{H2O\ (nei\ fumi)}$	moli/s	7,128
$n_{H2O\ VAP\ (nei\ fumi)}$	moli/s	-
$n_{tot\ (nei\ fumi)}$	moli/s	65,635

Q_{fumi}	Sm ³ /s	1,552
Q_{fumi}	Sm ³ /h	5.588
ρ_{fumi}	kg/Sm ³	1,190
Q_{comb}	Sm ³ /h	303
$P_{IN\ comb}$	kW	2.852
η_{el}	%	40,7%
P_{el}	kW	1.161
η_{ter}	%	43,7%
P_{ter}	kW	1.246
P_{dissip}	kW	445
$P_{dissip\ aux}$	kW	37
$P_{dissip\ intercooler}$	kW	142
$P_{dissip\ irragg}$	kW	107
$P_{fumi + aux}$	kW	196

	CH ₄	O ₂ (teor)	N ₂ (teor)	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂ O	H ₂ O _{tot}	FUMI
rapporto moli	1	2		1	2					
moli/s	3,56	7,13	27,27	3,56	7,13	5,73	49,21	-	7,13	65,64
kg/s	0,06	0,23	0,76	0,16	0,13	0,18	1,38	-	0,13	1,85
moli/moli				5,43%	10,86%	8,74%	74,97%	0,00%	10,86%	100,00%
bar									0,1086	
°C									45,84	

$t_{in\ fumi}$	c_s (kJ/kg)	m_{fumi} (kg/s)	P_{sens} (kW)	P_{lat} (kW)	P_{ter1} (kW)	P_{ter2} (kW)	P_{tertot} (kW)	P_{elt} (kW)	P_{in} (kW)
89	1,0704	1,84647	85	307	393	1.246	1.639	1.161	2.852

Tab. 4.5 - Dati teorici relativi al motore a combustione interna (massima potenza elettrica)

4.4 VALORI MISURATI DELLE EMISSIONI DELL'UNITA' COGENERATIVA POST REVAMPING

Con cadenza annuale vengono misurate le emissioni e verificato il rispetto dei valori limite di legge. Di seguito vengono riportati i valori delle misure eseguite delle emissioni del cogeneratore come risulta dall'analisi dei parametri di marcia durante i collaudi dello stesso. Le misure eseguite evidenziano il rispetto dei parametri in concentrazione ammessi.

Ragione sociale: Bosch Energy and Building Solutions Italy Srl
 Ubicazione Impianto: C/o Centrale Termica ASTEA
 Via Vici - Osimo (AN)
 Allegato al Rapporto di Prova n° 16LA05768

(SIGLA DELL' EMISSIONE)	VALORE MEDIO PONDERATO DELLE MISURE ESEGUITE											
	Intervallo campionamento		Conc. media (mg/m ³)	Incertezza	Vapore Acqueo (%)	Tenore di ossigeno (%)		Conc. corr. O ₂ (mg/Nm ³)	Conc. corr. O ₂ +H ₂ O (mg/Nm ³)	Conc. limite (mg/Nm ³)	Flusso di massa (g/ora)	
EA						MISURATO	REFERIMENTO				MISURATO	LIMITE
INQUINANTE												
Monossido di Carbonio (CO)	11:25	12:25	64,5	±7,4	10,1	10,29	5	96,3	107,2			
METODO DI ANALISI:	UNI EN 15058:2006											
Ossidi di Azoto (NOx)	11:25	12:25	83,1	±6,8	10,1	10,29	5	124,1	138,1			
METODO DI ANALISI:	UNI EN 14792:2006											

Assesto al 100% del carico
 Portata: 5320 Nm³/h

Allegato al Rapporto di Prova n° 16LA05769

(SIGLA DELL' EMISSIONE)	VALORE MEDIO PONDERATO DELLE MISURE ESEGUITE											
	Intervallo campionamento		Conc. media (mg/m ³)	Incertezza	Vapore Acqueo (%)	Tenore di ossigeno (%)		Conc. corr. O ₂ (mg/Nm ³)	Conc. corr. O ₂ +H ₂ O (mg/Nm ³)	Conc. limite (mg/Nm ³)	Flusso di massa (g/ora)	
EA						MISURATO	REFERIMENTO				MISURATO	LIMITE
INQUINANTE												
Monossido di Carbonio (CO)	12:45	13:45	38,6	±6,8	10,1	11,54	5	65,3	72,6			
METODO DI ANALISI:	UNI EN 15058:2006											
Ossidi di Azoto (NOx)	12:45	13:45	69,9	±6,4	10,1	11,54	5	118,2	131,5			
METODO DI ANALISI:	UNI EN 14792:2006											

Assesto al 75% del carico
 Portata: 4960 Nm³/h

Tab. 4.6 - Emissioni misurate del motore a combustione interna (massima potenza elettrica)

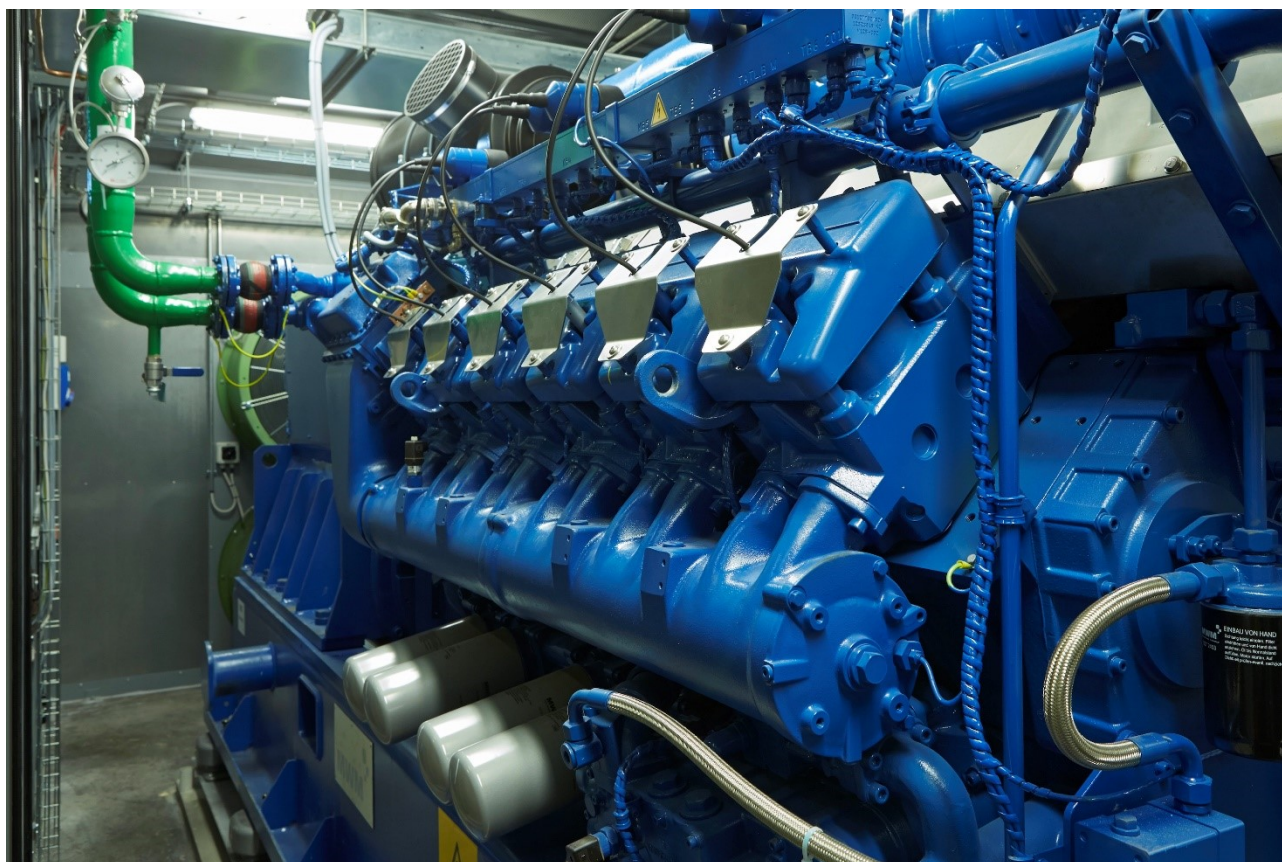
4.5 CONCLUSIONI

Il processo di revamping ha condotto ad un miglioramento delle emissioni in ambiente, in gran parte dovuto alla riduzione dei fumi immessi in atmosfera a causa della riduzione della taglia dell'impianto. Ciò è evidente anche dal calcolo teorico eseguito sulle due unità cogenerative che mostra una riduzione teorica della portata massica della CO₂ e dei fumi che è stata ridotta da 0,84 e 18,25 kg/s a 0,16 e 1,85 kg/s.

Inoltre le misure eseguite in campo hanno evidenziato che i limiti emissivi di legge relativi alla concentrazione oraria di ossido di carbonio (CO) e di ossidi di azoto (sotto forma di NO_x) vengono ampiamente rispettati.

CAPITOLO 5

EVOLUZIONE ACUSTICA DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE



- 5.1 INTRODUZIONE
- 5.2 IL QUADRO NORMATIVO
- 5.3 DOCUMENTAZIONE
- 5.4 CAMPO DI APPLICAZIONE
- 5.5 LA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI OSIMO
- 5.6 IMPATTO E CLIMA ACUSTICO INERENTE LA VECCHIA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI (ANTE REVAMPING) E CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELLE SORGENTI EMISSIVE DENOMINATE GRIGLIE (CARICO RIDOTTO E SOLO CALDAIE ACCESE)
- 5.7 ULTERIORE INDAGINE ACUSTICA DELLA ZONA IN CONDIZIONI DI MASSIMA POTENZA: VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO NOTTURNO DELLA TURBINA A GAS, DELLA CENTRALE DI TRASFORMAZIONE ENEL E IMPATTO SUI LIMITI DI ZONA DELLA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA
- 5.8 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE IL RINNOVO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI CONSISTENTE NELLA SOSTITUZIONE

DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE CALDAIE ATTUALMENTE ESISTENTI

- 5.9 MISURA ANTE OPERAM FINALIZZATE ALLA PROGETTAZIONE ACUSTICA DEL FONDO ISOLAMENTO E FONDO ASSORBIMENTO DELLE BOCHE DI LUPO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI AD OSIMO E SUCCESSIVE MISURE POST OPERAM PER LA VERIFICA DELLA BONTA' DELL'INTERVENTO PROGETTATO ED ESEGUITO
- 5.10 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI COGENERATORE, CAMINO, SISTEMA DI ESPULSIONE ARIA, ASPIRAZIONE, DRY COOLER E CABINATO
- 5.11 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI CALDAIA DI INTEGRAZIONE E SOCCORSO
- 5.12 VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE L'ATTUALE CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI A SEGUITO DELLA SOSTITUZIONE DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE DISMESSE
- 5.13 CONCLUSIONI
- 5.14 RIFERIMENTI

5.1 INTRODUZIONE

L'inquinamento acustico prodotto dal traffico, dall'industria e dalle attività ricreative costituisce uno dei principali problemi ambientali e suscita sempre più reazioni da parte della popolazione. Ciò nonostante tale problematica è spesso considerata meno importante di altre forme di inquinamento, quali ad esempio l'inquinamento atmosferico, quello delle acque, sia perché gli effetti sulla salute non compaiono immediatamente, sia perché tali effetti colpiscono soprattutto la psiche dell'individuo, molto spesso considerato male di secondo ordine.

Uno degli studi più esaustivi in materia, la relazione dell'O.M.S. "Community Noise – Environmental Health Criteria" evidenzia che l'esposizione al rumore nell'ambiente esterno può provocare una serie di effetti negativi diretti quali l'insonnia, danni fisiologici uditivi ed extra-uditivi (prevalentemente di tipo cardiovascolare) difficoltà di comunicazione e malessere diffuso.

Recenti sondaggi confermano che il rumore è fra le principali cause del peggioramento della qualità della vita nelle città. In particolare, anche se la tendenza in ambito comunitario negli ultimi quindici anni mostra una diminuzione dei livelli di rumore più alti nelle zone più a rischio, contestualmente si è verificato un ampliamento delle zone con livelli definiti di attenzione, chiamate "zone grigie", che ha comportato un aumento della popolazione esposta, annullando conseguentemente i benefici ottenuti nelle aree a maggior inquinamento acustico (fonte APAT).

Il fenomeno acustico consiste in una perturbazione della pressione atmosferica che può essere originata da vibrazioni meccaniche e/o turbolenze aerodinamiche. Come è noto, le oscillazioni sono caratterizzate dall'ampiezza e dalla frequenza. Solo un campo definito di ampiezze e frequenze può diventare ciò che dall'orecchio umano è percepito come suono.

Per quantificare il tipo di risposta umana all'energia sonora, in termini di sonorità, di disturbo e di rischio, occorre misurare la pressione sonora, la quale è per sé relativamente facile da misurare, in quanto le variazioni di pressione sul timpano, che sono percepite come suono, sono le stesse variazioni che agiscono sul diaframma del microfono di un fonometro.

L'orecchio umano è sensibile a variazioni di pressione sonora comprese fra i $0,00002 P_A$ (20 micro pascal) e $100 P_A$, in una gamma di frequenze comprese fra 20 Hz e 20000 Hz. Tuttavia la sensazione uditiva in un soggetto normo udente non è legata ad una variazione lineare della pressione sonora, bensì a una relazione di tipo logaritmico. Per tale motivo le grandezze acustiche sono espresse in decibel (dB), che sostanzialmente è un'unità di relazione logaritmica.

Inoltre non è sufficiente considerare esclusivamente il livello di pressione sonora, in quanto l'apparato uditivo presenta una diversa sensibilità ai suoni delle diverse frequenze (sensibilità maggiore alle alte frequenze). Per questo motivo nella tecnica fonometrica è impiegato un filtro che simula tale risposta, indicato come curva di ponderazione A.

Tale curva è stata ricavata sperimentalmente su differenti gruppi di popolazione, distinti per età e per sesso che hanno reso possibile la determinazione di proprietà medie dell'orecchio umano.

In Italia il problema dell'inquinamento acustico è stato efficacemente affrontato dalla legge quadro n° 447/95, che ha tentato di introdurre una nuova sensibilità sui problemi legati all'inquinamento acustico.

Vale la pena richiamare che tale legge definisce l'inquinamento acustico ambientale come l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle altre attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento di tali ambienti e interferenza con le legittime fruizioni di tali ambienti.

5.2 IL QUADRO NORMATIVO

L'approccio al problema dell'inquinamento acustico delle città italiane è sostanzialmente cambiato a seguito di importanti disposizioni legislative emanate negli ultimi anni.

In particolare, la legge 26 ottobre 1995, n. 447 modificata da D.lgs. 42 del 17-02-2017 (in vigore dal 19-04-2017), "Legge quadro sull'inquinamento acustico", pone alla base della riduzione del danno ambientale conseguente all'inquinamento urbano da rumore, la redazione e l'attuazione di piani di risanamento acustico, peraltro già previsti dal D.P.C.M. 1 marzo 1991, "Limiti massimi di esposizione al rumore degli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

Tali piani devono essere redatti da Stato, Regioni, Comuni, Enti gestori dei servizi pubblici di trasporto pubbliche e private, ecc., ciascuno per le sue competenze.

La definizione degli obiettivi di prevenzione, la individuazione delle aree da bonificare e la scelta delle azioni di risanamento, richiedono, così come previsto dalla legge, la suddivisione previsionale in zone acusticamente omogenee (classificazione acustica) dei territori comunali.

Come è ben noto, la legge quadro 447/95 prevede che la classificazione acustica del territorio venga effettuata sulla base di criteri generali dettati dalle Regioni, mentre per quanto riguarda le modalità di effettuazione delle misure per la mappatura acustica occorre far riferimento al dettato di decreti e normative tecniche specifici.

Per quanto riguarda le modalità di definizione delle azioni di risanamento acustico, occorre far riferimento, oltre a quanto previsto dalla legge, alle tecniche sia già consolidate sia più innovative utilizzabili per ridurre l'impatto acustico delle attività svolte nel territorio considerato.

La zonizzazione acustica dei territori comunali è stata inizialmente prevista dall'art. 2 del D.P.C.M. 1 marzo 1991, "Limiti massimi di esposizione al rumore degli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" (G.U. n.57 del 8.3.91).

Il decreto stabiliva che il territorio comunale dovesse essere suddiviso in zone acusticamente omogenee, secondo sei classi, per le quali venivano fissati i limiti massimi ammissibili del livello equivalente continuo ponderato (A) di pressione sonora.

Dopo l'annullamento da parte della Corte Costituzionale di alcune parti del DPCM 1.3.91 che imponevano attività a Comuni e Regioni e che si riferivano al collegamento tra zonizzazione, limiti, piani di risanamento e piani regionali, è stata approvata dal Parlamento la legge 26 ottobre 1995, n. 447, "Legge quadro sull'inquinamento acustico" (Supplemento G.U. n. 254 del 30.10.95).

In tale legge sono state fissate le finalità e definiti i concetti fondamentali (inquinamento acustico, sorgenti sonore fisse e mobili, valori limite di emissione, di immissione, di attenzione, di qualità), stabilite le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni, ribadendo che tra le competenze dei Comuni figura la classificazione in zone del territorio comunale.

Ovviamente, trattandosi di una legge quadro, essa fissa i principi generali, demandando gli aspetti particolari ed applicativi a leggi, decreti e regolamenti di attuazione.

Vengono di seguito indicati i seguenti decreti attuativi:

Decreto Ministero dell'Ambiente, 11 dicembre 1996, "Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo" (G.U. n. 52 del 4.3.97)

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 14 novembre 1997, "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore" (G.U. n. 280 del 1.2.97)

Decreto Ministero dell'Ambiente, 16 marzo 1998, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore" (G.U. n.76 del 1.4.98)

Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 31 marzo 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento recante criteri generali per l'esercizio dell'attività del tecnico competente in acustica, ai sensi dell'art. 3, comma 1, lettera b) e dell'art. 2, commi 6, 7 e 8 della legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" (G.U. n. 120 del 26.5.98).

D.lgs. n°42 del 17/02/17 (in vigore dal 19/04/2017) "Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere

a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161. (17G00055) (GU Serie Generale n.79 del 4-4-2017)”

La zonizzazione acustica così come prevista dal D.P.C.M. 01/03/91 consiste nella suddivisione del territorio comunale nelle seguenti sei classi:

Classe I: aree particolarmente protette

Classe II: aree destinate ad uso prevalentemente residenziale

Classe III: aree di tipo misto

Classe IV: aree di intensa attività umana

Classe V: aree prevalentemente industriali

Classe VI: aree esclusivamente industriali

Il D.P.C.M. 01/03/91 fissava poi i limiti massimi di esposizione al rumore all'interno di ogni zona territoriale, utilizzando come indicatore il livello continuo equivalente di pressione ponderato A, espresso in dB(A) ed associando ad ogni zona una coppia di limiti, uno per il periodo diurno (dalle ore 6 alle 22) e uno per il periodo notturno (dalle ore 22 alle 6), così come riportato nella tabella seguente.

Nel quadro normativo delineato dal D.P.C.M. 01/03/91 la zonizzazione acustica rappresentava essenzialmente la necessaria “premessa” alla formazione, nel caso di superamento dei limiti sopra indicati, dei Piani di risanamento acustico.

La Legge Quadro riprende tale concetto di zonizzazione e lo estende, assegnando ad ogni zona quattro coppie di valori limite.

Due coppie di valori sono relativi alla disciplina delle sorgenti sonore e sono:

- Valori limite di emissione
- Valori limite di immissione (suddivisi in assoluti e differenziali)

Le altre due coppie sono invece relative alla pianificazione delle azioni di risanamento e sono:

- Valori di attenzione
- Valori di qualità.

La definizione di tali valori limite è riportata nella Legge quadro, mentre i valori numerici sono fissati dal D.P.C.M. 14 novembre 1997, “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.

Per valori limite di immissione si intende il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

Per valore limite di emissione si intende il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, che secondo l'art. 2, c. 1, lett. E) della legge 447/95, deve essere misurato in prossimità della sorgente stessa.

Tab. A del DPCM 14 novembre 1997, “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”

CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

Classe	AREA	
I	Aree particolarmente protette	Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
II	Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciale ed assenza di attività industriali ed artigianali
III	Aree di tipo misto	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività

		industriali, aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici
IV	Aree di intensa attività umana	Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali ed uffici, con presenza di attività artigianali, le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie, le aree portuali, le aree di limitata presenza di piccole industrie.
V	Aree prevalentemente industriali	Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di popolazione
VI	Aree esclusivamente industriali	Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi

Per valore di attenzione (art. 6) si intende il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana.

Per valore di qualità si intende il livello di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodologie di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.

Per valore differenziale di immissione si intende (art. 4) il valore dato dalla differenza tra il livello equivalente ed il rumore residuo. In sostanza esso rappresenta l'incremento del rumore nel sito disturbato, dovuto alla sola attività in esame.

L'accettabilità del rumore prodotto da una o più sorgenti deriva dal soddisfacimento dei tre criteri distinti inerenti i limiti di immissione, i limiti di emissione e i limiti differenziali.

Tabella B del DPCM 14 novembre 1997, "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore":

VALORI LIMITE DI EMISSIONE E IMMISSIONE – Leq in dB(A)

Classi di destinazione d'uso del territorio	Immissione		Emissione	
	Diurno (06.00- 22.00)	Notturmo (22.00- 06.00)	Diurno (06.00- 22.00)	Notturmo (22.00- 06.00)
I. Aree particolarmente protette	50	40	45	35
II. Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale	55	45	50	40
III. Aree di tipo misto	60	50	55	45
IV. Aree di intensa attività umana	65	55	60	50
V. Aree prevalentemente industriali	70	60	65	55
VI. Aree esclusivamente industriali	70	70	65	65

Pertanto, nel quadro normativo delineato dalla Legge 447/95 e dai decreti conseguenti, la classificazione in zone acusticamente omogenee risulta essere un atto tecnico-politico complesso e con rilevanti implicazioni.

Infatti essa disciplina l'uso del territorio tenendo conto del parametro ambientale connesso con l'impatto acustico delle attività svolte e di tale parametro devono tenere conto gli strumenti urbanistici (piani regolatori, piani dei trasporti, piani urbani del traffico ecc.).

Obiettivi principali di tale attività di governo del territorio è quello di renderlo meno vulnerabile ai fattori di rumorosità ambientale, mediante la prevenzione del deterioramento delle zone non inquinate, con particolare riguardo alle nuove aree di urbanizzazione, ed il risanamento delle zone ad elevato inquinamento acustico.

Il D.P.R. n°142 del 30/03/04 stabilisce che per le seguenti infrastrutture stradali:

- A. autostrade;
- B. strade extraurbane principali;
- C. strade extraurbane secondarie;
- D. strade urbane di scorrimento;
- E. strade urbane di quartiere;
- F. strade locali;

Non si applicano il disposto degli articoli 2, 6 e 7 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 14 novembre 1997, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 280 del 1° dicembre 1997.

I valori limite di immissione stabiliti dal presente decreto sono verificati, in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione, in conformità a quanto disposto dal decreto del Ministro dell'ambiente in data 16 marzo 1998.

Fascia di pertinenza acustica

1. Per le infrastrutture stradali di tipo A., B., C., D., E. ed F., le rispettive fasce territoriali di pertinenza acustica sono fissate dalle tabelle 1 e 2 dell'allegato 1.
2. Nel caso di fasce divise in due parti si dovrà considerare una prima parte più vicina all'infrastruttura denominata fascia A ed una seconda più distante denominata fascia B.
3. Nel caso di realizzazione di nuove infrastrutture, in affiancamento ad una esistente, la fascia di pertinenza acustica si calcola a partire dal confine dell'infrastruttura preesistente.

Limiti di immissione per infrastrutture stradali di nuova realizzazione

1. Il presente articolo si applica alle infrastrutture di cui all'articolo 2, comma 3, lettera b).
2. Per le infrastrutture di cui al comma 1 il proponente l'opera individua i corridoi progettuali che possano garantire la migliore tutela dei ricettori presenti all'interno della fascia di studio di ampiezza pari a quella di pertinenza, estesa ad una dimensione doppia in caso di presenza di scuole, ospedali, case di cura e case di riposo.
3. Le infrastrutture di cui al comma 1, rispettano i valori limite di immissione fissati dalla tabella del presente capitolo.

Tabella 1 - Strade di nuova realizzazione

Tipo di strada secondo codice della strada	Sottotipi a fini acustici secondo D.M.5.11.2001norme funz. e geom. per la costruzione delle strade	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri ricettori	
			Diurno dBA	Notturno dBA	Diurno dBA	Notturno dBA
A - autostrada		250	50	40	65	55
B - extraurbana principale		250	50	40	65	55
C - extraurbana secondaria	C1	250	50	40	65	55
	C2	150	50	40	65	55
D - urbana di scorrimento		100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	Definiti dai comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D.P.C.M. 14 novembre 1997 e, comunque, in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a), Legge n. 447/1995.			
F - locale		30				

* per le scuole vale il limite diurno

Tab. 5.1 - Infrastrutture stradali

5.3 DOCUMENTAZIONE

La documentazione di impatto acustico comprende:

- la relazione previsionale di impatto acustico
- la relazione di valutazione di impatto acustico

La documentazione di impatto acustico ha lo scopo di fornire gli elementi necessari per prevedere nel modo più accurato possibile gli effetti acustici derivanti dalla realizzazione di quanto in progetto e dal suo esercizio, nonché di permettere l'individuazione e l'apprezzamento delle modifiche introdotte nelle condizioni sonore dei luoghi e degli ambienti limitrofi, di verificarne la compatibilità con gli standard e le prescrizioni esistenti, con gli equilibri naturali, con la popolazione residente e con lo svolgimento delle attività presenti nelle aree interessate.

Il proponente deve verificare se quanto ha intenzione di realizzare comporti l'installazione o l'utilizzo di sorgenti sonore o l'esercizio di attività rumorose tenendo conto anche del periodo di funzionamento delle sorgenti. Esaminare l'impatto acustico in sede di progetto è indispensabile per ottemperare agli obblighi di legge e si rivela peraltro conveniente perché in tale fase si possono adottare soluzioni tecniche meno onerose (quali ad esempio una accurata disposizione di locali, macchine e impianti) rispetto a quelle di norma necessarie per realizzare il risanamento acustico in un momento successivo.

5.4 CAMPO DI APPLICAZIONE

I soggetti titolari dei progetti o delle opere indicate di seguito, ai sensi degli artt. 10 e 22 del DPR 6/6/01 n. 380, dell'art. 1 commi 6-14 della legge 21/12/01, n. 443 e di tutti gli altri provvedimenti a queste collegati, presentano al Dirigente del Dipartimento del Territorio del Comune di Osimo la documentazione di impatto acustico di cui all'art. 8 della legge 447/95 per:

1. la realizzazione, la modifica o il potenziamento di opere sottoposte a Valutazione di Impatto Ambientale nazionale (ex l. n. 349/1988 e successive modifiche e integrazioni) oppure regionale, provinciale o comunale;

2. la realizzazione, la modifica o il potenziamento di opere, non ricomprese al punto 1, di seguito elencate:

- a. aeroporti, aviosuperfici, eliporti;
- b. strade di tipo A (autostrade), B (strade extraurbane principali), C (strade extraurbane secondarie), D (strade urbane di scorrimento), E (strade urbane di quartiere) e F (strade locali), secondo la classificazione di cui al decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285 e successive modificazioni;
- c. discoteche;
- d. circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi;
- e. impianti sportivi e ricreativi;
- f. ferrovie e altri sistemi di trasporto collettivo su rotaia;

3. il rilascio di concessioni edilizie relative a nuovi impianti e infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive, ricreative e a postazioni di servizi commerciali polifunzionali; l'abilitazione all'utilizzo dei medesimi immobili e infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive, ricreative e a postazioni di servizi commerciali polifunzionali; la domanda di licenza o autorizzazione all'esercizio di attività produttive. Per le domande di autorizzazione all'esercizio di attività di cui al presente punto, qualora la relazione previsionale di impatto acustico evidenzia che si possano produrre valori di emissione superiori a quelli determinati ai sensi dell'art. 3, comma 1, lettera a) della Legge 447/95 (DM 14/11/97), in particolare qualora si evidenzia un potenziale superamento dei valori differenziali di immissione o dei valori di qualità, la relazione dovrà contenere l'indicazione delle misure previste per ridurre o eliminare le immissioni causate dall'attività o dagli impianti. In tali casi la realizzazione dell'opera è soggetta anche al rilascio di uno specifico NULLA OSTA da parte del Dirigente del Dipartimento del Territorio del Comune di Osimo, in cui vengono fissati i tempi e le modalità di controllo, a carico del proponente, della rispondenza alle ipotesi di progetto e del rispetto dei limiti ad opera ultimata.

4. il rilascio di concessioni edilizie relative ad unità per le quali verranno installati all'esterno dell'edificio nuovi impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione (compressori, Uta, caldaie, ecc.).

I titolari di progetti concernenti la pratica di attività o la realizzazione di opere che, pur ricadendo nell'ambito dei quattro punti sopra esposti, non utilizzano macchinari, o impianti rumorosi, ovvero non inducono aumenti significativi dei flussi di traffico o di persone, possono ricorrere ad una procedura semplificata. In tal caso il titolare del progetto, congiuntamente al tecnico competente in acustica, producono al Dirigente del Dipartimento del Territorio del Comune di Osimo una dichiarazione sostitutiva di atto notorio, descrivendo la tipologia dell'attività svolta e attestando che la stessa non produce aumenti del livello di immissioni di rumore ambientale superiore di oltre 3 dB rispetto al rumore residuo in prossimità dei ricettori sensibili (la corrente giurisprudenza considera inquinante, ovvero molesta, la sorgente disturbante che crea un incremento del rumore residuo superiore a 3 dB: si cita in tal senso, tra le altre, la sentenza N. 1351, 17 luglio 1992, sez. IV, Corte d'appello di Milano di merito ai livelli di tollerabilità delle immissioni).

La relazione di valutazione di impatto acustico contiene le risultanze della campagna di misure fonometriche condotte ad opera realizzata. In detta relazione deve essere evidenziato il rispetto dei valori limite previsti dal suddetto art. 3 della L. 447/95.

Come indicato nella D.G.R. n° 896 del 24/06/03, la documentazione di previsione di impatto acustico, sottoscritta dal proponente, deve contenere: dati di progetto, valutazione del clima acustico ante-operam, previsione di impatto acustico post-operam, confronto con i limiti di riferimento, eventuali dati relativi a casi particolari (aree destinate a volo sportivo e da diporto), che nel caso specifico del Comune di Osimo non sono presenti.

Tra i dati di progetto devono essere valutati i livelli di rumore esistenti in zona ante-operam (clima acustico dello stato zero). Le misure, da effettuarsi sul campo, devono essere eseguite almeno nei punti recettori esistenti ed in quelli di prevedibile insediamento in ragione delle vigenti pianificazioni urbanistiche, individuando le principali sorgenti già insediate che concorrono a determinare i livelli globali di immissione.

La previsione dell'impatto acustico post-operam è volta a quantificare i livelli di rumore ai confini di proprietà dell'attività od opera soggetta ad autorizzazione e presso i recettori maggiormente esposti. I punti in cui si effettua la previsione, definiti punti di controllo, devono essere riportati su una planimetria in scala opportuna in cui siano evidenziate anche le sorgenti di rumore e i principali recettori.

La previsione dell'impatto acustico può essere effettuata con due differenti metodologie: utilizzo di software commerciali di calcolo o utilizzo di processi di calcolo basati su norme nazionali ed internazionali (UNI, ISO, etc.).

Nel primo caso, la relazione deve contenere l'identificazione del software impiegato, il principio del calcolo e gli algoritmi utilizzati. Alla relazione deve essere allegata la puntuale elencazione e la sequenza di tutti i dati in ingresso utilizzati e deve essere data spiegazione delle scelte operate nel caso di opzioni che il programma propone.

Nel caso di processi di calcolo basati su norme nazionali ed internazionali, la relazione deve contenere l'esatta bibliografia dei riferimenti normativi utilizzati e deve motivare e giustificare le eventuali variazioni o approssimazioni introdotte nel calcolo.

In ogni caso dovrà essere indicata l'accuratezza della stima dei valori dei livelli sonori ottenuti dal calcolo previsionale.

Se le sorgenti sonore sono collocate all'interno di edifici a prevalente destinazione d'uso residenziale, occorre utilizzare procedure di calcolo per valutare il rispetto dei limiti differenziali di immissione negli alloggi confinanti. In tal caso il processo di calcolo dovrebbe partire dall'analisi del livello sonoro nel locale emittente, per poi valutare la trasmissione per via aerea e per via strutturale. In entrambi i predetti casi, la previsione d'impatto dovrà tener conto del clima acustico valutato ante-operam e degli eventuali incrementi dovuti al nuovo insediamento. Dovrà essere valutata la rumorosità delle aree destinate al parcheggio ed alle attività di carico/scarico delle merci, con particolare riferimento alle manovre dei veicoli pesanti.

I valori di livello sonoro previsti dovranno essere analizzati, corretti se ricorrono i casi di cui agli allegati A e B del DM 16/03/98, rapportati al periodo di riferimento ove previsto, e confrontati con:

- Livelli di rumore ambientale assoluti di immissione;
- Livelli di rumore ambientale assoluti di emissione;
- Livelli di rumore ambientale differenziali di immissione;

Per quanto riguarda la valutazione del criterio differenziale, la stima del valore incrementale dovuta a sorgenti ubicate all'esterno dell'edificio recettore può essere effettuata in facciata all'edificio maggiormente disturbato.

La *Relazione di Valutazione di Impatto Acustico* è un documento tecnico richiesto e redatto ad opera realizzata, allo scopo di verificare la compatibilità acustica del manufatto con il contesto in cui lo stesso è stato realizzato. Nel momento in cui si produce la *Relazione di Valutazione di Impatto Acustico* l'opera produce emissioni ed immissioni sonore, pertanto è possibile verificare in opera, nei

punti di controllo individuati nella *Relazione Previsionale di Impatto Acustico*, la conformità ai limiti previsti dalla normativa vigente.

La Relazione di Valutazione di Impatto Acustico deve almeno contenere i seguenti punti: dati di progetto, valutazione del clima acustico ante-operam, valutazione del clima acustico post-operam, confronto con i limiti di riferimento.

Il rumore ambientale è descritto dal livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A relativo al tempo di riferimento.

L'equazione base della propagazione sonora in ambiente esterno è data da:

$$L_{p(r)} = L_W + D_c - A$$

$L_{p(r)}$ è il livello di pressione sonora alla distanza r (m) dalla sorgente;

L_W è il livello di potenza sonora della sorgente;

D_c è il fattore di correzione dovuto alla direttività della sorgente e alla propagazione sonora entro specifici angoli solidi;

A è il termine di attenuazione.

Tutti i termini sono espressi in dB, in bande di ottava o globale.

Il termine A è il risultato della somma di tutti i fattori di attenuazione che influenzano la propagazione, come risulta dall'espressione che segue:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{met} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Dove:

A_{div} è l'attenuazione dovuta alla divergenza geometrica;

A_{atm} è l'attenuazione per assorbimento dell'aria;

A_{met} è l'attenuazione dovuta ad effetti di origine meteorologica (direzione e velocità del vento, gradienti di vento, gradienti di temperatura, ecc.);

A_{gr} è l'attenuazione per "effetto suolo", espressa in dB;

A_{bar} è l'attenuazione per presenza di barriere;

A_{misc} è l'attenuazione per vari effetti (presenza di edifici o di vegetazione).

Tutti i termini sono espressi in dB, in bande di ottava o globale.

I termini di attenuazione possono assumere valore positivo, se creano riduzione del livello di pressione sonora, o negativo, se creano incremento del livello.

Le basi per il calcolo di tali attenuazioni possono essere dedotte dalle ISO 9613-1 e ISO 9613-2. Possono inoltre essere utilizzate altre formulazioni purché dedotte dalla letteratura scientifica o dalla normativa internazionale. Nel caso specifico è stato utilizzato un programma di calcolo certificato che prevede al suo interno alcune delle grandezze indicate. A fini cautelativi dal punto di vista acustico, sono stati trascurati i seguenti termini: $A_{met} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$.

La caratterizzazione del territorio è stata eseguita sia dal punto di vista topografico e morfologico, per avere conoscenza di tutti gli elementi naturali e artificiali presenti in sito, sia dal punto di vista acustico e per avere conoscenza della rumorosità esistente in sito.

La misurazione del livello di pressione sonora continuo equivalente ponderata A è stata eseguita in posizioni di misura significative per la caratterizzazione acustica del territorio.

La definizione in modo univoco e preciso delle tecniche e modalità di rilevamento e misurazione del rumore ambientale prodotto dalle singole sorgenti o dalla loro combinazione è essenziale per poter valutare il grado d'inquinamento acustico.

I riferimenti legislativi inerenti l'attività di misura sono i seguenti: Allegato B del DPCM 1/3/91, Decreto del Ministero dell'Ambiente 16 Marzo 1998.

Le misure sono state eseguite utilizzando la seguente strumentazione:

- Fonometro analizzatore in tempo reale 2250 della Bruel & Kjaer;
- Software per l'analisi sonora avanzata da 20 Hz a 20 kHz, denominato "Evaluator Type 7206" della Bruel & Kjaer;
- Batteria portatile dotata di relativo carica batterie;
- Cuffia antiventio;

- Anemometro;
- Microfono a condensatore prepolarizzato da ½" Type 4189 (free field) della Bruel & Kjaer;
- Calibratore acustico esterno Type 4231 della Bruel & Kjaer;
- Modulo software previsionale Predictor Type 7810 della Bruel & Kjaer;
- Sorgente sonora isotropa dotata di amplificatore e modulo per la generazione di rumore rosa. La strumentazione di misura rispetta l'art. 2 del Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 Marzo 1998, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico", che stabilisce le caratteristiche e le specifiche della strumentazione di misura.

In particolare per quanto riguarda le caratteristiche:

- Il sistema di misura soddisfa le specifiche di cui alla classe I delle norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994;
- I filtri sono conformi alle norme EN 61260;
- I microfoni sono conformi alle norme EN 61094-1/1994, EN 61094-2/1993, EN 61094-4/1995,
- Il calibratore è conforme alle norme CEI 29-4

Per quanto riguarda la calibrazione il fonometro è stato calibrato all'inizio ed alla fine della campagna di misure ad un livello di 93,9 dB re. 20 micro Pascal mentre la sensibilità è stata di -26,7 dB re. 1 V/P_A.

I risultati della calibrazione finale del fonometro hanno mostrato una deviazione massima di 0,01 dB.

Per quanto riguarda la taratura della strumentazione essa è sempre stata eseguita nel rispetto delle prescrizioni.

Le grandezze sono state misurate in accordo al Decreto del Ministero dell'Ambiente 16 Marzo 1998. In particolare sono state eseguite misure del Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A. Importante è definire il tempo di riferimento Tr, il tempo di osservazione del fenomeno T0, ed il tempo di misura TM.

Il livello di rumore ambientale LA: è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il limite di rumore ambientale è stato confrontato con i limiti massimi di esposizione dettati dalla legislazione, che prevede:

- Nel caso in cui si considerano i limiti differenziali, LA è riferito al tempo di misura TM;
- Nel caso di limiti assoluti, LA è riferito al tempo di riferimento TR.

Il livello di rumore residuo LR è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante.

Il livello differenziale di rumore L_D è la differenza tra il livello di rumore ambientale LA e il livello di rumore residuo L_R.

Il livello di rumore corretto è il livello di rumore ambientale che deve essere corretto in particolari situazioni per tener conto dell'influenza di caratteristiche specifiche del rumore stesso.

I criteri e le modalità di esecuzione delle misure sono stati quelli indicati nell'allegato B del Decreto del Ministero dell'ambiente del 16 marzo 1998, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico". I rilievi effettuati hanno tenuto conto sia delle variazioni delle emissioni del rumore che della sua propagazione. La misura dei livelli continui equivalenti di pressione sonora con ponderazione "A" è stata eseguita per campionamento. Le misure sono state eseguite in assenza di precipitazioni, di nebbia, di neve, in condizioni di velocità del vento inferiori a 3,1 m/s direzione varia di giorno e 2,9 m/s direzione varia di notte ed il microfono di misura è sempre stato munito di cuffia antivento.

5.5 LA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI OSIMO

La nuova unità di cogenerazione è stata installata a seguito di un revamping dopo aver effettuato valutazioni delle prestazioni energetico ambientali previste rispetto alle caratteristiche della vecchia centrale di cogenerazioni. Sono state eseguite misure sperimentali nella fase che ha preceduto l'installazione delle nuove macchine, misure in corso d'opera e misure finali quando sono state installate le nuove macchine.

Il presente lavoro oltre che focalizzato sulla valutazione delle prestazioni energetiche del nuovo cogeneratore e dell'impatto acustico della soluzione impiantistica definitiva ha analizzato tutte le fasi del processo incluse quelle di bonifica effettuate in corso d'opera.

Le fasi di studio del fenomeno acustico sono state le seguenti:

- Valutazione di impatto acustico della centrale di cogenerazione costituita dalle seguenti macchine principali: Turbogas di potenza elettrica variabile tra 3.500 e 5.500 kW e di potenza termica variabile tra 1.000 e 7.100 kW; n. 2 caldaie di integrazione e soccorso di potenza termica ciascuna pari a 4.600 kW
- Valutazione dell'impatto acustico dovuto alla presenza di ulteriori centrali di trasformazione dell'energia elettrica presenti nell'area
- Progettazione di interventi di bonifica acustica dei sistemi di areazione (prelievo e scarico) dell'edificio contenente l'impianto di cogenerazione
- Specifiche tecniche del nuovo cogeneratore e della nuova caldaia di integrazione e soccorso
- Valutazione previsionale d'impatto acustico della nuova centrale di cogenerazione costituita dal motore a combustione interna di potenza elettrica nominale pari a 1.200 kW e di potenza termica nominale pari a 1.300 kW e dalla caldaia di integrazione e soccorso di potenza termica pari a 4.200 kW, in sostituzione delle due già presenti, con funzioni di riserva.
- La valutazione dell'impatto acustico delle componenti dell'impianto di cogenerazione è un elemento di rilevante importanza ai fini dell'assolvimento delle procedure autorizzative, con significative implicazioni anche di tipo economico collegate alla concessione di prestiti da parte delle entità finanziatrici dei progetti, in conseguenza del rischio di impresa risultante.
- La stima progettuale del clima acustico all'interno, all'esterno e nell'intorno dell'impianto è peraltro pesantemente condizionata da notevoli incertezze nella definizione della potenza sonora delle sorgenti di rumore costituite dai macchinari operanti all'interno della centrale.
- Le dimensioni del cogeneratore, la sua collocazione in prossimità di altre macchine di grandi dimensioni a loro volta sorgenti di rumore, la complessità dei campi acustici che possono instaurarsi tra le macchine a causa delle riflessioni, la presenza di componenti tonali comuni a diverse sorgenti, sono tutti elementi che rendono facilmente intuibile la difficoltà di poter adeguatamente tener conto del contributo delle singole sorgenti, oltre che dell'ambiente di misura, nel caso di misure in ambiente interno.
- La determinazione dei livelli di potenza sonora di una sorgente di rumore mediante pressione sonora permette di individuare univocamente la potenza emessa da macchine o apparecchiature. Tale misura può essere effettuata in diverse tipologie di ambienti e con diverse classi di precisione. Nella situazione in oggetto la misura è stata effettuata sia in ambiente esterno che in ambiente interno, entro il capannone ASTEA, ambiente moderatamente riverberante.
- La procedura di prova per il calcolo della potenza sonora mediante misura del livello di pressione sonora è funzione delle caratteristiche dell'ambiente di misura. Per ogni tipologia di ambiente esiste una normativa di riferimento, con indicazioni sul volume della sorgente sonora, classe della strumentazione, livello del rumore di fondo e campo di accettabilità dei risultati.

Per meglio comprendere come è stato eseguito il calcolo della potenza sonora delle macchine d'impianto sono state definite le seguenti grandezze acustiche:

Campo libero Campo sonoro in un mezzo omogeneo, isotropo, non limitato. In pratica, è un campo in cui le riflessioni ai bordi hanno un'influenza trascurabile sull'intervallo di frequenza interessato.

Campo libero sopra una superficie riflettente

Un campo sonoro in un mezzo omogeneo, isotropo su una superficie piana rigida, infinita sulla quale è posizionata la sorgente.

Pressione sonora superficiale

Livello di pressione sonora superficiale

Media energetica dei livelli di pressione sonora temporali medi in corrispondenza di tutte le postazioni microfoniche sulla superficie di misurazione, ai quali sono applicate la correzione del rumore di fondo K1 e la correzione delle condizioni ambientali K2.

Livello di potenza sonora Dieci volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra la potenza sonora irradiata dalla sorgente sonora sottoposta a prova e la potenza sonora di riferimento.

Superficie di misurazione Superficie fittizia di area S che racchiude la sorgente e sulla quale sono posizionati i punti di misurazione.

Distanza di misurazione Distanza tra il piede della perpendicolare alla superficie della macchina e il punto di misura (generalmente viene assunto un valore pari a 1 m).

Intervallo delle frequenze di interesse

Per applicazioni generali l'intervallo di frequenze di interesse comprende le bande di ottava con frequenze di centro banda compresa fra 125 Hz e 8000 Hz. Per usi particolari, è ammissibile estendere o ridurre ad entrambe le estremità l'intervallo di frequenze di interesse, a condizione che l'ambiente di prova e la precisione della strumentazione possano essere utilizzati soddisfacentemente sull'intervallo di frequenza esteso o ridotto.

Per sorgenti che emettono in maniera predominante alte (o basse) frequenze sonore, è ammissibile estendere o ridurre l'intervallo di frequenza di interesse, allo scopo di ottimizzare l'installazione e i procedimenti di prova.

La procedura applicata è conforme alla norma UNI EN ISO 3744.

La norma prevede come valore massimo della correzione ambientale (direttività) dovuta alle caratteristiche dell'area di prova $K_2 = 2$ (per misure all'esterno in campo aperto si assume $K_2=1$; per misure all'interno K_2 può essere determinato attraverso una di due procedure utilizzabili).

Condizioni di misura

Norma di riferimento UNI EN ISO 3744

Potenza sonora

Per calcolare il valore di potenza sonora L_w si determina il valore medio di pressione sonora alla distanza "d" e da esso, attraverso la formula di trasformazione, nota la superficie di misura si determina il valore richiesto.

Nel seguito viene riportato l'elenco completo dei riferimenti normativi censiti, suddivisi nei filoni tematici. Si tratta di norme datate, ma che ben rappresentano la normativa attualmente utilizzata, fatti salvi successive modifiche e/o integrazioni.

Standard nazionali ed internazionali

Gli standard nazionali ed internazionali qui riportati riguardano sia metodiche di carattere generale per il calcolo della potenza acustica, sia metodiche dedicate a specifiche categorie di apparecchiature.

Standard di carattere generale per il calcolo della potenza acustica

- A1. UNI EN ISO 3740:2002 "Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore - Linee guida per l'uso delle norme di base"
- A2. UNI EN ISO 3744 "Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente"
- A3. UNI EN ISO 3746 (1997) "Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora - Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente."
- A4. UNI EN ISO 3747:2002 "Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazioni di pressione sonora - Metodo di confronto per utilizzo in situ"
- A5. UNI EN ISO 9614-1 "Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico. Misurazione per punti discreti."
- A6. UNI EN ISO 9614-2 "Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetrico - Misurazione per scansione."
- A7. ISO 9614-3:2002 "Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity -- Part 3: Precision method for measurement by scanning"
- A8. ISO/TR 7849:1987 "Acoustics -- Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement"
- A9. ASTM1 E1124-97(2004) "Standard Test Method for Field Measurement of Sound Power Level by the Two-Surface Method"

Standard relativi a specifiche tipologie di apparecchiature/impianti

- A10. UNI EN ISO 1680:2001 "Acustica - Procedura per prove di misurazione del rumore aereo emesso dalle macchine elettriche rotanti";
- A11. ISO 8297:1994 "Acoustics -- Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment -- Engineering method"
- A12. ISO 10494:1993 "Gas turbines and gas turbine sets -- Measurement of emitted airborne noise -- Engineering/survey method"
- A13. UNI 8959 (1988) "Misura del rumore aereo emesso da impianti a turbina a gas. Prescrizioni e metodo di rilevamento."
- A14. UNI 9572 (1990) "Guida per la valutazione dell'impatto acustico ambientale per impianti con turbine a gas."
- A15. ISO 2151:2004 "Acoustics -- Noise test code for compressors and vacuum pumps -- Engineering method (Grade 2)"
- A16. CEI EN 60076-10 (2002) "Trasformatori di potenza - Parte 10: Determinazione dei livelli di rumore"
- A17. CEI EN 61063:1996-01 "Acustica - Codice di prova per la misura del rumore aereo emesso da una turbina a vapore e dal macchinario alimentato"
- A18. CEI EN 60034-9 "Macchine elettriche rotanti - Parte 9: Limiti di rumore"
- A19. CEI EN 61400-11 (2004) "Sistemi di generazione a turbina eolica - Parte 11: Tecniche di misura del rumore acustico"
- A20. UNI EN 12354-4:2003 "Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Trasmissione del rumore interno all'esterno"
- A21. ASME2 PTC 36 - 1985 "Measurement of Industrial Sound (1985, 1998)"

- A22. EEMUA3 Publication n° 140 Noise Procedure Specification (1988) (già OCMA Spec. No. NWG-1 Revision 2)
 A23. VDI4 2714 "Schallausbreitung im Freien / Outdoor sound propagation" (1988)
 A24. Dutch guideline IL-HR-13-01: "Measuring and calculating industrial Noise".

Tra le norme sopra citate le più note e largamente diffuse sono:

- ✓ UNI EN ISO 3744 (2010): "Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora - Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente"
- ✓ UNI EN ISO 3382-2, Novembre 2008: "Misurazione dei parametri acustici degli ambienti – Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari"
- ✓ ISO 226/2003, Normal equal-loudness-level contours

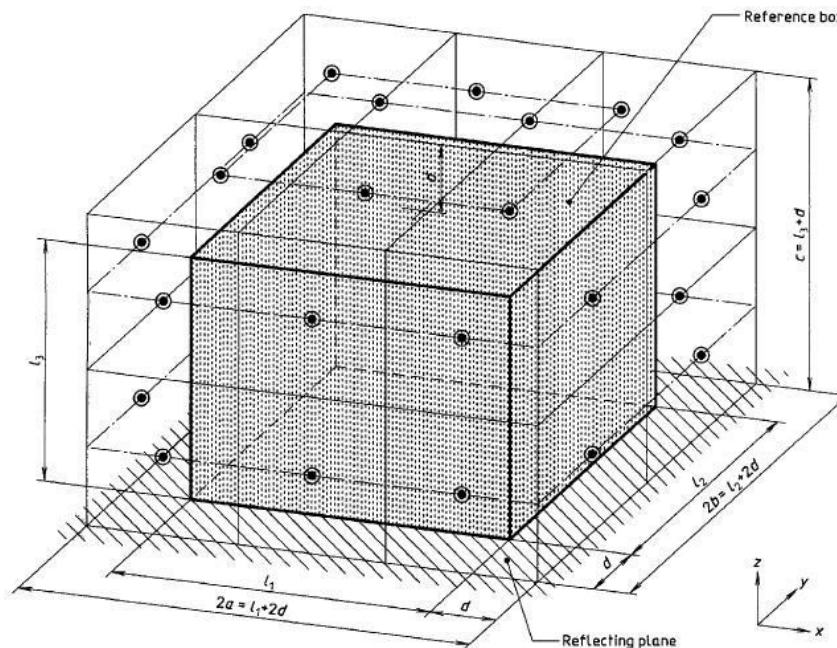
In sintesi, queste normative prevedono la misura della potenza sonora di una generica sorgente mediante il rilievo dei livelli di pressioni sonora su superfici che involuppano la sorgente in esame. Le superfici di involuppo possono essere superfici emisferiche, ovvero dei parallelepipedi che racchiudono ad una adeguata distanza la superficie esterna "di riferimento" della sorgente. Nel caso di misure di potenza superficiale le superfici sono piane.

La distanza a cui si prendono le misure è un elemento importante ai fini della accuratezza e della effettiva possibilità di condurre le misure.

La superficie di misura del tipo a "parallelepipedo" di involuppo può essere invece maggiormente praticabile. Diventa importante definire la distanza dalla superficie di riferimento cui effettuare le misure: la norma ISO 3744 prevede la possibilità della sequenza di valori 0.25, 0.5, 1, 2, 4 ed 8 m. La distanza di 1 m è preferita, ma distanze superiori si applicano a sorgenti di grosse dimensioni.

Il rispetto delle prescrizioni di misura previsti dalle due norme esaminate permette di dichiarare un definito grado di accuratezza delle misure.

L'approccio dettato dalla norma ISO 3744 è classificato come "Engineering Method" con grado di accuratezza 2.



Example of a measurement surface and microphone positions for a large machine
 ($4d < l_1 \leq 7d$, $d < l_2 \leq 4d$, $2d < l_3 \leq 5d$)

Fig. 5.1 - Esempio di misura di pressione sonora e posizione del microfono

Come è noto la potenza sonora di una sorgente (energia emessa per unità di tempo) è una grandezza caratteristica della sorgente stessa ed è indipendente dall'ambiente in cui il rumore viene

irradiato: mediante tale grandezza è possibile quindi confrontare la rumorosità di macchine diverse tra loro.

Il calcolo del livello di potenza sonora viene effettuato a partire dal livello medio di pressione sonora rilevato su una opportuna superficie di misura S . Quest'ultima va costruita ad una distanza d dalla superficie del più piccolo parallelepipedo o opportuna figura geometrica che racchiude integralmente la macchina (superficie di involuppo), o superficie piana sulla quale viene calcolata la potenza superficiale emessa.

A seconda delle dimensioni della macchina è possibile scegliere la distanza d (se possibile d va scelto pari a 1 m), il numero dei punti di misura e la loro posizione sulla superficie di misura.

Nel caso specifico sono state eseguite misure di caratterizzazione acustica delle sorgenti presenti seguendo la norma ISO 3744.

Le sorgenti "di futura installazione" presenti all'interno dell'impianto sono state caratterizzate secondo valori di potenze acustiche di macchina di progetto. I valori per banda di terzi d'ottava sono stati forniti dal Committente sulla base di valori derivanti da applicazioni simili.

Il clima acustico relativo alla situazione "ante operam" è stato effettuato utilizzando misure spaziali, eseguite durante spegnimenti di breve durata della centrale, al fine di non compromettere la fornitura di calore e acqua calda sanitaria e non incorrere pertanto nell'interruzione del servizio di pubblica necessità (ai sensi dell'art. 112, c.1, D.lgs. n. 267/2000, così come risulta dalle informazioni fornite dal Committente).

Sono state effettuate sia la valutazione previsionale d'impatto acustico, eseguita prima dell'installazione delle nuove macchine di revamping, che la valutazione d'impatto acustico successiva all'installazione delle macchine.

La valutazione previsionale d'impatto acustico, basata sui dati di potenza acustica caratteristici dei principali macchinari della centrale e sui dati di clima acustico è stata effettuata utilizzando un modello commerciale certificato (Predictor della Bruel Kjaer), basato sull'utilizzo di algoritmi che consentono di effettuare il calcolo dei livelli di rumore nell'ambiente circostante, considerando le caratteristiche emmissive delle sorgenti e le attenuazioni prodotte dall'ambiente stesso per mezzo dell'orografia, delle qualità acustiche del terreno, della presenza di ostacoli e/o barriere schermanti, nonché della meteorologia locale.

Le singole "macchine" o gruppi di sorgenti acustiche, selezionati, sono stati caratterizzati mediante una serie di rilievi di breve durata, trattandosi di sorgenti ad emissione tipicamente stazionaria nel tempo; i rilievi sono effettuati a distanza ridotta dai macchinari al fine di "selezionare" essenzialmente le sole emissioni di questi ultimi ed escludere invece le sorgenti estranee ad essi.

Sulla base dei rilievi in prossimità dei macchinari sono state effettuate le calibrazioni degli input al modello matematico, ovvero delle sorgenti di rumore. Per "calibrazione" di un modello matematico di propagazione del rumore si intende la determinazione degli spettri di potenza acustica da associare alle varie sorgenti considerate, a partire dai dati rilevati sperimentalmente. Come previsto dalla metodologia l'intera modellazione viene effettuata, per bande di terzi di ottava, tipicamente nel campo di frequenze da $63 \div 8.000$ Hz (trasformate in bande d'ottave al fine di poter essere utilizzate quali dati di input di "Predictor").

5.6 IMPATTO E CLIMA ACUSTICO INERENTE LA VECCHIA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI (ANTE REVAMPING) E CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELLE SORGENTI EMISSIVE DENOMINATE GRIGLIE (CARICO RIDOTTO E SOLO CALDAIE ACCESE)

Durante questa prima fase sono state effettuate misure di livelli di pressione sonora in ambiente esterno (rumore residuo LR e rumore ambientale LA) sui confini di proprietà e nei pressi di tre ricettori sensibili. Le misure eseguite sono finalizzate alla verifica del rispetto dei limiti della Legge Quadro n°447/95 e successivi Decreti Attuativi tenendo conto delle modalità di funzionamento dell'impianto.

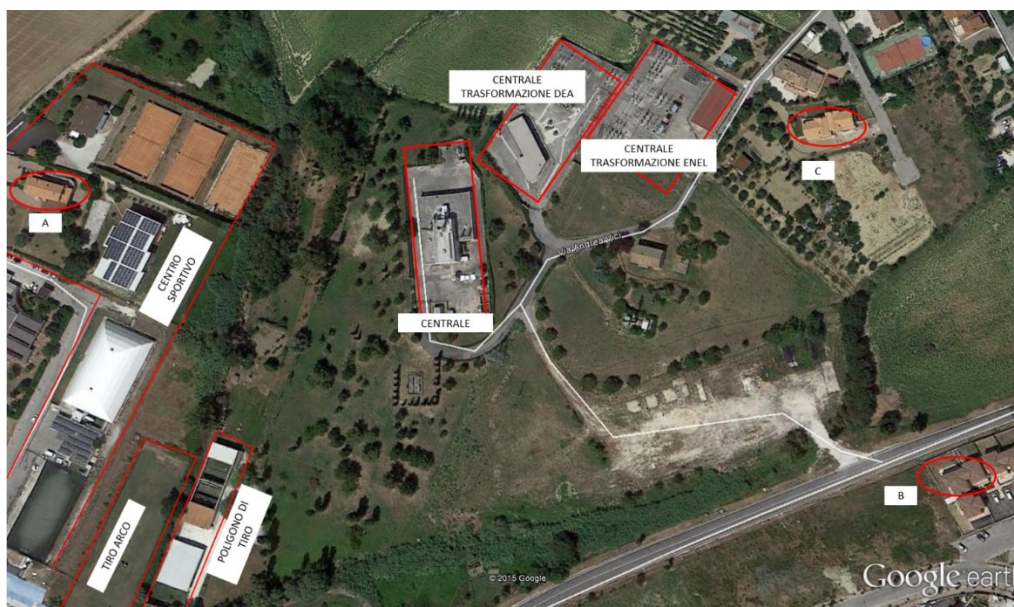


Fig.5.2 - Inquadramento della zona (al centro dell'immagine in rosso è evidenziata la zona dove si trova la centrale di cogenerazione di ASTEA SPA)

L'area della centrale si colloca in classe IV, il ricettore sensibile A si colloca in classe III ed i ricettori B e C in classe IV come da piano di zonizzazione acustica del Comune di Osimo. Sono stati inoltre campionati i livelli di pressione sonora sui confini di proprietà ASTEA SPA (punti da 1 a 4 di fig. 5.6). Il punto 1 si trova in classe III mentre i rimanenti in classe IV.

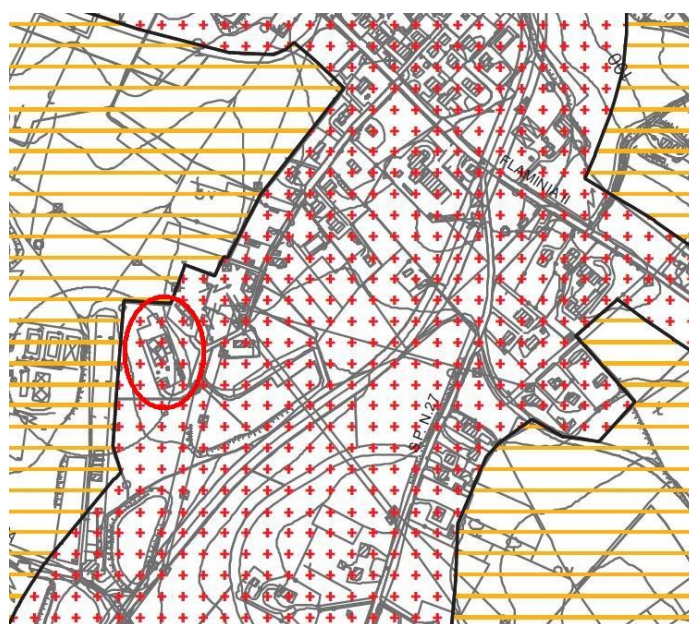


Fig.5.3 - Indicazione della classificazione acustica della zona

Nella zona della centrale sono presenti le sorgenti sotto indicate:



Fig.5.4 - Descrizione dell'area della centrale

Oltre a punti di emissione esterni indicati nella fig. 5.6, esistono ulteriori punti di emissione, vie di fuga del rumore, che sono costituite dalle bocche di lupo che circondano il capannone contenente le macchine della centrale di cogenerazione, che vengono utilizzate per favorire i ricambi d'aria dell'ambiente interno. Attraverso tali griglie di areazione, in numero di nove, si propaga il rumore aereo dovuto sia al flusso di aria che le attraversa, sia alle macchine presenti all'interno del capannone: turbogas, caldaie di integrazione e soccorso, pompe di trasferimento dell'energia all'impianto di teleriscaldamento, trasformatori, centrale operativa, tubazioni di trasporto del vapore al corpo cilindrico e al condensatore, ecc.

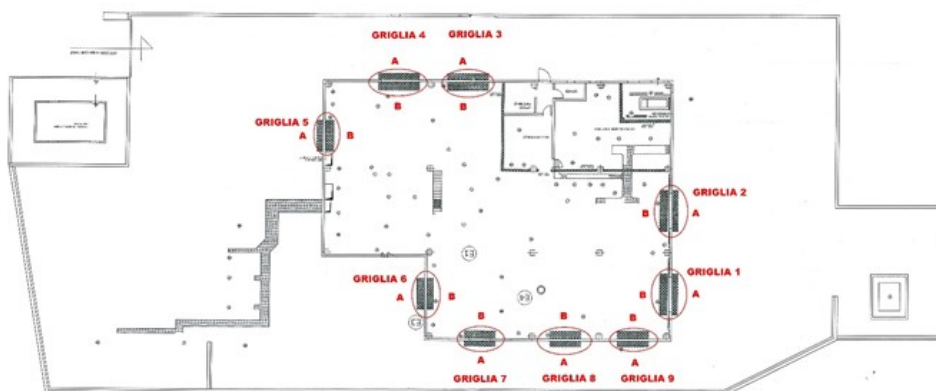


Fig. 5.5 - Griglie di areazione interne ed esterne al capannone contenente le macchine dell'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento

L'area oggetto di studio come evidenzia l'analisi della zona e le sorgenti in essa presenti, in particolare quelle non interrompibili (centrale di Cogenerazione e teleriscaldamento – nel caso specifico il carico energetico era ridotto e solamente una caldaia risultava accesa), centrale di trasformazione Enel, Centrale di Trasformazione Dea) e l'intensità delle stesse, avrebbe dovuto essere classificata in classe V, mentre in realtà è classificata in classe IV (vedasi fig. 5.3). Inoltre in adiacenza alla proprietà della centrale di cogenerazione e teleriscaldamento (a distanza di circa 65 m), in adiacenza alla proprietà della centrale di trasformazione DEA (a distanza di circa 25 m dai Trafo), in prossimità della proprietà della centrale di trasformazione Enel (ad una distanza di circa 65 m) è stata posta una classe III, mentre sarebbe stato più opportuno, dal punto di vista della zonizzazione acustica, porre l'area in classe IV, quale fascia cuscinetto (50-70m) dell'area sopraccitata (ipoteticamente, come evidenziato di classe V).

Le sorgenti di rumore esterne all'impianto sono:

- Centrale di trasformazione Enel (che esercisce in condizioni di carico elevatissimo, considerate le utenze ad essa connessa) costituita da due trasformatori (in olio) di potenza complessiva di 50 MVA entrata in funzione nel 1964. La centrale di trasformazione svolge servizio di pubblica utilità, ed è una sorgente non interrompibile e funzionante h 24/24.
- Centrale di trasformazione del distributore locale DEA SPA costituita da due trasformatori (in olio) di potenza complessiva di 50 MVA entrata in funzione nel 1995 (prossima alla sostituzione) costruita secondo specifiche e norme tecniche che indicavano, per ciascun trasformatore, che stabiliscono valori teorici di potenza sonora a vuoto di 67 dBA. La centrale di trasformazione svolge servizio di pubblica utilità, ed è una sorgente non interrompibile e funzionante h 24/24.
- Centro polisportivo con la presenza di campi da tennis, piscina e campi di calcetto e di un ristorante.
- Centro di raccolta che attualmente sembra non più attivo, ma che viene utilizzato in occasione di spettacoli, manifestazioni temporanee, manifestazioni circensi, ecc.
- Poligono di tiro con armi da fuoco utilizzato da privati e dalle forze dell'ordine (Carabinieri, Polizia, Guardia di Finanza)
- Centro di tiro con l'arco
- Rumore antropico della zona dovuto alla presenza dell'area sportiva ricreativa e alle lavorazioni estive diurne su terreni agricoli destinati a colture estensive (circa dieci giorni lavorativi annui)

I ricettori sensibili più vicini all'impianto sono posizionati alle seguenti distanze dalla centrale:

Il ricettore sensibile A risente in maniera molto sensibile dei suoi avventori, della presenza del centro sportivo e delle attività che contemporaneamente e in esso si svolgono;

Il ricettore sensibile C è a distanza di circa 60 m dai Trafo Enel e a circa 110 m dai Trafo Dea SPA e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze);

Il ricettore sensibile B è a distanza di circa 200 m dai Trafo Enel e a circa 250 m dai Trafo Dea SPA e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze).

Sono stati effettuati sopralluoghi in campo ed interviste con gli operatori di centrale per caratterizzare gli orari di funzionamento degli impianti principali e degli ausiliari. Nelle tabelle vengono indicati gli orari di funzionamento nelle condizioni di potenza termica massima nel periodo diurno e nel periodo notturno.

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA DAY		
	Elementi	Ore
	n.	h
Valore aggiuntivo su bocche laterali (griglie)	5	16
Griglie	9	16
Estrattori	3	12
caldaia B	1	2
Turbina	1	16

Tab.5.2 - Orari di funzionamento delle sorgenti sonore nel periodo DAY

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA NIGHT	Elementi	Ore
	n.	h
Valore aggiuntivo su bocche laterali (griglie)	3	8
Griglie	9	8
Estrattori	1	8
Caldaia A	1	6
Caldaia B	1	2

Tab. 5.3 - Orari di funzionamento delle sorgenti sonore nel periodo NIGHT

E' stata effettuata l'analisi delle sorgenti rumorose connesse all'opera o attività e loro ubicazione, nonché l'indicazione dei loro dati di targa acustici. Questi ultimi sono relativi alla potenza acustica (almeno per banda di ottava) delle differenti sorgenti sonore.

	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno
	Griglia 1	Griglia 2	Griglia 3	Griglia 4	Griglia 5	Griglia 6
Hz	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)
63	59,1	60,0	61,7	63,7	58,9	59,8
125	68,8	70,3	66,7	69,9	65,6	65,4
250	70,5	73,9	65,5	74,4	63,6	65,3
500	70,8	72,6	68,1	70,5	66,2	69,2
1000	71,0	75,8	70,0	71,0	67,5	72,7
2000	68,3	74,0	72,1	71,0	68,8	73,7
4000	64,8	71,9	74,6	70,9	69,9	74,7
8000	54,9	61,1	67,4	59,6	59,6	65,3
16000						
TOT.	77,3	81,3	78,8	79,5	75,4	79,6

Tab.5.4 - Dati acustici sorgenti sonore DAY (griglie da 1 a 6)

	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno
	Griglia 7	Griglia 8	Griglia 9	CAMINO CALDAIA TIPO A) O B)	Estrattore	Camino turbogas	Valore aggiuntivo alle prime 5 griglie
Hz	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LW (dBA)	LW (dBA)	LW (dBA)	LW (dBA)
63	60,9	56,1	58,0	81,1	59,2	87,7	29,2
125	65,6	64,5	62,3	89,6	68,3	86,7	56,9
250	63,9	69,3	61,2	83,5	70,4	90,8	54,2
500	69,0	69,6	64,4	66,6	81,2	91,2	45,2
1000	70,3	74,8	65,6	68,0	82,4	80,3	50,4
2000	72,4	74,0	66,7	72,8	82,2	89,5	47,5
4000	74,4	76,0	68,6	69,2	79,8	76,4	55,8
8000	63,2	64,7	55,8	62,0	71,9	65,1	65,5
16000							
TOT.	78,6	80,8	73,5	91,2	87,8	96,6	66,9

Tab.5.5 - Dati acustici sorgenti sonore DAY (griglie da 7 a 9 e altre sorgenti)

	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno
	Griglia 1	Griglia 2	Griglia 3	Griglia 4	Griglia 5	Griglia 6
Hz	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)
63	53,1	54,0	55,7	57,7	52,9	53,8
125	62,8	64,3	60,7	63,9	59,6	59,4
250	64,5	67,9	59,5	68,4	57,6	59,3
500	64,8	66,6	62,1	64,5	60,2	63,2
1000	65,0	69,8	64,0	65,0	61,5	66,7
2000	62,3	68,0	66,1	65,0	62,8	67,7
4000	58,8	65,9	68,6	64,9	63,9	68,7
8000	48,9	55,1	61,4	53,6	53,6	59,3
16000						
TOT.	71,3	75,3	72,8	73,5	69,4	73,6

Tab.5.6 - Dati acustici sorgenti sonore NIGHT (griglie da 1 a 6)

	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno	Esterno
	Griglia 7	Griglia 8	Griglia 9	CAMINO CALDAIA TIPO A) O B)	Estrattore	Valore aggiuntivo alle prime 3 griglie
Hz	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LWA (dBA)	LW (dBA)	LW (dBA)	LW (dBA)
63	54,9	50,1	52,0	81,1	59,2	29,2
125	59,6	58,5	56,3	89,6	68,3	56,9
250	57,9	63,3	55,2	83,5	70,4	54,2
500	63,0	63,6	58,4	66,6	81,2	45,2
1000	64,3	68,8	59,6	68,0	82,4	50,4
2000	66,4	68,0	60,7	72,8	82,2	47,5
4000	68,4	70,0	62,6	69,2	79,8	55,8
8000	57,2	58,7	49,8	62,0	71,9	65,5
16000						
TOT.	72,6	74,8	67,5	91,2	87,8	66,9

Tab.5.7 - Dati acustici sorgenti sonore NIGHT (griglie da 7 a 9 e altre sorgenti)

Sono state effettuate misure dei livelli di pressione sonora in prossimità dell'opera, dei ricettori sensibili, e dell'ambiente esterno circostante (confini di proprietà), ponendo particolare attenzione alla valutazione dei livelli sonori di immissione assoluti in facciata dei ricettori individuati.

La caratterizzazione del territorio è stata eseguita sia dal punto di vista topografico e morfologico, per avere conoscenza di tutti gli elementi naturali e artificiali presenti in sito, sia dal punto di vista acustico e per avere conoscenza della rumorosità esistente in sito.

La misurazione del livello di pressione sonora continuo equivalente ponderata A è stata eseguita in posizioni di misura significative per la caratterizzazione acustica del territorio.

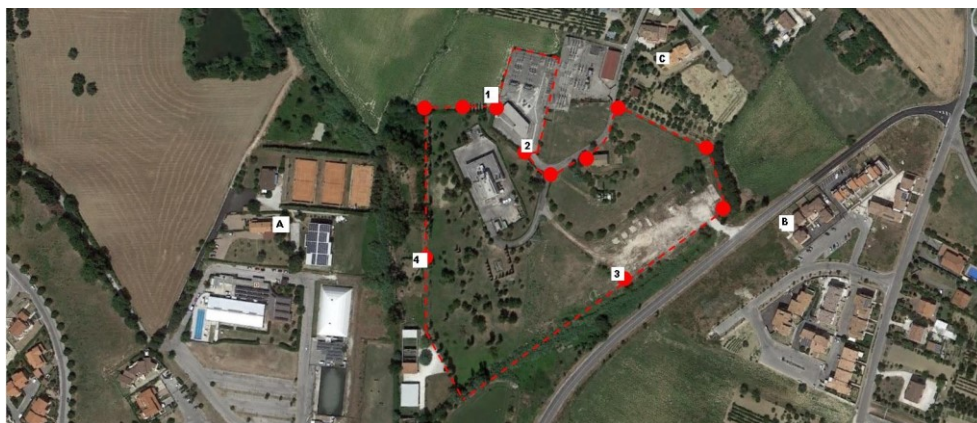


Fig. 5.6 - Indicazione dei punti di misura:1-2-3-4-A-B-C)

Ai sensi dell'art.3, comma 1 del DM 11/12/96 poiché l'impianto è un impianto a ciclo produttivo esistente prima dell'emanazione del DPCM 01/03/91 non si applica il criterio differenziale qualora siano rispettati i limiti di zona in termini di emissioni ed immissioni assolute. Nel proseguo della trattazione viene comunque data evidenza del rispetto del criterio differenziale anche se non applicabile al caso specifico.

I risultati della valutazione di impatto acustico eseguita è riportata nelle tabelle successive:

P.to	Classe	A= LAeq Ambientale [dB]	B= LAeq residuo [dB]	A-B= Emissioni in TM [dB]	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	Emissioni in TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
1	III	53,9	49,9	51,7	16	16	51,5	55	SI
2	IV	55,6	49	54,5	16	16	54,5	60	SI
3	IV	52,4	49,1	49,7	16	16	49,5	60	SI
4	IV	51,4	49,9	46,1	16	16	46	60	SI
A	III	55,4	54	49,8	16	16	50	55	SI
B	IV	55,6	50,8	53,9	16	16	54	60	SI
C	IV	53,7	53,3	43,1	16	16	43	60	SI

Tab. 5.8 - LIVELLI DI EMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

P.to	Classe	A= LAeq Ambientale [dB]	B= LAeq residuo [dB]	A-B= Emissioni in TM [dB]	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	Emissioni in TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
1	III	42,7	39,4	40	8	8	40	45	SI
2	IV	45,8	39,4	44,7	8	8	44,5	50	SI
4	IV	37,2	35,2	32,9	8	8	33	50	SI
A	III	47,6	45,7	43,1	8	8	43	45	SI
B	IV	45,7	43,4	41,8	8	8	42	50	SI
C	IV	40,2	39,9	28,4	8	8	28,5	50	SI

TAB. 5.9 - LIVELLI DI EMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

P.to	Cl.	LAeq [dB] emissioni in TR non arrotondate	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	LAeq Ambientale [dB] in TR	LAeq Residuo supposto costante per il rimanente intervallo Day [dB]	LAeq IMMISSIONI SONORE IN TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
A	III	49,8	16	16	49,8	54	55,5	60	SI
B	IV	53,9	16	16	53,9	50,8	55,5	65	SI
C	IV	43,1	16	16	43,1	53,3	53,5	65	SI

Tab. 5.10 - LIVELLI DI IMMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

P.to	Cl.	LAeq [dB] emissioni in TR non arrotondate	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	LAeq Ambientale [dB] in TR	LAeq Residuo supposto costante per il rimanente intervallo Day [dB]	LAeq IMMISSIONI SONORE IN TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
A	III	43,1	8	8	43,1	45,7	47,5	50	SI
B	IV	41,8	8	8	41,8	43,4	45,5	55	SI
C	IV	28,4	8	8	28,4	39,9	40	55	SI

Tab. 5.11 - LIVELLI DI IMMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Relativamente alle emissioni ed immissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia che l'attività dell'impianto, nelle condizioni analizzate, antecedenti al revamping, risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV).

5.7 ULTERIORE INDAGINE ACUSTICA DELLA ZONA IN CONDIZIONI DI MASSIMA POTENZA: VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO NOTTURNO DELLA TURBINA A GAS, DELLA CENTRALE DI TRASFORMAZIONE ENEL E IMPATTO SUI LIMITI DI ZONA DELLA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA

L'ulteriore indagine acustica è stata effettuata durante il periodo notturno ante revamping, forzando il massimo carico termico e quindi accendendo contemporaneamente la turbogas e caldaia d'integrazione (macchine più impattanti dal punto di vista acustico), per un periodo di tempo compatibile con l'inerzia termica delle tubazioni di teleriscaldamento, contenenti circa 400 m³ di acqua calda. Nel caso specifico sono state accese la turbogas che ha esercito in condizioni di minimo carico termico e la caldaia in condizioni di parzializzazione del carico termico (circa 85% della potenza termica nominale).

Sono state effettuate misure notturne di livelli di pressione sonora (dovuti al funzionamento contemporaneo di turbogas e caldaia) in ambiente esterno (rumore residuo LR e rumore ambientale LA) su due punti dei confini di proprietà ASTEA SPA e su un punto del confine di proprietà Enel della centrale di trasformazione. Tali misurazioni sono volte ad analizzare l'impatto acustico prodotto dalla turbina a gas, caldaia, dalla centrale di trasformazione Enel e da quella di Dea Elettrica SPA sui limiti di zona in base alla classificazione acustica vigente.

La misurazione del livello di pressione sonora continuo equivalente ponderata A è stata eseguita pertanto in due posizioni di misura significative sui confini di proprietà ASTEA (punto 1 e 2 sui confini di proprietà) ed in prossimità della cabina ENEL (punto 3 sui confini di proprietà) – (vedasi la figura 5.7). Per quanto riguarda il punto 3 in prossimità dei confini di proprietà ENEL non è stato possibile misurare il rumore residuo in quanto la sorgente non poteva essere esclusa. Per tale motivo si riporta esclusivamente il valore di rumore ambientale nel tempo di misura, supposto costante ed esteso per tutto il periodo di riferimento notturno di 8 ore. Inoltre per la determinazione delle immissioni sonore il funzionamento della turbogas è stato considerato in maniera molto cautelativa pari ad 8 ore.

Le sorgenti rumorose connesse all'opera o attività e loro ubicazione sono le medesime già precedentemente caratterizzate, di cui sono già stati indicati i dati di potenza acustica per banda d'ottava.

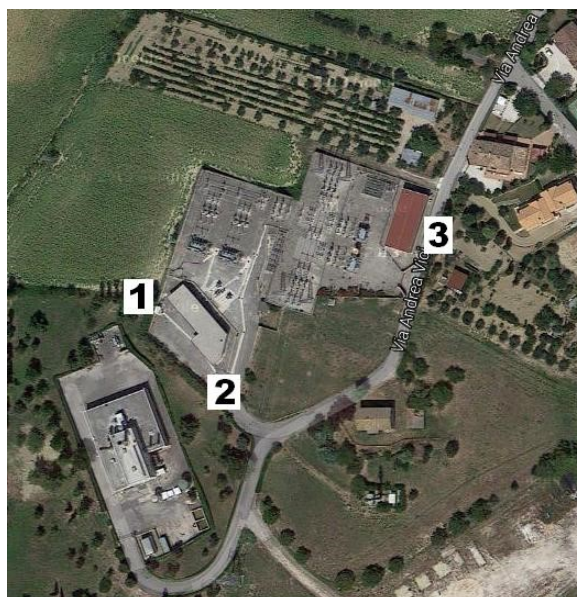


Fig.5.7 - Indicazione dei punti di misura

I risultati della valutazione di impatto acustico eseguita è riportata nelle tabelle successive:

P.to	Cl.	A= LAeq Ambientale [dB]	B= LAeq residuo [dB]	A-B= Emissioni in TM [dB]	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	Emissioni in TR [dB]	Limite di legge NIGHT [dBA]	Verifica
1	III	48,7	39,4	48,2	8	8	48	45	NO
2	IV	52,6	39,4	52,4	8	8	52,5	50	NO

Tab. 5.12 - LIVELLI DI EMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Relativamente alle emissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia che l'attività notturna della turbogas, della caldaia unitamente alle altre sorgenti esercenti nello stesso periodo di riferimento non risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV). Per renderla compatibile è necessario esercire con le sole caldaie – turbina spenta)

P.to	Classe	LAeq [dB] emissioni in TR non arrotondate	LAeq Ambientale [dB] in TR	LAeq Residuo supposto costante nell' intervallo Night [dB]	LAeq IMMISSIONI SONORE IN TR [dB]	Limite di legge NIGHT [dBA]	Verifica
1	III	48,2		39,4	48,5	50	SI
2	IV	52,4		39,4	52,5	55	SI
3	IV		53		53	55	SI

Tab. 5.13 - LIVELLI DI IMMISSIONE ASSOLUTI (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Relativamente alle immissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia che l'attività notturna della turbogas, della caldaia unitamente alle altre sorgenti esercenti nello stesso periodo di riferimento risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV).

Ai sensi dell'art.3, comma 1 del DM 11/12/96 poiché l'impianto è un impianto a ciclo produttivo esistente prima dell'emanazione del DPCM 01/03/91 non si applica il criterio differenziale qualora siano rispettati i limiti di zona in termini di emissioni ed immissioni assolute. Nel caso specifico i limiti di emissione assolute non sono rispettati.

E' comunque possibile gestire la centrale in maniera differente provvedendo all'accensione della seconda caldaia in alternativa alla turbogas per il tempo necessario affinché si abbia la riduzione di 3 dB necessaria al rispetto dei limiti di legge.

L'analisi effettuata ha evidenziato un contributo acustico importante della centrale di trasformazione Enel ed ha permesso di valutare le modalità di funzionamento dell'impianto compatibili con i limiti di emissione sonora notturni. La compatibilità acustica dell'impianto di cogenerazione con i limiti di zona è ottenuta attraverso un'ideale e opportuna gestione dell'accensione delle macchine che devono comunque garantire la produzione di energia termica per teleriscaldamento (servizio di pubblica utilità). Non è compatibile con i limiti della Legge Quadro n°447/95 e successivi Decreti Attuativi il funzionamento contemporaneo per otto ore notturne di turbogas e caldaia. Una corretta rotazione temporale delle macchine di centrale consente il rispetto dei limiti di cui alla Legge Quadro n°447/95 e successivi Decreti Attuativi. Sarebbe comunque opportuno rivedere il piano di zonizzazione acustica e renderlo più adeguato all'effettivo utilizzo dell'area oggetto di analisi, in quanto in corrispondenza di questa zona sono presenti sorgenti sonore importanti: centrale di cogenerazione, centrale di trasformazione Enel, centrale di trasformazione Dea Elettrica, centro sportivo polifunzionale, poligono di tiro, ex centro ambiente ove vengono effettuate manifestazioni temporanee importanti.

5.8 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE IL RINNOVO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI CONSISTENTE NELLA SOSTITUZIONE DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE CALDAIE ATTUALMENTE ESISTENTI

Secondo una logica di rinnovo dell'impianto di cogenerazione di via Vici 18 (ormai obsolescente) e che svolge il servizio di teleriscaldamento, servizio pubblico ai sensi dell'art. 112, c.1, D.lgs. n. 267/2000, e pertanto non interrompibile, ASTEA ha presentato richiesta di autorizzazione alla modifica non sostanziale alle emissioni in atmosfera (artt. 269 e 281 Decreto Legislativo n. 152/2006), ottenendo la relativa autorizzazione.

Scopo dell'intervento di rinnovo della centrale di cogenerazione e teleriscaldamento è quello di migliorare e ottimizzare le prestazioni dell'impianto riducendo:

- a) da una parte i consumi di energia primaria e i costi di esercizio/manutenzione;
- b) dall'altra, le emissioni/immissioni in ambiente, mantenendo ovviamente invariate le fasi del ciclo di processo (alimentazione degli impianti, produzione di energia termica ed elettrica).



Fig. 5.8 - Attuale configurazione d'impianto e modalità d'esercizio

Ai fini di una migliore comprensione della ulteriore modifica impiantistica nella modalità di conduzione della centrale di cogenerazione nelle condizioni di post-intervento, viene riportato per semplicità lo schema di fig. 5.8 che sintetizza la configurazione di esercizio attuale dell'impianto nella fase di produzione di energia termica ed elettrica.

La centrale di cogenerazione esercisce producendo energia ad inseguimento del carico termico d'utenza, secondo una logica consolidata di interventi progressivi di accensione delle macchine. Il nuovo motore cogenerativo in sostituzione della turbogas, mentre la nuova caldaia in sostituzione delle due caldaie attualmente esistenti, che assumeranno la funzione di ridondanza (soccorso) e di integrazione nelle giornate invernali di massimo carico. L'inserimento del cogeneratore e della caldaia ausiliaria comporta una riduzione delle emissioni ed immissioni acustiche rispetto alla situazione attualmente esistente.

Le condizioni di massima emissione acustica, sia day che night, si verificano (sulla base di dati che si riferiscono a un periodo sufficientemente significativo) nei mesi di dicembre, gennaio o febbraio.

Per valutare il comportamento acustico dovuto all'impianto di nuova generazione è stata presa in considerazione la giornata più fredda degli ultimi tre anni e di conseguenza sono state introdotte, ora per ora, gli automatismi inerenti le modalità di accensione e spegnimento delle macchine, scegliendo per la simulazione la situazione più critica dal punto di vista acustico. Nelle figure che seguono vengono riportate le informazioni relative.

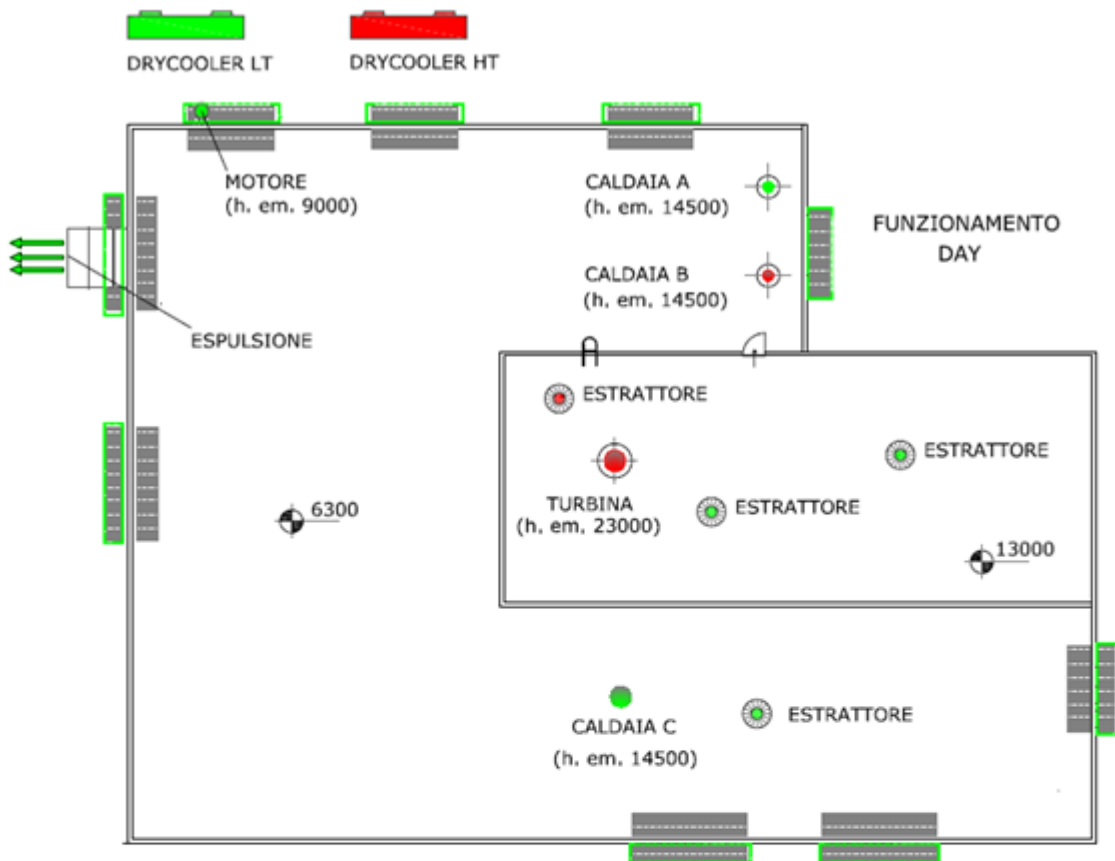


TABELLA FUNZIONAMENTO IMPIANTO DAY	ELEMENTI	ORE	POTENZA ACUSTICA	STATO	NOTE
DESCRIZIONE	n.	h	LWA		
CAMINO MOTORE	1	16	84,0	ACCESO	
ESPULSIONE	1	16	79,9	ACCESO	VERSANTE NORD
ASPIRAZIONE DA GRIGLIE	3	16	66,9	ACCESO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGLIE A EST
GRIGLIE	9	16		ACCESO	
DRYCOOLER LT	1	16	68,2	ACCESO	VERSANTE EST
DRYCOOLER HT	1	0	75,4	SPENTO	VERSANTE EST
ESTRATTORI	3	12		ACCESO	VEDASI FIGURA
CALDAIA C	1	16	75,2	ACCESO	
CALDAIA A	1	11	91,2	ACCESO	
CALDAIA B	1	0	91,2	SPENTO	
TURBINA	1	0		SPENTO	

Fig. 5.9 - Orari di funzionamento dell'impianto nelle condizioni post revamping (day)

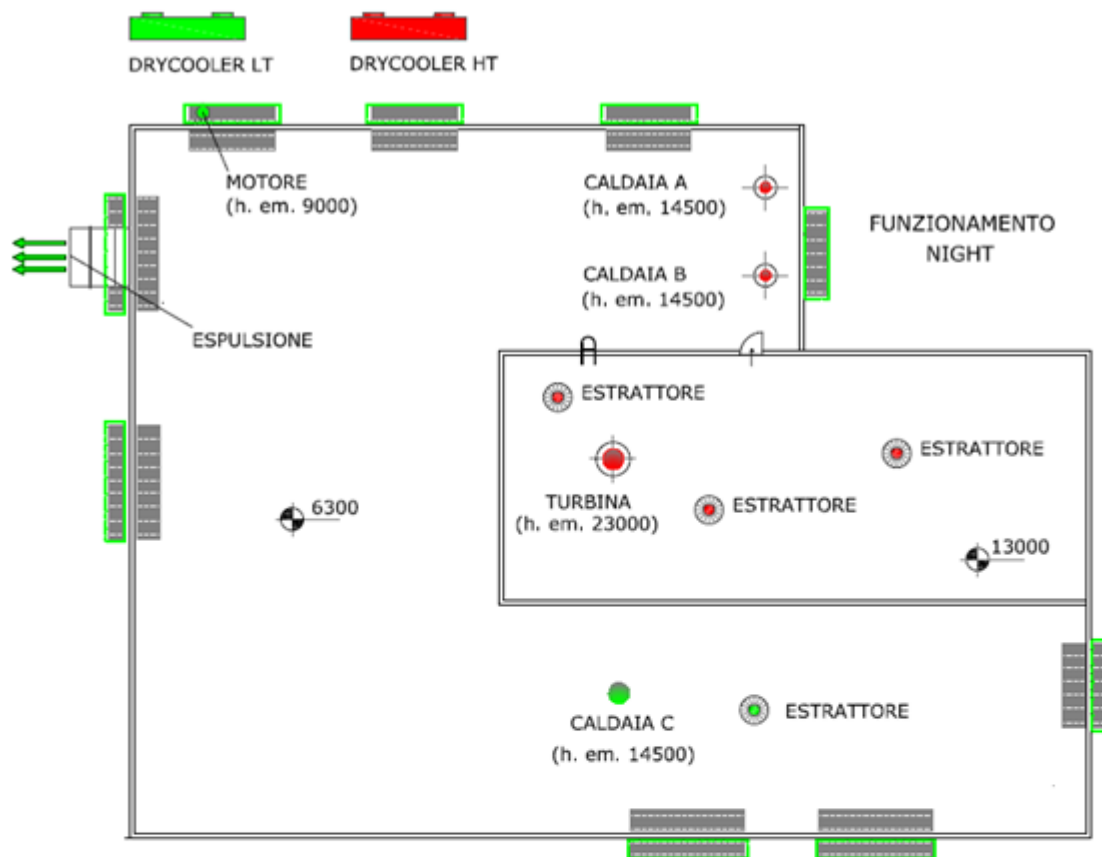


TABELLA FUNZIONAMENTO IMPIANTO NIGHT	ELEMENTI	ORE	POTENZA ACUSTICA	STATO	NOTE
DESCRIZIONE	n.	h	LWA		
CAMINO MOTORE	1	8	84,0	ACCESO	
ESPULSIONE	1	8	79,9	ACCESO	VERSANTE NORD
ASPIRAZIONE DA GRIGLIE	3	8	66,9	ACCESO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGLIE A EST
GRIGLIE	9	8		ACCESO	POTENZA AL 25% RISPETTO AL DAY
DRYCOOLER LT	1	8	68,2	ACCESO	VERSANTE EST
DRYCOOLER HT	1	0	75,4	SPENTO	VERSANTE EST
ESTRATTORI	1	8		ACCESO	VEDASI FIGURA
CALDAIA C	1	6	75,2	ACCESO	
CALDAIA A	1	0	91,2	SPENTO	
CALDAIA B	1	0	91,2	SPENTO	
TURBINA	1	0		SPENTO	

Fig. 5.10 - Orari di funzionamento dell'impianto nelle condizioni post revamping (night)

5.8.1 LE SORGENTI DI RUMORE ATTUALMENTE PRESENTI:

Le sorgenti di rumore attualmente presenti si distinguono in:

- sorgenti di rumore che verranno a breve dismesse;
- sorgenti di rumore che non saranno dismesse.

La sorgente di rumore che verrà dismessa, non appena il nuovo cogeneratore sarà a regime, è costituita dal gruppo turbogas e dalle sorgenti ausiliarie (sistemi di alimentazione aria, scarico fumi, scarico vapore, estrattori, ecc., porzione dell'aspirazione dell'aria di raffreddamento attraverso le griglie delle bocche).

Le due attuali caldaie a gas costituiscono le sorgenti di rumore che non verranno dismesse.

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA DAY	Elementi	Ore	Potenza acustica	Stato	NUOVO FUNZIONAMENTO
	n.	h	LWA		
Camino motore	1	16	84,0	ACCE SO	
Espulsione aria cabinato	1	16	79,9	ACCE SO	VERSANTE NORD
Aspirazione aria attraverso tre bocche laterali	3	16	66,9	ACCE SO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGIE A EST
Griglie	9	16		ACCE SO	
Drycooler LT	1	16	68,2	ACCE SO	VERSANTE EST
Drycooler HI	0	0	75,4	SPEN TO	VERSANTE EST
Estrattori	3	12		ACCE SO	VEDASI FIGURA
Caldaia C	1	16	75,2	ACCE SO	
Caldaia A	1	11	91,2	ACCE SO	
caldaia B	0	0	91,2	SPEN TO	
Turbina	0	0	98,0	SPEN TO	

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA NIGHT	Elementi	Ore	Potenza acustica	Stato	NUOVO FUNZIONAMENTO
	n.	h	LWA		
Camino motore	1	8	84,0	ACCE SO	
Espulsione aria cabinato	1	8	79,9	ACCE SO	VERSANTE NORD
Aspirazione aria attraverso tre bocche laterali	3	8	66,9	ACCE SO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGIE A EST
Griglie	9	8		ACCE SO	POTENZA AL 25% RISPETTO AL DAY
Drycooler LT	1	8	68,2	ACCE SO	VERSANTE EST
Drycooler HI	0	0	75,4	SPEN TO	VERSANTE EST
Estrattori	1	8		ACCE SO	VEDASI FIGURA
Caldaia C	1	6	75,2	ACCE SO	
Caldaia A	0	0	91,2	SPEN TO	
caldaia B	0	0	91,2	SPEN TO	
Turbina	0	0	98,0	SPEN TO	

Tab. 5.14 - Orari di funzionamento dell'impianto nelle condizioni post revamping (day/night)

Le sorgenti di rumore future si distinguono in:

- sorgenti di rumore che eserciranno in condizione di soccorso ed eventualmente di riserva;
- nuove sorgenti di rumore;
- altre sorgenti di rumore

Le due attuali caldaie a gas costituiscono sorgenti di rumore che, quando verrà installata la nuova caldaia, eserciranno, una in stand by all'altra, in condizioni di soccorso od eventualmente, in condizioni di riserva.

La nuova caldaia è denominata Caldaia C. Le altre due vecchie caldaie sono denominate Caldaia A e Caldaia B.

Tra le nuove sorgenti di rumore, oltre alla nuova caldaia a gas (Caldaia C), è presente la nuova unità di cogenerazione.

Tra le altre sorgenti di rumore si elencano le seguenti sorgenti (collegabili a cogeneratore e caldaia C):

Per la nuova unità di cogenerazione:

- Sistema di espulsione dell'aria di raffreddamento del cabinato del motore;
- Sistema di aspirazione dell'aria di raffreddamento del cabinato del motore e complesso silenziato del cabinato, che hanno impatto esterno attraverso alcune bocche di lupo presenti nel capannone (n. 3 lato est);
- Sistema delle griglie presenti sulle bocche di lupo (attraverso il quale è convogliato all'esterno il rumore delle sorgenti interne alla centrale);
- Sistema di ventilazione del trasformatore installato all'interno del capannone;
- Sistema di ventilazione intercooler Low Temperature installato sull'esterno;

- Sistema di ventilazione intercooler High Temperature installato sull'esterno (mai funzionante in relazione al programma di accensione del motore, che prevede l'attivazione solo in caso di intervento di sicurezza)
- Estrattori dell'aria calda della centrale.

Per la caldaia:

- Sistema di aspirazione dell'aria di raffreddamento presente all'interno del capannone;
- Sistema delle griglie presenti sulle bocche di lupo (comune a cogeneratore, e gli ausiliari di centrale);
- Estrattori dell'aria calda della centrale (comune a cogeneratore, e gli ausiliari di centrale).



Fig. 5.11 - Area di studio

I ricettori sensibili più vicini all'impianto sono posizionati alle seguenti distanze dalla centrale:

- Ristorante (ricettore A – CLASSE III), ricettivo principalmente di chi usufruisce degli impianti sportivi, posto in posizione protetta rispetto alla centrale dagli edifici sportivi (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 200 m);
- Abitazione (ricettore B- CLASSE IV) posta in via Vescovara (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 260 m);
- Villetta (ricettore C- CLASSE IV) in via Vici non a vista (protetta da terreno e alberi) rispetto alla centrale e posta in prossimità delle centrali di trasformazione Enel e DEA SPA (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 180 m);

Il ricettore sensibile A risente in maniera molto sensibile dei suoi avventori, della presenza del centro sportivo e delle attività che contemporaneamente e in esso si svolgono;

Il ricettore sensibile C è a distanza di circa 60 m dai Trafo Enel e a circa 110 m dai Trafo Dea Elettrica S.p.A. e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze);

Il ricettore sensibile B è a distanza di circa 200 m dai Trafo Enel e a circa 250 m dai Trafo Dea Elettrica S.p.A. e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze);

5.8.2 INFORMAZIONI INERENTI IL PROGETTO ACUSTICO DELLE NUOVE MACCHINE

BOX INSONORIZZATO

Il modulo cogenerativo è contenuto all'interno di un box insonorizzato.

Il box è dotato di pareti composte da pannelli modulari autoportanti ad alto assorbimento acustico e ad alto potere fono impedente. La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente il conseguimento di un potere fonoisolante minimo della struttura coibente, misurato in accordo alle norme ISO 717/1, pari a 49 dB.

SISTEMA DI ASPIRAZIONE E SCARICO ARIA DI RAFFREDDAMENTO

Il sistema di alimentazione dell'aria di raffreddamento e di espulsione della stessa dal container contenente il cogeneratore sarà dotato di silenziatori a sezione rettangolare, realizzati in lamiera d'acciaio zincato a caldo completi di flange di collegamento. I setti fonoassorbenti saranno realizzati con doppia parete di lamiera forata, con interposto velo vetro e pannelli di lana di roccia ad alto coefficiente di assorbimento acustico (reazione al fuoco almeno di classe 1).

Il progetto esecutivo dei sistemi di aspirazione e scarico è riportato nelle tavole allegare (setti dello spessore di 200 mm e larghezza del passaggio dell'aria di 100 mm, al fine di aumentare le attenuazioni richieste alle basse frequenze).

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora misurata allo scarico del sistema di espulsione aria pari a 82,9 dBA.

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora misurata all'aspirazione del sistema di ventilazione pari a 85,9 dBA.

L'influenza di tali sorgenti su ciascuna delle tre bocche di aspirazione è stata stimata sulla base dei coefficienti di assorbimento acustico del capannone.

CAMINO DEL COGENERATORE

Il motore cogenerativo sarà dotato di un'idonea marmitta: la prima sezione di tipo a risonanza (finalizzato alla riduzione le emissioni acustiche in bassa frequenza), la seconda sezione, in serie alla prima, di tipo "ad assorbimento".

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del camino di scarico pari a 84,0 dBA. La soluzione fornita non ammette la presenza di componenti tonali.

DRY COOLER

Il motore cogenerativo recupera parte dell'energia sia dall'intercooler LT: Low Temperature (non sfruttabile in quanto a bassa temperatura e pertanto sempre acceso) che dall'intercooler HT: High Temperature e dalla camicia del motore (da dissipare solo in condizioni di sicurezza prima dello stop della macchina). La dissipazione dell'energia verrà effettuata nella seguente maniera:

DRY COOLER LT

Esso è costituito da un blocco di tre ventilatori assiali EC (a bassa velocità di rotazione per ridurre le emissioni sonore) dotati di motore "brushless" a bassissimo impatto acustico; i ventilatori sono dotati di sistema di controllo giri in funzione della temperatura dell'acqua; i ventilatori usano diffusori AxiTop al fine di ridurre la potenza acustica di ciascun ventilatore e la potenza elettrica assorbita; la soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del Dry Cooler LT pari a 68,2 dBA (somma logaritmica dell'apporto dei tre ventilatori e degli accessori).

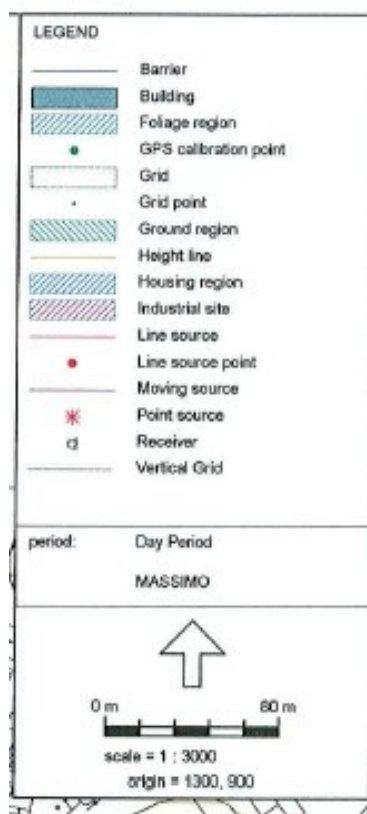
DRY COOLER HT

Esso è costituito da un blocco di quattro ventilatori assiali EC (a bassa velocità di rotazione per ridurre le emissioni sonore) dotati di motore "brushless" a bassissimo impatto acustico; i ventilatori sono dotati di sistema di controllo giri in funzione della temperatura dell'acqua; i ventilatori utilizzano diffusori AxiTop al fine di ridurre la potenza acustica e la potenza elettrica assorbita; la soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del Dry Cooler HT pari a 75,4 dBA (somma logaritmica dell'apporto dei quattro ventilatori e degli accessori).

I valori di emissione sonora previsti (potenza acustica) sono riportati in tabella:

	Esterno	Esterno	Interno	Interno	Esterno	Esterno	Esterno spento	Esterno	Esterno
	CAMINO MOTORE	ESPULSIONE ARIA MOTORE dopo silenziatore (2,2 m x 2,0 m)	Aspirazione MOTORE bocca silenziatore (2,2 m x 2,0 m)	ASPIRAZIONE ARIA MOTORE prima del silenziatore (2,2 m x 2,0 m)	Valore aggiuntivo in ciascuna delle 3 bocche di lupo laterali verso il muro	LT DRYCOOLER	HT DRYCOOLER	CAMINO CALDAIA TIPO A) O B)	CALDAIA NUOVA (TIPO C)
Hz	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LWA [dBA]	LW [dBA]	LW [dBA]
31,5	69,4								
63	73,3	70,6	73,6	70,6	29,2	33,6	42,8	81,1	71,6
125	82,5	75,9	78,9	75,9	56,9	51,2	57,6	89,6	67,2
250	72,3	66,8	69,8	66,8	54,2	55,7	63,3	83,5	47,1
500	64,8	52,6	55,6	52,6	45,2	62,1	70,0	66,6	25,4
1000	62,0	57,6	60,6	57,6	50,4	63,7	70,0	68,0	58,5
2000	64,7	54,6	57,6	54,6	47,5	61,7	68,7	72,8	68,6
4000	69,9	62,7	65,7	62,7	55,8	56,5	64,3	69,2	66,8
8000	69,3	75,9	78,9	75,9	65,5	52,2	61,1	62,0	59,1
16000	64,4								
TOT.	84,0	79,9	82,9	79,9	66,9	68,2	75,4	91,2	75,2

Tab. 5.15 - Valori previsti di livello di potenza sonora in terzi d'ottava delle macchine installate



Legenda del programma utilizzato

Nella centrale di cogenerazione modificata è stato effettuato lo spostamento dell'impianto "DEMI", attualmente situato all'interno del capannone in centrale, all'interno di una costruzione di modeste dimensioni, costruita con pannelli sandwich (acusticamente efficaci), situata in posizione protetta

(muro di contenimento) in corrispondenza dello spigolo Sud-Est. Tale nuova situazione determina un minor impatto acustico rispetto alla configurazione precedente in quanto il rumore, in quest'ultimo caso, è contenuto all'interno di una struttura, mentre, nel caso attuale, viene trasferito all'esterno attraverso una bocca di lupo. La simulazione acustica effettuata ha previsto di mantenere lo stesso livello di potenza sonora della bocca di lupo (anche se il livello reale sarà inferiore) e di considerare lo stesso livello della bocca di lupo in corrispondenza dell'impianto "DEMI", con l'ipotesi (non reale) di posizionarlo all'esterno. Si precisa che a regime l'impianto DEMI verrà smantellato in quanto funzionale esclusivamente all'esercizio della turbogas.

5.8.3 VERIFICA PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO (LIVELLI DI EMISSIONE ED IMMISSIONE ASSOLUTI E DIFFERENZIALI)

E' stata effettuata la simulazione delle emissioni sonore sulla base dei dati riportati nelle tabb.5.13 e 5.14, tenendo conto delle caratteristiche orografiche della zona. I risultati della simulazione eseguita in accordo alla ISO 9613-1/2, utilizzando Predictor Type 7810 v5.04 della Bruel&Kjaer sono nelle Figg. 5.12 (DAY) e 5.13 (NIGHT).

PUNTI	Emissioni sonore previsionali (dBA)– Fig.7	Limite di legge	Verifica
	DAY		
Punto 1 – classe III	50	55	SI
Punto 2 – classe IV	56	60	SI
Punto 3 – classe IV	43	60	SI
Punto 4 – classe IV	41	60	SI
Ricettore A – classe III	42	55	SI
Ricettore B – classe IV	37	60	SI
Ricettore C – classe IV	44	60	SI

Tab. 5.16 - Emissioni sonore previsionali in prossimità dei ricettori sensibili e sui confini di proprietà arrotondati a 0.5 dB– periodo day.

PUNTI	Emissioni sonore previsionali (dBA)– Fig.8	Limite di legge	Verifica
	NIGHT		
Punto 1 – classe III	42	45	SI
Punto 2 – classe IV	45	50	SI
Punto 3 – classe IV	27	50	SI
Punto 4 – classe IV	36	50	SI
Ricettore A – classe III	37	45	SI
Ricettore B – classe IV	29	50	SI
Ricettore C – classe IV	34	50	SI

Tab. 5.17 - Emissioni sonore previsionali in prossimità dei ricettori sensibili e sui confini di proprietà arrotondati a 0.5 dB– periodo night.



Fig. 5.12 - Livelli previsionali di emissione assoluti diurni



Fig. 5.13 Livelli previsionali di emissione assoluti notturni

Il calcolo delle immissioni sonore assolute in corrispondenza dei ricettori sensibili è stato effettuato sulla base delle emissioni sonore assolute e del rumore residuo.

Nella tabella 5.17 viene indicato il rumore residuo sui ricettori sensibili.

PUNTI	RUMORE RESIDUO SUI RICETTORI [LA eq]
	(dBA)
Ricettore A – classe III –DAY	54,0
Ricettore B – classe IV –DAY	50,8
Ricettore C – classe IV –DAY	53,3
Ricettore A – classe III –NIGHT	45,7
Ricettore B– classe IV- NIGHT	43,4
Ricettore C– classe IV- NIGHT	39,9

Tab. 5.18 - Rumore residuo presso i ricettori sensibili

Al fine della determinazione del rumore ambientale nel tempo di misura, dovuto alla sorgente emittente e alle altre sorgenti presenti, devono essere sommati in maniera logaritmica i valori del rumore residuo sui ricettori sensibili ai livelli di emissione della sorgente disturbante, nel tempo di misura, in ciascuna postazione microfonica. I risultati sono riportati in tab. 5.19.

Punti	Rumore residuo sui ricettori [LA eq]	Emissioni sonore della sorgente sottoposta ad analisi	Rumore ambientale nel tempo di misura sui ricettori sensibili [LA eq]
	(dBA)		(dBA)
Ricettore A – classe III DAY	54	42	54,3
Ricettore B – classe IV DAY	50,8	37	51
Ricettore C – classe IV DAY	53,3	44	53,9
Ricettore A – classe III NIGHT	45,7	37	46,2
Ricettore B – classe IV NIGHT	43,4	29	43,6
Ricettore C – classe IV NIGHT	39,9	34	40,9

Tab. 5.19 - Rumore ambientale presso i ricettori sensibili nel tempo di misura

Punti	Emissioni sonore previsionali sui ricettori sensibili [LAeq]	Rumore residuo sui ricettori [LAeq]	Livelli di immissione assoluti [LAeq]	Limiti di legge	verifica
	(dBA)	(dBA)	(dBA)		
Ricettore A – classe III –DAY	42	54	54,5	60	SI
Ricettore B – classe IV –DAY	37	50,8	51	65	SI
Ricettore C – classe IV –DAY	44	53,3	54	65	SI
Ricettore A – classe III –NIGHT	37	45,7	46	50	SI
Ricettore B– classe IV- NIGHT	29	43,4	43,5	55	SI
Ricettore C– classe IV- NIGHT	34	39,9	41	55	SI

Tab. 5.20 - Livelli di immissione assoluti arrotondati a 0,5 dB

Relativamente alle immissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia l'installazione delle macchine sostitutive (cogeneratore silenziato con motore alternativo a gas che sostituisce la turbogas; nuova caldaia silenziata che sostituisce le caldaie attualmente presenti) risulta compatibile acusticamente con i limiti di immissione assoluti relativi alle classi acustiche (III e IV) in corrispondenza dei ricettori sensibili.

Confrontando i dati di cui alla tabella 5.19, può essere verificato il rispetto dei valori limite differenziali di immissione. I risultati, che si riferiscono al tempo di misura, sono riportati nella tabella 5.20.

Punti	Rumore nel tempo di misura sui ricettori sensibili [LA eq]	Rumore residuo [LA eq]	Delta differenziale [LA eq]	Limite di legge	Verifica
	(dBA)	(dBA)	(dBA)		
A-DAY	54,3	54	0,3	5	SI
B-DAY	51	50,8	0,2	5	SI
C-DAY	53,9	53,3	0,6	5	SI
A-NIGHT	46,2	45,7	0,5	3	SI
B-NIGHT	43,6	43,4	0,2	3	SI
C-NIGHT	40,9	39,9	1	3	SI

Tab. 5.21 - Livelli differenziali di immissione

Relativamente alle immissioni differenziali, l'analisi previsionale effettuata evidenzia che l'installazione delle macchine sostitutive (cogeneratore silenziato con motore alternativo a gas che sostituisce la turbogas; nuova caldaia silenziata che sostituisce le caldaie attualmente presenti) risulta teoricamente compatibile dal punto di vista acustico con i limiti immissione differenziali in corrispondenza dei ricettori sensibili.

La valutazione previsionale di impatto acustico evidenzia che l'installazione delle macchine sostitutive caratterizzate da minori livelli di potenza sonora rispetto alle macchine esistenti allo stato attuale (unità di cogenerazione silenziata costituita da motore alternativo a gas che sostituisce la turbogas; nuova caldaia silenziata che sostituisce le caldaie attualmente presenti) all'interno della centrale di cogenerazione di via Vici, avviene nel rispetto dei limiti stabiliti dalla Legge Quadro n°447/95 e successivi Decreti Attuativi in termini di emissioni assolute, immissioni assolute, immissioni differenziali.

5.9 MISURA ANTE OPERAM FINALIZZATE ALLA PROGETTAZIONE ACUSTICA DEL FONDO ISOLAMENTO E FONDO ASSORBIMENTO DELLE BOCHE DI LUPO DELLA CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI AD OSIMO E SUCCESSIVE MISURE POST OPERAM PER LA VERIFICA DELLA BONTA' DELL'INTERVENTO PROGETTATO ED ESEGUITO

5.9.1 *SISTEMI DI BONIFICA ACUSTICA DELLE BOCHE DI LUPO*

La bonifica acustica in corrispondenza delle bocche di lupo della centrale di cogenerazione in via Vici ad Osimo ha consentito di ridurre le emissioni in ambiente esterno causate dalle sorgenti interne della centrale di cogenerazione. Al fine di individuare gli interventi di bonifica sono state effettuate campagne di misura all'interno e all'esterno della centrale di cogenerazione funzionante in diverse condizioni di lavoro della turbina a gas o delle caldaie di integrazione e soccorso. Le misure sono state eseguite ante operam e post operam al fine di valutare la bontà degli interventi effettuati.

La determinazione del clima acustico ante operam è stata effettuata sulla base di un'indagine conoscitiva strumentale nella zona interessata all'intervento. L'indagine conoscitiva circa i livelli di rumore che caratterizza l'area è stata effettuata in corrispondenza delle bocche di lupo, mediante misurazioni spaziali. Per quanto riguarda la durata temporale delle misure la campagna è stata organizzata secondo un unico protocollo.

Esso ha previsto la misura per periodi brevi, ma statisticamente significativi, della situazione acustica esistente nel periodo di riferimento considerato (indagine fonometrica spaziale). Le misure spaziali, della durata di 120 sec (periodi brevi, considerata la costanza delle sorgenti emittenti), sono state eseguite in corrispondenza delle bocche di lupo, nel periodo in cui il rumore ambientale non era influenzato dal rumore residuo. E' evidente che una indagine di questo tipo è stata utile per avere informazioni specifiche sul clima acustico e sulla caratterizzazione delle sorgenti di rumore. Un protocollo identico è stato adottato per le misure post operam. Le misure sono state effettuate con apparati di misura fissi, dotati di sistemi di registrazione dati.

E' stata condotta un'analisi teorica allo scopo di individuare i parametri che incidono sui risultati delle misure effettuate e sul successivo intervento di bonifica. Sono di seguito introdotti i concetti di fono assorbimento e dissipazione di energia sonora attraverso i mezzi che vengono generalmente utilizzati. L'assorbimento di energia sonora da parte di materiali e strutture può essere utilizzato per controllare le riflessioni delle onde acustiche, e contenere il livello sonoro in un ambiente totalmente o parzialmente confinato. Ma questo è possibile solo per quanto riguarda la parte riverberante del campo sonoro. Il fono assorbimento da parte delle superfici presenti non ha alcun effetto sull'energia sonora che arriva direttamente dalla sorgente al ricettore.

Si ricorda che in un ambiente il raggio limite del campo sonoro libero o diretto è dato da:

$$r = 0,14 \cdot \sqrt{R \cdot Q}$$

Dove Q è il fattore di direttività della sorgente ed R è la costante di ambiente così definita:

$$R = \frac{\alpha \cdot S}{1 - \alpha}$$

Con α coefficiente di assorbimento medio delle superfici interne, ed S area di tali superfici.

Entro il raggio r ogni variazione del potere fonoassorbente delle superfici non ha alcun effetto sul campo sonoro, mentre a distanze superiori un aumento di questo potere ne ridurrà il livello agendo sul campo riverberante. Secondo taluni studi per produrre una variazione apprezzabile del livello sonoro il valore dell'assorbimento totale A di un ambiente deve essere, dopo il trattamento, dalle tre alle dieci volte quello che era prima del trattamento.

In linea generale potremo scrivere quanto segue.

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad \text{sarà:} \quad L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right)$$

E la differenza fra i livelli sonori relativi a due diversi valori dell'assorbimento totale interno sarà:

$$\Delta L_p = L_w + 10 \log\left(\frac{4}{R_1}\right) - L_w - 10 \log\left(\frac{4}{R_2}\right) = 10 \log\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 10 \log\left(\frac{S\alpha_2}{1-\alpha_2} \cdot \frac{1-\alpha_1}{S\alpha_1}\right)$$

$$\Delta L_p \cong 10 \log\left(\frac{S\alpha_2}{S\alpha_1}\right) \cong 10 \log\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

Dove A_1 ed A_2 rappresentano le aree equivalenti di assorbimento acustico delle superfici interne prima e dopo l'intervento. Come si può osservare un raddoppio di A provoca solo una variazione di 3 dB del livello sonoro, mentre una sensazione di raddoppio o dimezzamento dell'intensità sonora percepita corrisponde ad una variazione di livello di circa 10 dB.

Sono individuabili i seguenti meccanismi fisici che provocano l'assorbimento di energia sonora da parte di materiali e strutture:

- dissipazione per attrito su superfici con asperità o all'interno di piccole cavità (materiali porosi),
- vibrazione di strutture/membrane (pannelli vibranti),
- risuonatori (di Helmholtz).

Questi fenomeni fisici nella pratica possono presentarsi combinati tra loro in vario modo, anche se uno di essi può essere dominante, pertanto si possono distinguere ai fini pratici degli elementi:

- porosi rigidi o flessibili
- non porosi flessibili,
- risuonatori,
- misti.

Quando l'aria che oscilla a causa del fenomeno sonoro viene a trovarsi all'interno di piccole cavità, la dissipazione di energia sonora avviene ad opera delle forze di attrito viscoso, che instaurano un gradiente di velocità tra la parte di aria che si muove liberamente (al centro della cavità) e quella quasi immobile in prossimità della superficie. L'energia meccanica dissipata dell'onda sonora si converte in calore.

Per le basse frequenze esistono delle condizioni di isoterma, mentre per le alte frequenze si assumono condizioni di adiabatica dal momento che il calore generato dalle compressioni ed espansioni del mezzo-aria non ha tempo di trasmettersi al materiale poroso attraverso la sua superficie.

Oltre all'effetto della viscosità, un altro sostanziale contributo all'attenuazione sonora è dovuto allo smorzamento (del moto oscillatorio delle particelle del mezzo-aria) provocato dalla resistenza al flusso della struttura porosa. Questo effetto è rappresentato dalla diminuzione di pressione che subisce l'onda sonora attraversando il materiale:

$$\Delta L_p = R \cdot v^n$$

Dove R è la resistenza al flusso opposta dal materiale poroso, e v la velocità di oscillazione delle particelle d'aria. R è definita sua volta come $R = \Delta p / (d \cdot u)$ dove d è lo spessore e u la velocità di attraversamento dell'aria, valutata rispetto alla sezione totale apparente di deflusso.

L'indice n assume valori che vanno da 1 per le basse frequenze a 2,5 per le alte.

Se R è molto maggiore dell'impedenza acustica ρc del mezzo-aria possono verificarsi riflessioni sulla superficie, mentre all'opposto, se R è molto minore del prodotto della densità per la velocità del suono (ρc) l'attrito non è sufficiente per provocare attenuazione sonora.

Questo tipo di meccanismo dissipativo dipende dalla frequenza del suono incidente, in genere aumenta con essa, dal rapporto tra il volume dei vuoti e quello totale del materiale considerato (porosità) e dallo spessore dello stesso.

Generalmente il coefficiente di assorbimento (α):

- aumenta con il valore della porosità,
- aumenta al diminuire del valore di R ,
- alle basse frequenze, aumenta con lo spessore del materiale, come si può osservare in Figura 1.

Alle alte frequenze in genere bastano spessori minori dal momento che per esse l'effetto dissipativo è maggiore in quanto penetrano di più nel materiale e l'effetto di R diventa maggiore di quello delle forze di attrito viscoso.

Quando l'onda sonora incide normalmente sulla superficie il valore del coefficiente di assorbimento (α) è comprensibilmente maggiore che nel caso in cui provenga da altre direzioni, normalmente i valori disponibili sono riferiti ad una incidenza da direzione casuale. E nella formula di Sabine si usano questi, dal momento che si ipotizza un campo sonoro perfettamente diffuso con onde provenienti casualmente da tutte le direzioni.

Ovviamente l'accesso dell'energia sonora ai pori non deve essere ostacolato, pertanto dei trattamenti superficiali quali la verniciatura vanno evitati.

I materiali fonoassorbenti correntemente utilizzati non presentano una grande variazione nella porosità con valori che vanno da 0,3 a 0,5. Per essi il valore di R è dell'ordine di 0,1. Pertanto il potere fonoassorbente dipende in larga misura dallo spessore di materiale utilizzato.

Quando tale spessore è pari a $\lambda/4$ il coefficiente di assorbimento per quella frequenza può essere circa unitario, se R è pari a circa $2\rho c$. Per frequenze maggiori il valore del coefficiente di assorbimento (α) oscillerà tra 0,9 ed 1.

Indicativamente per uno spessore pari a $\lambda/16$ il coefficiente di assorbimento (α) può essere approssimativamente pari a 0,5, mentre per uno spessore pari a $\lambda/8$ il coefficiente di assorbimento (α) può essere 0,75.

Con la densità (ρ) del materiale aumenta R, per i materiali fonoassorbenti fibrosi normalmente utilizzati la densità (ρ) varia tra 20 e 120 kg/m³.

Se uno strato di materiale poroso è collocato in opera ad una certa distanza da una parete rigida, questa distanza gioca un ruolo rilevante. Al momento in cui l'onda sonora si riflette sulla parete rigida si crea in prossimità di essa una sorta di onda stazionaria, l'onda riflessa ha la stessa fase di quella incidente. La velocità di oscillazione delle particelle d'aria v sarà necessariamente nulla sulla superficie della parete ed anche ad una distanza da essa pari a metà della lunghezza d'onda (λ), nonché ad una distanza pari alla lunghezza d'onda ed a multipli di essa e della sua metà (nodi dell'onda stazionaria), ma tale velocità di oscillazione sarà massima ad una distanza pari ad un quarto della lunghezza d'onda, a tre quarti della stessa e così via. Collocando il materiale poroso nei punti in cui è massima la velocità acustica v si ottiene il massimo effetto dissipativo.

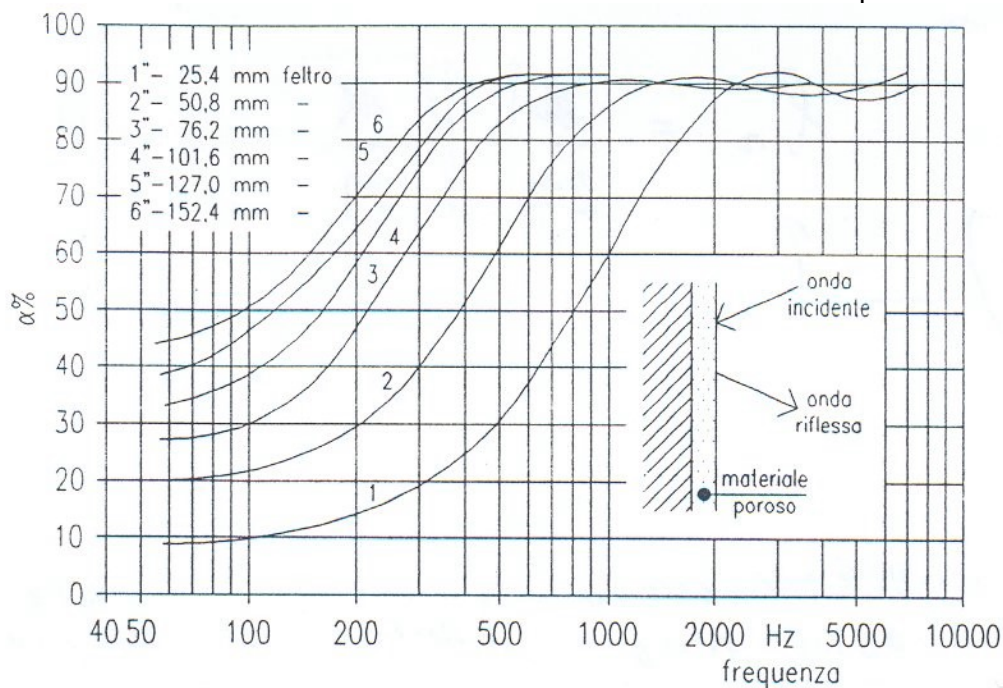


Fig. 5.14 - Andamento del coefficiente di assorbimento (α) in funzione della frequenza e dello spessore del materiale

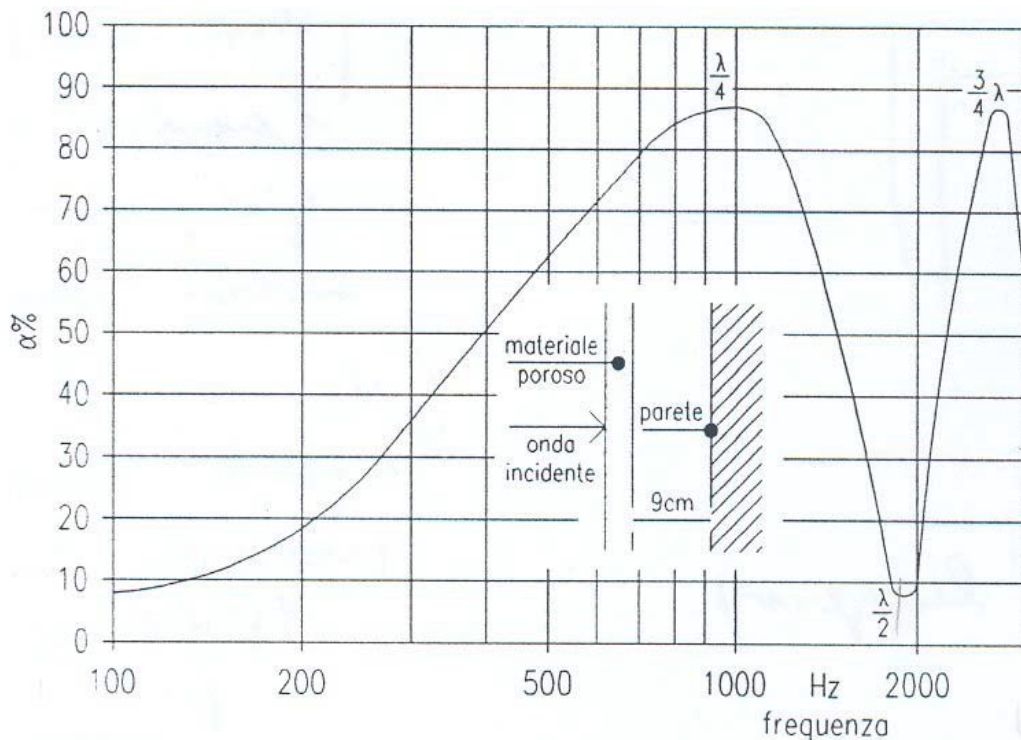


Fig. 5.15 - Andamento del coefficiente di assorbimento (α) in funzione della frequenza e della distanza del materiale fonoassorbente dalla parete

La vibrazione della struttura porosa fornisce un contributo addizionale all'assorbimento, ma questo è un altro meccanismo dissipativo, che riguarda i pannelli vibranti.

Si tratta di pannelli che vengono messi in oscillazione dall'onda sonora, parte dell'energia sonora viene così convertita in lavoro di deformazione e spostamento del pannello. Le vibrazioni del pannello vanno opportunamente smorzate in modo da aumentare la dissipazione di energia sonora e limitare la trasmissione del suono sul fronte opposto. Se questi pannelli vengono collocati ad una certa distanza dalla parete rigida e parallelamente ad essa, essi costituiranno una massa oscillante accoppiata ad un elemento elastico: l'aria nell'intercapedine tra pannello e parete. Lo smorzamento dell'oscillazione sarà dovuto agli attriti interni al pannello.

Per questo sistema oscillante esisterà una frequenza di risonanza individuabile, in prima approssimazione, con la relazione:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}}$$

Dove m è la massa frontale (o densità superficiale) del pannello [kg/m^2], e d è la distanza del pannello dalla parete. Una formula più precisa è la seguente:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma}{m \cdot d}}$$

Dove σ è il modulo (rapporto) di Poisson, m la massa frontale, c la velocità del suono nell'aria. Sono disponibili in letteratura formule più precise e riferite a condizioni specifiche.

Il massimo effetto fonoassorbente del sistema oscillante si risconterà per le frequenze prossime alla sua frequenza naturale di risonanza, che normalmente si colloca nel campo delle basse frequenze: il fenomeno della risonanza amplificherà le oscillazioni dunque la dissipazione dell'energia sonora.

È il caso di sottolineare che in corrispondenza di questa f_0 , mentre è massimo l'effetto fonoassorbente, sarà minimo l'effetto fonoisolante. Questo perché il pannello, vibrando alla stessa

frequenza del suono o della componente tonale di esso che incide su di lui da un lato, lo riprodurrà sul lato opposto mettendo in oscillazione l'aria ad esso confinante.
 Una previsione accurata del coefficiente di assorbimento di un pannello vibrante richiede calcoli complessi per cui è consigliabile basarsi su dati sperimentali.

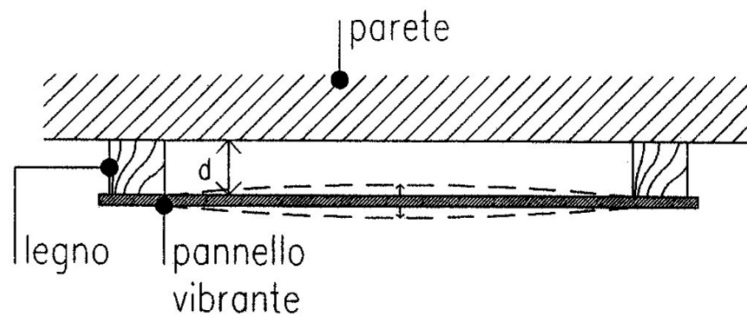


Fig. 5.16 - Risuonatore acustico

I risuonatori acustici sono costituiti da cavità che comunicano con l'esterno attraverso un foro di una certa lunghezza, detto 'collo del risuonatore'. Quando un'onda sonora va ad incidere sull'ingresso del risuonatore l'aria contenuta nel suo collo viene posta in oscillazione mentre l'aria contenuta nella cavità viene ad essere alternatamente compressa ed espansa, la sua elasticità fa sì che essa si comporti come una molla. Questo sistema, costituito da una massa oscillante (aria nel collo), un elemento elastico (aria nella cavità) ed un elemento smorzante (l'attrito sulle pareti del collo), avrà una sua frequenza di risonanza in corrispondenza della quale la dissipazione di energia sonora sarà massima.

Tale frequenza di risonanza, che di solito si colloca nel campo delle basse o medio-basse frequenze, è così calcolabile:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{r^2}{V \left(l + \frac{\pi}{2r} \right)}}$$

Dove c_0 è la velocità di propagazione del suono nel mezzo (m/s), l la lunghezza del collo del risuonatore, r il raggio della sua sezione (m), V il volume della cavità (m³).

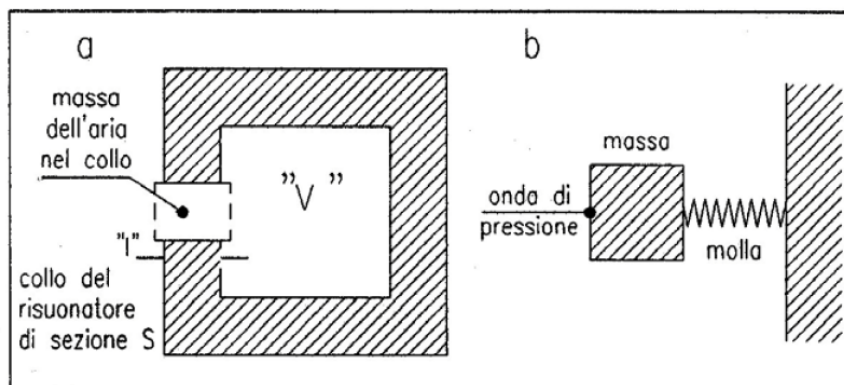


Fig. 5.17 - Schema e principio di funzionamento di un risuonatore

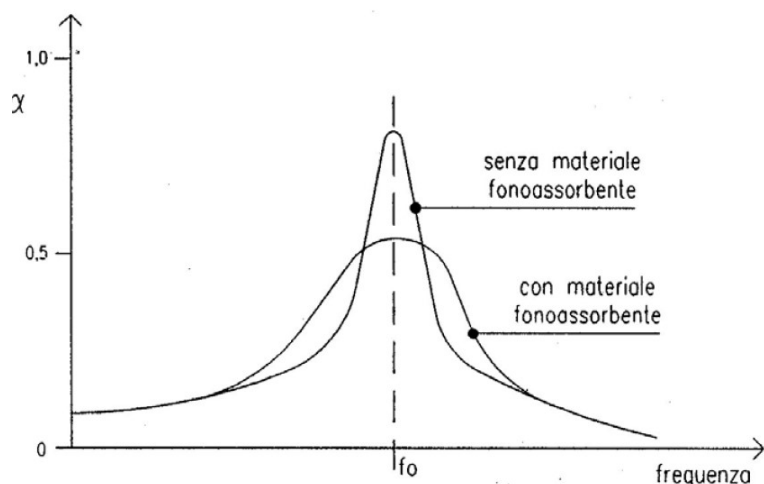


Fig. 5.18 – Assorbimento di un risonatore in funzione della frequenza

L'assorbimento dei risonatori è elevato in corrispondenza della frequenza di risonanza ma molto ridotto per tutte le altre frequenze (Fig. 5.18). È possibile così costruire dei dispositivi calibrati per assorbire specifiche frequenze.

L'aggiunta di materiale fonoassorbente poroso nel collo del risonatore sortisce l'effetto di allargare lo spettro di frequenze assorbibili diminuendo però l'effetto in corrispondenza della frequenza di risonanza.

Come si è visto l'assorbimento acustico da parte di materiali porosi è maggiore alle alte frequenze, pertanto, quando si vuole allargare lo spettro di assorbimento, questi materiali vengono utilizzati in combinazione con membrane che funzionano come pannelli vibranti, il cui effetto è maggiore alle basse frequenze, e con intercapedini d'aria. Si ottengono così degli elementi denominati 'pannelli acustici'.

L'abbinamento più semplice tra i due meccanismi può avvenire collocando del materiale poroso nell'intercapedine tra un pannello vibrante e la parete rigida retrostante, in tal caso il pannello deve essere forate per consentire all'energia sonora di raggiungere il materiale poroso.

Va rilevato che dal punto di vista del fonoisolamento il materiale poroso inserito nell'intercapedine non dà in sostanziale contributo a meno che il suo spessore non sia comparabile alla lunghezza d'onda che si vuole ostacolare, il che è difficilmente realizzabile: per fermare un suono della frequenza di 340 Hz lo spessore dovrebbe essere di circa un metro.

Per i pannelli semplicemente forati α aumenta con la frequenza fino ad un valore limite superiore della stessa, che per pannelli spessi fino a 5 mm è dato da:

$$f_0 = \frac{3500 \cdot d}{n}$$

Dove d è il diametro dei fori ed n il loro numero per unità di dimensione lineare. In corrispondenza di f_0 α è circa pari a 0,9.

Alcuni sistemi funzionano secondo il meccanismo del risonatore di Helmholtz. Essi sono costituiti da lastre rigide (metallo, legno, gesso ...), dalla superficie forata in vario modo, collocati ad una certa distanza dalla parete. L'intercapedine viene così a costituire la cavità di una serie di risonatori tra loro comunicanti, essa può essere o meno riempita in toto od in parte di materiale poroso.

La f_0 di risonanza per un tipico pannello forato risonatore (rappresentato in fig. 5.21):

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{1}{(t + 2\Delta t) \cdot b}}$$

V è il volume d'aria contenuto nell'intercapedine, t lo spessore del pannello, e $2 \Delta t$ è un fattore di correzione pari a $\pi r/2$ per una foratura di raggio r. Il significato degli altri simboli è indicato in figura.

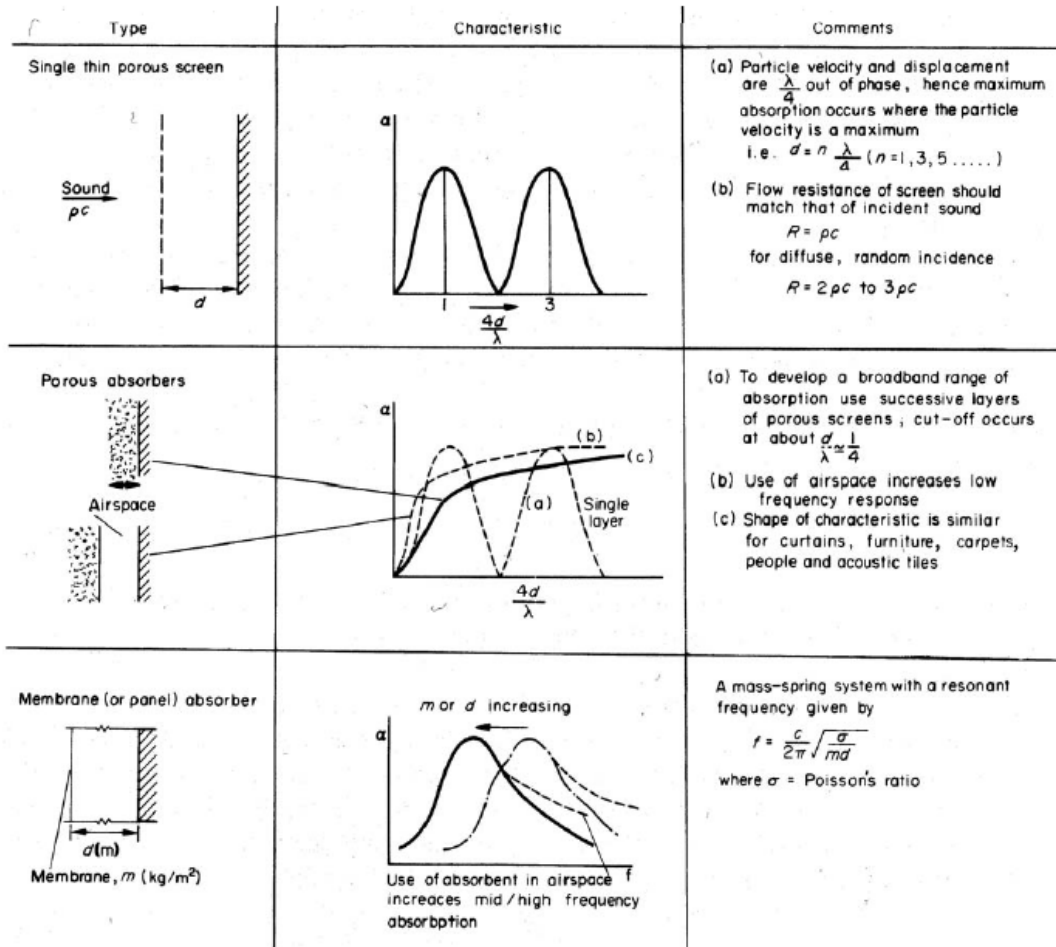


Fig. 5.19 - Risuonatori

L'inserimento di materiale poroso nell'intercapedine anche in tal caso allarga lo spettro di assorbimento. Il grafico riportato in figura 5.20 evidenzia il ruolo giocato dal grado di foratura della superficie (open area) del pannello esterno, con retrostante materiale poroso. In linea di massima aumentando la superficie forata aumenta l'assorbimento, alle frequenze medie e alte; ma oltre una certa percentuale di foratura viene meno l'effetto del risuonatore di Helmholtz, pertanto decade l'assorbimento alle basse frequenze (sotto i 125 Hz.). In assenza di pannello esterno (no facing) resta solo lo strato di materiale poroso che assorbe alle medie ed alte frequenze.

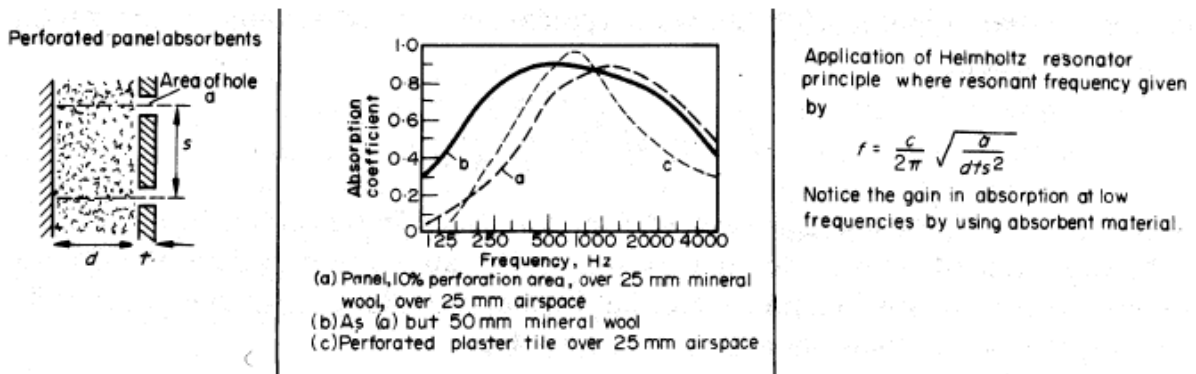


Fig. 5.20 - Sistemi misti

Sono disponibili pannelli e piastrelle assorbenti perforati o fessurati, che possono essere fissati ad una superficie usando adesivi, viti o chiodi. Il metodo di posa in opera influisce molto sulle loro prestazioni acustiche, così come il modo di dipingerli può ridurne il potere fonoassorbente.

Blocchi di calcestruzzo sono stati usati efficacemente come risuonatori perforati.

Quando le superfici interne ad una sala e gli occupanti stessi non forniscono un sufficiente fonoassorbimento si può ricorrere ad assorbitori sospesi di varia forma (fig. 5.22).

Spesso nelle sale di ascolto polivalenti è necessario variare il fonoassorbimento totale, in funzione del tipo di messaggio sonoro (parlato o musica di vario genere) e del grado di riempimento della sala. In tal caso si utilizzano elementi mobili e adattabili quali quelli rappresentati schematicamente in fig. 5.23.

Si tratta di tendine retrattili, pannelli rotanti con diverso coefficiente di assorbimento sulle due facce, elementi rotanti a sezione triangolare o cilindrica, sempre caratterizzati da diverso potere fonoassorbente nelle varie superfici. Questi ultimi elementi hanno anche funzione diffondente.

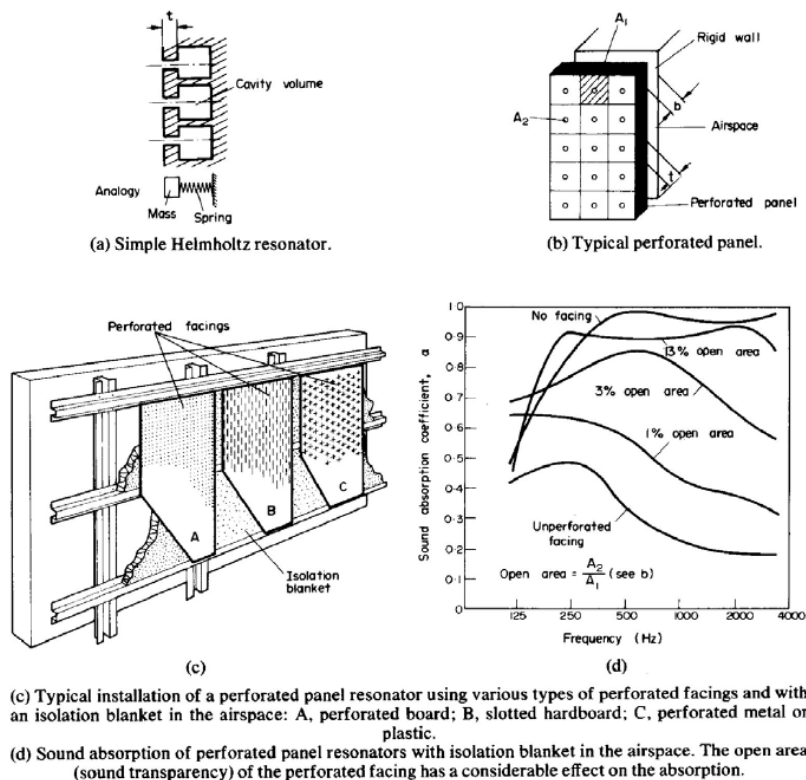


Fig. 5.21 - Sistema misto basato in parte sul principio del risuonatore di Helmholtz

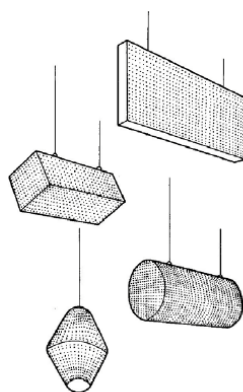


Fig. 5.22 - Assorbitori sospesi

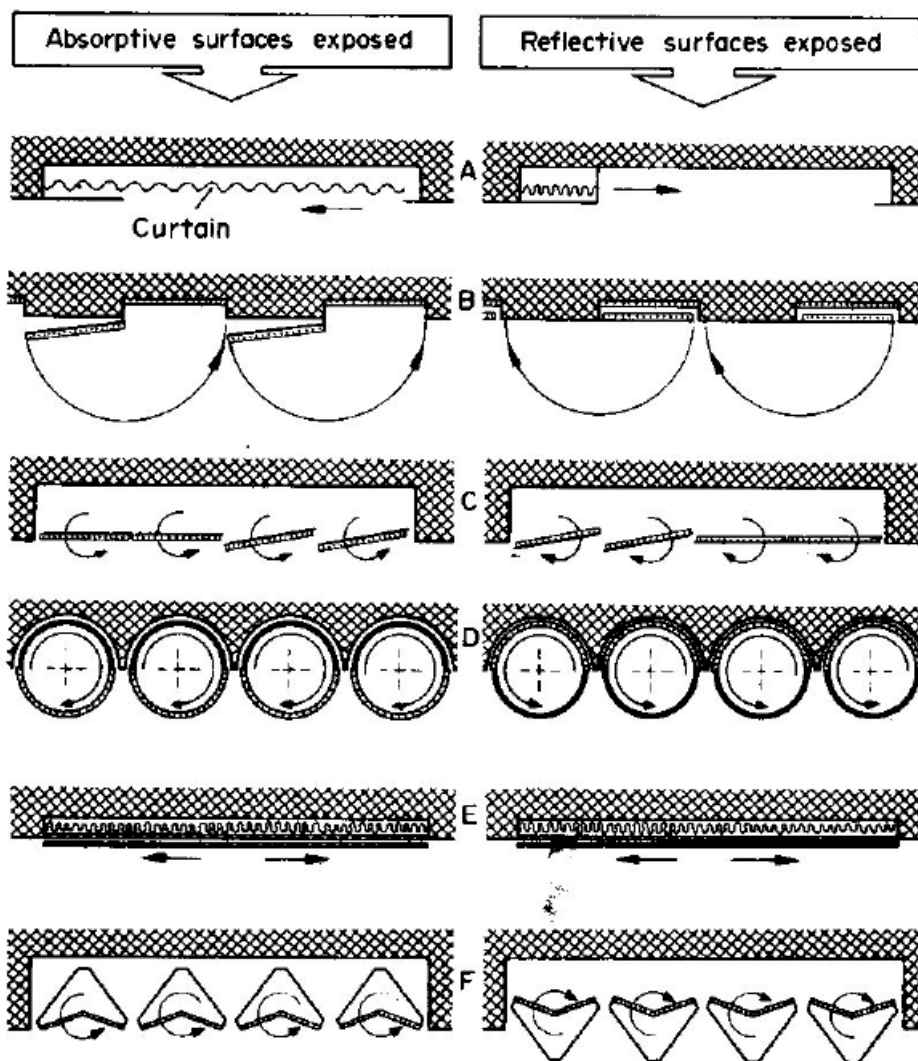


Fig. 5.23 - Elementi mobili e adattabili ad assorbimento acustico variabile

Come è possibile osservare dalla fig. 5.24, un plenum consiste in una grande cavità dotata almeno di un ingresso ed una uscita.

L'energia acustica che entra in tale cavità viene in parte assorbita dalle pareti, in parte riflessa ed in parte inviata verso l'uscita in misura proporzionale all'area della sezione di scarico ed inversamente proporzionale alla distanza fra i centri delle due bocche.

L'attenuazione prodotta dal plenum, posto in genere all'uscita del ventilatore, è valutabile attraverso la relazione:

$$\Delta L_w = -10 * \text{Log}_{10} \left[S_2 * \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{(1 - \bar{\alpha})}{\bar{\alpha} S_T} \right) \right]$$

Dove

S_2 è l'area della sezione di uscita del plenum;

S_T è l'area della sezione totale interna del plenum, comprese le sezioni di ingresso e di uscita);

α è il coefficiente medio di assorbimento all'interno del plenum.

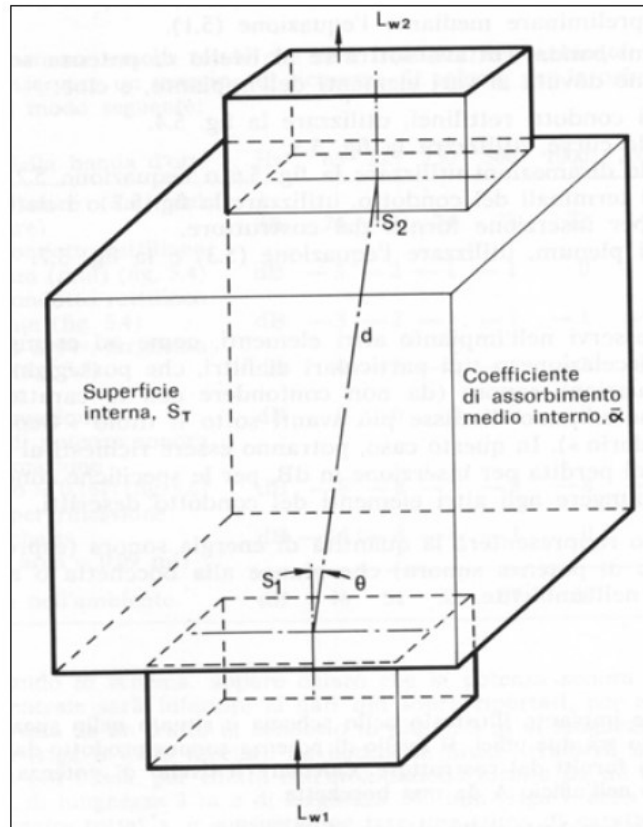


Fig.5.24 - Geometria di un plenum

Si tratta ovviamente di relazioni teoriche che hanno i loro limiti visto che a rigore occorrerebbe computare l'ulteriore riduzione dovuta alle riflessioni alla sezione d'ingresso al plenum. L'approssimazione introdotta dalla relazione è buona alle alte frequenze mentre alle basse frequenze, quando la lunghezza d'onda è più vicina o supera le dimensioni della camera, l'attenuazione calcolata sottostima di $5 \div 10$ dB il valore reale ottenibile.

È ovvio che potendo esserci nell'impianto altri elementi (filtri, cassette di miscelazione) in grado di attenuare ulteriormente il livello di rumore trasmesso attraverso le condotte occorrerà rivolgersi ai vari costruttori per stimare i valori di attenuazione previsti alle specifiche condizioni operative.

5.9.2 CAMPAGNA DI MISURA ANTE INTERVENTO DI BONIFICA ACUSTICA

È stata effettuata una campagna di misurazioni fonometriche presso la centrale di cogenerazione di proprietà ASTEA Spa in via Vici ad Osimo con lo scopo di valutare la rumorosità interna ed esterna in corrispondenza delle griglie di areazione del fabbricato.

Le misurazioni sono state effettuate, in corrispondenza di ciascuna griglia, sia sulla parte interna dell'edificio (postazioni B) sia in quella esterna (postazioni A).

Le misurazioni sono state effettuate sia a caldaia accesa e turbina spenta (denominazione di tabella: caldaia operativa) che a caldaia spenta e turbina accesa (denominazione di tabella: caldaia non operativa).

Viene di seguito riportata la tabella con le misure effettuate.

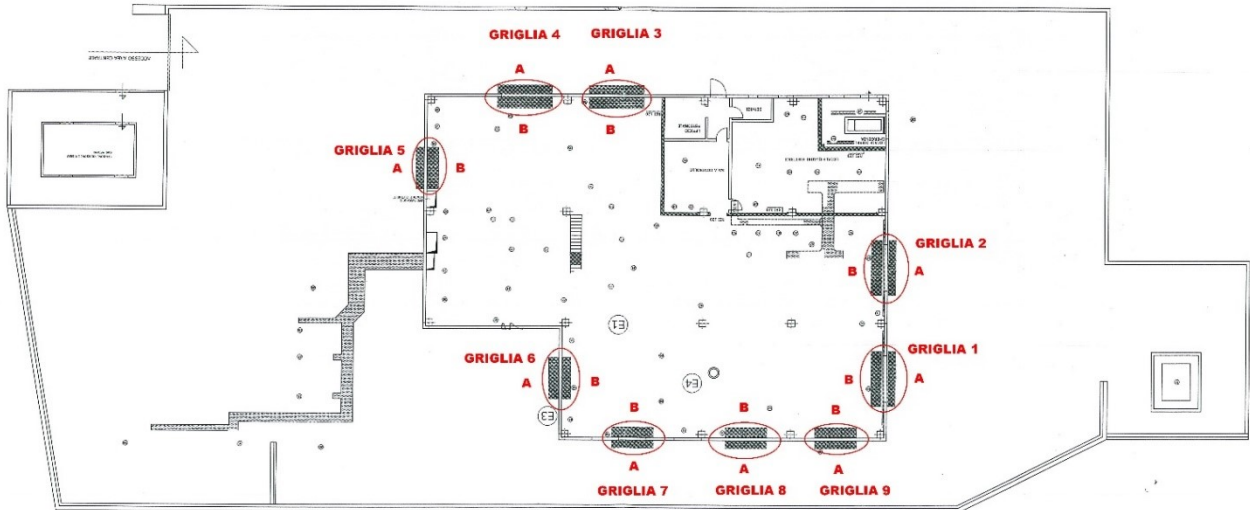


Fig. 5.25 - Griglie di areazione

IDENTIFICATIVO GRIGLIA	POSIZIONE		LAeq	COMMENTO
Griglia 1	A	Turb.	68,7	Caldaia non operativa
Griglia 2	A	Turb.	67,4	Caldaia non operativa
Griglia 3	A	Turb.	61,8	Caldaia non operativa
Griglia 4	A	Turb.	69,3	Caldaia non operativa
Griglia 5	A	Turb.	66,5	Caldaia non operativa
Griglia 6	A	Turb.	67,8	Caldaia non operativa
Griglia 7	A	Turb.	65,3	Caldaia non operativa
Griglia 8	A	Turb.	67,3	Caldaia non operativa
Griglia 9	A	Turb.	64,5	Caldaia non operativa –CT 250 Hz
Griglia 1	B	Turb.	81,7	Caldaia non operativa- CT 250 Hz
Griglia 2	B	Turb.	81,8	Caldaia non operativa – CT 250 Hz
Griglia 3	B	Turb.	81,2	Caldaia non operativa
Griglia 4	B	Turb.	84,6	Caldaia non operativa

Griglia 5	B	Turb.	85	Caldaia non operativa
Griglia 6	B	Turb.	82,2	Caldaia non operativa
Griglia 7	B	Turb.	81,1	Caldaia non operativa
Griglia 8	B	Turb.	82,4	Caldaia non operativa
Griglia 9	B	Turb.	81,7	Caldaia non operativa
Griglia 1	B	No turb.	82,6	Caldaia operativa – CT 250 Hz
Griglia 2	B	No turb.	82,1	Caldaia operativa – CT 250 Hz
Griglia 3	B	No turb.	80,8	Caldaia operativa
Griglia 4	B	No turb.	84	Caldaia operativa
Griglia 5	B	No turb.	86,3	Caldaia operativa
Griglia 6	B	No turb.	82,2	Caldaia operativa
Griglia 7	B	No turb.	82,6	Caldaia operativa
Griglia 8	B	No turb.	83,6	Caldaia operativa – CT 250 Hz
Griglia 9	B	No turb.	82,4	Caldaia operativa
Griglia 1	A	No turb.	70,5	Caldaia operativa – CT 250 Hz
Griglia 2	A	No turb.	67,9	Caldaia operativa
Griglia 3	A	No turb.	62,3	Caldaia operativa
Griglia 4	A	No turb.	69,9	Caldaia operativa
Griglia 5	A	No turb.	68,5	Caldaia operativa
Griglia 6	A	No turb.	68,2	Caldaia operativa
Griglia 7	A	No turb.	66,6	Caldaia operativa
Griglia 8	A	No turb.	68,3	Caldaia operativa
Griglia 9	A	No turb.	65,3	Caldaia operativa

Tab.5.22 - Tabella delle misure effettuate

Dopo il campionamento nelle varie postazioni di misura si è provveduto a calcolare (utilizzando le formule del plenum “raddoppiato” con materiale interno riflettente) e a verificare strumentalmente la buona corrispondenza tra valori teorici (abbattimento di circa 12 dB – $\alpha_{1000\text{Hz}}=0,03$) e pratici (abbattimento medio aritmetico di circa 15 dB – i valori di tabella considerati si riferiscono alla caldaia operativa indicati in tabella 5.22), per ciascuna griglia e con la caldaia accesa e spenta, l’abbattimento acustico equivalente, per ciascuna banda di terzi di ottava (livello di pressione sonora interno – livello di pressione sonora in ambiente esterno). E’ stata altresì effettuata l’analisi delle eventuali componenti tonali.

Di seguito vengono riportate le misure eseguite a turbina spenta e caldaia accesa, in quanto le verifiche post operam, ad intervento di bonifica realizzato, verranno effettuate nelle medesime condizioni operative.

Misure con turbina spenta e caldaia operativa

griglia 1				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	
12,50	78,8931	-83,4	13,5	12,50	70,79134	-83,4	7,4	12,50	71,88622	-83,4	7,4	8,1
16	77,52889	-86,7	20,8	16	71,88622	-86,7	15,2	16	71,88622	-86,7	15,2	5,8
20	73,14802	-50,5	22,8	20	87,38311	-50,5	18,9	20	87,38311	-50,5	18,9	5,8
25	73,46725	-44,7	28,8	25	71,20154	-44,7	28,5	25	71,20154	-44,7	28,5	2,3
31,50	78,82742	-39,4	39,2	31,50	75,78001	-39,4	38,4	31,50	75,78001	-39,4	38,4	2,9
40	75,27092	-34,8	40,7	40	73,09456	-34,8	38,5	40	73,09456	-34,8	38,5	2,2
50	83,03788	-30,2	52,8	50	88,30218	-30,2	38,1	50	88,30218	-30,2	38,1	14,7
63	82,5552	-28,2	58,4	63	72,13241	-28,2	45,9	63	72,13241	-28,2	45,9	10,4
80	77,75788	-22,5	55,3	80	68,11407	-22,5	45,8	80	68,11407	-22,5	45,8	9,8
100	78,73338	-19,1	59,8	100	70,70898	-19,1	51,8	100	70,70898	-19,1	51,8	8,0
125	77,70894	-16,1	61,8	125	70,31831	-16,1	54,2	125	70,31831	-16,1	54,2	7,4
160	75,41858	-13,4	62,0	160	69,94875	-13,4	58,5	160	69,94875	-13,4	58,5	5,5
200	74,78508	-10,9	63,9	200	68,82481	-10,9	57,7	200	68,82481	-10,9	57,7	6,2
250	85,20873	-8,6	76,8	250	73,02093	-8,6	84,4	250	73,02093	-8,6	84,4	12,2
315	75,01985	-8,8	68,4	315	83,35979	-8,8	58,8	315	83,35979	-8,8	58,8	11,7
400	78,28857	-4,8	71,5	400	61,82124	-4,8	58,8	400	61,82124	-4,8	58,8	14,7
500	72,32393	-3,2	69,1	500	80,8147	-3,2	57,8	500	80,8147	-3,2	57,8	11,5
630	72,56842	-1,9	70,7	630	82,46043	-1,9	60,8	630	82,46043	-1,9	60,8	10,1
800	71,70028	-0,8	70,9	800	80,89812	-0,8	60,1	800	80,89812	-0,8	60,1	10,8
1000	70,44718	0	70,4	1000	59,03507	0	59,0	1000	59,03507	0	59,0	11,4
1250	69,80354	0,8	70,4	1250	57,89526	0,8	58,3	1250	57,89526	0,8	58,3	12,1
1600	69,01928	1	70,0	1600	55,8197	1	58,8	1600	55,8197	1	58,8	13,2
2000	69,85087	1,2	70,9	2000	55,21185	1,2	58,4	2000	55,21185	1,2	58,4	14,4
2500	69,15817	1,3	70,5	2500	54,81748	1,3	58,1	2500	54,81748	1,3	58,1	14,3
3150	69,71091	1,2	70,9	3150	54,45797	1,2	55,7	3150	54,45797	1,2	55,7	15,3
4000	68,11203	1	69,1	4000	52,91002	1	53,9	4000	52,91002	1	53,9	15,2
5000	66,2125	0,5	66,7	5000	50,28743	0,5	50,8	5000	50,28743	0,5	50,8	15,9
6300	62,87308	-0,1	62,8	6300	48,82824	-0,1	48,7	6300	48,82824	-0,1	48,7	16,0
8000	60,07811	-1,1	59,0	8000	43,32809	-1,1	42,2	8000	43,32809	-1,1	42,2	18,8
10000	53,81942	-2,5	51,1	10000	38,98197	-2,5	34,5	10000	38,98197	-2,5	34,5	18,7
12500	47,23598	-4,3	42,9	12500	29,70894	-4,3	25,4	12500	29,70894	-4,3	25,4	17,5
16000	41,58183	-8,8	35,0	16000	22,9975	-8,8	18,4	16000	22,9975	-8,8	18,4	18,8
20000	35,87083	-9,3	28,4	20000	17,54085	-9,3	8,2	20000	17,54085	-9,3	8,2	18,1
	91,5		82,8		83,1		70,8	delta dBA	12,1			

griglia2				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	Hz	Ueq terzi	pesatura	LAeq terzi	
12,50	80,00845	-83,4	18,8	12,50	72,05593	-83,4	8,7	12,50	71,88622	-83,4	8,7	8,0
16	79,04497	-86,7	22,3	16	71,889	-86,7	15,2	16	71,889	-86,7	15,2	7,2
20	77,01053	-50,5	28,5	20	70,45218	-50,5	20,0	20	70,45218	-50,5	20,0	6,8
25	80,5427	-44,7	35,8	25	78,82372	-44,7	31,9	25	78,82372	-44,7	31,9	3,9
31,50	81,15838	-39,4	41,8	31,50	78,02188	-39,4	38,8	31,50	78,02188	-39,4	38,8	3,1
40	78,07248	-34,8	43,5	40	75,80789	-34,8	41,2	40	75,80789	-34,8	41,2	2,3
50	81,24953	-30,2	51,0	50	87,71493	-30,2	37,5	50	87,71493	-30,2	37,5	13,5
63	80,53359	-28,2	54,3	63	88,55084	-28,2	42,4	63	88,55084	-28,2	42,4	12,0
80	79,80521	-22,5	57,3	80	70,18182	-22,5	47,7	80	70,18182	-22,5	47,7	9,8
100	80,20482	-19,1	61,1	100	71,06533	-19,1	52,0	100	71,06533	-19,1	52,0	9,1
125	83,55835	-16,1	67,5	125	72,2798	-16,1	58,2	125	72,2798	-16,1	58,2	11,3
160	77,02941	-13,4	63,6	160	69,31882	-13,4	55,9	160	69,31882	-13,4	55,9	7,7
200	75,29485	-10,9	64,4	200	67,51752	-10,9	58,8	200	67,51752	-10,9	58,8	7,8
250	83,57259	-8,6	75,0	250	82,32515	-8,6	53,7	250	82,32515	-8,6	53,7	21,2
315	74,85041	-8,8	68,1	315	81,70445	-8,8	55,1	315	81,70445	-8,8	55,1	12,9
400	74,273	-4,8	69,5	400	61,45329	-4,8	58,7	400	61,45329	-4,8	58,7	12,8
500	73,82042	-3,2	70,6	500	62,21736	-3,2	59,0	500	62,21736	-3,2	59,0	11,8
630	74,7887	-1,9	72,9	630	80,20373	-1,9	58,3	630	80,20373	-1,9	58,3	14,8
800	70,5207	-0,8	69,7	800	57,38785	-0,8	58,8	800	57,38785	-0,8	58,8	13,1
1000	70,9371	0	70,9	1000	58,32178	0	58,3	1000	58,32178	0	58,3	14,8
1250	69,28458	0,8	69,9	1250	55,03177	0,8	55,8	1250	55,03177	0,8	55,8	14,2
1600	68,08708	1	69,1	1600	53,40494	1	54,4	1600	53,40494	1	54,4	14,7
2000	68,40772	1,2	69,8	2000	51,98281	1,2	53,2	2000	51,98281	1,2	53,2	16,4
2500	67,10744	1,3	68,4	2500	50,90401	1,3	52,2	2500	50,90401	1,3	52,2	18,2
3150	67,7179	1,2	68,9	3150	50,88894	1,2	51,9	3150	50,88894	1,2	51,9	17,0
4000	68,40304	1	67,4	4000	49,38523	1	50,4	4000	49,38523	1	50,4	17,0
5000	64,23083	0,5	64,7	5000	48,97988	0,5	47,5	5000	48,97988	0,5	47,5	17,3
6300	60,71487	-0,1	60,6	6300	43,09575	-0,1	43,0	6300	43,09575	-0,1	43,0	17,8
8000	60,73459	-1,1	59,8	8000	43,48972	-1,1	42,4	8000	43,48972	-1,1	42,4	17,2
10000	55,1117	-2,5	52,8	10000	38,70993	-2,5	34,2	10000	38,70993	-2,5	34,2	18,4
12500	49,32045	-4,3	45,0	12500	30,18981	-4,3	25,9	12500	30,18981	-4,3	25,9	19,1
16000	46,8052	-8,8	40,2	16000	25,92318	-8,8	19,3	16000	25,92318	-8,8	19,3	20,9
20000	44,10328	-9,3	34,8	20000	22,37704	-9,3	13,1	20000	22,37704	-9,3	13,1	21,7
	92,3		82,2		84,3		68,0	delta dBA	14,2			

griglia3				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	
12,50	81,2173	-83,4	17,8	12,50	85,11047	-83,4	1,7	12,50	85,11047	-83,4	1,7	18,1
18	78,81838	-58,7	22,1	18	84,09109	-58,7	7,4	18	84,09109	-58,7	7,4	14,7
20	78,08962	-50,5	25,8	20	82,88332	-50,5	12,2	20	82,88332	-50,5	12,2	13,4
25	79,2734	-44,7	34,8	25	88,82348	-44,7	23,9	25	88,82348	-44,7	23,9	10,8
31,50	72,42842	-39,4	33,0	31,50	70,2384	-39,4	30,8	31,50	70,2384	-39,4	30,8	2,2
40	75,93528	-34,8	41,3	40	72,01438	-34,8	37,4	40	72,01438	-34,8	37,4	3,9
50	79,30848	-30,2	49,1	50	87,42881	-30,2	37,2	50	87,42881	-30,2	37,2	11,9
63	78,87373	-28,2	52,7	63	85,79893	-28,2	39,8	63	85,79893	-28,2	39,8	13,1
80	78,28858	-22,5	53,8	80	88,19005	-22,5	45,7	80	88,19005	-22,5	45,7	8,1
100	71,09005	-19,1	52,0	100	85,5157	-19,1	48,4	100	85,5157	-19,1	48,4	5,8
125	70,84832	-16,1	54,7	125	88,38567	-16,1	50,3	125	88,38567	-16,1	50,3	4,5
180	88,03593	-13,4	54,8	180	80,81958	-13,4	47,4	180	80,81958	-13,4	47,4	7,2
200	89,10059	-10,9	58,2	200	57,18435	-10,9	48,3	200	57,18435	-10,9	48,3	11,9
250	71,8483	-8,8	63,0	250	57,79918	-8,8	49,2	250	57,79918	-8,8	49,2	13,8
315	70,88551	-8,8	64,1	315	55,98355	-8,8	49,4	315	55,98355	-8,8	49,4	14,7
400	89,13589	-4,8	64,3	400	55,2881	-4,8	50,5	400	55,2881	-4,8	50,5	13,8
500	87,33784	-3,2	64,1	500	48,22808	-3,2	45,0	500	48,22808	-3,2	45,0	19,1
630	88,48338	-1,9	66,8	630	49,52887	-1,9	47,8	630	49,52887	-1,9	47,8	19,0
800	88,58328	-0,8	67,8	800	49,19182	-0,8	48,4	800	49,19182	-0,8	48,4	19,4
1000	87,77893	0	67,8	1000	50,32392	0	50,3	1000	50,32392	0	50,3	17,5
1250	88,75483	0,8	69,4	1250	51,44104	0,8	52,0	1250	51,44104	0,8	52,0	17,3
1800	87,15048	1	68,2	1800	47,15741	1	48,2	1800	47,15741	1	48,2	20,0
2000	88,95025	1,2	70,2	2000	47,52837	1,2	48,7	2000	47,52837	1,2	48,7	21,4
2500	70,08844	1,3	71,3	2500	49,88548	1,3	51,2	2500	49,88548	1,3	51,2	20,1
3150	72,84813	1,2	74,0	3150	52,46848	1,2	53,7	3150	52,46848	1,2	53,7	20,4
4000	70,35324	1	71,4	4000	49,10508	1	50,1	4000	49,10508	1	50,1	21,2
5000	88,87874	0,5	69,2	5000	48,92842	0,5	47,4	5000	48,92842	0,5	47,4	21,8
6300	85,48581	-0,1	65,4	6300	43,21387	-0,1	43,1	6300	43,21387	-0,1	43,1	22,3
8000	81,89143	-1,1	60,8	8000	37,81844	-1,1	38,7	8000	37,81844	-1,1	38,7	23,9
10000	58,33231	-2,5	53,8	10000	31,37755	-2,5	28,9	10000	31,37755	-2,5	28,9	25,0
12500	51,00972	-4,3	48,7	12500	24,97748	-4,3	20,7	12500	24,97748	-4,3	20,7	28,0
18000	45,3473	-8,8	38,7	18000	17,85528	-8,8	11,1	18000	17,85528	-8,8	11,1	27,7
20000	38,80818	-9,3	29,5	20000	13,1745	-9,3	3,9	20000	13,1745	-9,3	3,9	25,8
	88,9		80,8		78,4		62,3	delta dBA				18,5

griglia4				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	
12,50	73,87537	-63,4	10,5	12,50	88,78101	-63,4	3,4	12,50	88,78101	-63,4	3,4	7,1
18	71,42832	-58,7	14,7	18	84,03143	-58,7	7,3	18	84,03143	-58,7	7,3	7,4
20	73,04911	-50,5	22,5	20	85,94789	-50,5	15,4	20	85,94789	-50,5	15,4	7,1
25	75,87372	-44,7	31,0	25	89,49408	-44,7	24,8	25	89,49408	-44,7	24,8	8,2
31,50	75,18284	-39,4	35,8	31,50	89,34817	-39,4	29,9	31,50	89,34817	-39,4	29,9	5,8
40	75,22778	-34,8	40,8	40	73,38835	-34,8	38,8	40	73,38835	-34,8	38,8	1,8
50	83,05913	-30,2	52,9	50	71,84588	-30,2	41,8	50	71,84588	-30,2	41,8	11,2
63	79,40548	-28,2	53,2	63	83,82919	-28,2	37,4	63	83,82919	-28,2	37,4	15,8
80	75,70444	-22,5	53,2	80	85,88911	-22,5	43,4	80	85,88911	-22,5	43,4	9,8
100	72,028	-19,1	52,9	100	88,91775	-19,1	47,8	100	88,91775	-19,1	47,8	5,1
125	71,57483	-16,1	55,5	125	88,51741	-16,1	50,4	125	88,51741	-16,1	50,4	5,1
180	70,38223	-13,4	57,0	180	84,38967	-13,4	51,0	180	84,38967	-13,4	51,0	8,0
200	70,98287	-10,9	60,1	200	83,35445	-10,9	52,5	200	83,35445	-10,9	52,5	7,8
250	74,77548	-8,8	68,2	250	82,5947	-8,8	54,0	250	82,5947	-8,8	54,0	12,2
315	73,49887	-8,8	68,9	315	82,3055	-8,8	55,7	315	82,3055	-8,8	55,7	11,2
400	72,45442	-4,8	67,7	400	59,82399	-4,8	55,0	400	59,82399	-4,8	55,0	12,8
500	71,21853	-3,2	68,0	500	58,72038	-3,2	55,5	500	58,72038	-3,2	55,5	12,5
630	70,92875	-1,9	69,0	630	58,8297	-1,9	58,7	630	58,8297	-1,9	58,7	12,3
800	71,42257	-0,8	70,8	800	59,22004	-0,8	58,4	800	59,22004	-0,8	58,4	12,2
1000	71,32523	0	71,3	1000	58,88021	0	58,9	1000	58,88021	0	58,9	12,5
1250	71,44518	0,8	72,0	1250	58,8788	0,8	59,3	1250	58,8788	0,8	59,3	12,8
1800	89,27984	1	70,3	1800	58,1559	1	57,2	1800	58,1559	1	57,2	13,1
2000	71,3008	1,2	72,5	2000	58,50983	1,2	57,7	2000	58,50983	1,2	57,7	14,8
2500	73,81912	1,3	74,9	2500	57,48899	1,3	58,8	2500	57,48899	1,3	58,8	18,2
3150	78,87134	1,2	77,9	3150	80,54357	1,2	81,7	3150	80,54357	1,2	81,7	18,1
4000	73,17015	1	74,2	4000	58,87522	1	59,9	4000	58,87522	1	59,9	14,3
5000	71,70875	0,5	72,2	5000	57,26898	0,5	57,8	5000	57,26898	0,5	57,8	14,4
6300	88,78512	-0,1	68,7	6300	53,38498	-0,1	53,3	6300	53,38498	-0,1	53,3	15,4
8000	85,09338	-1,1	64,0	8000	49,04397	-1,1	47,9	8000	49,04397	-1,1	47,9	18,0
10000	60,81895	-2,5	58,1	10000	43,54822	-2,5	41,0	10000	43,54822	-2,5	41,0	17,1
12500	55,82591	-4,3	51,5	12500	37,98867	-4,3	33,7	12500	37,98867	-4,3	33,7	17,8
18000	50,24889	-8,8	43,8	18000	30,78729	-8,8	24,2	18000	30,78729	-8,8	24,2	19,5
20000	43,50341	-9,3	34,2	20000	22,09975	-9,3	12,8	20000	22,09975	-9,3	12,8	21,4
	89,1		83,9		79,9		69,9	delta dBA				14,0

griglia5				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	
12,50	80,18859	-83,4	18,8	12,50	85,51811	-83,4	2,1	12,50	85,51811	-83,4	2,1	14,7
18	70,03292	-58,7	13,3	18	81,8985	-58,7	5,2	18	81,8985	-58,7	5,2	8,1
20	88,18157	-50,5	17,7	20	81,58403	-50,5	11,1	20	81,58403	-50,5	11,1	8,8
25	78,15511	-44,7	31,5	25	84,8332	-44,7	20,1	25	84,8332	-44,7	20,1	11,3
31,50	78,33701	-39,4	38,9	31,50	89,52154	-39,4	30,1	31,50	89,52154	-39,4	30,1	8,8
40	79,01297	-34,8	44,4	40	70,82815	-34,8	38,2	40	70,82815	-34,8	38,2	8,2
50	84,8407	-30,2	54,8	50	77,85088	-30,2	47,7	50	77,85088	-30,2	47,7	7,0
63	81,45075	-28,2	55,3	63	70,99078	-28,2	44,8	63	70,99078	-28,2	44,8	10,5
80	78,03784	-22,5	53,5	80	87,80889	-22,5	45,1	80	87,80889	-22,5	45,1	8,4
100	74,07084	-19,1	55,0	100	87,88883	-19,1	48,8	100	87,88883	-19,1	48,8	8,2
125	78,9941	-18,1	80,9	125	86,4384	-18,1	50,3	125	86,4384	-18,1	50,3	10,8
180	78,14899	-13,4	82,7	180	85,88434	-13,4	52,3	180	85,88434	-13,4	52,3	10,5
200	79,24789	-10,9	88,3	200	84,04027	-10,9	53,1	200	84,04027	-10,9	53,1	15,2
250	77,80029	-8,8	89,2	250	59,88509	-8,8	51,1	250	59,88509	-8,8	51,1	18,1
315	78,90014	-8,8	70,3	315	82,20185	-8,8	55,8	315	82,20185	-8,8	55,8	14,7
400	73,21278	-4,8	88,4	400	80,27227	-4,8	55,5	400	80,27227	-4,8	55,5	12,9
500	71,9291	-3,2	88,7	500	54,80579	-3,2	51,8	500	54,80579	-3,2	51,8	17,1
630	73,40889	-1,9	71,5	630	58,53859	-1,9	54,8	630	58,53859	-1,9	54,8	18,9
800	74,52728	-0,8	73,7	800	58,77884	-0,8	58,0	800	58,77884	-0,8	58,0	17,7
1000	75,15924	0	75,2	1000	57,40789	0	57,4	1000	57,40789	0	57,4	17,8
1250	74,825	0,8	75,4	1250	58,98153	0,8	57,8	1250	58,98153	0,8	57,8	17,8
1800	73,11319	1	74,1	1800	55,82741	1	58,8	1800	55,82741	1	58,8	17,3
2000	74,47134	1,2	75,7	2000	55,25109	1,2	58,5	2000	55,25109	1,2	58,5	19,2
2500	75,31485	1,3	78,8	2500	58,79201	1,3	58,1	2500	58,79201	1,3	58,1	18,5
3150	77,5899	1,2	78,8	3150	58,98114	1,2	80,2	3150	58,98114	1,2	80,2	18,8
4000	75,58327	1	78,8	4000	58,28303	1	57,3	4000	58,28303	1	57,3	19,3
5000	74,51885	0,5	75,0	5000	54,4478	0,5	54,9	5000	54,4478	0,5	54,9	20,1
6300	71,54001	-0,1	71,4	6300	51,07992	-0,1	51,0	6300	51,07992	-0,1	51,0	20,5
8000	88,37498	-1,1	87,3	8000	48,88147	-1,1	45,8	8000	48,88147	-1,1	45,8	21,5
10000	84,44735	-2,5	81,9	10000	40,88	-2,5	38,4	10000	40,88	-2,5	38,4	23,8
12500	80,85053	-4,3	58,4	12500	35,58417	-4,3	31,3	12500	35,58417	-4,3	31,3	25,1
18000	58,90092	-8,8	50,3	18000	30,19823	-8,8	23,8	18000	30,19823	-8,8	23,8	28,7
20000	53,87818	-9,3	44,4	20000	24,98788	-9,3	15,7	20000	24,98788	-9,3	15,7	28,7
	91,8		88,4		81,3		68,5	delta dBA	17,8			

griglia6				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	
12,50	82,52963	-83,4	19,1	12,50	72,19908	-83,4	8,8	12,50	72,19908	-83,4	8,8	10,3
18	81,075	-58,7	24,4	18	70,54238	-58,7	13,8	18	70,54238	-58,7	13,8	10,5
20	75,82231	-50,5	25,1	20	73,53412	-50,5	23,0	20	73,53412	-50,5	23,0	2,1
25	79,42708	-44,7	34,7	25	88,94838	-44,7	24,2	25	88,94838	-44,7	24,2	10,5
31,50	80,03102	-39,4	40,8	31,50	71,82871	-39,4	32,2	31,50	71,82871	-39,4	32,2	8,4
40	81,89195	-34,8	47,3	40	74,95988	-34,8	40,4	40	74,95988	-34,8	40,4	8,9
50	88,88888	-30,2	58,5	50	75,85885	-30,2	45,7	50	75,85885	-30,2	45,7	12,8
63	84,81018	-28,2	58,4	63	70,84813	-28,2	44,4	63	70,84813	-28,2	44,4	14,0
80	78,7218	-22,5	58,2	80	71,28284	-22,5	48,8	80	71,28284	-22,5	48,8	7,5
100	78,29828	-19,1	59,2	100	89,14702	-19,1	50,0	100	89,14702	-19,1	50,0	9,2
125	80,48929	-18,1	84,4	125	89,22239	-18,1	53,1	125	89,22239	-18,1	53,1	11,2
180	78,84882	-13,4	83,2	180	87,92107	-13,4	54,5	180	87,92107	-13,4	54,5	8,7
200	73,97898	-10,9	83,1	200	84,79048	-10,9	53,9	200	84,79048	-10,9	53,9	9,2
250	73,19848	-8,8	84,8	250	81,22537	-8,8	52,8	250	81,22537	-8,8	52,8	12,0
315	72,51847	-8,8	85,9	315	57,23819	-8,8	50,8	315	57,23819	-8,8	50,8	15,3
400	72,85477	-4,8	88,1	400	55,93248	-4,8	51,1	400	55,93248	-4,8	51,1	18,9
500	89,24404	-3,2	88,0	500	54,74529	-3,2	51,5	500	54,74529	-3,2	51,5	14,5
630	89,87284	-1,9	87,8	630	57,38831	-1,9	55,5	630	57,38831	-1,9	55,5	12,3
800	70,77151	-0,8	70,0	800	58,21853	-0,8	55,4	800	58,21853	-0,8	55,4	14,8
1000	89,70571	0	89,7	1000	53,78375	0	53,8	1000	53,78375	0	53,8	15,9
1250	70,00802	0,8	70,8	1250	58,79124	0,8	57,4	1250	58,79124	0,8	57,4	13,2
1800	89,15135	1	70,2	1800	55,1831	1	58,2	1800	55,1831	1	58,2	14,0
2000	70,9894	1,2	72,2	2000	58,8818	1,2	57,9	2000	58,8818	1,2	57,9	14,3
2500	70,89017	1,3	72,2	2500	58,88921	1,3	58,0	2500	58,88921	1,3	58,0	14,2
3150	72,80015	1,2	74,0	3150	58,07804	1,2	59,3	3150	58,07804	1,2	59,3	14,7
4000	71,09358	1	72,1	4000	58,18342	1	57,2	4000	58,18342	1	57,2	14,9
5000	89,77858	0,5	70,3	5000	54,92548	0,5	55,4	5000	54,92548	0,5	55,4	14,9
6300	88,80314	-0,1	88,7	6300	51,5734	-0,1	51,5	6300	51,5734	-0,1	51,5	15,2
8000	83,28823	-1,1	82,2	8000	47,58341	-1,1	48,5	8000	47,58341	-1,1	48,5	15,7
10000	58,59743	-2,5	58,1	10000	43,89888	-2,5	41,2	10000	43,89888	-2,5	41,2	14,9
12500	53,70151	-4,3	49,4	12500	38,90289	-4,3	32,8	12500	38,90289	-4,3	32,8	18,8
18000	48,08483	-8,8	41,5	18000	30,78895	-8,8	24,2	18000	30,78895	-8,8	24,2	17,3
20000	41,18248	-9,3	31,9	20000	23,12443	-9,3	13,8	20000	23,12443	-9,3	13,8	18,0
	93,5		82,2		83,0		68,2	delta dBA	14,0			

griglia7

LATO B

Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi
12,50	78,82739	-83,4	13,4
18	78,32721	-58,7	19,8
20	78,3894	-50,5	25,9
25	80,39088	-44,7	35,7
31,50	79,12923	-39,4	39,7
40	85,77082	-34,8	51,2
50	89,51251	-30,2	59,3
63	87,48182	-28,2	61,3
80	79,30143	-22,5	58,8
100	78,38478	-19,1	57,3
125	81,18103	-16,1	65,1
160	80,12952	-13,4	66,7
200	78,80833	-10,9	67,9
250	77,41729	-8,6	68,8
315	74,35882	-6,8	67,8
400	75,55444	-4,8	70,8
500	73,24455	-3,2	70,0
630	72,19114	-1,9	70,3
800	72,0805	-0,8	71,3
1000	71,48282	0	71,5
1250	70,92322	0,8	71,5
1600	69,82225	1	70,8
2000	70,80818	1,2	71,8
2500	70,41113	1,3	71,7
3150	71,05317	1,2	72,3
4000	69,4087	1	70,4
5000	67,82512	0,5	68,1
6300	64,34812	-0,1	64,2
8000	61,08388	-1,1	60,0
10000	55,5188	-2,5	53,0
12500	49,04548	-4,3	44,7
16000	42,47882	-6,8	35,9
20000	38,29189	-9,3	27,0
	94,6		82,7

LATO A

Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi
12,50	87,11435	-83,4	3,7
18	88,23408	-58,7	11,5
20	89,98925	-50,5	19,5
25	89,57897	-44,7	24,9
31,50	71,53015	-39,4	32,1
40	75,13771	-34,8	40,5
50	77,07187	-30,2	48,9
63	72,87148	-28,2	48,7
80	69,50337	-22,5	47,0
100	69,9189	-19,1	50,8
125	69,38541	-16,1	53,3
160	88,01398	-13,4	54,8
200	88,03325	-10,9	55,1
250	84,72374	-8,6	58,1
315	59,51372	-6,8	52,9
400	59,07703	-4,8	54,3
500	58,8943	-3,2	53,5
630	53,80143	-1,9	51,9
800	53,89202	-0,8	53,1
1000	53,80544	0	53,8
1250	55,5488	0,8	58,1
1600	52,18885	1	53,2
2000	52,14197	1,2	53,3
2500	53,58873	1,3	54,9
3150	54,08398	1,2	55,3
4000	52,47428	1	53,5
5000	50,81388	0,5	51,3
6300	48,8889	-0,1	48,8
8000	42,25881	-1,1	41,2
10000	35,7081	-2,5	33,2
12500	28,77122	-4,3	24,5
16000	21,12111	-6,8	14,5
20000	15,52232	-9,3	8,2
	82,9		68,7

delta [dBA]
in frequenzadelta dBA
16,0

griglia8

LATO B

Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi
12,50	75,87925	-83,4	12,3
18	78,70394	-58,7	20,0
20	78,5859	-50,5	28,1
25	79,84803	-44,7	34,9
31,50	79,15281	-39,4	39,8
40	78,14178	-34,8	43,5
50	84,23819	-30,2	54,0
63	83,04989	-28,2	58,8
80	81,20305	-22,5	58,7
100	80,79913	-19,1	61,7
125	81,82343	-16,1	65,5
160	77,83088	-13,4	64,4
200	77,50559	-10,9	66,8
250	82,98532	-8,6	74,4
315	78,41125	-6,8	69,8
400	78,25841	-4,8	73,5
500	74,80711	-3,2	71,8
630	73,8788	-1,9	71,8
800	72,78883	-0,8	72,0
1000	71,81458	0	71,8
1250	71,08021	0,8	71,7
1600	69,97722	1	71,0
2000	70,87578	1,2	72,1
2500	70,82871	1,3	71,9
3150	71,30817	1,2	72,5
4000	69,78893	1	70,8
5000	67,91088	0,5	68,4
6300	64,57178	-0,1	64,5
8000	61,42357	-1,1	60,3
10000	55,81823	-2,5	53,1
12500	48,88154	-4,3	44,8
16000	42,02182	-6,8	35,4
20000	35,95337	-9,3	28,7
	92,8		83,7

LATO A

Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi
12,50	69,22564	-83,4	5,8
18	65,48785	-58,7	8,8
20	69,0478	-50,5	18,5
25	67,3289	-44,7	22,8
31,50	71,48243	-39,4	32,1
40	77,48377	-34,8	42,9
50	78,80809	-30,2	48,4
63	73,52992	-28,2	47,3
80	72,01194	-22,5	49,5
100	74,3587	-19,1	55,3
125	72,94174	-16,1	58,8
160	68,22202	-13,4	54,8
200	65,23418	-10,9	54,3
250	84,30252	-8,6	55,7
315	61,72852	-6,8	55,1
400	62,19544	-4,8	57,4
500	58,87287	-3,2	53,7
630	58,33055	-1,9	54,4
800	57,12233	-0,8	58,3
1000	57,13538	0	57,1
1250	57,04965	0,8	57,8
1600	53,09801	1	54,1
2000	54,26444	1,2	55,5
2500	54,93538	1,3	58,2
3150	55,38503	1,2	58,8
4000	53,30148	1	54,3
5000	51,17078	0,5	51,7
6300	47,17538	-0,1	47,1
8000	43,87798	-1,1	42,8
10000	38,1727	-2,5	33,7
12500	29,05423	-4,3	24,8
16000	21,58803	-6,8	15,0
20000	14,91871	-9,3	5,8
	84,4		68,4

delta [dBA]
in frequenzadelta dBA
15,3

griglia9				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	
12,50	78,23906	-63,4	14,8	12,50	68,43278	-63,4	5,0	12,50	68,43278	-63,4	5,0	9,8
18	73,82373	-56,7	17,1	18	65,87759	-56,7	9,2	18	65,87759	-56,7	9,2	7,9
20	77,29452	-50,5	26,8	20	68,3318	-50,5	17,8	20	68,3318	-50,5	17,8	9,0
25	77,95858	-44,7	33,3	25	68,38399	-44,7	23,7	25	68,38399	-44,7	23,7	9,6
31,50	83,23714	-39,4	43,8	31,50	66,80481	-39,4	27,2	31,50	66,80481	-39,4	27,2	16,6
40	83,41281	-34,8	48,8	40	74,83829	-34,8	40,2	40	74,83829	-34,8	40,2	8,8
50	87,85372	-30,2	57,7	50	78,78147	-30,2	46,8	50	78,78147	-30,2	46,8	11,1
63	83,43178	-26,2	57,2	63	70,64029	-26,2	44,4	63	70,64029	-26,2	44,4	12,8
80	82,10175	-22,5	59,6	80	71,17826	-22,5	48,7	80	71,17826	-22,5	48,7	10,9
100	78,02381	-19,1	56,9	100	66,39449	-19,1	47,3	100	66,39449	-19,1	47,3	11,8
125	78,71651	-16,1	60,6	125	69,81648	-16,1	53,7	125	69,81648	-16,1	53,7	6,9
160	78,65394	-13,4	63,3	160	68,5418	-13,4	55,1	160	68,5418	-13,4	55,1	8,1
200	79,10887	-10,9	66,2	200	63,02218	-10,9	52,1	200	63,02218	-10,9	52,1	16,1
250	75,97192	-8,6	67,4	250	63,06443	-8,6	54,5	250	63,06443	-8,6	54,5	12,9
315	75,29031	-6,6	68,7	315	60,69069	-6,6	54,1	315	60,69069	-6,6	54,1	14,6
400	74,60974	-4,8	69,8	400	59,79113	-4,8	55,0	400	59,79113	-4,8	55,0	14,8
500	72,16719	-3,2	69,0	500	54,98738	-3,2	51,8	500	54,98738	-3,2	51,8	17,2
630	73,21397	-1,9	71,3	630	52,96208	-1,9	51,1	630	52,96208	-1,9	51,1	20,3
800	72,81189	-0,8	71,8	800	53,90213	-0,8	53,1	800	53,90213	-0,8	53,1	18,7
1000	71,85168	0	71,7	1000	53,62501	0	53,6	1000	53,62501	0	53,6	18,0
1250	70,93183	0,6	71,5	1250	52,53619	0,6	53,1	1250	52,53619	0,6	53,1	18,4
1600	69,72475	1	70,7	1600	49,68069	1	50,7	1600	49,68069	1	50,7	20,0
2000	70,50294	1,2	71,7	2000	50,27873	1,2	51,5	2000	50,27873	1,2	51,5	20,2
2500	70,08747	1,3	71,4	2500	50,79231	1,3	52,1	2500	50,79231	1,3	52,1	19,3
3150	70,73824	1,2	71,9	3150	50,38179	1,2	51,8	3150	50,38179	1,2	51,8	20,4
4000	68,99469	1	70,0	4000	49,02048	1	50,0	4000	49,02048	1	50,0	20,0
5000	67,01662	0,5	67,5	5000	46,75887	0,5	47,3	5000	46,75887	0,5	47,3	20,3
6300	63,46228	-0,1	63,4	6300	42,06896	-0,1	42,0	6300	42,06896	-0,1	42,0	21,4
8000	60,31936	-1,1	59,2	8000	38,7046	-1,1	37,8	8000	38,7046	-1,1	37,8	21,6
10000	54,52342	-2,5	52,0	10000	31,33236	-2,5	28,8	10000	31,33236	-2,5	28,8	23,2
12500	47,89421	-4,3	43,6	12500	23,81791	-4,3	19,5	12500	23,81791	-4,3	19,5	24,1
16000	41,64799	-6,6	35,0	16000	15,87872	-6,6	9,1	16000	15,87872	-6,6	9,1	26,0
20000	36,83923	-9,3	27,3	20000	11,15946	-9,3	1,9	20000	11,15946	-9,3	1,9	25,5
	93,2		82,4		82,1		65,4					delta dBA 17,1

Tab. 5.23 - Misure acustiche effettuate prima dell'intervento di bonifica acustica progettato

5.9.3 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA ACUSTICA

Successivamente all'elaborazione dei dati sopra riportati si è provveduto alla progettazione della coibentazione/assorbimento di porzioni delle bocche di lupo delle griglie, utilizzando le formulazioni teoriche sopra proposte.

Tipologia 1) Pannello sandwich con lana minerale e lamiera in acciaio verniciato con antirumore (lato interno microforato) spessore 100 mm:

- diametro fori: 3 mm
- passo fori: 5 mm
- percentuale di foratura: 15%
- spessore lamiera forata: 0,5 mm
- spessore lamiera grecata: 0,6 mm
- densità lana minerale: 100 kg/m³

Di seguito viene riportato il coefficiente di assorbimento alle varie frequenze:

Hz	α
100	0,45
125	0,61
160	0,65
200	0,82
250	0,95
315	1
400	1
500	1
630	1
800	1
1000	1
1250	1
1600	1
2000	0,98
2500	0,94
3150	0,92
4000	0,89
5000	0,89

Tab. 5.24 - Coefficiente di assorbimento

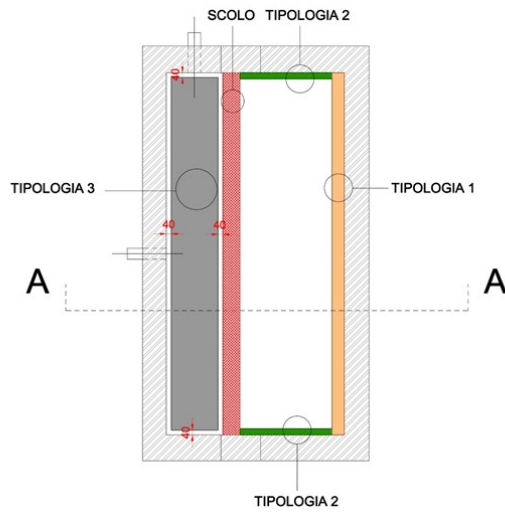
Tipologia 2) Pannello sandwich con lana minerale e lamiera in acciaio verniciato antirombo (lato interno microforato) spessore 50 mm:

- diametro fori: 3 mm
- passo fori: 5 mm
- percentuale di foratura: 15%
- spessore lamiera forata: 0,5 mm
- spessore lamiera grecata: 0,6 mm
- densità lana minerale: 100 kg/m³

Tipologia 3) Risonatore a membrana costituito da una lamina di acciaio spessore 5/10 mm distanziata 4 cm dalla struttura di base inferiore (il risonatore in pianta sarà installato a distanza di 4cm per ogni lato dalla struttura di base):

- Spessore lamina di acciaio 5/10 mm (densità 7500 kg/m³)
- Intercapedine aria 40 mm

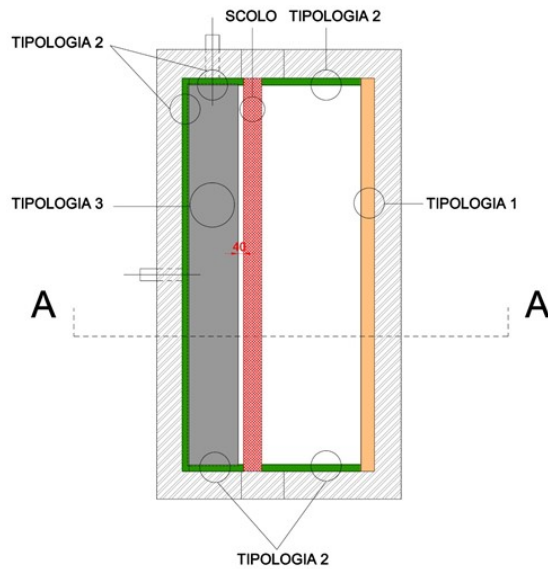
PIANTA_Y-Y
RISONATORE A MEMBRANA



LEGENDA:

TIPOLOGIA1: ITALPANNELLI SP.100 mm
TIPOLOGIA2: ITALPANNELLI SP. 50 mm
TIPOLOGIA 3: RISONATORE A MEMBRANA
(lastra in acciaio) sp. 5/10 mm

PIANTA_X-X
SOVRAPPOSIZIONE RISONATORE
A MEMBRANA E ITALPANNELLI



LEGENDA:

TIPOLOGIA1: ITALPANNELLI SP.100 mm
TIPOLOGIA2: ITALPANNELLI SP. 50 mm
TIPOLOGIA 3: RISONATORE A MEMBRANA
(lastra in acciaio) sp. 5/10 mm

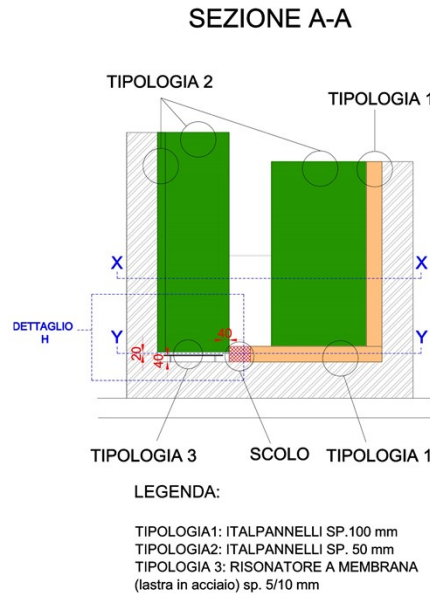


Fig. 5.26 - Progetto degli interventi di bonifica acustica

La progettazione degli interventi di bonifica acustica è avvenuta sulla base di un calcolo teorico dell'abbattimento acustico previsto utilizzando le formule già indicate. Da tali calcoli l'abbattimento teorico previsto è di circa 12-14 dB.

5.9.4 MISURA POST INTERVENTI DI BONIFICA

Le misurazioni sono state effettuate, in corrispondenza di ciascuna griglia, sia sulla parte interna dell'edificio (postazioni B) sia in quella esterna (postazioni A).

Le misurazioni sono state effettuate con la caldaia (denominata B90ZE003) accesa. Viene di seguito riportata la tabella con le misure effettuate.

IDENTIFICATIVO	POSIZIONE		LAeq	COMMENTO
Griglia 1	A	No turb.	49,3	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 2	A	No turb.	54,9	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 3	A	No turb.	58,8	Caldaia B90ZE003 operativa – CT 3150 Hz
Griglia 4	A	No turb.	64	Caldaia B90ZE003 operativa– CT 3150 Hz
Griglia 5	A	No turb.	61,3	Caldaia B90ZE003 operativa– CT 3150 Hz
Griglia 6	A	No turb.	62,9	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 7	A	No turb.	55,5	Caldaia B90ZE003 operativa

Griglia 8	A	No turb.	52,7	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 9	A	No turb.	49,5	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 1	B	No turb.	69	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 2	B	No turb.	71,5	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 3	B	No turb.	78	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 4	B	No turb.	80	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 5	B	No turb.	81,4	Caldaia B90ZE003 operativa-CT 3150 Hz
Griglia 6	B	No turb.	78,8	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 7	B	No turb.	85,7	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 8	B	No turb.	78,1	Caldaia B90ZE003 operativa
Griglia 9	B	No turb.	75,1	Caldaia B90ZE003 operativa

Tab. 5.25 - Tabella delle misure effettuate post operam

Dopo il campionamento nelle varie postazioni di misura si è provveduto a calcolare l'abbattimento acustico equivalente, per ciascuna banda di terzi di ottava (livello di pressione sonora interno – livello di pressione sonora esterno). E' stata altresì effettuata l'analisi delle eventuali componenti tonali. I risultati sono di seguito presentati.

griglia 1				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	Hz	L _{eq} terzi	pesatura	L _{Aeq} terzi	
12,50	72,54797	-83,4	9,1	12,50	61,26194	-83,4	-2,1	12,50	61,26194	-83,4	-2,1	11,3
16	70,78158	-58,7	14,1	16	60,55235	-58,7	3,9	16	60,55235	-58,7	3,9	10,2
20	74,49267	-50,5	24,0	20	66,03518	-50,5	15,5	20	66,03518	-50,5	15,5	8,5
25	72,80277	-44,7	28,1	25	67,34631	-44,7	22,6	25	67,34631	-44,7	22,6	5,5
31,50	63,98078	-39,4	24,6	31,50	59,78004	-39,4	20,4	31,50	59,78004	-39,4	20,4	4,2
40	68,34324	-34,6	33,7	40	58,77905	-34,6	22,2	40	58,77905	-34,6	22,2	11,8
50	74,88114	-30,2	44,7	50	58,92697	-30,2	28,7	50	58,92697	-30,2	28,7	15,9
63	82,18435	-26,2	56,0	63	68,45813	-26,2	42,3	63	68,45813	-26,2	42,3	13,7
80	72,08749	-22,5	49,6	80	62,47413	-22,5	40,0	80	62,47413	-22,5	40,0	9,8
100	61,76888	-19,1	42,7	100	51,18169	-19,1	32,1	100	51,18169	-19,1	32,1	10,8
125	64,48746	-16,1	48,4	125	49,92649	-16,1	33,8	125	49,92649	-16,1	33,8	14,6
160	66,33843	-13,4	52,9	160	52,20558	-13,4	38,8	160	52,20558	-13,4	38,8	14,1
200	64,30257	-10,9	53,4	200	47,10341	-10,9	36,2	200	47,10341	-10,9	36,2	17,2
250	61,75844	-8,6	53,2	250	38,44667	-8,6	29,8	250	38,44667	-8,6	29,8	23,3
315	58,88091	-6,8	52,1	315	39,57216	-6,8	33,0	315	39,57216	-6,8	33,0	19,1
400	53,0477	-4,8	48,2	400	33,37471	-4,8	28,6	400	33,37471	-4,8	28,6	19,7
500	56,29788	-3,2	53,1	500	35,90888	-3,2	32,7	500	35,90888	-3,2	32,7	20,4
630	59,95461	-1,9	58,1	630	38,60894	-1,9	36,7	630	38,60894	-1,9	36,7	21,3
800	58,60225	-0,8	57,8	800	38,90342	-0,8	38,1	800	38,90342	-0,8	38,1	19,7
1000	57,84069	0	57,8	1000	35,79274	0	35,8	1000	35,79274	0	35,8	22,0
1250	57,62277	0,6	58,2	1250	35,09815	0,6	35,7	1250	35,09815	0,6	35,7	22,5
1600	57,48662	1	58,5	1600	34,31498	1	35,3	1600	34,31498	1	35,3	23,2
2000	57,98365	1,2	59,2	2000	34,78817	1,2	36,0	2000	34,78817	1,2	36,0	23,2
2500	58,25977	1,3	59,6	2500	34,26904	1,3	35,6	2500	34,26904	1,3	35,6	24,0
3150	58,61261	1,2	59,8	3150	34,31911	1,2	35,5	3150	34,31911	1,2	35,5	24,3
4000	53,7844	1	54,8	4000	29,78076	1	30,8	4000	29,78076	1	30,8	24,0
5000	51,20857	0,5	51,7	5000	25,79752	0,5	26,3	5000	25,79752	0,5	26,3	25,4
6300	48,16841	-0,1	48,1	6300	22,68539	-0,1	22,6	6300	22,68539	-0,1	22,6	25,5
8000	43,50002	-1,1	42,4	8000	19,32874	-1,1	18,2	8000	19,32874	-1,1	18,2	24,2
10000	37,91924	-2,5	35,4	10000	16,1716	-2,5	13,7	10000	16,1716	-2,5	13,7	21,7
12500	30,74491	-4,3	26,4	12500	13,34355	-4,3	9,0	12500	13,34355	-4,3	9,0	17,4
16000	21,98973	-8,6	15,4	16000	11,13761	-8,6	4,5	16000	11,13761	-8,6	4,5	10,9
20000	14,72146	-9,3	5,4	20000	11,3077	-9,3	2,0	20000	11,3077	-9,3	2,0	3,4
	85,0		69,1		73,7		49,3	delta dBA			19,8	

griglia2				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	
12,50	70,854	-83,4	7,5	12,50	83,0278	-83,4	-0,4	12,50	83,0278	-83,4	-0,4	7,8
18	70,45039	-58,7	13,8	18	82,98096	-58,7	8,3	18	82,98096	-58,7	8,3	7,5
20	88,54538	-50,5	18,0	20	81,92568	-50,5	11,4	20	81,92568	-50,5	11,4	8,8
25	71,87724	-44,7	27,0	25	83,81489	-44,7	19,1	25	83,81489	-44,7	19,1	7,9
31,50	82,73111	-39,4	23,3	31,50	59,01047	-39,4	19,8	31,50	59,01047	-39,4	19,8	3,7
40	85,99888	-34,8	31,4	40	59,29051	-34,8	24,7	40	59,29051	-34,8	24,7	8,7
50	89,36282	-30,2	39,2	50	57,90611	-30,2	27,7	50	57,90611	-30,2	27,7	11,5
63	74,99827	-28,2	48,8	63	81,57534	-28,2	35,4	63	81,57534	-28,2	35,4	13,4
80	89,01807	-22,5	48,5	80	59,79514	-22,5	37,3	80	59,79514	-22,5	37,3	9,2
100	88,72929	-19,1	47,8	100	53,78898	-19,1	34,7	100	53,78898	-19,1	34,7	12,9
125	85,42813	-16,1	49,3	125	55,15103	-16,1	39,1	125	55,15103	-16,1	39,1	10,3
160	84,01955	-13,4	50,8	160	53,85327	-13,4	40,5	160	53,85327	-13,4	40,5	10,2
200	71,83999	-10,9	60,7	200	55,47508	-10,9	44,8	200	55,47508	-10,9	44,8	18,2
250	88,08858	-8,8	57,5	250	48,51081	-8,8	39,9	250	48,51081	-8,8	39,9	17,8
315	81,85241	-8,8	55,1	315	49,89018	-8,8	43,3	315	49,89018	-8,8	43,3	11,8
400	58,15828	-4,8	53,4	400	43,20543	-4,8	38,4	400	43,20543	-4,8	38,4	15,0
500	59,95308	-3,2	58,8	500	44,27228	-3,2	41,1	500	44,27228	-3,2	41,1	15,7
630	81,09713	-1,9	59,2	630	48,18724	-1,9	44,3	630	48,18724	-1,9	44,3	14,9
800	81,08252	-0,8	60,3	800	48,18071	-0,8	45,4	800	48,18071	-0,8	45,4	14,9
1000	80,01328	0	60,0	1000	43,82427	0	43,8	1000	43,82427	0	43,8	18,2
1250	80,55184	0,8	61,2	1250	44,14342	0,8	44,7	1250	44,14342	0,8	44,7	18,4
1600	59,89687	1	60,7	1600	43,38928	1	44,4	1600	43,38928	1	44,4	18,3
2000	59,94187	1,2	61,1	2000	42,5048	1,2	43,7	2000	42,5048	1,2	43,7	17,4
2500	80,4377	1,3	61,7	2500	40,88121	1,3	42,2	2500	40,88121	1,3	42,2	19,8
3150	81,95898	1,2	63,2	3150	40,59956	1,2	41,8	3150	40,59956	1,2	41,8	21,4
4000	55,77593	1	58,8	4000	35,29534	1	38,3	4000	35,29534	1	38,3	20,5
5000	52,91078	0,5	53,4	5000	33,40621	0,5	33,9	5000	33,40621	0,5	33,9	19,5
6300	49,88108	-0,1	49,8	6300	29,75442	-0,1	29,7	6300	29,75442	-0,1	29,7	20,1
8000	45,09897	-1,1	44,0	8000	25,39891	-1,1	24,3	8000	25,39891	-1,1	24,3	19,7
10000	39,83895	-2,5	37,1	10000	21,28439	-2,5	18,8	10000	21,28439	-2,5	18,8	18,4
12500	33,32798	-4,3	29,0	12500	18,87098	-4,3	12,8	12500	18,87098	-4,3	12,8	18,5
16000	25,35032	-8,8	18,8	16000	12,9198	-8,8	8,3	16000	12,9198	-8,8	8,3	12,4
20000	19,39382	-9,3	10,1	20000	11,88774	-9,3	2,4	20000	11,88774	-9,3	2,4	7,7
	81,5		71,5		71,5		55,0					delta dBA 16,5

griglia3				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L Aeq terzi	
12,50	73,84717	-83,4	10,2	12,50	80,27878	-83,4	-3,1	12,50	80,27878	-83,4	-3,1	13,4
18	71,83298	-58,7	15,1	18	57,70267	-58,7	1,0	18	57,70267	-58,7	1,0	14,1
20	89,35835	-50,5	18,9	20	58,88794	-50,5	8,2	20	58,88794	-50,5	8,2	10,7
25	72,18224	-44,7	27,5	25	81,80828	-44,7	17,1	25	81,80828	-44,7	17,1	10,4
31,50	83,59203	-39,4	24,2	31,50	81,89379	-39,4	22,5	31,50	81,89379	-39,4	22,5	1,7
40	82,74711	-34,8	28,1	40	81,0881	-34,8	28,5	40	81,0881	-34,8	28,5	1,7
50	87,02492	-30,2	38,8	50	58,49593	-30,2	28,3	50	58,49593	-30,2	28,3	10,5
63	73,40363	-28,2	47,2	63	83,43888	-28,2	37,2	63	83,43888	-28,2	37,2	10,0
80	84,82735	-22,5	42,1	80	59,47771	-22,5	37,0	80	59,47771	-22,5	37,0	5,1
100	84,78237	-19,1	45,7	100	58,42481	-19,1	37,3	100	58,42481	-19,1	37,3	8,3
125	88,88198	-16,1	50,8	125	52,9288	-16,1	38,8	125	52,9288	-16,1	38,8	13,9
160	88,87811	-13,4	53,5	160	51,50894	-13,4	38,1	160	51,50894	-13,4	38,1	15,4
200	88,82148	-10,9	55,9	200	49,34946	-10,9	38,4	200	49,34946	-10,9	38,4	17,5
250	89,8282	-8,8	61,2	250	47,43913	-8,8	38,8	250	47,43913	-8,8	38,8	22,4
315	72,15232	-8,8	65,8	315	49,29288	-8,8	42,7	315	49,29288	-8,8	42,7	22,9
400	88,73983	-4,8	63,9	400	47,99737	-4,8	43,2	400	47,99737	-4,8	43,2	20,7
500	88,08221	-3,2	62,9	500	49,82319	-3,2	48,8	500	49,82319	-3,2	48,8	18,3
630	87,04599	-1,9	65,1	630	50,24183	-1,9	48,3	630	50,24183	-1,9	48,3	18,8
800	87,88888	-0,8	66,9	800	47,15851	-0,8	48,4	800	47,15851	-0,8	48,4	20,5
1000	87,3953	0	67,4	1000	47,54298	0	47,5	1000	47,54298	0	47,5	19,9
1250	84,88424	0,8	65,3	1250	44,11314	0,8	44,7	1250	44,11314	0,8	44,7	20,8
1600	83,0588	1	64,1	1600	42,51423	1	43,5	1600	42,51423	1	43,5	20,5
2000	82,38948	1,2	63,8	2000	42,11878	1,2	43,3	2000	42,11878	1,2	43,3	20,3
2500	87,9803	1,3	69,3	2500	48,19883	1,3	49,5	2500	48,19883	1,3	49,5	19,8
3150	71,83198	1,2	73,0	3150	53,23899	1,2	54,4	3150	53,23899	1,2	54,4	18,8
4000	59,81157	1	60,8	4000	40,09217	1	41,1	4000	40,09217	1	41,1	19,7
5000	57,3227	0,5	57,8	5000	38,58927	0,5	37,1	5000	38,58927	0,5	37,1	20,7
6300	55,7039	-0,1	55,8	6300	33,89294	-0,1	33,8	6300	33,89294	-0,1	33,8	21,8
8000	52,09493	-1,1	51,0	8000	29,97335	-1,1	28,9	8000	29,97335	-1,1	28,9	22,1
10000	47,59158	-2,5	45,1	10000	24,30335	-2,5	21,8	10000	24,30335	-2,5	21,8	23,3
12500	43,80834	-4,3	39,5	12500	19,82788	-4,3	15,3	12500	19,82788	-4,3	15,3	24,2
16000	37,982	-8,8	31,4	16000	15,34928	-8,8	8,7	16000	15,34928	-8,8	8,7	22,8
20000	33,79338	-9,3	24,5	20000	12,88117	-9,3	3,8	20000	12,88117	-9,3	3,8	20,9
	83,0		78,0		70,8		58,8					delta dBA 19,2

griglia4				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	
12,50	64,93019	-83,4	1,5	12,50	57,5188	-83,4	-5,9	12,50	57,5188	-83,4	-5,9	7,4
18	62,59299	-58,7	5,9	18	56,7854	-58,7	0,1	18	56,7854	-58,7	0,1	5,8
20	68,83743	-50,5	18,3	20	62,15638	-50,5	11,7	20	62,15638	-50,5	11,7	6,7
25	71,23818	-44,7	26,5	25	64,69846	-44,7	20,0	25	64,69846	-44,7	20,0	6,5
31,50	65,31889	-39,4	25,9	31,50	61,21048	-39,4	21,8	31,50	61,21048	-39,4	21,8	4,1
40	60,58597	-34,8	28,0	40	58,54515	-34,8	23,9	40	58,54515	-34,8	23,9	2,0
50	67,78279	-30,2	37,6	50	54,12984	-30,2	23,9	50	54,12984	-30,2	23,9	13,7
63	74,18435	-26,2	48,0	63	58,78048	-26,2	32,8	63	58,78048	-26,2	32,8	15,4
80	65,47335	-22,5	43,0	80	60,415	-22,5	37,9	80	60,415	-22,5	37,9	5,1
100	63,05988	-19,1	44,0	100	59,38314	-19,1	40,3	100	59,38314	-19,1	40,3	3,7
125	63,74168	-16,1	47,6	125	56,8919	-16,1	40,8	125	56,8919	-16,1	40,8	7,0
160	67,84388	-13,4	54,4	160	57,03883	-13,4	43,8	160	57,03883	-13,4	43,8	10,8
200	67,70932	-10,9	58,8	200	54,70799	-10,9	43,8	200	54,70799	-10,9	43,8	13,0
250	69,26078	-8,6	60,7	250	54,96208	-8,6	48,4	250	54,96208	-8,6	48,4	14,3
315	69,73268	-6,8	63,1	315	55,65354	-6,8	49,1	315	55,65354	-6,8	49,1	14,1
400	68,87483	-4,8	64,1	400	54,85013	-4,8	49,9	400	54,85013	-4,8	49,9	14,2
500	68,05182	-3,2	64,9	500	53,72408	-3,2	50,5	500	53,72408	-3,2	50,5	14,3
630	69,24316	-1,9	67,3	630	54,0857	-1,9	52,2	630	54,0857	-1,9	52,2	15,2
800	68,40467	-0,8	67,8	800	55,50214	-0,8	54,7	800	55,50214	-0,8	54,7	12,9
1000	67,76354	0	67,8	1000	55,08712	0	55,1	1000	55,08712	0	55,1	12,7
1250	65,62309	0,8	68,2	1250	52,02467	0,8	52,8	1250	52,02467	0,8	52,8	13,8
1600	63,90509	1	64,9	1600	49,01222	1	50,0	1600	49,01222	1	50,0	14,9
2000	63,63882	1,2	64,8	2000	47,75048	1,2	49,0	2000	47,75048	1,2	49,0	15,9
2500	70,48127	1,3	71,8	2500	51,69304	1,3	53,0	2500	51,69304	1,3	53,0	18,8
3150	75,1567	1,2	76,4	3150	57,38351	1,2	58,8	3150	57,38351	1,2	58,8	17,8
4000	61,57135	1	62,6	4000	43,2262	1	44,2	4000	43,2262	1	44,2	18,3
5000	58,73911	0,5	59,2	5000	40,90021	0,5	41,4	5000	40,90021	0,5	41,4	17,8
6300	56,9184	-0,1	56,8	6300	38,15272	-0,1	38,1	6300	38,15272	-0,1	38,1	18,8
8000	53,56428	-1,1	52,5	8000	34,49434	-1,1	33,4	8000	34,49434	-1,1	33,4	19,1
10000	48,82764	-2,5	46,3	10000	29,7778	-2,5	27,3	10000	29,7778	-2,5	27,3	19,0
12500	45,84185	-4,3	41,3	12500	26,03989	-4,3	21,7	12500	26,03989	-4,3	21,7	19,6
16000	38,45352	-8,8	31,9	16000	19,95648	-8,8	13,4	16000	19,95648	-8,8	13,4	18,5
20000	32,51213	-9,3	23,2	20000	16,10852	-9,3	8,8	20000	16,10852	-9,3	8,8	16,4
	82,8		80,0		71,8		64,0	delta dBA				15,9

griglia5				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	Hz	Liq terzi	pesatura	L'Aeq terzi	
12,50	71,39443	-83,4	8,0	12,50	59,81489	-83,4	-3,8	12,50	59,81489	-83,4	-3,8	11,8
18	59,67793	-58,7	3,0	18	55,7227	-58,7	-1,0	18	55,7227	-58,7	-1,0	4,0
20	62,65879	-50,5	12,2	20	61,2722	-50,5	10,8	20	61,2722	-50,5	10,8	1,4
25	71,20309	-44,7	26,5	25	62,43867	-44,7	17,7	25	62,43867	-44,7	17,7	8,8
31,50	63,03701	-39,4	23,8	31,50	60,38958	-39,4	21,0	31,50	60,38958	-39,4	21,0	2,7
40	64,85489	-34,8	30,3	40	58,34329	-34,8	23,7	40	58,34329	-34,8	23,7	6,5
50	70,87528	-30,2	40,7	50	59,8182	-30,2	29,4	50	59,8182	-30,2	29,4	11,3
63	79,56184	-26,2	53,4	63	62,4801	-26,2	38,3	63	62,4801	-26,2	38,3	17,1
80	69,54847	-22,5	47,0	80	61,81383	-22,5	39,1	80	61,81383	-22,5	39,1	7,9
100	66,92147	-19,1	47,8	100	58,20087	-19,1	39,1	100	58,20087	-19,1	39,1	8,7
125	66,26388	-16,1	50,2	125	53,80577	-16,1	37,7	125	53,80577	-16,1	37,7	12,5
160	66,70481	-13,4	53,3	160	55,19981	-13,4	41,8	160	55,19981	-13,4	41,8	11,5
200	67,66018	-10,9	58,8	200	50,42535	-10,9	39,5	200	50,42535	-10,9	39,5	17,2
250	69,64916	-8,6	61,0	250	49,64522	-8,6	41,0	250	49,64522	-8,6	41,0	20,0
315	72,01885	-6,8	65,4	315	49,19781	-6,8	42,8	315	49,19781	-6,8	42,8	22,8
400	67,95227	-4,8	63,2	400	48,17338	-4,8	43,4	400	48,17338	-4,8	43,4	19,8
500	67,11989	-3,2	63,9	500	51,58481	-3,2	48,4	500	51,58481	-3,2	48,4	15,5
630	68,83086	-1,9	66,9	630	52,39737	-1,9	50,5	630	52,39737	-1,9	50,5	16,4
800	68,88005	-0,8	68,1	800	50,8079	-0,8	50,0	800	50,8079	-0,8	50,0	18,1
1000	68,83809	0	68,8	1000	48,22872	0	48,2	1000	48,22872	0	48,2	20,8
1250	65,27748	0,8	65,9	1250	46,85288	0,8	47,5	1250	46,85288	0,8	47,5	18,4
1600	63,92184	1	64,9	1600	45,1808	1	46,2	1600	45,1808	1	46,2	18,8
2000	63,46017	1,2	64,7	2000	44,14748	1,2	45,3	2000	44,14748	1,2	45,3	19,3
2500	69,89884	1,3	71,2	2500	49,52883	1,3	50,8	2500	49,52883	1,3	50,8	20,4
3150	78,07974	1,2	79,3	3150	56,8596	1,2	57,9	3150	56,8596	1,2	57,9	21,4
4000	60,75788	1	61,8	4000	41,46817	1	42,5	4000	41,46817	1	42,5	19,3
5000	57,52302	0,5	58,0	5000	37,51304	0,5	38,0	5000	37,51304	0,5	38,0	20,0
6300	56,06738	-0,1	56,0	6300	36,53752	-0,1	38,4	6300	36,53752	-0,1	38,4	19,5
8000	52,25321	-1,1	51,2	8000	30,98727	-1,1	29,9	8000	30,98727	-1,1	29,9	21,3
10000	47,45435	-2,5	45,0	10000	25,49739	-2,5	23,0	10000	25,49739	-2,5	23,0	22,0
12500	46,8581	-4,3	42,8	12500	22,4069	-4,3	18,1	12500	22,4069	-4,3	18,1	24,5
16000	39,33779	-8,8	32,7	16000	15,78598	-8,8	9,2	16000	15,78598	-8,8	9,2	23,8
20000	33,87564	-9,3	24,6	20000	12,83711	-9,3	3,5	20000	12,83711	-9,3	3,5	21,0
	84,9		81,5		71,2		61,3	delta dBA				20,2

origia6				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	
12,50	78,57189	-83,4	15,2	12,50	87,81989	-83,4	4,4	12,50	87,81989	-83,4	4,4	10,8
18	75,30043	-58,7	18,8	18	89,84013	-58,7	13,1	18	89,84013	-58,7	13,1	5,5
20	72,71383	-50,5	22,2	20	75,08478	-50,5	24,8	20	75,08478	-50,5	24,8	-2,4
25	77,88848	-44,7	33,2	25	88,73474	-44,7	24,0	25	88,73474	-44,7	24,0	9,2
31,50	74,80804	-39,4	35,2	31,50	88,50388	-39,4	27,1	31,50	88,50388	-39,4	27,1	8,1
40	74,50775	-34,8	39,9	40	85,98744	-34,8	31,4	40	85,98744	-34,8	31,4	8,5
50	78,14154	-30,2	47,9	50	84,27299	-30,2	34,1	50	84,27299	-30,2	34,1	13,9
63	88,89502	-28,2	60,7	63	89,08234	-28,2	42,9	63	89,08234	-28,2	42,9	17,8
80	78,72208	-22,5	58,2	80	87,98373	-22,5	45,5	80	87,98373	-22,5	45,5	10,8
100	74,84242	-19,1	55,7	100	83,623	-19,1	44,5	100	83,623	-19,1	44,5	11,2
125	75,73883	-16,1	59,8	125	85,32384	-16,1	49,2	125	85,32384	-16,1	49,2	10,4
160	73,19481	-13,4	59,8	160	88,00486	-13,4	52,8	160	88,00486	-13,4	52,8	7,2
200	72,44488	-10,9	61,5	200	88,34005	-10,9	45,4	200	88,34005	-10,9	45,4	16,1
250	73,42103	-8,6	64,8	250	82,59193	-8,6	44,0	250	82,59193	-8,6	44,0	20,8
315	70,49015	-8,8	63,9	315	48,88838	-8,8	42,3	315	48,88838	-8,8	42,3	21,8
400	84,3421	-4,8	59,5	400	49,84502	-4,8	45,0	400	49,84502	-4,8	45,0	14,5
500	85,13575	-3,2	61,9	500	51,71974	-3,2	48,5	500	51,71974	-3,2	48,5	13,4
630	88,2008	-1,9	66,3	630	52,43882	-1,9	50,5	630	52,43882	-1,9	50,5	15,8
800	88,04089	-0,8	67,2	800	53,8514	-0,8	53,1	800	53,8514	-0,8	53,1	14,2
1000	88,58712	0	68,8	1000	50,49578	0	50,5	1000	50,49578	0	50,5	16,1
1250	87,35884	0,8	68,0	1250	50,89604	0,8	51,3	1250	50,89604	0,8	51,3	16,7
1600	87,20048	1	68,2	1600	50,29742	1	51,3	1600	50,29742	1	51,3	16,9
2000	87,88603	1,2	68,9	2000	50,53287	1,2	51,7	2000	50,53287	1,2	51,7	17,1
2500	88,01801	1,3	69,3	2500	51,93414	1,3	53,2	2500	51,93414	1,3	53,2	16,1
3150	89,34735	1,2	70,5	3150	52,07738	1,2	53,3	3150	52,07738	1,2	53,3	17,3
4000	85,0298	1	68,0	4000	47,98957	1	49,0	4000	47,98957	1	49,0	17,1
5000	83,18181	0,5	63,7	5000	45,88753	0,5	48,4	5000	45,88753	0,5	48,4	17,3
6300	80,93975	-0,1	60,8	6300	43,02341	-0,1	42,9	6300	43,02341	-0,1	42,9	17,9
8000	57,71873	-1,1	58,8	8000	38,52421	-1,1	37,4	8000	38,52421	-1,1	37,4	19,2
10000	53,912	-2,5	51,4	10000	33,30381	-2,5	30,8	10000	33,30381	-2,5	30,8	20,8
12500	49,30545	-4,3	45,0	12500	28,48771	-4,3	24,2	12500	28,48771	-4,3	24,2	20,8
16000	42,75235	-8,8	38,2	16000	21,01108	-8,8	14,4	16000	21,01108	-8,8	14,4	21,7
20000	38,59797	-9,3	27,3	20000	15,45829	-9,3	8,2	20000	15,45829	-9,3	8,2	21,1
	90,3		78,8		79,7		62,9					delta dBA 15,9

origia7				LATO B				LATO A				delta [dBA] in frequenza
Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	
12,50	71,71872	-83,4	8,3	12,50	87,01033	-83,4	3,8	12,50	87,01033	-83,4	3,8	4,7
18	71,7157	-58,7	15,0	18	83,95885	-58,7	7,3	18	83,95885	-58,7	7,3	7,8
20	77,78847	-50,5	27,3	20	87,35205	-50,5	18,9	20	87,35205	-50,5	18,9	10,4
25	80,10013	-44,7	35,4	25	88,88388	-44,7	24,2	25	88,88388	-44,7	24,2	11,2
31,50	81,87015	-39,4	42,3	31,50	88,3205	-39,4	28,9	31,50	88,3205	-39,4	28,9	13,3
40	87,42241	-34,8	52,8	40	88,90814	-34,8	34,3	40	88,90814	-34,8	34,3	18,5
50	88,95883	-30,2	58,8	50	88,08595	-30,2	37,9	50	88,08595	-30,2	37,9	20,9
63	92,84374	-28,2	68,6	63	75,79829	-28,2	49,8	63	75,79829	-28,2	49,8	17,0
80	90,80025	-22,5	68,1	80	70,12032	-22,5	47,8	80	70,12032	-22,5	47,8	20,5
100	88,30898	-19,1	67,2	100	82,78132	-19,1	43,7	100	82,78132	-19,1	43,7	23,5
125	79,49531	-16,1	63,4	125	81,04888	-16,1	44,9	125	81,04888	-16,1	44,9	18,4
160	80,91848	-13,4	67,5	160	82,38509	-13,4	49,0	160	82,38509	-13,4	49,0	18,5
200	80,884	-10,9	70,0	200	51,18251	-10,9	40,3	200	51,18251	-10,9	40,3	29,7
250	74,1753	-8,6	65,8	250	51,15475	-8,6	42,8	250	51,15475	-8,6	42,8	23,0
315	73,42418	-8,8	68,8	315	38,83011	-8,8	32,2	315	38,83011	-8,8	32,2	34,8
400	88,18011	-4,8	63,4	400	38,57039	-4,8	31,8	400	38,57039	-4,8	31,8	31,8
500	74,70725	-3,2	71,5	500	38,38485	-3,2	33,2	500	38,38485	-3,2	33,2	38,3
630	78,35812	-1,9	76,5	630	38,42537	-1,9	34,5	630	38,42537	-1,9	34,5	41,9
800	79,23	-0,8	78,4	800	37,75234	-0,8	37,0	800	37,75234	-0,8	37,0	41,5
1000	74,04847	0	74,0	1000	38,79857	0	38,8	1000	38,79857	0	38,8	37,3
1250	74,29243	0,8	74,9	1250	35,99738	0,8	38,8	1250	35,99738	0,8	38,8	38,3
1600	73,75896	1	74,8	1600	35,93884	1	38,9	1600	35,93884	1	38,9	37,8
2000	73,22035	1,2	74,4	2000	33,22967	1,2	34,4	2000	33,22967	1,2	34,4	40,0
2500	73,07172	1,3	74,4	2500	34,33389	1,3	35,8	2500	34,33389	1,3	35,8	38,7
3150	72,85793	1,2	74,1	3150	34,19551	1,2	35,4	3150	34,19551	1,2	35,4	38,7
4000	71,04887	1	72,0	4000	32,74485	1	33,7	4000	32,74485	1	33,7	38,3
5000	89,58523	0,5	70,1	5000	31,22848	0,5	31,7	5000	31,22848	0,5	31,7	38,3
6300	87,78391	-0,1	67,7	6300	29,04382	-0,1	28,9	6300	29,04382	-0,1	28,9	38,7
8000	84,14829	-1,1	63,0	8000	28,91395	-1,1	25,8	8000	28,91395	-1,1	25,8	37,2
10000	81,5582	-2,5	59,1	10000	24,42487	-2,5	21,9	10000	24,42487	-2,5	21,9	37,1
12500	57,17985	-4,3	52,9	12500	20,42048	-4,3	18,1	12500	20,42048	-4,3	18,1	38,8
16000	51,21958	-8,8	44,8	16000	18,01208	-8,8	9,4	16000	18,01208	-8,8	9,4	35,2
20000	48,761	-9,3	37,5	20000	12,55524	-9,3	3,3	20000	12,55524	-9,3	3,3	34,2
	97,7		85,7		79,8		55,8					delta dBA 30,1

grigliaB				LATO B				LATO A				delta [dBA in frequen
Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	
12,50	71,17789	-83,4	7,8	12,50	64,9783	-83,4	1,8	12,50	64,9783	-83,4	1,8	6,2
18	71,74898	-68,7	15,0	18	62,7185	-68,7	8,0	18	62,7185	-68,7	8,0	9,0
20	73,575	-50,5	23,1	20	67,59281	-50,5	17,1	20	67,59281	-50,5	17,1	8,0
25	68,5542	-44,7	23,9	25	67,22554	-44,7	22,5	25	67,22554	-44,7	22,5	1,3
31,50	67,00802	-39,4	27,8	31,50	65,04921	-39,4	25,8	31,50	65,04921	-39,4	25,8	2,0
40	74,07314	-34,8	39,5	40	63,41047	-34,8	28,8	40	63,41047	-34,8	28,8	10,7
50	79,4127	-30,2	49,2	50	65,80658	-30,2	35,8	50	65,80658	-30,2	35,8	13,8
63	85,87233	-28,2	59,7	63	70,25278	-28,2	44,1	63	70,25278	-28,2	44,1	15,8
80	80,93713	-22,5	58,4	80	66,71112	-22,5	44,2	80	66,71112	-22,5	44,2	14,2
100	72,10281	-19,1	53,0	100	58,76255	-19,1	37,7	100	58,76255	-19,1	37,7	15,3
125	70,58502	-18,1	54,5	125	58,79288	-18,1	42,7	125	58,79288	-18,1	42,7	11,8
160	75,31828	-13,4	61,9	160	61,08801	-13,4	47,7	160	61,08801	-13,4	47,7	14,2
200	78,22091	-10,9	65,3	200	47,70242	-10,9	38,8	200	47,70242	-10,9	38,8	28,5
250	71,79304	-8,8	63,2	250	43,85094	-8,8	35,3	250	43,85094	-8,8	35,3	27,9
315	67,41783	-8,8	60,8	315	38,32959	-8,8	31,7	315	38,32959	-8,8	31,7	29,1
400	61,41435	-4,8	58,8	400	33,73581	-4,8	28,9	400	33,73581	-4,8	28,9	27,7
500	63,98339	-3,2	60,8	500	33,96983	-3,2	30,8	500	33,96983	-3,2	30,8	30,0
630	67,49832	-1,9	65,8	630	38,39182	-1,9	34,5	630	38,39182	-1,9	34,5	31,1
800	68,04302	-0,8	67,2	800	38,47495	-0,8	35,7	800	38,47495	-0,8	35,7	31,8
1000	67,41458	0	67,4	1000	38,74888	0	38,7	1000	38,74888	0	38,7	30,7
1250	66,84827	0,8	67,2	1250	38,472	0,8	37,1	1250	38,472	0,8	37,1	30,2
1600	68,52558	1	67,5	1600	37,58401	1	38,8	1600	37,58401	1	38,8	28,9
2000	67,47351	1,2	68,7	2000	35,53491	1,2	38,7	2000	35,53491	1,2	38,7	31,9
2500	67,39277	1,3	68,7	2500	34,88274	1,3	38,0	2500	34,88274	1,3	38,0	32,7
3150	67,17904	1,2	68,4	3150	35,14725	1,2	38,3	3150	35,14725	1,2	38,3	32,0
4000	64,1189	1	65,1	4000	33,09288	1	34,1	4000	33,09288	1	34,1	31,0
5000	62,15218	0,5	62,7	5000	31,80981	0,5	32,3	5000	31,80981	0,5	32,3	30,3
6300	60,12353	-0,1	60,0	6300	29,53124	-0,1	29,4	6300	29,53124	-0,1	29,4	30,8
8000	58,42499	-1,1	55,3	8000	28,92717	-1,1	25,8	8000	28,92717	-1,1	25,8	29,5
10000	52,17128	-2,5	49,7	10000	22,82451	-2,5	20,3	10000	22,82451	-2,5	20,3	29,3
12500	48,4781	-4,3	42,2	12500	19,48388	-4,3	15,2	12500	19,48388	-4,3	15,2	27,0
16000	39,53588	-8,8	32,9	16000	20,40385	-8,8	13,8	16000	20,40385	-8,8	13,8	19,1
20000	32,48589	-9,3	23,2	20000	11,77881	-9,3	2,5	20000	11,77881	-9,3	2,5	20,7
	89,4		78,2		78,4		52,9					delta dBA 25,3

griglia9				LATO B				LATO A				delta [dBA in frequen
Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	Hz	L1eq terzi	pesatura	L1Aeq terzi	
12,50	69,55385	-83,4	6,2	12,50	63,38534	-83,4	0,0	12,50	63,38534	-83,4	0,0	8,2
18	64,81998	-68,7	8,1	18	62,79981	-68,7	6,1	18	62,79981	-68,7	6,1	2,0
20	71,55023	-50,5	21,1	20	68,35215	-50,5	17,9	20	68,35215	-50,5	17,9	3,2
25	75,73288	-44,7	31,0	25	67,05338	-44,7	22,4	25	67,05338	-44,7	22,4	8,7
31,50	72,7479	-39,4	33,3	31,50	60,48288	-39,4	21,1	31,50	60,48288	-39,4	21,1	12,3
40	72,09831	-34,8	37,5	40	62,97458	-34,8	28,4	40	62,97458	-34,8	28,4	9,1
50	75,22218	-30,2	45,0	50	58,0888	-30,2	27,9	50	58,0888	-30,2	27,9	17,2
63	88,20385	-28,2	60,0	63	68,96811	-28,2	42,8	63	68,96811	-28,2	42,8	17,2
80	81,62332	-22,5	59,1	80	64,76212	-22,5	42,3	80	64,76212	-22,5	42,3	18,9
100	67,88987	-19,1	48,8	100	55,94175	-19,1	38,8	100	55,94175	-19,1	38,8	11,9
125	69,75274	-18,1	53,7	125	53,77128	-18,1	37,7	125	53,77128	-18,1	37,7	18,0
160	67,93328	-13,4	54,5	160	55,45841	-13,4	42,1	160	55,45841	-13,4	42,1	12,5
200	71,88188	-10,9	60,8	200	46,4883	-10,9	35,8	200	46,4883	-10,9	35,8	25,2
250	67,8478	-8,8	59,0	250	44,99543	-8,8	38,4	250	44,99543	-8,8	38,4	22,7
315	65,014	-8,8	58,4	315	37,18343	-8,8	30,8	315	37,18343	-8,8	30,8	27,9
400	58,38949	-4,8	53,6	400	33,15358	-4,8	28,4	400	33,15358	-4,8	28,4	25,2
500	61,38587	-3,2	58,2	500	32,40883	-3,2	29,2	500	32,40883	-3,2	29,2	29,0
630	65,58795	-1,9	63,7	630	33,13483	-1,9	31,2	630	33,13483	-1,9	31,2	32,4
800	65,08119	-0,8	64,3	800	33,88752	-0,8	33,1	800	33,88752	-0,8	33,1	31,2
1000	63,33721	0	63,3	1000	33,78478	0	33,8	1000	33,78478	0	33,8	29,8
1250	62,90972	0,8	63,5	1250	33,53989	0,8	34,1	1250	33,53989	0,8	34,1	29,4
1600	63,44429	1	64,4	1600	30,71742	1	31,7	1600	30,71742	1	31,7	32,7
2000	64,51014	1,2	66,7	2000	29,8258	1,2	30,8	2000	29,8258	1,2	30,8	34,9
2500	64,25044	1,3	65,8	2500	29,45415	1,3	30,8	2500	29,45415	1,3	30,8	34,8
3150	64,59584	1,2	65,8	3150	29,94774	1,2	31,1	3150	29,94774	1,2	31,1	34,8
4000	60,78512	1	61,8	4000	28,25945	1	27,3	4000	28,25945	1	27,3	34,5
5000	58,49045	0,5	59,0	5000	23,75742	0,5	24,3	5000	23,75742	0,5	24,3	34,7
6300	55,98371	-0,1	55,9	6300	21,49939	-0,1	21,4	6300	21,49939	-0,1	21,4	34,0
8000	51,95831	-1,1	50,9	8000	18,98431	-1,1	17,9	8000	18,98431	-1,1	17,9	33,5
10000	47,17832	-2,5	44,7	10000	15,83881	-2,5	13,3	10000	15,83881	-2,5	13,3	31,3
12500	40,99258	-4,3	38,7	12500	12,24224	-4,3	7,9	12500	12,24224	-4,3	7,9	28,8
16000	33,38737	-8,8	28,8	16000	9,988288	-8,8	3,4	16000	9,988288	-8,8	3,4	23,4
20000	28,03429	-9,3	18,7	20000	10,53582	-9,3	1,2	20000	10,53582	-9,3	1,2	15,5
	88,8		75,1		75,0		49,5					delta dBA 25,6

Tab. 5.26 - Risultati delle misure acustiche successive alla bonifica acustica effettuata

I risultati sperimentali sono in linea con l'abbattimento acustico teorico previsto per quelle griglie per le quali la misura eseguita non risulta influenzata da fattori esterni quali:

- 1) Modesta influenza del rumore residuo esterno per le griglie n. 3-4-5-6 (non bonificate valori medi intorno a 2,0 dB di abbattimento);
- 2) Influenza dell'apertura della griglia di ventilazione del trasformatore sulla griglia n. 9 (abbattimento acustico in seguito all'intervento di bonifica pari a 8,5 dB);
- 3) Influenza importante dovuta alla non perfetta chiusura e alle luci presenti sul portone di apertura in corrispondenza della turbogas e quindi della griglia n. 2 tale per cui viene quasi annullato il contributo dell'intervento di bonifica (abbattimento acustico di 2,4 dB)
- 4) Le luci presenti sul portone in corrispondenza della turbogas influenzano, anche se di meno, in quanto poste a maggiore distanza, il risultato ottenuto in corrispondenza della griglia n. 1 (abbattimento acustico in seguito all'intervento di bonifica pari a 7,6 dB);
- 5) Buon abbattimento acustico ottenuto sulle griglie n. 7 e 8 (abbattimento acustico in seguito all'intervento di bonifica pari a 14,2 e 10,1 dB rispettivamente);

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente. Tale tabella mostra i buoni risultati ottenuti attraverso l'utilizzo combinato di pannelli fonoassorbenti e risuonatori acustici di Helmholtz trattati con vernice antirombo.

IDENTIFICATIVO GRIGLIA	DELTA POST OPERAM	DELTA ANTE OPERAM	DELTA BONIFICA	NOTE
Griglia 1	-19,7	-12,1	7,6	Griglia bonificata (valori influenzati dalla non perfetta chiusura del portone lato turbina anche se la griglia è posta a distanza superiore rispetto alla n. 2)
Griglia 2	-16,6	-14,2	2,4	Griglia bonificata (valori influenzati dalla non perfetta chiusura del portone lato turbina con luce centrale dello spessore di 5 mm e luci laterali e orizzontali di circa 30 mm)
Griglia 3	-19,2	-18,5	0,7	Griglia non sottoposta a bonifica (valori influenzati dal rumore residuo esterno)
Griglia 4	-16,0	-14,1	1,9	Griglia non sottoposta a bonifica (valori influenzati dal rumore residuo esterno)
Griglia 5	-20,1	-17,8	2,3	Griglia non sottoposta a bonifica (valori influenzati dal rumore residuo esterno)
Griglia 6	-15,9	-14,0	1,9	Griglia non sottoposta a bonifica (valori influenzati dal rumore residuo esterno)
Griglia 7	-30,2	-16,0	14,2	Griglia bonificata
Griglia 8	-25,4	-15,3	10,1	Griglia bonificata
Griglia 9	-25,6	-17,1	8,5	Griglia bonificata (valori influenzati dalla presenza del foro di aerazione del trasformatore)

Tab. 5.27 - Tabella comparativa delle misure effettuate ante e post operam

5.10 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI COGENERATORE, CAMINO, SISTEMA DI ESPULSIONE ARIA, ASPIRAZIONE, DRY COOLER E CABINATO

La valutazione dell'impatto acustico delle componenti dell'impianto di cogenerazione è un elemento di rilevante importanza ai fini dell'assolvimento delle procedure autorizzative, con significative implicazioni anche di tipo economico collegate alla concessione di prestiti da parte delle entità finanziatrici dei progetti, in conseguenza del rischio di impresa risultante.

La stima progettuale del clima acustico all'interno, all'esterno e nell'intorno dell'impianto è peraltro pesantemente condizionata da notevoli incertezze nella definizione della potenza sonora delle sorgenti di rumore costituite dai macchinari operanti all'interno della centrale.

Le dimensioni del cogeneratore, la sua collocazione in prossimità di altre macchine di grandi dimensioni a loro volta sorgenti di rumore, la complessità dei campi acustici che possono instaurarsi tra le macchine a causa delle riflessioni, la presenza di componenti tonali comuni a diverse sorgenti, sono tutti elementi che rendono facilmente intuibile la difficoltà di poter adeguatamente tener conto del contributo delle singole sorgenti, oltre che dell'ambiente di misura, nel caso di misure in ambiente interno.

La determinazione dei livelli di potenza sonora di una sorgente di rumore mediante pressione sonora permette di individuare univocamente la potenza emessa da macchine o apparecchiature. Tale misura può essere effettuata in diverse tipologie di ambienti e con diverse classi di precisione. Nella situazione in oggetto la misura è stata effettuata sia in ambiente esterno che in ambiente interno, entro il capannone ASTEA, ambiente moderatamente riverberante.

La procedura di prova per il calcolo della potenza sonora mediante misura del livello di pressione sonora è funzione delle caratteristiche dell'ambiente di misura. Per ogni tipologia di ambiente esiste una normativa di riferimento, con indicazioni sul volume della sorgente sonora, classe della strumentazione, livello del rumore di fondo e campo di accettabilità dei risultati.

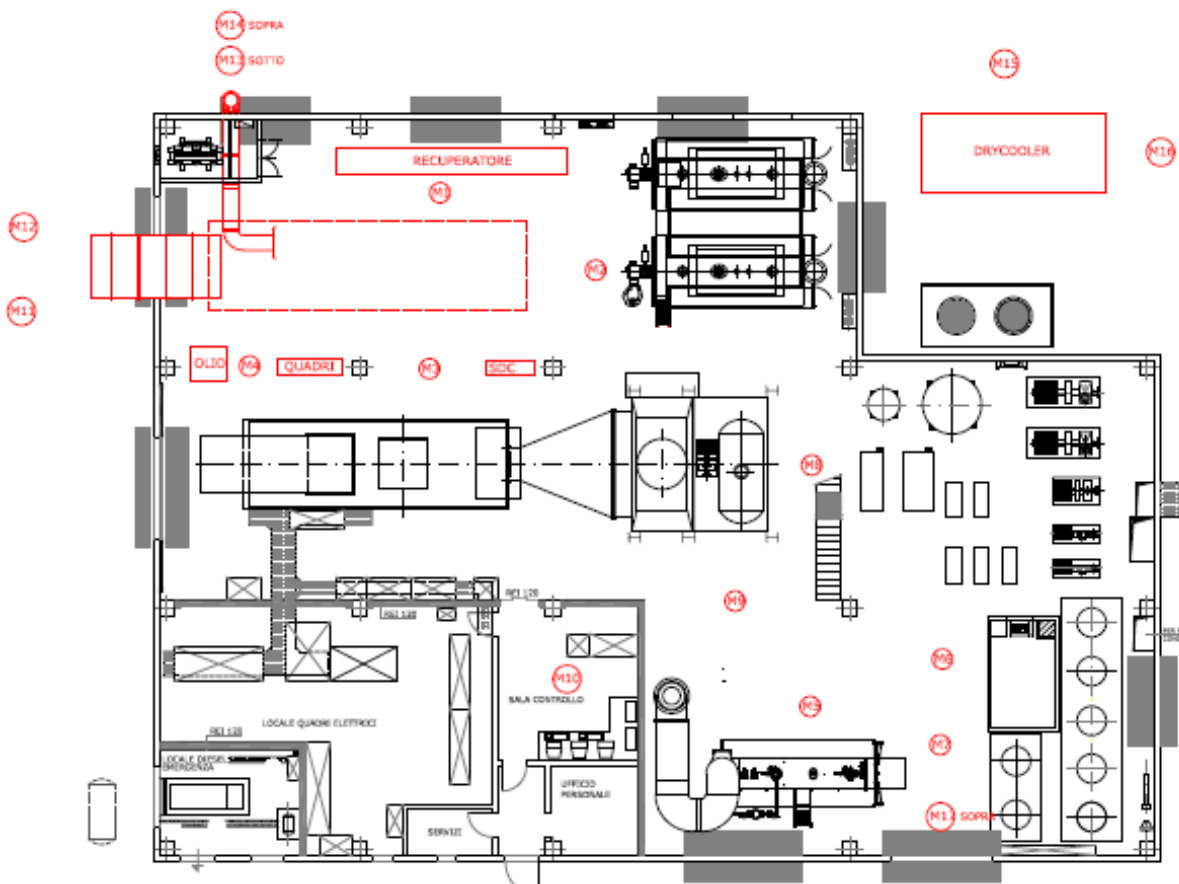


Fig. 5.27 - Pianta dell'opificio (capannone) ASTEA che contiene l'impianto di cogenerazione

Il sito oggetto di rilevamento è costituito capannone ove è ubicato l'attuale impianto di cogenerazione di ASTEA SPA, sito in via Vici ad Osimo.

L'ambiente che è descritto nella piantina e dalle fotografie allegate, alloggia tutti i componenti dell'impianto di cogenerazione, consistenti principalmente in:

- Turbina a ciclo Cheng
- Caldaia a recupero
- Corpo cilindrico
- Scambiatori di calore a condensazione e a piastre
- Sistema di pompaggio
- Vaso di espansione
- Sistema di rigenerazione
- Quadristica
- Motore endotermico
- Sistema di recupero dai fumi
- Tubazioni
- Canali
- Caldaie

Le caratteristiche geometriche dell'ambiente che influenzano i valori misurati dei tempi di riverbero e del coefficiente di assorbimento sono riportate nella tabella allegata.

Denominazione	Dimensioni	sup. di base	sup. riflettente	volumi
		m2	m2	m3
Superficie falda alta	8,7x20,7	180,09		1207
Superficie totale di base	16,2x23,5+16,7x17,15-8,1x7,15	609,19		3168
S1	16,2x5,2		84,24	
S2	23,5x5,2-3,7x5,2		102,96	
S3	8,1x5,2		42,12	
S4 B	10x5,2		52	
S5A	8,7x(11,9-5,2)		58,29	
S5B	16,7x5,2		86,84	
S6	17,15x5,2		89,18	
S7	8,6x5,2		44,72	
S8	16,35x5,2		85,02	
S9 sopra	8,7x(11,9-5,2)		58,29	
S10sopra	20,7x(11,9-5,2)		138,69	
S11sopra	20,7x(11,9-5,2)		138,69	
caldaie ferroli	6x6	36	124,8	187
turbina	15x3 + 4,6x4,5	65,7	250,64	480
cabina trafo	2,2x3,7	8,14	30,68	42
recuperatore fumi+silenziatore	5,7x1,5	10,05	45,24	52
caldaia unical	3x6	18	93,6	94
vaso espansione+atmosferaico	2x3,85	7,7	139,23	92
pompe+tubazioni	2,8x2,5+1,6x4	13,4	221,34	159
impianto demi	2x8,2	16,4	106,08	85
cogeneratore	2,8x11,8	33,04	151,84	172

Tab. 5.28 - Dimensioni utili dell'ambiente di misura

La centrale di cogenerazione è installata all'interno di un capannone industriale di volume lordo pari a circa 4.374 m³. All'interno sono installati impianti tecnologici che occupano un volume di circa 1.364 m³, per cui il volume netto dell'ambiente è di 3.010 m³. La superficie riflettente del locale, in materiale cementizio, e degli impianti tecnologici ivi installati, in acciaio, è pari a circa 2.946 m². Il tempo di riverbero misurato a 1.000 Hz è uguale a circa 1,19 sec.

Denominazione	m3
Volume Lordo	4374
Volume Impianti tecnologici	1364
Volume Netto	3010
Denominazione	m2
Superficie riflettente totale imp. tecnologici	1163
Superficie riflettente totale pareti	981
Superficie riflettente pavimento	401
Superficie riflettente tetto	401
Sup riflettente totale	2946

Tab. 5.29 - Volume netto dell'ambiente di misura e superficie riflettente dell'ambiente di misura

Le sorgenti di rumore relative al nuovo impianto di cogenerazione sono costituite da:

- a) Cabinato contenente il corpo del motore del cogeneratore e i canale di espulsione dell'aria di raffreddamento;
- b) Sistema di scarico dei fumi a valle del silenziatore (camino);
- c) Sistema di scarico dei fumi a monte del silenziatore;
- d) Sistema di dissipazione calore intercooler HT;
- e) Sistema di dissipazione calore intercooler LT;
- f) Sistema di aspirazione dell'aria di ventilazione del cabinato;

All'interno del cabinato sono presenti le sorgenti tipiche caratteristiche del cogeneratore: macchina alternativa, trasformatore, generatore, turbocompressore, ventilatori di aspirazione ed espulsione, ecc.). Il sistema di espulsione dell'aria di raffreddamento è dotato di silenziatori a sezione rettangolare, realizzati in lamiera d'acciaio zincato a caldo completi di flange di collegamento. I setti fonoassorbenti sono realizzati con doppia parete di lamiera forata, con interposto velo vetro e pannelli di lana di roccia ad alto coefficiente di assorbimento acustico (reazione al fuoco almeno di classe 1).

La portata di raffreddamento in aspirazione è, secondo quanto dichiarato dal Committente nel range di 58.000-65.000 Sm³/h con delta Temperatura aria in ingresso e aria in uscita pari a 5 °C (con valori massimi consentiti comunque non superiori a 7 °C).

Il sistema di aspirazione dell'aria di raffreddamento è adiacente e facente parte di un unico corpo con il cabinato stesso.

Il sistema di espulsione dell'aria di raffreddamento prevede l'immissione dell'aria in oggetto in ambiente esterno.

Il motore cogenerativo è dotato di una marmitta costituita di due sezioni, la prima sezione di tipo a risonanza (finalizzato alla riduzione le emissioni acustiche in bassa frequenza), la seconda sezione, in serie alla prima, di tipo "ad assorbimento". I fumi sono scaricati all'esterno, al di sopra del piano di calpestio del tetto, a circa 1,5 m dal piano stesso, mediante un camino di circa 400 mm di diametro. Il sistema di recupero del calore avviene attraverso l'intercooler LT che recupera l'energia calda del turbocompressore e attraverso l'intercooler HT che recupera l'energia termica della camicia del motore e dell'olio di lubrificazione. Entrambi i due intercooler sono installati all'esterno posizionati nel dry cooler.

SORGENTI DI RUMORE ANALIZZATE

- A) Ubicate all'esterno della Centrale di Teleriscaldamento:
 - Sistema di espulsione aria di ventilazione del cabinato del cogeneratore;
 - Camino di espulsione fumi del cogeneratore;

- Dry cooler;
- B) Ubicate all'interno della Centrale di Teleriscaldamento:
- Sistema di aspirazione aria di ventilazione del cabinato del cogeneratore;
 - Cabinato acustico di insonorizzazione del cogeneratore.

LIMITI

Sorgente	Ambiente	Grandezza	Valore max ammesso	Componenti tonali bassa frequenza
<i>Sistema di espulsione aria di ventilazione</i>	Esterno	LWA	79,9	Non ammesse
<i>Camino di espulsione fumi del cogeneratore</i>	Esterno	LWA	78,0	Non ammesse
<i>Dry cooler (sezione dissipativa LT)</i>	Esterno	LWA	68,2	Non ammesse
<i>Dry cooler (sezione dissipativa HT)</i>	Esterno	LWA	75,4	Non ammesse
<i>Sistema di aspirazione aria di ventilazione</i>	Interno	LWA	82,9	Non ammesse
<i>Cabinato acustico</i>	Interno	LpsA	65,0 (d=1 m)	

Tab. 5.30 - Limiti ammessi di potenza sonora

Le prestazioni acustiche dell'impianto sono state verificate depurando i valori delle misure eseguite dall'eventuale rumore residuo (che è stato misurato a motore spento) e, per le misure eseguite all'interno, dall'eventuale contributo dovuto all'ambiente interno riverberante.

La distanza a cui si prendono le misure è un elemento importante ai fini della accuratezza delle misure eseguite. Nel caso specifico è stata scelta la distanza di 0,5 m dalle superfici delle sorgenti emittenti.

La tolleranza ammessa sulle misure eseguite è pari a 3 dB.

Il metodo definito dai documenti ISO si basa sul fatto che il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura determinato in condizioni reali (Lp^{mis}), una volta corretto per eliminare l'influenza del rumore residuo (K_1); e delle riflessioni ambientali (K_2), esprime il livello medio di pressione sonora sulla superficie di misura in condizioni di campo libero (Lp^{dir}).

Le prestazioni acustiche sono state verificate considerando ciascuna sorgente sonora funzionante al massimo carico, depurando l'eventuale rumore residuo che è stato misurato a motore spento.

In particolare tali rilievi verranno effettuati a impianto spento e a impianto acceso nelle seguenti condizioni:

- Il cogeneratore funziona al 100% del carico in completo recupero termico (dry cooler sezione HT spento)
- Il cogeneratore funziona al 100% del carico in completa dissipazione termica (dry cooler sezione HT acceso);
- Vengono effettuate le misure di rumore residuo spegnendo la sorgente sonora sottoposta ad analisi. Vengono effettuate le misure e determinato il livello medio di pressione sonora LA_{med} calcolando la media energetica dei livelli Li rilevati nei punti di misura secondo la seguente formula:

$$L_A^{med} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum 10^{\left(\frac{Li}{10}\right)} \right)$$

Ove N è il numero di rilievi effettuati.

Al fine di ottenere il livello medio di pressione sonora dovuto esclusivamente alla macchina o sorgente sottoposta ad analisi la misura ottenuta verrà depurata del valore del rumore residuo LR (tale rumore comprende tutte le sorgenti sonore esclusa quella in esame che viene spenta), utilizzando la seguente formula:

$$L_{ps}^{med} = 10 \log \left(10^{\frac{L_A^{med}}{10}} - 10^{\frac{LR}{10}} \right)$$

Il coefficiente K_1 indicato nella norma ISO 3744 è calcolabile con la seguente formula:

$$K_1 = L_A^{med} - 10 \log(10^{\frac{L_A^{med}}{10}} - 10^{\frac{L_R}{10}})$$

Secondo la norma ISO 3744, qualora la differenza aritmetica tra rumore ambientale e residuo $\Delta L'$ è superiore a 15 dB, si assume un fattore di correzione K_1 pari a zero; qualora $\Delta L'$ sia inferiore a 6 dB, l'accuratezza della misura non raggiunge quella propria della norma stessa (grado 2).

Il livello di pressione sonora della macchina si ottiene sottraendo al valore medio pesato delle misure effettuate i coefficienti correttivi del rumore residuo e dell'ambiente di misura:

$$L_p^{dir} = L_p^{mis} - K_1 - K_2$$

Il livello di potenza sonora della macchina (L_W), espresso in dB, è dato da:

$$L_W = L_p^{dir} + 10 \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

Nel caso di misure effettuate all'aperto (con la macchina sempre posta su una superficie riflettente, ma lontano da altri elementi riverberanti), si assume K_2 pari a zero.

Nel caso di misure effettuate in ambienti confinati, il fattore K_2 , espresso in dB, è dato da:

$$K_2 = 10 \log\left(1 + \frac{4S}{A_S}\right)$$

Ove:

S è l'area (m^2) della superficie di misura (parallelepipedo d'involuppo o semisfera o cilindro di involuppo o superficie piana o altro);

A_S è l'area equivalente di assorbimento dell'ambiente di misura (m^2)

Il valore massimo di K_2 che risulta da norma è pari a 2

Esiste un'altra modalità di calcolo della costante ambientale che viene utilizzata nel caso in cui si voglia calcolare il livello di pressione sonora prevedibile in un determinato ambiente a partire dal livello di potenza sonora. Questa modalità di calcolo della costante ambientale, che può essere utilizzata in questo caso specifico, viene di seguito riportata sulla base del seguente ragionamento. Si può affermare con buona approssimazione che livello di pressione sonora a 1 m di distanza dal container di una macchina di grandi dimensioni, è dato fondamentalmente dalla componente diretta in quanto, rispetto alla stessa, la componente riverberante è trascurabile.

Comunque, facendo l'ipotesi di operare in un ambiente semi-riverberante, ovvero di ambiente nel quale il campo sonoro riverberato è ancora perfettamente diffuso mentre il campo sonoro diretto non è più trascurabile il livello di pressione sonora misurato, somma del livello di pressione sonora diretto e di quello riverberato, nel caso di sorgente direttiva, è dato da:

$$L_p^{mis} = L_p^{tot} = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

Q fattore di direttività per sorgente direttiva (si assume per sorgente direttiva $Q=1$)

r distanza del punto di misura dalla sorgente

R costante d'ambiente (che esprime le caratteristiche di assorbimento del locale)

Ove:

$$R = \frac{A_S}{1 - \alpha_m} = 0.161 \frac{V}{T_{60}} \frac{1}{(1 - \alpha_m)}$$

V volume utile dell'ambiente riverberante

T_{60} tempo di riverbero

α_m coefficiente medio di assorbimento dell'ambiente calcolato con la seguente formula:

$$\alpha_m = \frac{A_S}{S}$$

Nel caso di sorgente direttiva in campo libero:

$$L_p^{dir} = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right)$$

E pertanto il contributo della componente riverberante al livello di pressione sonora misurato è:

$$L_p^{mis} - L_p^{dir} = 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)$$

Per quanto riguarda il tempo di riverbero le norme raccomandano di utilizzare il valore relativo alla banda centrata su 1000 Hz.

Sulla base della norma ISO 3744 è possibile determinare i livelli di potenza sonora anche per bande o terzi di ottava; in questo caso i livelli sonori nei punti di misura e il tempo di riverbero vanno rilevati alle frequenze di interesse.

Le misure del rumore residuo sono state effettuate spegnendo tutte le sorgenti presenti in centrale per un periodo di tempo limitato, considerando che l'impianto è deputato alla produzione di calore per teleriscaldamento, non interrompibile in quanto servizio pubblico. Il fatto che le sorgenti fossero tenute spente per un periodo limitato ha influito sul tempo dedicato all'esecuzione di ogni singola misura.

Nella fig. 5.27 sono indicati i punti previsti per l'esecuzione delle misure del livello di rumore residuo. Nella tab. 5.31 sono riportati i valori delle misure eseguite. Le misure sono riportate in allegato in cui il riferimento è il file origine.

GG									MISURE DI Lps
note	MACCHINE SPENTE								
P.to	Item	In/out	Tipo	Dove	File	Ora	dBA	CT (Hz)	Nota
1	M1	IN	Lps	cogeneratore	685	00:36	41,8		
3	M3	IN	Lps	cogeneratore	687	00:37	41,5		
5	M5	IN	Lps	cald. New	689	00:39	44,4		
6	M6	IN	Lps	cald. New	690	00:40	44,3		
8	M8	IN	Lps		691	00:41	44,9		
9	M9	IN	Lps		692	00:41	41,6		
11	M11	OUT	Lps	espulsione cog.	694	00:43	45,9		esterno
12	M12	OUT	Lps	espulsione cog.	695	00:44	46,0		esterno
13	M13	OUT	Lps	camino cog.	697		36,7	315	ventola spenta
14	M14	OUT	Lps	tetto camino cog.	700	00:51	39,2		ventola trafo accesa
14	M14	OUT	Lps		701		32,1		ventola trafo spenta
15	M15	OUT	Lps	dry cooler	698	00:46	31,1		
16	M16	OUT	Lps	dry cooler	699	00:47	32,2		
17	M17	OUT	Lps	tetto cald. New	702	00:53	32,3		

Tab. 5.31 - Misura del livello di rumore residuo

Le misure del tempo di riverbero sono state eseguite per caratterizzare l'ambiente interno della centrale di cogenerazione. Nella fig. 5.28 sono indicati i punti previsti per l'esecuzione delle misure del livello di rumore residuo.

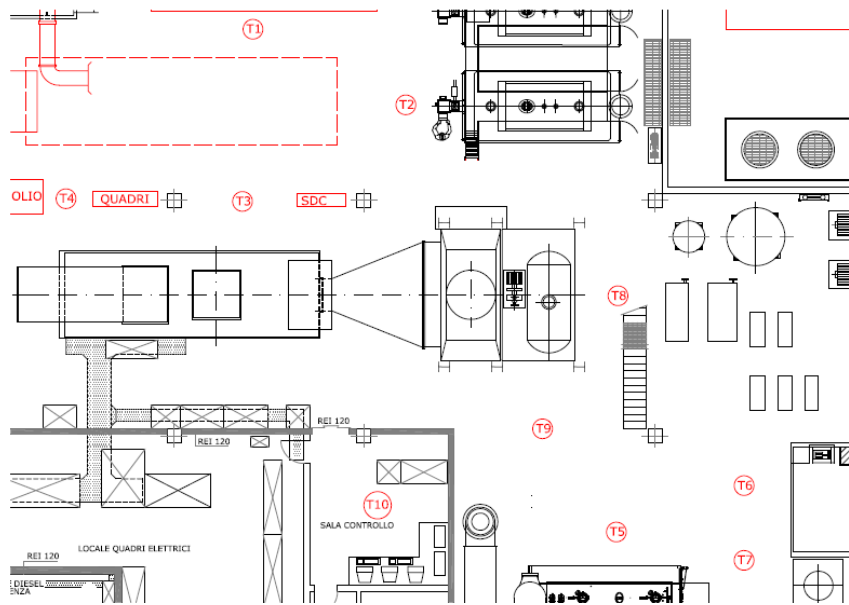


Fig. 5.28 - Punti di misura previsti per il tempo di riverbero

Nella tab. 5.32 sono riportati i valori delle misure del tempo di riverbero eseguite in bande di terzi d'ottava. Le misure sono riportate in allegato in cui il riferimento è il file origine.

GG		T20																							
note																									
P.to	Dove	File	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
T1	cogen	703	1,29	1,45	0,91	0,92	1,12	0,88	0,99	0,93	0,92	0,96	0,8	0,8	0,95	1,02	1,04	1,04	1,03	0,98	0,94	0,89	0,8	0,69	0,61
T2	cald-cogen	703	0,95	1,25	2,07	0,69	0,85	0,54	1	0,9	1,04	1,08	1,21	1,03	1,08	1,29	1,21	1,21	1,23	1,16	1,12	1,03	0,85	0,71	0,63
T3	cogen	703	0,56	1,55	1,51	0,74	1,26	1,15	1	1,06	0,93	1,12	0,94	0,98	0,93	1	1,04	1,22	1,19	1,14	1,06	0,85	0,84	0,63	0,6
T4	aspir cog.	703	1,29	1,13	0,53	1,26	1,14	1,13	0,85	0,9	0,98	0,93	1,02	0,87	1,22	1,12	1,04	1,14	1,02	1,17	1,03	0,99	0,89	0,72	0,64
T5	cald. New	703	1,23	1,55	1,83	1,22	0,88	1,12	1,24	0,82	0,94	1,28	1,26	1,26	1,23	1,37	1,42	1,19	1,36	1,24	1,24	1,18	1,04	0,88	0,78
T6	cald. New	703	1,84	1,62	0,77	1,3	1,08	1,2	1,2	1,14	1,05	1,24	1,24	1,28	1,32	1,39	1,32	1,36	1,37	1,33	1,26	1,13	1,03	0,88	0,78
T8	turbina	703	1,55	1,51	1,27	0,84	0,96	0,79	0,96	1,03	1,37	1,3	1	1,3	1,28	1,14	1,3	1,24	1,29	1,33	1,15	1,08	1	0,75	0,63
Media	Totale		1,244	1,437	1,27	0,996	1,041	0,973	1,034	0,969	1,033	1,13	1,067	1,074	1,144	1,19	1,196	1,2	1,213	1,193	1,114	1,021	0,921	0,751	0,667

Tab. 5.32 - Misura del tempo di riverbero

La tematica della rumorosità prodotta dagli impianti di produzione di energia nell'ambiente non è tra quelle più ricorrenti a livello scientifico, e quindi non presenta grandi possibilità di confronto. Per quanto concerne invece i singoli componenti (ventilatori, trasformatori, turbine, motori alternativi, ecc.), si trovano parecchi studi relativi alla generazione del rumore, alla messa a punto e sperimentazione di sistemi mitigativi, ad esempio basati su tecniche di controllo attivo, alla simulazione del comportamento acustico-vibrazionale e alle metodiche diagnostiche.

Il parametro più idoneo per la caratterizzazione acustica di macchinari e/o impianti è la potenza acustica espressa in termini spettrali eventualmente corredata della descrizione della direttività della sorgente.

La potenza sonora di una sorgente (energia emessa per unità di tempo, espressa in Watt) è una grandezza caratteristica della sorgente stessa ed è indipendente dall'ambiente in cui il rumore viene irradiato; tale parametro può essere espresso anche attraverso il livello in dB, mediante la relazione:

$$L_W = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Dove W_0 è la potenza sonora di riferimento, pari a 10-12 W.

I livelli di potenza sonora possono essere utilizzati per finalità differenti, tra cui la dichiarazione e la verifica del rumore emesso in condizioni definite, il confronto del rumore emesso da macchine di vari

tipi e dimensioni, opere di ingegneria per ridurre l'emissione di rumore della macchina, previsione di livelli di rumore in ambiente, caratterizzazione e descrizione della sorgente.

In ambito industriale, per misure in situ, il principio primario utilizzato per la determinazione del livello di potenza sonora di una macchina o apparecchiatura, così come esplicitato negli standard della serie ISO è la valutazione del flusso di energia sonora emesso dalla sorgente, con misurazioni che utilizzano una superficie avvolgente in condizioni di campo libero su una superficie riflettente o in un campo più o meno libero su un piano riflettente.

La determinazione della potenza acustica richiede il calcolo dell'integrale di superficie della componente dell'intensità perpendicolare ad una superficie di misura che racchiude la sorgente, secondo la seguente relazione, che coinvolge il prodotto scalare tra il vettore intensità ed il vettore normale alla superficie:

$$W = \int_S I \cdot dS$$

Dopo alcuni passaggi matematici e l'assunzione di alcune ipotesi semplificative, si arriva alla relazione:

$$L_W = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right)$$

Dove L_{ps} è il livello di pressione sonora mediato sulla superficie di misura.

Le equazioni citate sono alla base degli standard per il calcolo della potenza acustica per sorgenti poste in campo libero o in campo libero su superficie riflettente.

La potenza sonora quindi viene calcolata (nel caso specifico) sulla base di una grandezza ovvero i livelli di pressione sonora.

La distanza a cui si prendono le misure è un elemento importante ai fini dell'accuratezza dei risultati. Nel caso specifico poiché dovevano essere sottoposte ad analisi di potenza sonora il dry cooler LT, il dry cooler HT, il sistema di espulsione aria, il camino e doveva essere sottoposta ad analisi della misura di pressione sonora anche la parete del cabinato sono state scelte superfici di misura del seguente tipo:

Elemento	Superficie di misura	Distanza di misura
Dry cooler LT	Parallelepipedo	0,5 m
Dry cooler HT	Parallelepipedo	0,5 m
Sistema di espulsione dell'aria	Parallelepipedo	0,5 m
Camino di scarico del motore	Cilindro	0,5 m
Cabinato	Superficie piana	1,0 m

Tab. 5.33 - Distanza di misura dai componenti

La distanza di misura scelta è indicata nella tabella 5.33. Sotto vengono riportati gli schemi di misura adottati.

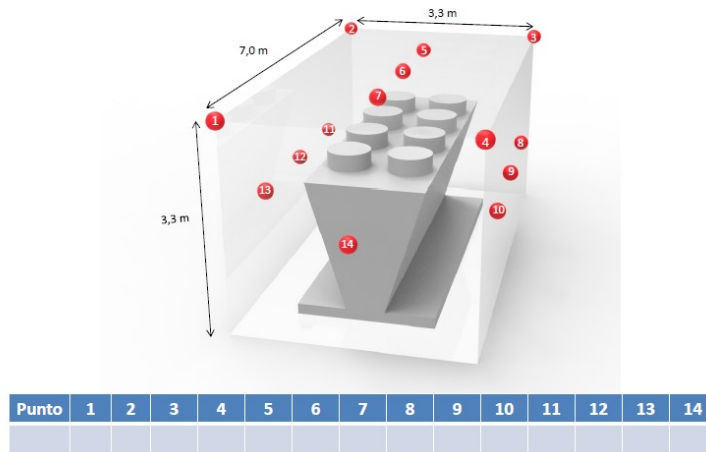


Fig. 5.29 - Dry cooler HT e LT

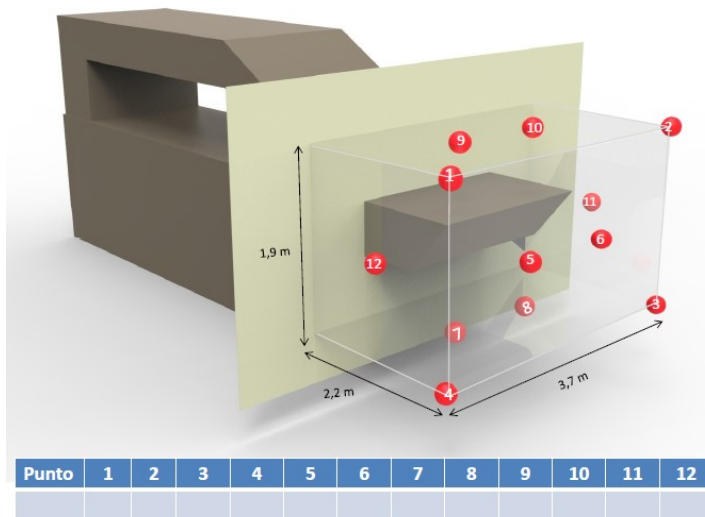


Fig. 5.30 - Sistema di espulsione aria

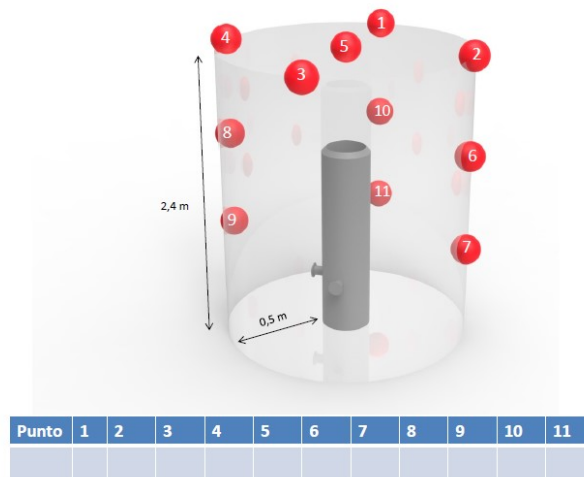


Fig. 5.31 - Camino di scarico del motore a combustione interna

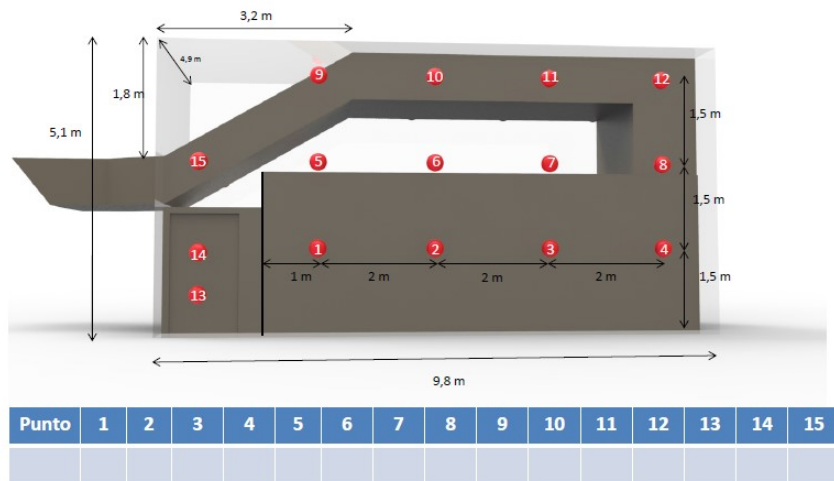


Fig. 5.32 - Cabinato

Al fine di determinare i valori di potenza sonora dei componenti del nuovo impianto di cogenerazione sono state spente tutte le macchine ad eccezione del nuovo impianto di cogenerazione e sono state eseguite misure di pressione sonora.

Nella tabella che segue vengo riportati i dati tecnici che consentono di trasformare la pressione sonora in potenza sonora:

	d1/L1	L2	L3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Atot	$\Delta=10\log(S/S_0)$
Camino	1,4	2,9		1,5	1,5	12,9				16,0	12,0
Espuls	1,8	2,2	3,8	3,9	6,6	8,3	3,9	6,6		29,3	14,7
LT cooler	3,3	7,0	3,3	23,1	10,9	23,1	23,1	10,9		91,1	19,6
HT cooler	3,3	7,0	3,3	23,1	10,9	23,1	23,1	10,9		91,1	19,6

Tab. 5.34 - Dati per trasformare pressione sonora in potenza sonora

Per determinare il solo contributo del dry cooler LT la componente dry cooler HT risultava spenta in quanto tutta la produzione di energia termica veniva assorbita dalla rete di teleriscaldamento. Le misure di pressione sonora sono state eseguite in corrispondenza dei punti di fig. 5.29, ad eccezione del p.to 14 (lato capannone), per il quale è stato assunto come valore lo stesso valore del corrispondente simmetrico p.to 15.

I valori della campagna di rilievi sono riportati in tabella 5.35. La tabella 5.35 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_A (dBA), livelli di pressione sonora imputabili alla tubazione che trasporta acqua al dry cooler (la velocità dell'acqua glicolata nelle tubazioni influenza in maniera importante il rumore prodotto), il livello di pressione sonora corretto al netto dell'influenza dovuta alla circolazione dell'acqua nelle tubazioni (valori ottenuti dai dati di cui ai files 773, 774, 775, 776, corretti per divergenza) il valore medio del rumore residuo misurato a macchine spente, il livello di pressione sonora L_{ps} (dBA) del rumore prodotto dal Dry cooler LT al netto del rumore residuo (che risulta complessivamente influente).

Il valore medio del livello di pressione sonora del dry cooler LT risulta pari a 51,5 dBA. Pertanto il valore di potenza sonora "arrotondato" risulta pari a:

$$L_W^{LT} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 51,5 + 10 \log(91,1) = 51,5 + 19,6 = 71 \text{ dBA}$$

DRY COOLER LT																
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 dupl	Media log
File	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772		
Ora	01:56	01:57	01:57	01:58	01:59	01:59	02:00	02:01	02:01	02:02	02:02	02:03	02:03	02:04		
LA (dB)	55,1	50,9	51,4	55,6	52,8	52,1	52,8	53,2	54,6	55,7	54,1	53,6	53,9	52,4		53,6
Correzione tubazioni	53,8	42,7	41,8	49,1	42,7	44,2	49	42,2	43,5	48,9	50,1	51,5	53	51,5		
LpsC (dB)	49,2	50,2	50,9	54,5	52,4	51,3	50,5	52,8	54,2	54,7	51,9	49,4	46,6	45,1		51,5
Rumore residuo	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7		
Lps	49,2	50,1	50,8	54,5	52,3	51,3	50,4	52,8	54,2	54,7	51,9	49,4	46,5	44,9		51,5

Tab. 5.35 - Calcolo del livello di pressione sonora medio del Dry cooler LT

Le misure eseguite hanno evidenziato che non sono presenti componenti tonali.

Per determinare il solo contributo del dry cooler HT tutto il calore ad esclusione di quello recuperato dai fumi del cogeneratore è stato dissipato. Pertanto le misure di rumore sono state eseguite su dry cooler LT e HT accesi contemporaneamente. I livelli di pressione sonora misurati sono stati pertanto depurati del contributo dovuto al dry cooler LT.

Le misure di pressione sonora sono state eseguite in corrispondenza dei punti di fig. 5.29, ad eccezione del p.to 14 (lato capannone), per il quale è stato assunto come valore lo stesso valore del corrispondente simmetrico p.to 15.

I valori della campagna di rilievi sono riportati in tabella 5.36. La tabella 5.36 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_A (dBA), livelli di pressione sonora imputabili al dry cooler LT e alla tubazione che trasporta acqua al dry cooler, il livello di pressione sonora corretto al netto dell'influenza dovuta al dry cooler LT e alla circolazione dell'acqua nelle tubazioni, il livello di pressione sonora Lps (dBA) del rumore prodotto dal Dry cooler HT al netto del rumore dovuto al dry cooler LT e alla tubazione che trasporta acqua al dry cooler. Il rumore residuo misurato a macchine spente risulta complessivamente ininfluenza.

DRY COOLER HT + LT (dissipazione totale)																
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 dupl	Media log
File	718	719	720	721	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734		
Ora	00:33	00:34	00:34	00:35	00:42	00:43	00:43	00:44	00:45	00:46	00:46	00:47	00:47	00:48		
LA (dB)	57	54,4	54,4	56,8	57,9	58,5	59	56,5	56,6	57,6	56,8	57,5	58,1	54		56,9
Toni Hz)		16000									16000					
Correz. per dry cooler LT e tubazioni	49,2	50,2	50,9	54,5	52,4	51,3	50,5	52,8	54,2	54,7	51,9	49,4	46,6	45,1		
Lps (dB)	56,2	52,3	51,8	52,9	56,5	57,6	58,3	54,1	52,8	54,5	55,1	56,8	57,8	53,4		55,4

Tab. 5.36 - Calcolo del livello di pressione sonora medio del Dry cooler HT

Il valore medio del livello di pressione sonora del dry cooler LT risulta pari a 51,5 dBA. Pertanto il valore di potenza sonora "arrotondato" risulta pari a:

$$L_W^{LT} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 55,4 + 10 \log(91,1) = 55,4 + 19,6 = 75 \text{ dBA}$$

Le misure eseguite hanno evidenziato che non sono presenti componenti tonali continue.

Le misure di pressione sonora al camino sono state eseguite in corrispondenza dei punti di fig. 5.31. I valori della campagna di rilievi sono riportati in tabella 5.37. La tabella 5.37 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_{ps} (dBA) che risultano coincidenti con i livelli di pressione sonora del camino in quanto il rumore residuo è ininfluenza.

CAMINO															
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				Media log
File	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758				
Ora	01:16	01:18	01:18	01:19	01:20	01:21	01:22	01:23	01:23	01:24	01:25				
Lps (dB)	64,2	64,4	64,5	64	68	61,9	58,8	62,2	56	60,7	55,7				63,2
Toni Hz)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80				

Tab. 5.37 - Livello di pressione sonora medio del camino

Il valore medio del livello di pressione sonora del camino risulta pari a 63,2 dBA. Pertanto il valore di potenza sonora "arrotondato" risulta pari a:

$$L_W^{LT} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 63,2 + 10 \log(16,0) = 63,2 + 12,0 = 75,0 \text{ dBA}$$

Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza di componente tonale a bassa frequenza (80 Hz).

Le misure di pressione sonora del sistema di espulsione dell'aria sono state eseguite in corrispondenza dei punti di fig. 5.30.

I valori della campagna di rilievi sono riportati in tabella 5.38. La tabella 5.38 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_A (dBA), i livelli di rumore residuo misurati, i livelli di pressione sonora calcolati depurando i valori di rumore residuo L_{ps} (dBA).

SISTEMA DI ESPULSIONE ARIA															
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			Media log
File	735	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747			
Ora	00:52	00:56	00:56	00:57	00:58	00:58	00:59	01:00	01:00	01:01	01:02	01:03			
LA (dB)	54	56,7	58,2	56,1	62,2	62,9	60,5	61,3	49	49,7	54,3	54,9			58,6
Rumore residuo	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46			
Lps	53,3	56,3	57,9	55,7	62,1	62,8	60,3	61,2	46,0	47,3	53,6	54,3			57,3
Toni Hz)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80			

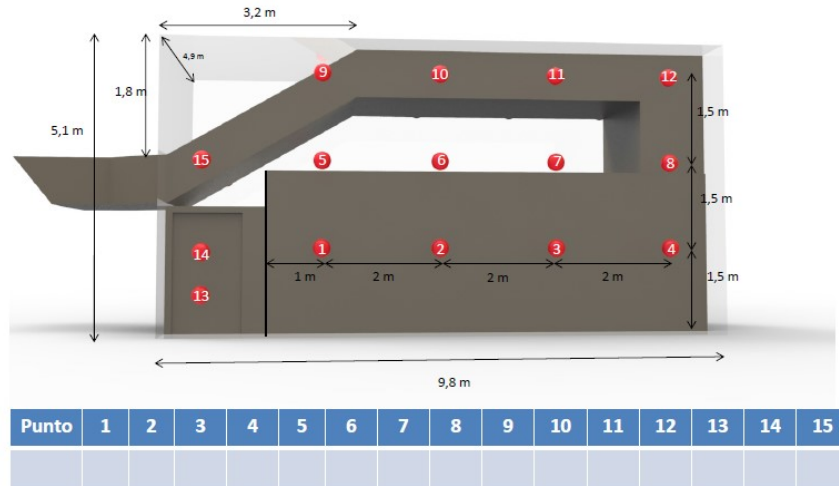
Tab. 5.38 - Calcolo del livello di pressione sonora medio del sistema di espulsione aria

Il valore medio del livello di pressione sonora del sistema di espulsione aria risulta pari a 57,3 dBA. Pertanto il valore di potenza sonora "arrotondato" risulta pari a:

$$L_W^{LT} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 57,3 + 10 \log(29,3) = 57,3 + 14,7 = 72,0 \text{ dBA}$$

Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza di componente tonale a bassa frequenza (80 Hz).

Sono state eseguite misure del livello di pressione sonora a distanza di un metro dal cabinato e su entrambe le facciate. La facciata 1, lato trasformatore, e la facciata 2, lato opposto. Le misure del livello di pressione sonora ambientale sono riportate nelle tabelle che seguono.



CONTAINER (LATO VS TRASFORMATORE)																
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
File	777	778	779	780	784	785	786	788	789	790	791	793	781	782	783	
Ora	00:10	00:11	00:11	00:12	00:15	00:16	00:17	00:19	00:20	00:21	00:22	00:23	00:13	00:14	00:14	
LA (dB)	72,7	77,1	77,1	76,8	73,1	77,4	77,5	77,5	73,8	76,9	78,5	76,9	71,4	71,9	72,8	76,0
Toni Hz)	80	80	80		80	80	80	80	80		80	80		80	80	

Tab. 5.39 - Misura del livello di pressione sonora medio ad un metro di distanza dal container (lato vs trasformatore)

Al fine di verificare il valore effettivo del livello di pressione sonora ad un metro di distanza dal container eliminando il contributo dovuto al rumore residuo dovuto al fondo al trasformatore e alle tubazioni di recupero energetico vengono confrontati i valori misurati sul lato opposto al trasformatore in quanto la misura del livello ambientale non risente del contributo del trasformatore. Il rumore di fondo ha livelli molto inferiori rispetto ai valori ambientali misurati.

Nella tabella 5.40 vengono riportati i livelli di pressione sonora ad un metro di distanza dal container (lato opposto trasformatore). La tabella 5.40 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_A (dBA), livelli di pressione sonora imputabili alle tubazioni, livelli di pressione sonora in campo riverberante (Lps) misurati ad 1 metro di distanza dal cabinato. Il rumore di fondo misurato a macchine spente (dati di tabella 3 con valori inferiori a 42 dBA) risulta complessivamente ininfluenza ($K1=0$).

CONTAINER (LATO OPPOSTO TRASFORMATORE)																
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
File	794	795	796	797	801	802	804	805	806	808	809	810	798	799	800	
Ora	00:27	00:28	00:28	00:29	00:32	00:33	00:34	00:35	00:36	00:37	00:38	00:38	00:30	00:31	00:31	
LA (dB)	72,4	73,2	73,6	74,6	74,2	75,9	76,1	75,8	72,5	75,2	75,5	74,1	71,5	72,8	73,2	74,3
per tubazioni	63	65,3	68,5	72	63	65,3	68,5	72	63	65,3	68,5	71	61,2	61,2	61,2	67,6
Lps (dB)	71,9	72,4	72,0	71,1	73,9	75,5	75,3	73,5	72,0	74,7	74,5	71,2	71,1	72,5	72,9	73,2
Toni Hz)	80			80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	

Tab. 5.40 - Misura del livello di pressione sonora medio ad un metro di distanza dal container (lato opposto al trasformatore)

Relativamente al valore il livello di pressione sonora ambientale dovuto alle tubazioni (valori ottenuti dai dati di cui ai files 811, 812, 813, 814), note le distanze dalle sorgenti, è stato calcolato per

divergenza il contributo dato al livello LA (dBA) e quindi per differenza logaritmica è stato calcolato il valore del livello di pressione sonora in campo riverberante (Lps) misurati ad 1 metro di distanza dal cabinato.

Il valore medio del livello di pressione sonora in campo riverberante misurato ad 1 m di distanza dal cabinato risulta pari a 73,2 dBA.

In quasi tutte le misure eseguite è stata evidenziata la presenza di componenti tonali a 80 Hz.

Per il calcolo del coefficiente K2 che esprime il contributo riverberante dovuto all'ambiente, tra le due formule indicate è stata utilizzata la prima ritenuta più adatta (il valore di A_s è stato calcolato assumendo come valore del tempo di riverbero il valor medio a 1000 Hz pari a 1,19):

$$K_2 = 10 \log \left(1 + \frac{4S}{A_s} \right) = 10 \log \left(1 + \frac{4 \times 47,1}{407} \right) = 1,7$$

Utilizzando la seconda formula si sarebbe ottenuto un valore pari a 0,4, valore ritenuto non congruo se confrontato con i valori di potenza acustica della superficie emittente.

$$K_2 = 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right)$$

Il valore di K2 pari a 1,7 è inferiore al valore massimo di 2.0 per le misure eseguite in ambiente semi riverberante, e pertanto la misura si ritiene accettabile.

Il livello di pressione sonora della macchina in campo libero si ottiene sottraendo al valore medio pesato delle misure effettuate i coefficienti correttivi del rumore residuo e dell'ambiente di misura:

$$L_p^{dir} = L_p^{mis} - K_1 - K_2 = 73,2 - 0 - 1,7 = 71,5 \text{ dBA}$$

Di seguito viene riportata la sintesi di tutte le misure eseguite e il confronto con i dati di specifica:

Sorgente	Grandezza	Valore calcolato e tolleranza	Valore max ammesso	Componenti tonali
<i>Sistema di espulsione aria di ventilazione</i>	LWA	72,0 (+-3)	79,9	80 Hz
<i>Camino di espulsione fumi del cogeneratore</i>	LWA	75,0 (+-3)	78,0	80 Hz
<i>Dry cooler (sezione dissipativa LT)</i>	LWA	71,0 (+-3)	68,2	
<i>Dry cooler (sezione dissipativa HT)</i>	LWA	75,0 (+-3)	75,4	
<i>Cabinato acustico</i>	LpsA	71,5 (+-3)	65,0 (d=1 m)	80 Hz

Tab. 5.41 - Limiti ammessi di potenza sonora e valori calcolati

5.11 MISURE ACUSTICHE DI PRESSIONE SONORA IN BANDE DI TERZI DI OTTAVA PER LA DETERMINAZIONE DELLA POTENZA SONORA DI CALDAIA DI INTEGRAZIONE E SOCCORSO

Le sorgenti di rumore relative alla caldaia di integrazione e soccorso sono costituite da:

- Corpo della caldaia;
- Sistema di scarico dei fumi (camino);
- Sistema di tubazioni interne al capannone;

All'interno del capannone sono presenti le sorgenti tipiche caratteristiche di una caldaia: bruciatore, mantello cilindrico, ventilatori, pompe di circolazione e sistemi di tubazioni.

La caldaia non è dotata di marmitta. I fumi sono scaricati all'esterno, al di sopra del piano di calpestio del tetto, a circa 8,5 m dal piano stesso, mediante un camino di circa 1.200 mm di diametro.

SORGENTI DI RUMORE ANALIZZATE

- Ubicate all'esterno della Centrale di Teleriscaldamento:
 - Camino di espulsione fumi;
- Ubicate all'interno della Centrale di Teleriscaldamento:
 - Sistema di tubazioni, mantello e bruciatore della caldaia.

Sorgente	Ambiente	Grandezza	Valore max ammesso	Componenti tonali bassa frequenza
<i>Camino di espulsione fumi</i>	Esterno	LWA	91,0	Non ammesse
<i>Caldaia</i>	Interno	LpsA	80,0 (d=1 m)	

Tab. 5.42 - Limiti ammessi (tolleranze sui valori indicati di 3 dB).

Le misure del rumore residuo sono state effettuate spegnendo tutte le sorgenti presenti in centrale per un periodo di tempo limitato, considerando che l'impianto è deputato alla produzione di calore per teleriscaldamento, non interrompibile in quanto servizio pubblico. Il fatto che le sorgenti fossero tenute spente per un periodo limitato ha influito sul tempo dedicato all'esecuzione di ogni singola misura.

Nella tab. 5.43 sono riportati i valori delle misure eseguite.

GG	MISURE DI Lps									
note	MACCHINE SPENTE									
P.to	Item	In/out	Tipo	Dove	File	Ora	dBA	CT (Hz)	Freq. Anomale	Nota
1	M5	IN	Lps	cald. New	689	00:39	44,4			
2	M6	IN	Lps	cald. New	690	00:40	44,3			
3	M7	IN	Lps	cald. New						
4	M8	IN	Lps		691	00:41	44,9			
5	M9	IN	Lps		692	00:41	41,6			
6	M17	OUT	Lps	tetto cald. New	702	00:53	32,3		500	
7	M18	OUT	Lps	confine 1A	677	00:17	34,7	200	80 / 1000	34,7
8	M19	OUT	Lps	confine 1B	678	00:18	32,0	200	80 / 1000	32,8
9	M20	OUT	Lps	confine 2	679	00:23	38,7			38,7
10	M21	OUT	Lps	ricettore C	680	00:26	33,5	200	100	33,5
11	M24				681	00:27	43,0	200	100	Cabina Enel vicino ricettore C

Tab. 5.43 - Misura del livello di rumore residuo

Le misure del tempo di riverbero sono quelle già indicate in precedenza.

La potenza sonora quindi viene calcolata (nel caso specifico) sulla base di una grandezza ovvero i livelli di pressione sonora.

La distanza a cui si prendono le misure è un elemento importante ai fini dell'accuratezza dei risultati. Nel caso specifico poiché dovevano essere sottoposte ad analisi di potenza sonora il camino e doveva essere sottoposta ad analisi della misura di pressione sonora anche il corpo caldaia e la pompa di circolazione del teleriscaldamento, sono state scelte superfici di misura del seguente tipo:

Elemento	Superficie di misura	Distanza di misura
Corpo caldaia	Parallelepipedo	1,0 m
Corpo pompa TLR	Parallelepipedo	1,0 m
Camino di scarico	Cilindro	1,0 m

Tab. 5.44 - Distanza di misura

La distanza di misura scelta è indicata nella tabella 5.44. Sotto vengono riportati gli schemi di misura adottati.

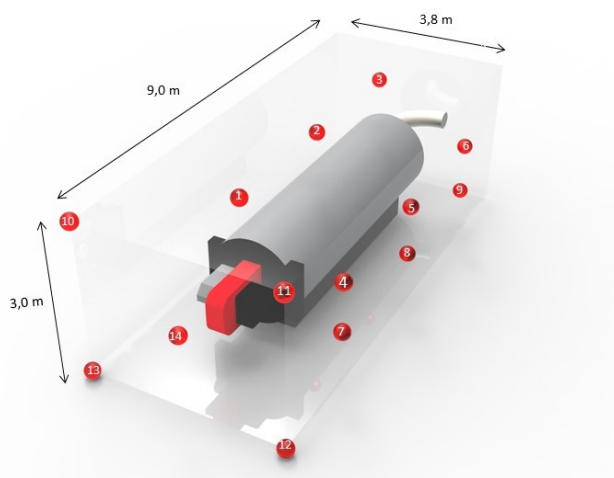


Fig. 5.33 Corpo caldaia

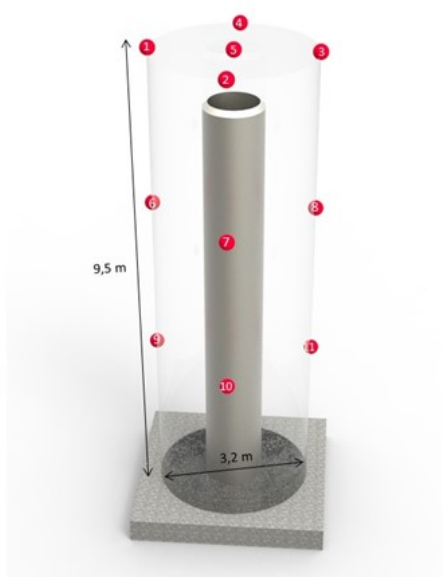


Fig. 5.34 Camino di scarico della caldaia

Al fine di determinare i valori di potenza sonora dei componenti del nuovo impianto di cogenerazione sono state spente tutte le macchine ad eccezione del nuovo impianto di cogenerazione e sono state eseguite misure di pressione sonora.

Nella tabella 5.45 che segue, relativa al camino, vengo riportati i dati tecnici che consentono di trasformare la pressione sonora in potenza sonora:

MISURE ESTERNE SU CAMINO												
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOT
File	391	394	395	396	389	401	405	407	408	409	410	
Ora	23:46	23:49	23:50	23:51	23:44	23:56	00:01	00:02	00:03	00:04	00:05	
LA (dB)	46,7	44,3	47	44,5	51,3	46,6	42,1	44,8	42,8	45,3	44,8	46,2
Correzione fondo	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	
Lps (dBA)	46,6	44,1	46,9	44,3	51,3	46,5	41,7	44,6	42,4	45,1	44,6	46,1
Toni (Hz)	63	63	315		63							
Lw camino=	56,2 dBA											
diametro=	1,2 m											
altezza=	8,5 m											
circonferenza=	10,0 m											
S=	103,5 m ²											

Tab. 5.45 - Misure di pressione sonora sul camino esterno

CAMINO

Le misure di pressione sonora sono state eseguite in corrispondenza dei punti di fig. 5.34.

I valori della campagna di rilievi sono riportati in tabella 5.45. La tabella 5.45 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in L_{ps} (dBA) che risultano coincidenti con i livelli di pressione sonora del camino in quanto il rumore residuo è ininfluenza.

Il valore medio del livello di pressione sonora del camino risulta pari a 46,1 dBA. Pertanto il valore di potenza sonora "arrotondato" risulta pari a:

$$L_W^{Camino\ 25\%} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 46,1 + 10 \log(103,5) = 46,1 + 10,1 = 56,2\ dBA$$

Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza componenti a 63 e 315 Hz che, non essendo state misurate per tutti i punti, non hanno le caratteristiche di essere definite come componenti tonali.

Il valore sopra determinato è stato corretto tenendo conto del regime di rotazione del ventilatore del bruciatore, sulla base della ricostruzione della frequenza di rotazione noti i punti corrispondenti al 10% del carico e al 100% del carico, utilizzando altresì i parametri che seguono:

Coefficiente $k_1=0$

Carico di funzionamento caldaia durante le misurazioni= 25%

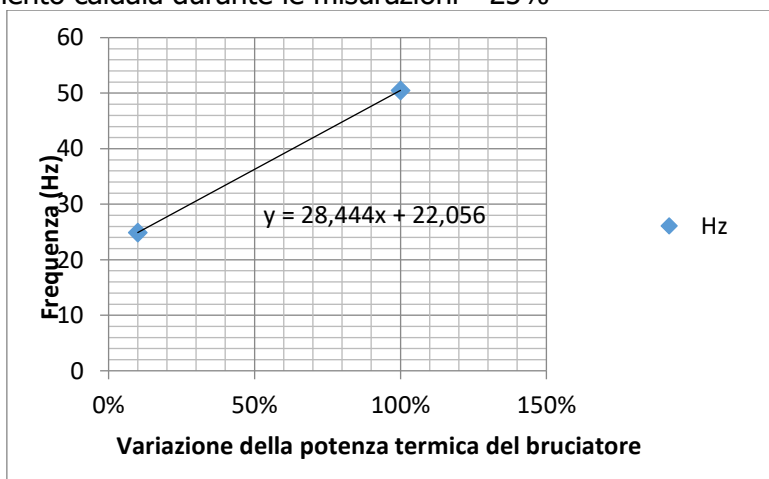


Fig. 5.35 - Potenza termica al bruciatore

Sono state eseguite misure del livello di pressione sonora a distanza di un metro dal corpo caldaia su tre facciate, come indicato nella fig. 5.33. Le misure del livello di pressione sonora ambientale sono riportate nelle tabelle che seguono.

CALDAIA															TOT
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOT
File	420	422	423	424	412	413	414	415	416	417	418	419	425	426	
Ora	00:21	00:23	00:24	00:24	00:15	00:16	00:16	00:17	00:18	00:19	00:19	00:20	00:26	00:26	
LA (dB)	72,3	72,4	71,6	73,1	72,8	72,2	72,3	73,3	73,3	72,6	72,9	74,5	73,7	76,4	73,3
Correzione per rumore pompe	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	
Correzione K2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	
Lps (dBA)	67,9	68,1	67,0	68,9	68,6	67,8	67,9	69,2	69,2	68,3	68,7	70,6	69,7	72,8	69,2
Toni (Hz)	3150	200			3150		200	200						200	
media pompe															
punto	1	2	3	4											
file	433	434	435	436	TOT										
LAeq	82,3	82,4	84,4	82,1	82,9			19,8	85,9						
Toni		3150	3150												
Lw caldaia=	79,6 dBA														

Tab. 5.46 - Misura del livello di pressione sonora medio ad un metro di distanza dal corpo caldaia

Il valore effettivo in campo libero del livello di pressione sonora ad un metro di distanza dal corpo caldaia viene calcolato eliminando il contributo dovuto al rumore residuo e alle pompe di circolazione e adattato alle condizioni operative pari alla massima potenza termica raggiungibile.

Nella tabella 9 vengono riportati i livelli di pressione sonora ad un metro di distanza dal corpo caldaia. La tabella 9 riporta i seguenti dati: file di misura, ora: min. della misura, livelli di pressione sonora misurati in LA (dBA), livelli di pressione sonora imputabili alla pompa di circolazione del teleriscaldamento. Il rumore di fondo misurato a macchine spente risulta complessivamente ininfluenza (K1=0).

CALDAIA															TOT
P.to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOT
File	420	422	423	424	412	413	414	415	416	417	418	419	425	426	
Ora	00:21	00:23	00:24	00:24	00:15	00:16	00:16	00:17	00:18	00:19	00:19	00:20	00:26	00:26	
LA (dB)	72,3	72,4	71,6	73,1	72,8	72,2	72,3	73,3	73,3	72,6	72,9	74,5	73,7	76,4	73,3
Correzione per rumore pompe	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	66,03	
Correzione K2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	
Lps (dBA)	67,9	68,1	67,0	68,9	68,6	67,8	67,9	69,2	69,2	68,3	68,7	70,6	69,7	72,8	69,2
Toni (Hz)	3150	200			3150		200	200						200	
media pompa															
punto	1	2	3	4											
file	433	434	435	436	TOT										
LAeq	82,3	82,4	84,4	82,1	82,9			19,8	85,9						
Toni		3150	3150												
Lw caldaia=	79,6 dBA														

Tab. 5.47 - Misura del livello di pressione sonora medio ad un metro di distanza dal corpo caldaia

Relativamente al valore il livello di pressione sonora ambientale dovuto alla pompa (valori ottenuti dai dati di cui ai files 433, 434, 435, 436), note le distanze dalle sorgenti, è stato calcolato per divergenza, tenendo conto delle riflessioni dell'ambiente, il contributo dato al livello LA (dBA) e quindi per differenza logaritmica è stato calcolato il valore del livello di pressione sonora in campo riverberante (Lps) misurati ad 1 metro di distanza dal cabinato.

Per il calcolo del coefficiente K2 che esprime il contributo riverberante dovuto all'ambiente, tra le due formule indicate al capitolo 6 è stata utilizzata la prima ritenuta più adatta (il valore di As è stato calcolato assumendo come valore del tempo di riverbero il valor medio a 1000 Hz pari a 1,19):

$$K_2 = 10 \log \left(1 + \frac{4S}{A_s} \right) = 10 \log \left(1 + \frac{4 \times 111}{407} \right) = 3,2$$

Il valore di K2 pari a 3,2 è inferiore al valore massimo di 7.0 per le misure eseguite in ambiente semi riverberante in situ, e pertanto la misura si ritiene accettabile.

Il valore medio del livello di pressione sonora, corretto con i coefficienti K1 (=0) e K2, risulta pari a 69,2 dBA.

$$L_p^{dir} = L_p^{mis} - K_1 - K_2 = 73,3 - 0 - 3,2 = 69,2 \text{ dBA}$$

Pertanto il valore di potenza sonora “arrotondato” risulta pari a:

$$L_W^{Caldaia\ 25\%} = L_{ps} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 69,2 + 10 \log(111) = 69,2 + 10,4 = 79,6 \text{ dBA}$$

Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza componenti a 200 Hz che, non essendo state misurate per tutti i punti, non hanno le caratteristiche di essere definite come componenti tonali.

Il valore sopra determinato è stato corretto tenendo conto del regime di rotazione del ventilatore del bruciatore, sulla base della ricostruzione della frequenza di rotazione noti i punti corrispondenti al 10% del carico e al 100% del carico, utilizzando altresì i parametri che seguono:

Carico di funzionamento caldaia durante le misurazioni= 25%

$$L_W^{Caldaia\ 100\%} = L_W^{Caldaia\ 25\%} + 50 \log \left(\frac{50 \text{ Hz}}{29 \text{ Hz}} \right) = 79,6 + 12,2 = 91,8 \text{ dBA}$$

Ricalcolando con la formula inversa il valore del livello di pressione sonora corretto, tenendo conto della potenzialità massima della caldaia, si ottiene, ad un metro dalla caldaia in campo libero:

$$L_{ps}^{Caldaia\ 100\%} = L_W - 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) = 91,8 - 10 \log(111) = 91,8 - 10,4 = 81,4 \text{ dBA}$$

Di seguito viene riportata la sintesi di tutte le misure eseguite e il confronto con i dati di specifica:

Sorgente	Grandezza	Valore calcolato e tolleranza	Valore max ammesso	Componenti tonali
<i>Camino di espulsione fumi</i>	LWA	68,4 (+-3)	91,0	
<i>Corpo caldaia</i>	Lps	81,4 (+-3)	80,0 (d=1 m)	

Tab. 5.48 - Confronto tra valori misurati e valori ammissibili (tenendo conto della tolleranza di 3 dB)

I valori di Lps del corpo della caldaia e il valore di potenza sonora del camino della caldaia rispettano (tenendo conto della tolleranza ragionevolmente applicata di + 3dB) i valori massimi ammessi.

5.12 VALUTAZIONE DI IMPATTO ACUSTICO INERENTE L'ATTUALE CENTRALE DI COGENERAZIONE DI VIA VICI A SEGUITO DELLA SOSTITUZIONE DELLA TURBOGAS CON COGENERATORE DOTATO DI MOTORE ALTERNATIVO A GAS E CALDAIA SOSTITUTIVA DELLE DUE DISMESSE

Il nuovo motore cogenerativo ha sostituito la turbogas, mentre la nuova caldaia è diventata sostitutiva delle due caldaie esistenti, che assumono ora la funzione di ridondanza (soccorso) e di integrazione nelle giornate invernali di massimo carico. L'inserimento del cogeneratore e della caldaia ausiliaria comporta una riduzione delle emissioni ed immissioni acustiche.

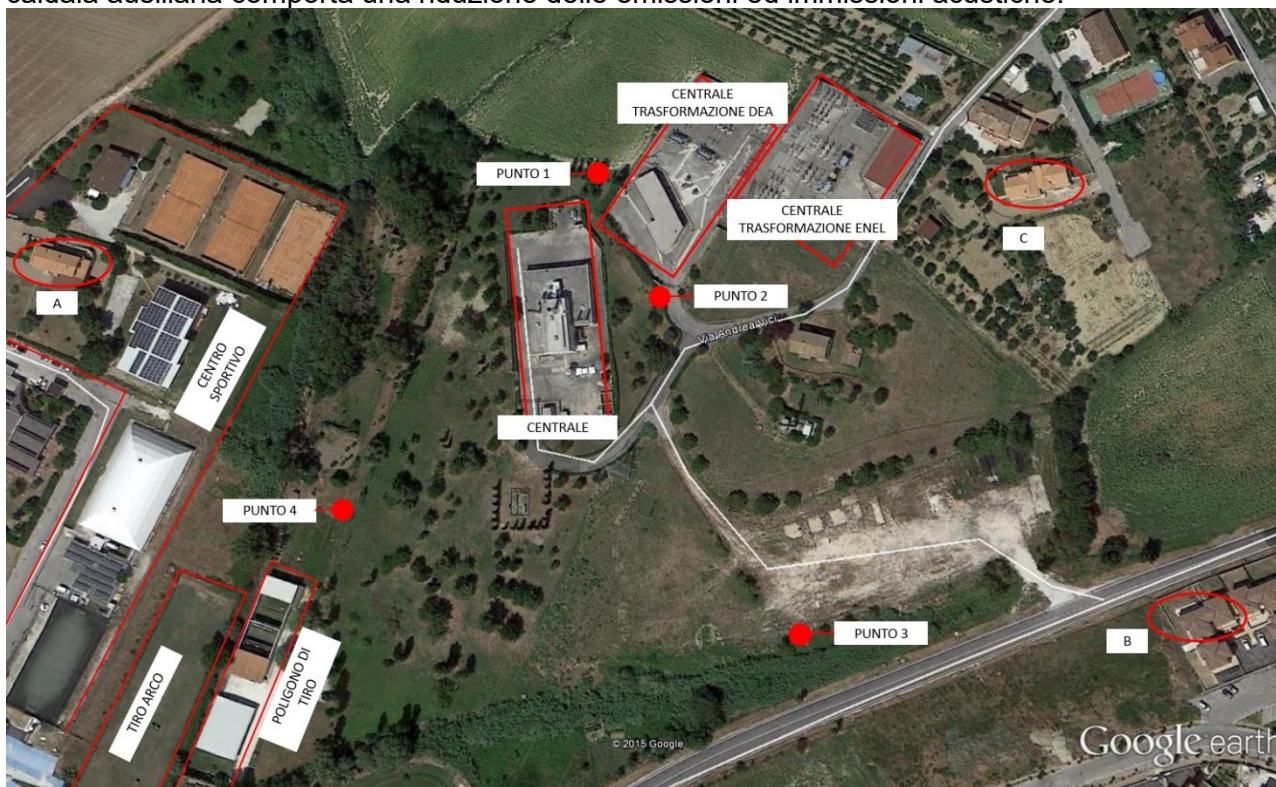


Fig. 5.36 Indicazione dei punti di misura

L'area della centrale si colloca in classe IV, il ricettore sensibile A si colloca in classe III ed i ricettori B e C in classe IV come da piano di zonizzazione acustica del Comune di Osimo. Sono stati inoltre campionati i livelli di pressione sonora sui confini di proprietà ASTEA (punti da 1 a 4 di fig. 5.36). Il punto 1 si trova in classe III mentre i rimanenti in classe IV.

Dettaglio dei ricettori sensibili:

- Ristorante (ricettore A – CLASSE III), ricettivo principalmente di chi usufruisce degli impianti sportivi, posto in posizione protetta rispetto alla centrale dagli edifici sportivi (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 200 m);
- Abitazione (ricettore B- CLASSE IV) posta in via Vescovara (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 260 m);
- Villetta (ricettore C- CLASSE IV) in via Vici non a vista (protetta da terreno e alberi) rispetto alla centrale e posta in prossimità delle centrali di trasformazione Enel e DEA SPA (distanza in linea d'aria dalla centrale pari a circa 180 m);

Il nuovo motore cogenerativo ha sostituito la turbogas, mentre la nuova caldaia è diventata sostitutiva delle due caldaie esistenti, che assumono ora la funzione di ridondanza (soccorso) e di integrazione nelle giornate invernali di massimo carico. L'inserimento del cogeneratore e della caldaia ausiliaria comporta una riduzione delle emissioni ed immissioni acustiche.

L'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento è un impianto a ciclo produttivo continuo realizzato prima dell'entrata in vigore del Decreto DM 11/12/96 (Descrizione: Applicazione del criterio

differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo in GU n. 52 del 04/03/97), che riguarda tale tipologia di impianti dal punto di vista acustico.

La nuova caldaia è denominata Caldaia C. Le altre due vecchie caldaie sono denominate Caldaia A e Caldaia B.

Ad asservimento del cogeneratore ci sono:

- Sistema di espulsione dell'aria di raffreddamento del cabinato del motore;
- Sistema di aspirazione dell'aria di raffreddamento del cabinato del motore e complesso silenziato del cabinato, che hanno impatto esterno attraverso alcune bocche di lupo presenti nel capannone (n. 3 lato est);
- Sistema delle griglie presenti sulle bocche di lupo (attraverso il quale è convogliato all'esterno il rumore delle sorgenti interne alla centrale);
- Sistema di ventilazione del trasformatore installato all'interno del capannone;
- Sistema di ventilazione intercooler Low Temperature installato sull'esterno;
- Sistema di ventilazione intercooler High Temperature installato sull'esterno (mai funzionante in relazione al programma di accensione del motore, che prevede l'attivazione solo in caso di intervento di sicurezza)
- Estrattori dell'aria calda della centrale.

Ad asservimento della caldaia ci sono:

- Sistema di aspirazione dell'aria di raffreddamento presente all'interno del capannone;
- Sistema delle griglie presenti sulle bocche di lupo (comune a cogeneratore, e gli ausiliari di centrale);
- Estrattori dell'aria calda della centrale (comune a cogeneratore, e gli ausiliari di centrale).

BOX INSONORIZZATO

Il modulo cogenerativo è contenuto all'interno di un box insonorizzato.

Il box è dotato di pareti composte da pannelli modulari autoportanti ad alto assorbimento acustico e ad alto potere fono impedente. La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente il conseguimento di un potere fonoisolante minimo della struttura coibente, misurato in accordo alle norme ISO 717/1, pari a 49 dB.

SISTEMA DI ASPIRAZIONE E SCARICO ARIA DI RAFFREDDAMENTO

Il sistema di alimentazione dell'aria di raffreddamento e di espulsione della stessa dal container contenente il cogeneratore è dotato di silenziatori a sezione rettangolare, realizzati in lamiera d'acciaio zincato a caldo completi di flange di collegamento. I setti fonoassorbenti sono realizzati con doppia parete di lamiera forata, con interposto velo vetro e pannelli di lana di roccia ad alto coefficiente di assorbimento acustico (reazione al fuoco almeno di classe 1).

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora misurata allo scarico del sistema di espulsione aria pari a 82,9 dBA.

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora misurata all'aspirazione del sistema di ventilazione pari a 85,9 dBA.

CAMINO DEL COGENERATORE

Il motore cogenerativo è dotato di un'ideale marmitta: la prima sezione di tipo a risonanza (finalizzata alla riduzione le emissioni acustiche in bassa frequenza), la seconda sezione, in serie alla prima, di tipo "ad assorbimento".

La soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del camino di scarico pari a 84,0 dBA. La soluzione fornita non ammette la presenza di componenti tonali.

DRY COOLER

Il motore cogenerativo recupera parte dell'energia sia dall'intercooler LT: Low Temperature (non sfruttabile in quanto a bassa temperatura e pertanto sempre acceso) che dall'intercooler HT: High Temperature e dalla camicia del motore (da dissipare solo in condizioni di sicurezza prima dello stop della macchina). La dissipazione dell'energia verrà effettuata nella seguente maniera:

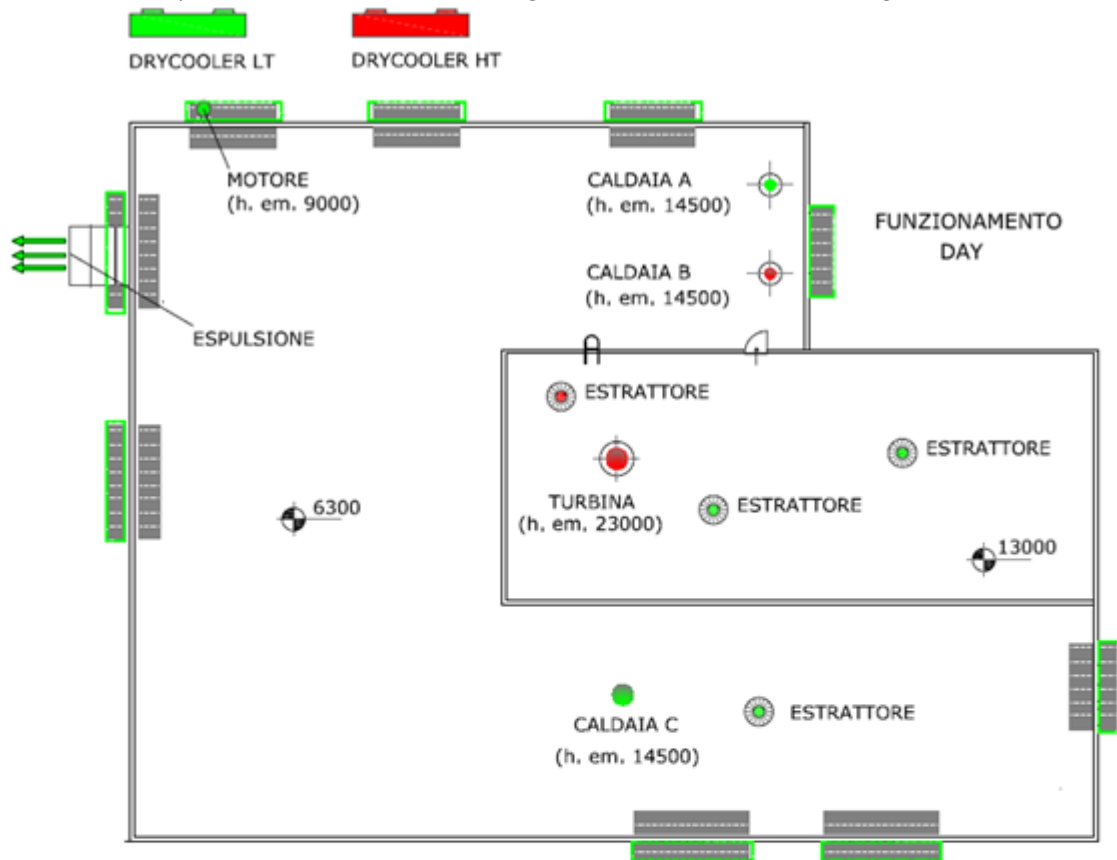


TABELLA FUNZIONAMENTO IMPIANTO DAY	ELEMENTI	ORE	POTENZA ACUSTICA	STATO	NOTE
DESCRIZIONE	n.	h	LWA		
CAMINO MOTORE	1	16	84,0	ACCESSO	
ESPULSIONE	1	16	79,9	ACCESSO	VERSANTE NORD
ASPIRAZIONE DA GRIGLIE	3	16	66,9	ACCESSO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGLIE A EST
GRIGLIE	9	16		ACCESSO	
DRYCOOLER LT	1	16	68,2	ACCESSO	VERSANTE EST
DRYCOOLER HT	1	0	75,4	SPENTO	VERSANTE EST
ESTRATTORI	3	12		ACCESSO	VEDASI FIGURA
CALDAIA C	1	16	75,2	ACCESSO	
CALDAIA A	1	11	91,2	ACCESSO	
CALDAIA B	1	0	91,2	SPENTO	
TURBINA	1	0		SPENTO	

Fig.5.37 - Orari di funzionamento dell'impianto (night)

DRY COOLER LT

Esso è costituito da un blocco di tre ventilatori assiali EC (a bassa velocità di rotazione per ridurre le emissioni sonore) dotati di motore "brushless" a bassissimo impatto acustico; i ventilatori sono dotati di sistema di controllo giri in funzione della temperatura dell'acqua; i ventilatori usano diffusori AxiTop al fine di ridurre la potenza acustica di ciascun ventilatore e la potenza elettrica assorbita; la soluzione minima garantita dall' Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del Dry Cooler LT pari a 68,2 dBA (somma logaritmica dell'apporto dei tre ventilatori e degli accessori).

DRY COOLER HT

Esso è costituito da un blocco di quattro ventilatori assiali EC (a bassa velocità di rotazione per ridurre le emissioni sonore) dotati di motore “brushless” a bassissimo impatto acustico; i ventilatori sono dotati di sistema di controllo giri in funzione della temperatura dell’acqua; i ventilatori utilizzano diffusori AxiTop al fine di ridurre la potenza acustica e la potenza elettrica assorbita; la soluzione minima garantita dall’ Appaltatore consente un valore massimo di potenza sonora del Dry Cooler HT pari a 75,4 dBA (somma logaritmica dell’apporto dei quattro ventilatori e degli accessori).

L’impianto “DEMI”, precedentemente situato all’interno del capannone in centrale è stato smantellato.

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA DAY	Elementi	Ore	Potenza acustica	Stato	NUOVO FUNZIONAMENTO
	n.	h	LWA		
Camino motore	1	16	84,0	ACCESO	
Espulsione aria cabinato	1	16	79,9	ACCESO	VERSANTE NORD
Aspirazione aria attraverso tre bocche laterali	3	16	66,9	ACCESO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGLIE A EST
Griglie	9	16		ACCESO	
Drycooler LT	1	16	68,2	ACCESO	VERSANTE EST
Drycooler HT	0	0	75,4	SPENTO	VERSANTE EST
Estrattori	3	12		ACCESO	VEDASI FIGURA
Caldaia C	1	16	75,2	ACCESO	
Caldaia A	1	11	91,2	ACCESO	
caldaia B	0	0	91,2	SPENTO	
Turbina	0	0	96,0	SPENTO	

TABELLA ORARI DI FUNZIONAMENTO MACCHINE D'IMPIANTO NELLE CONDIZIONI DI POTENZA MASSIMA NIGHT	Elementi	Ore	Potenza acustica	Stato	NUOVO FUNZIONAMENTO
	n.	h	LWA		
Camino motore	1	8	84,0	ACCESO	
Espulsione aria cabinato	1	8	79,9	ACCESO	VERSANTE NORD
Aspirazione aria attraverso tre bocche laterali	3	8	66,9	ACCESO	ASPIRAZIONE MOTORE GRIGLIE A EST
Griglie	9	8		ACCESO	POTENZA AL 25% RISPETTO AL DAY
Drycooler LT	1	8	68,2	ACCESO	VERSANTE EST
Drycooler HT	0	0	75,4	SPENTO	VERSANTE EST
Estrattori	1	8		ACCESO	VEDASI FIGURA
Caldaia C	1	6	75,2	ACCESO	
Caldaia A	0	0	91,2	SPENTO	
caldaia B	0	0	91,2	SPENTO	
Turbina	0	0	96,0	SPENTO	

Tab. 5.49 - Orari di funzionamento dell’impianto (day/night)

Le sorgenti di rumore presente nell’area di studio sono già state indicate. I ricettori sensibili più vicini all’impianto sono posizionati alle seguenti distanze dalla centrale:

Il ricettore sensibile A risente in maniera molto sensibile dei suoi avventori, della presenza del centro sportivo e delle attività che contemporaneamente e in esso si svolgono;

Il ricettore sensibile C è a distanza di circa 60 m dai Trafo Enel e a circa 110 m dai Trafo Dea SPA e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze);

Il ricettore sensibile B è a distanza di circa 200 m dai Trafo Enel e a circa 250 m dai Trafo Dea SPA e quindi risente di tali sorgenti (soprattutto alle basse frequenze).

Ai sensi dell’art.3, comma 1 del DM 11/12/96 poiché l’impianto è un impianto a ciclo produttivo esistente prima dell’emanazione del DPCM 01/03/91 non si applica il criterio differenziale qualora siano rispettati i limiti di zona in termini di emissioni ed immissioni assolute. Nel presente lavoro è stata comunque inserita per completezza tale verifica del criterio differenziale anche se non dovuta.

Durante la campagna di misure diurne, non essendo stato possibile spegnere la centrale, per campionare i livelli di pressione sonora di rumore residuo è stata utilizzata una fase di minimo carico della centrale spegnendo anche il cogeneratore per il tempo strettamente necessario ad effettuare le misure sui vari punti stabiliti. Nonostante ciò, come si evince dai risultati di seguito indicati, le emissioni assolute e le immissioni assolute sono di molto al di sotto dei limiti imposti dalla vigente normativa. Per le misure notturne è stato possibile spegnere solo per poco tempo l'intera centrale utilizzando come volano termico le tubazioni del teleriscaldamento che hanno un volume di circa 400 mc.

Punto	File	LAeq [dB]	Commenti
1	11	44,7 + 3 componente tonale	Rumore ambientale Day
2	12	44,7	Rumore ambientale Day
3	14	44,1	Rumore ambientale Day
4	16	43	Rumore ambientale Day
A	17	44,5	Rumore ambientale Day
B	15	44,2	Rumore ambientale Day
C	13	47,1	Rumore ambientale Day
1	18	43,7	Rumore residuo Day
2	19	42,5	Rumore residuo Day
3	21	43,5	Rumore residuo Day
4	23	42,7	Rumore residuo Day
A	24	43,9	Rumore residuo Day
B	22	43,9	Rumore residuo Day
C	20	44,7	Rumore residuo Day
1	25	42,3 + 3 componente tonale	Rumore ambientale Night
2	26	41,6	Rumore ambientale Night
3	28	43,5	Rumore ambientale Night
4	30	43,8	Rumore ambientale Night
A	31	40,2	Rumore ambientale Night
B	29	44	Rumore ambientale Night
C	27	38,8	Rumore ambientale Night
1	32	35,9	Rumore residuo Night
2	33	37,7	Rumore residuo Night
3	35	39,2	Rumore residuo Night
4	37	42,4	Rumore residuo Night
A	38	39,5	Rumore residuo Night
B	36	41,8	Rumore residuo Night
C	34	34,9 + 3 componente tonale	Rumore residuo Night

Tab. 5.50 - Risultati della campagna di misure

Files Amb/res	P.to	Classe	A= LAeq Ambientale [dB]	B= LAeq residuo [dB]	A-B= Emissioni in TM [dB]	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	Emissioni in TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
11/18	1	3	47,7	43,7	45,5	16	16	45,5	55	SI
12/19	2	4	44,7	42,5	40,7	16	16	40,5	60	SI
14/21	3	4	44,1	43,5	35,2	16	16	35	60	SI
16/23	4	4	43	42,7	31,2	16	16	31	60	SI
17/24	A	3	44,5	43,9	35,6	16	16	35,5	55	SI
15/22	B	4	44,2	43,9	32,4	16	16	32,5	60	SI
13/20	C	4	47,1	44,7	43,4	16	16	43,5	60	SI

Tab. 5.51 - LIVELLI DI EMISSIONE ASSOLUTI DAY (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Files Amb/res	P.to	Classe	A= LAeq Ambientale [dB]	B= LAeq residuo [dB]	A-B= Emissioni in TM [dB]	TR [ore]	Tempo funzionamento sorgente	Emissioni in TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
25/32	1	3	45,3	35,9	44,8	8	8	45	45	SI
26/33	2	4	41,6	37,7	39,3	8	8	39,5	50	SI
28/35	3	4	43,5	39,2	41,5	8	8	41,5	50	SI
30/37	4	4	43,8	42,4	38,2	8	8	38	50	SI
31/38	A	3	40,2	39,5	31,9	8	8	32	45	SI
29/36	B	4	44	41,8	40	8	8	40	50	SI
27/34	C	4	38,8	37,9	31,5	8	8	31,5	50	SI

Tab. 5.52 - LIVELLI DI EMISSIONE ASSOLUTI NIGHT (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Relativamente alle emissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia che l'attività dell'impianto oggetto della presente relazione risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV).

Media File s Amb/res	P.to	Classe	LAeq [dB] emissioni in TR non arrotondate	TR [ore]	Tempo funziona mento sorgente	LAeq Ambientale [dB] in TR	LAeq Residuo supposto costante per il rimanente intervallo Day [dB]	LAeq IMMISSIONI SONORE IN TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
17/24	A	3	44,5	16	16	44,5	43,9	47	60	SI
15/22	B	4	44,2	16	16	44,2	43,9	47	65	SI
13/20	C	4	47,1	16	16	47,1	44,7	49	65	SI

Tab. 5.53 - LIVELLI DI IMMISSIONE ASSOLUTI DAY (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Media File s Amb/res	P.to	Classe	LAeq [dB] emissioni in TR non arrotondate	TR [ore]	Tempo funziona mento sorgente	LAeq Ambientale [dB] in TR	LAeq Residuo supposto costante per il rimanente intervallo Day [dB]	LAeq IMMISSIONI SONORE IN TR [dB]	Limite di legge DAY [dBA]	Verifica
31/38	A	3	40,2	8	8	40,2	39,5	43	50	SI
29/36	B	4	44	8	8	44	41,8	46	55	SI
27/34	C	4	38,8	8	8	38,8	37,9	41,5	55	SI

Tab. 5.54 - LIVELLI DI IMMISSIONE ASSOLUTI NIGHT (Livelli di pressione sonora arrotondati a 0,5 dB come prescritto dalla vigente normativa)

Relativamente alle immissioni assolute l'analisi effettuata evidenzia che l'attività dell'impianto oggetto della presente relazione risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV).

Confrontando i dati di cui alle tabelle può essere verificato il rispetto dei valori limite differenziali di immissione. I risultati, che si riferiscono al tempo di misura, sono riportati nella tabella 5.

PUNTI	RUMORE NEL TEMPO DI MISURA SUI RICETTORI SENSIBILI [LAeq] (dBA)	RUMORE RESIDUO [LAeq] (dBA)	DELTA DIFFERENZIALE [LAeq] (dBA)	Limite di legge	Verifica
A-DAY	44,5	43,9	0,6	5	SI
B-DAY	44,2	43,9	0,3	5	SI
C-DAY	47,1	44,7	2,4	5	SI
A-NIGHT	40,2	39,5	0,7	3	SI
B-NIGHT	44	41,8	2,2	3	SI
C-NIGHT	38,8	37,9	0,9	3	SI

Tab. 5.55 - Livelli differenziali di immissione

Relativamente alle immissioni differenziali, l'analisi effettuata evidenzia che l'attività dell'impianto oggetto della presente relazione risulta compatibile acusticamente con i limiti di classe acustica (III e IV).

La valutazione di impatto acustico effettuata evidenzia che l'attività della centrale di cogenerazione di via Vici nella configurazione modificata a seguito del revamping eseguito, avviene nel rispetto dei limiti stabiliti dalla Legge Quadro n°447/95 e successivi Decreti Attuativi in termini di emissioni assolute, immissioni assolute, immissioni differenziali.

5.13 CONCLUSIONI

Il presente capitolo ha messo in evidenza gli interventi che sono stati effettuati sulla centrale di cogenerazione nel passaggio dalla configurazione con turbogas all'attuale configurazione a seguito del processo di revamping realizzato. Il lavoro di analisi, verifica e misura, sia delle caratteristiche acustiche delle nuove macchine e dei sistemi di coibentazione acustica, che degli interventi di bonifica interni ed esterni all'opificio, hanno consentito di validare la progettazione eseguita, finalizzata alla notevole riduzione delle emissioni acustiche, a fronte di un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'impianto e quindi di una riduzione dell'emissione di CO₂.

I limiti di zona, in alcuni punti di confine della centrale in classe III e quindi difficilmente compatibili con la presenza di impianti di produzione di energia, in un perimetro tra l'altro in cui sono altresì presenti impianti di trasformazione di energia elettrica sia dell'ente nazionale (TERNA), che del distributore locale (DEA), e che pertanto necessitano di una considerazione della loro eventuale modifica, potevano essere rispettati (in passato) solamente "spegnendo" la turbogas di notte.

Il processo di revamping è stato realizzato con attenzione all'ambiente ed in particolare all'impatto acustico, rispetto dei limiti di emissione ed immissioni. La riduzione ottenuta rispetto alla situazione ante revamping è stata notevole, in quanto nel periodo notturno sono stati registrati, in corrispondenza dei punti maggiormente critici, valori di emissione di 3 dB inferiori.

5.14 RIFERIMENTI

- Legge 26 ottobre 1995, n. 447 modificata da D.lgs. 42 del 17-02-2017 (in vigore dal 19-04-2017), “Legge quadro sull’inquinamento acustico”
- D.P.C.M. 1 marzo 1991, “Limiti massimi di esposizione al rumore degli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”.
- Decreto Ministero dell’Ambiente, 11 dicembre 1996, “Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo” (G.U. n. 52 del 4.3.97)
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 14 novembre 1997, “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore” (G.U. n. 280 del 1.2.97)
- Decreto Ministero dell’Ambiente, 16 marzo 1998, “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento da rumore” (G.U. n.76 del 1.4.98)
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 31 marzo 1998 “Atto di indirizzo e coordinamento recante criteri generali per l’esercizio dell’attività del tecnico competente in acustica, ai sensi dell’art. 3, comma 1, lettera b) e dell’art. 2, commi 6, 7 e 8 della legge 26 ottobre 1995, n. 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico” (G.U. n. 120 del 26.5.98).
- D.P.R. n°142 del 30/03/04
- UNI EN ISO 3744 “Acustica. Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante pressione sonora. Metodo tecnico progettuale in un campo essenzialmente libero su un piano riflettente”
- UNI EN ISO 3382-2, Novembre 2008: “Misurazione dei parametri acustici degli ambienti – Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari”
- Classificazione Acustica del territorio comunale ai sensi della legge quadro 447/95, Comune id Osimo, 2005
- Aggiornamento della procedura ENEL-CIRIAF per la messa a punto di modelli previsionali del rumore prodotto da centrali termoelettriche e sua integrazione per l’utilizzo in ambito urbano in presenza di diverse tipologie di sorgenti, Cesi, 30/06/2005
- Metodi di valutazione del rumore acustico emesso dai principali componenti di centrali a ciclo combinato, CESI, 29/12/2006
- Spagnolo R., Manuale di Acustica Applicata, Ed. Utet Libreria, 2008
- Peretti A., Elia G., Garai M., Nataletti P., Nicolini O., Riduzione del Rumore negli Stabilimenti Industriali – Previsione, propagazione, disposizione delle macchine, schermature e trattamenti Fonoassorbenti, AIA, 2005
- Daly B.B., Manuale di Aeraulica – Tecnica della Ventilazione, Ed. Flakt Woods, 1977
- Sharland I., Manuale di Acustica Applicata – L’attenuazione del Rumore, Ed. Flakt Woods, 1994
- Mattei E., Salvi D., “Valutazione dell’Impatto Acustico di Una Centrale di Cogenerazione a Ciclo Cheng”, Rivista Italiana di Acustica, 16, pp. 55-59, 1992
- Mattei E., Salvi D., “Mappatura Acustica di una Centrale Cogenerativa e Teleriscaldamento”, Isolare CTA, pp. 18-22, 1992
- Mattei E., Serpilli F., Misurazione dei Tempi di Riverberazione: Difficoltà e Problematiche, AIA, 32° Convegno Nazionale, Ancona, a cura di Cesini G., Iannotti A., Mattei E., Di Bella A., Peretti A., 15-17 giugno 2005
- Croome, D.J. (1977) Noise, Building and People, Pergamon Press.
- Lazzarin, R. and M. Strada (1980) Elementi di Acustica Tecnica, CLEUP Padova.
- Harris, C. M. (1957) Handbook of Noise Control, chapter 18 by H .J. Sabine.
- Cremer, L. and H.A.Muller (1982) Principles and Applications of Room Acoustics, Applied Science Publishers LTD. London and New York.
- Eck B. (1973) Fans, Pergamon Press.
- Software evaluator type 7820 Bruel Kjaer
- Qualifier Type 7830 Bruel Kjaer
- Predictor Type 7810 Bruel Kjaer per la verifica dell’impatto acustico in ambiente esterno;
- Software Ramsete Spectra - Progetti di acustica architettonica

CAPITOLO 6

RETI INTELLIGENTI DELLE MULTIUTILITY



- 6.1 PREMESSA
- 6.2 INTRODUZIONE
- 6.3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO
- 6.4 LE ATTIVITA': OSIMO DEMO SITE
- 6.5 CONCLUSIONI
- 6.6 RIFERIMENTI

6.1 PREMESSA

In un periodo di profondi cambiamenti e di iniziative globali volti a trattare il tema del cambiamento climatico, l'Unione Europea, con il più grande programma mai realizzato per la ricerca e l'innovazione – Horizon2020, mira a fornire l'eccellenza scientifica per l'Europa, trasferendo innovazioni, scoperte e risultati rivoluzionari dal laboratorio al mercato. La città di Osimo, grazie all'impegno, alla perseveranza e alla costanza del reparto Ricerca e Sviluppo del Gruppo ASTEA, con il suo progetto di Smart Grids, nato dalla collaborazione con il DIISM dell'Università Politecnica delle Marche, è risultata interessante ed idonea per due progetti europei che fanno parte di Horizon2020.

Inoltre, sono fiero di asserire che una porzione significativa della città di Osimo ha già raggiunto gli obiettivi che l'Unione Europea ha imposto entro il 2020, ovvero una quota del 20% di energia rinnovabile.

Questi obiettivi sono stati raggiunti negli anni, attraverso interventi di risanamento che hanno altresì permesso di recuperare una forte competitività economica, mediante un processo di revamping e di ottimizzazione degli impianti.

Contestualmente sono stati avviati accordi di collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche su temi di ricerca e sviluppo legati al mondo dell'energia, cofinanziati da Gruppo ASTEA, Università, e Comunità Europea.

Ad oggi si può constatare che l'era delle risorse abbondanti e poco costose sta volgendo al termine, l'accesso alle materie prime e all'acqua pulita non si può più dare per scontato. Anche la biodiversità e gli ecosistemi sono sotto pressione. La soluzione dunque, è investire, ora più che mai, nell'innovazione per sostenere un'economia verde, un'economia che sia in sintonia con l'ambiente naturale.

L'impegno recente del Gruppo è stato pertanto quello di promuovere lo sviluppo e l'utilizzo di energia sostenibile, facendo conoscere la realtà aziendale a livello europeo, attraverso la collaborazione con aziende internazionali e non, stringendo forti legami con essi, anche per nuovi futuri interventi di efficienza. Si pensi che, grazie all'avvio di tali progetti, il Gruppo ASTEA sta collaborando in totale con 70 partners di 20 nazioni differenti. Questo ci permette di avere grande visibilità e quindi considerazione a livello internazionale.

I due progetti sono: MUSE GRIDS, INTERRFACE. In particolare il primo progetto, MUSE GRIDS è quello che viene qui sommariamente descritto in quanto strettamente collegato agli sviluppi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni e immissioni in ambiente che costituiscono il nucleo principale di questo lavoro.

6.2 INTRODUZIONE

MUSE GRIDS è un progetto, iniziato a novembre 2018, della durata di 48 mesi, con un budget di circa 6 milioni di euro, finanziato nell'ambito della piattaforma europea HORIZON 2020 che coinvolge 18 partners di 7 nazioni differenti. MUSE GRIDS mira a dimostrare in due contesti, uno urbano (città di Osimo), l'altro rurale (città di Oud-Heverlee in Belgio), un insieme di soluzioni volte all'interazione delle reti locali allo scopo di massimizzare la produzione di energia rinnovabile e contestualmente ridurre la dipendenza dalle fonti fossili.

I due dimostratori pilota intendono promuovere e testare un sistema energetico intelligente che interagisca con la comunità locale.

Il progetto si sviluppa in diverse fasi:

1. Studio delle sinergie tra le reti energetiche e strategie di sviluppo → è la fase più critica, che dura un anno, in cui vengono studiate e decise dove e come avverranno le installazioni dei vari equipment;
2. Sviluppo di un controllore intelligente in grado di fornire misure e modelli predittivi per migliorare la rete → in questa fase, che dura 3 anni, i partner coinvolti (CARTIF e UNIVPM) realizzeranno un algoritmo in grado di modellare i diversi carichi elettrici e termici presenti nei due siti demo in modo che la domanda prevista possa essere utilizzata nel controllo intelligente multi - obiettivo;
3. Mappatura della domanda energetica locale → fase che dura 2 anni, il cui scopo è quantificare la domanda di energia locale con dati reali misurati;
4. Installazione dei componenti nei due siti demo → fase che si sviluppa per l'intera durata del progetto (ovvero 4 anni) in cui vengono integrate nei due siti demo le risorse necessarie per abilitare le strategie DSM predeterminate. Queste risorse comprendono i componenti hardware (ad esempio i sistemi di stoccaggio energetico, la rete avanzata di controllo e misurazione), l'infrastruttura software (ad esempio un database per raccogliere dati storici e in tempo reale) e il controller intelligente MUSE GRIDS;
5. Analisi dei risultati ottenuti dai due siti demo → fase che dura 30 mesi, il cui scopo è identificare e valutare l'efficacia della soluzione MUSE GRIDS in termini di interazione tra le reti, aumento dell'indipendenza energetica, riduzione dei costi energetici, quote di energie rinnovabili;
6. Analisi dell'impatto sociale del progetto MUSE GRIDS → fase che dura 3 anni, il cui scopo è studiare le comunità energetiche come capofila nello sviluppo e nell'assorbimento di nuovi sistemi energetici. C'è la necessità di conoscere quali opportunità le comunità energetiche offrono per l'introduzione e l'ulteriore sviluppo di nuovi sistemi energetici e come queste opportunità arrivano a livello sociale.

In particolare, ad Osimo sono stati previsti, come più volte evidenziato nel presente lavoro, interventi sulla centrale di cogenerazione, sulla rete di teleriscaldamento e su un distretto idrico del centro storico, come anche l'integrazione e la gestione intelligente di una piccola flotta di veicoli elettrici, con la finalità di rendere più efficiente il processo di produzione e trasporto, ridurre le perdite di linea, mettere a disposizione dei clienti allacciati alla rete calore e alla rete idrica analizzata i dati di consumo su base oraria. Ciò allo scopo di rendere più efficiente il sistema, massimizzare l'autoconsumo della produzione rinnovabile a Osimo e ridurre la CO2 emessa in ambiente, ridurre le emissioni acustiche. Il dimostratore di Osimo verrà utilizzato quale potenziale strumento di replica a livello europeo. Infatti le strategie di gestione del nostro impianto di cogenerazione e teleriscaldamento sono di notevole interesse per i paesi del nord Europa e la "micro grid" adottata ad Osimo può esservi facilmente esportata: verranno infatti effettuati studi di fattibilità e simulazioni in siti pilota virtuali in India, Israele e Spagna. ASTEA Spa, sperimenterà in campo soluzioni di ottimizzazione della produzione e dei consumi, attraverso una strategia di "demand response" e l'uso coordinato di strumenti di miglioramento dell'efficienza energetica.

- **Benefici ASTEA:** La riuscita del progetto porterà ASTEA SPA ad essere conosciuta a livello internazionale come una delle prime multi utility in Italia che svilupperà, grazie alla collaborazione dei vari partner coinvolti in MUSE GRIDS, un sistema energetico intelligente in grado di ridurre l'impatto ambientale e i costi di gestione e distribuzione, portando benefici alla

collettività, al singolo utente, nonché all'Azienda stessa. Inoltre ASTEA SPA riceverà a titolo gratuito diversi equipment dai vari partner di progetto tra cui lo storage termico, heaters, stazione di ricarica per veicoli elettrici, veicolo/i elettrico/i.

- *Benefici Cittadini*: i benefici ai Cittadini possono dividersi in benefici collettivi e individuali. Quelli collettivi riguardano la tutela dell'ambiente, attraverso la riduzione, nella porzione di rete asservita testata, delle immissioni acustiche in ambiente, riduzione di CO2 (10% - 65%), TEP (5% - 25%) e delle perdite idriche lungo la rete salvaguardando quindi le acque pubbliche (10% - 15%). Quelli individuali sono: la disponibilità dei dati di consumo attraverso un'applicazione software per smartphone dedicata oppure mediante l'accesso ad un portale online sul sito ASTEA. L'utente avrà quindi la possibilità di monitorare i consumi e gestire i carichi in maniera ottimale. Non meno importanti sono il minor impatto ambientale (respiriamo tutti aria più pulita) e gli incentivi alla partecipazione.

6.3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

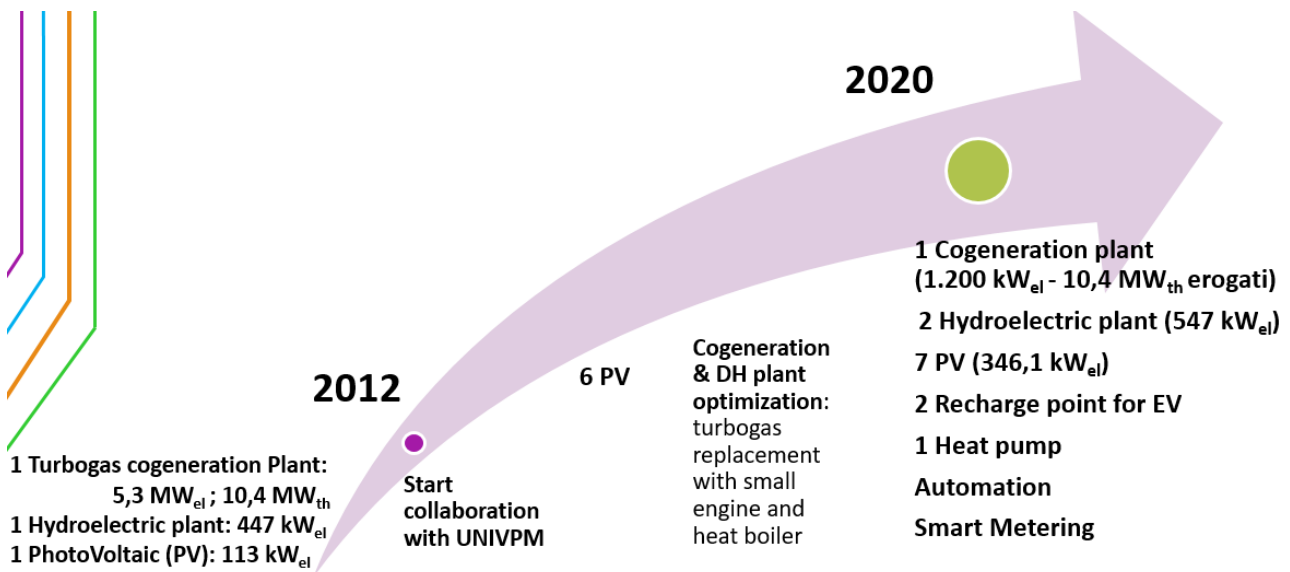


Fig. 6.1 - Sviluppo del progetto di revamping

Nella fig. 6.1 viene descritto in maniera molto sintetica il progetto di revamping degli impianti che attualmente è ancora in fase di realizzazione. Allo stato attuale ASTEA SPA sta effettuando una serie di test per verificarne le prestazioni energetiche ed ambientali. La figura descrive lo stato dell'arte dall'avviamento della collaborazione tra ASTEA e l'Università Politecnica delle Marche. Il Progetto MUSE GRIDS è iniziato a novembre 2018.



Fig. 6.2 - Partners coinvolti

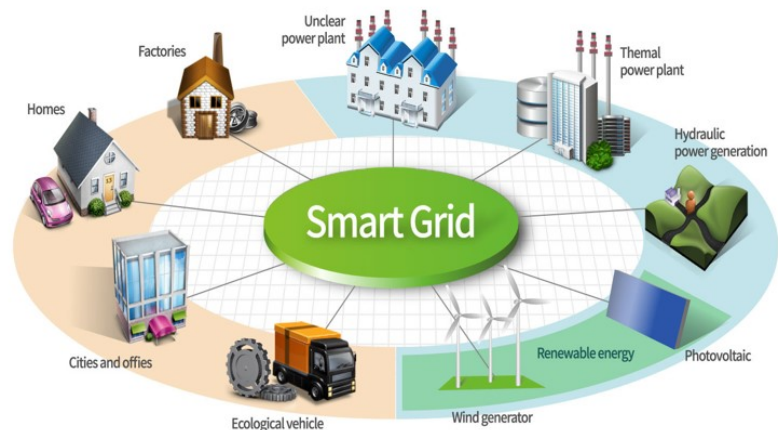


Fig. 6.3 - Obiettivi del progetto

Muse Grids ha lo scopo di dimostrare in due contesti dimostrativi differenti, uno in Italia e uno in Belgio:

- Come interconnettere reti energetiche locali;
- Come utilizzare le sinergie del sistema reti al fine di massimizzare l'efficienza, ridurre i costi energetici, ridurre le emissioni ed immissioni acustiche e gassose in ambiente;
- Come raggiungere l'indipendenza energetica principalmente massimizzando l'autoconsumo locale di energie rinnovabili

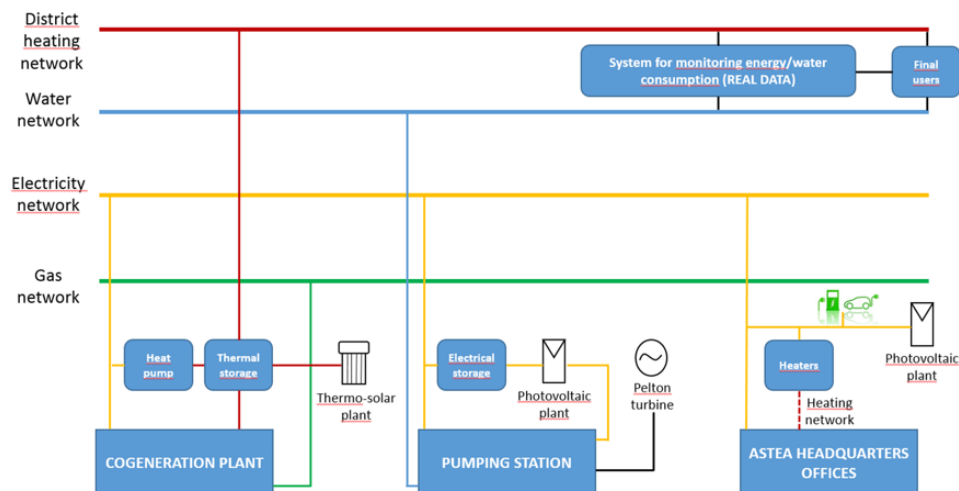


Fig. 6.4 - Sinergie tra le reti

Nella figura 6.4 vengono indicate le sinergie tra le reti del gruppo ASTEA: la linea gas che alimenta l'impianto di cogenerazione, la linea elettrica a cui sono collegati l'impianto di cogenerazione, le stazioni di pompaggio e gli uffici del quartier generale; la linea idrica, cui sono collegate le stazioni di pompaggio ed è interconnessa, attraverso il comune sistema di lettura degli smart meter alla linea del teleriscaldamento, cui è collegata la centrale di cogenerazione.

6.4 LE ATTIVITA': OSIMO DEMO SITE

Di seguito viene evidenziato quale sarà il percorso del Gruppo ASTEA nell'ambito del progetto. I principali obiettivi dell'attività nella quale ASTEA è capoprogetto sono quattro:

- Progettazione dell'architettura del sistema di gestione;
- Installazione, sviluppo e avviamento degli impianti, dell'hardware e del software;
- Test e validazione delle strategie di gestione della domanda di energia
- Raccolta dei dati e analisi dei risultati attraverso degli indicatori di prestazione

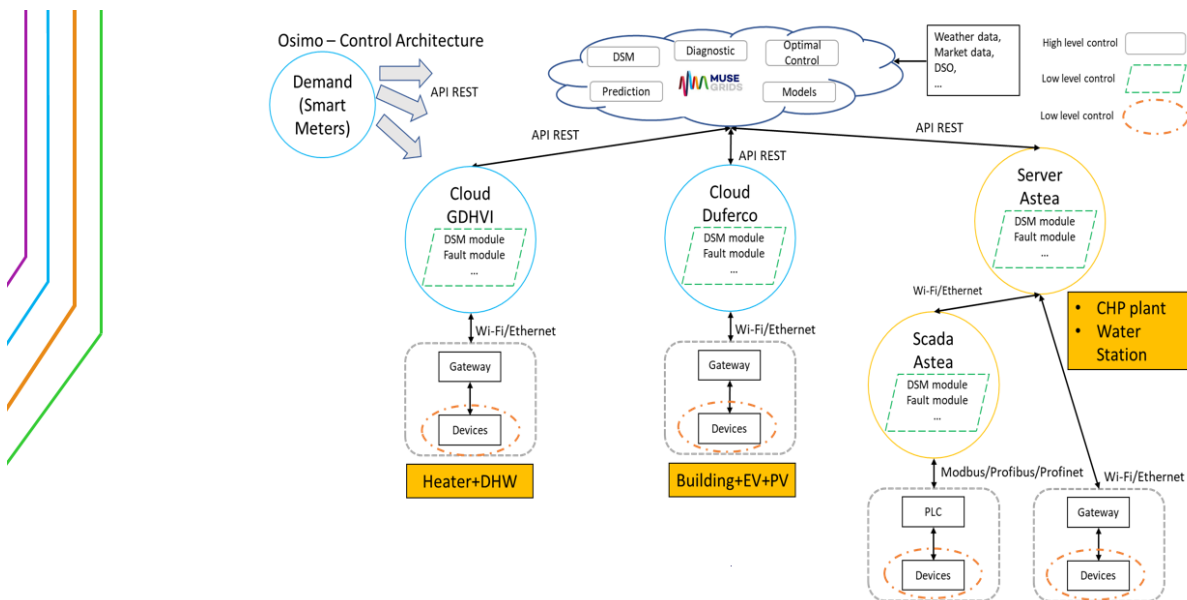


Fig. 6.5 - Architettura del sistema di gestione

Nella fig. 6.5 è schematizzata la filosofia del sistema di gestione che vede coinvolti tre sistemi esterni, quello GDHVI, che controlla le apparecchiature di riscaldamento elettrico installate nella sede principale di ASTEA; quello Duferco, che controlla i consumi energetici della sede principale e gli scambi di energia con l'impianto fotovoltaico (PV) e con le colonnine di ricarica elettrica (EV); quello di ASTEA (sistema di automazione, di telelettura e smart meters) che controlla l'impianto di cogenerazione e teleriscaldamento, oltre ad un distretto della linea idrica.

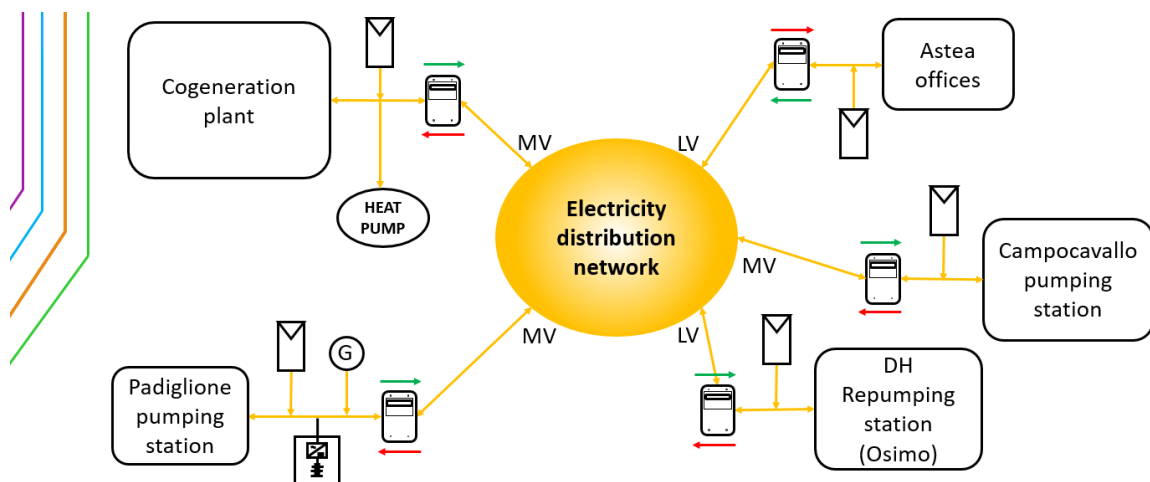


Fig. 6.6 - Schema relativo all'interazione tra la rete elettrica di Osimo e i punti di prelievo e/o immissione di energia che sono trattati nel progetto Muse Grids

Le attività progettate inerenti l'installazione, lo sviluppo e l'avviamento in campo, sono qui di seguito indicate.

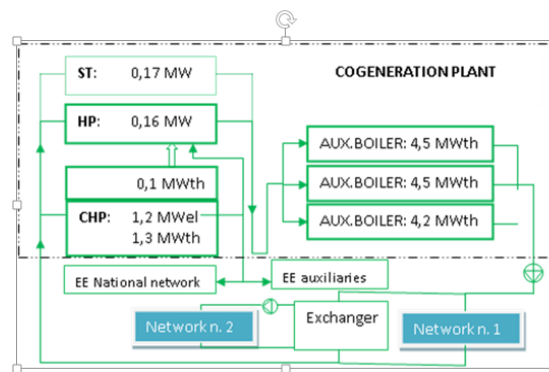


Fig. 6.7 - Schema a blocchi con inserimento della Pompa di calore di nuova installazione all'interno dell'impianto di cogenerazione

In Fig. 6.7 viene riportata la prima installazione prevista nell'ambito del progetto Muse Grids. Si tratta della pompa di calore (installata alla fine del 2019) che utilizza il calore di scarto, in quanto a bassa temperatura (circa 40°C) della unità cogenerativa.

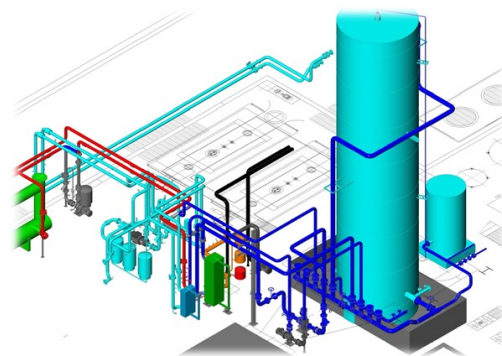
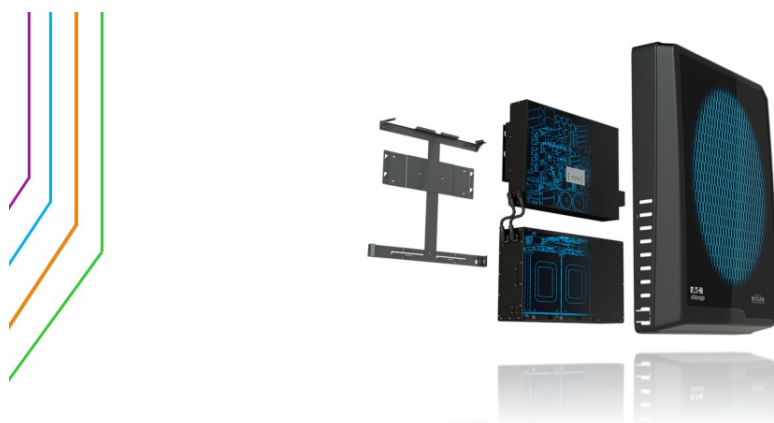


Fig. 6.8 - Storage termico di nuova installazione all'interno dell'impianto di cogenerazione

Il sistema di stoccaggio dell'energia termica è costituito da un serbatoio di 85 m³, alto circa 13 m di cui viene riportato uno sketch tridimensionale in fig. 6.8, è stato progettato strutturalmente e sismicamente nel mese di maggio 2020. Nel mese di giugno 2020 sono state completate le seguenti attività: disinstallazione della turbina a gas, disinstallazione della caldaia a recupero. Il serbatoio di accumulo dell'energia è in fase di costruzione.



Fig. 6.9 - Foto relative al decommissioning della turbogas



Final size:
 Energy Capacity: 18 kWh
 Power: 13,8 kWp

Fig. 6.10 - Sistema di accumulo elettrico fornito per la stazione di pompaggio di Campocavallo

Nel mese di settembre 2021 è stata completata l'installazione del sistema di accumulo dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico a servizio della stazione di pompaggio della linea idrica di Campocavallo.



Fig. 6.11 - Sketch della stazione di ricarica del quartiere generale di ASTEA SPA

Nel mese di febbraio 2021 è stata completata l'installazione della stazione di ricarica della sede amministrativa di ASTEA SPA.



Fig. 6.12 Sistemi di stoccaggio domestico di energia termica attraverso resistenze elettrica con carico controllato installate nel quartiere generale di ASTEA SPA

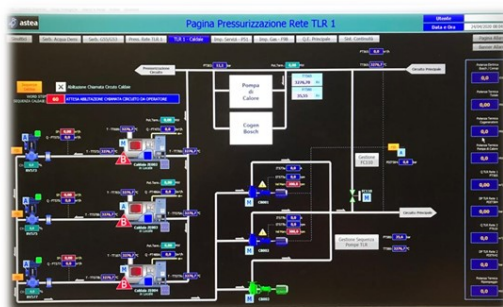


Fig. 6.13 Sistema di automazione della centrale di cogenerazione

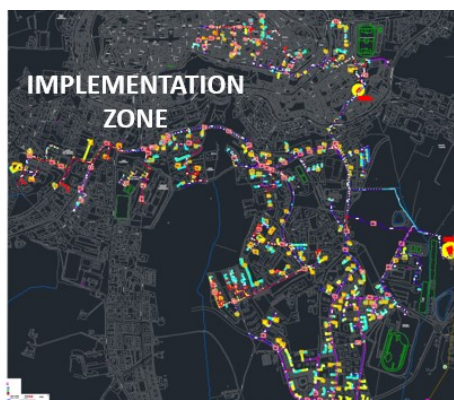


Fig. 6.14 Linea del teleriscaldamento interessata al progetto Smart Metering

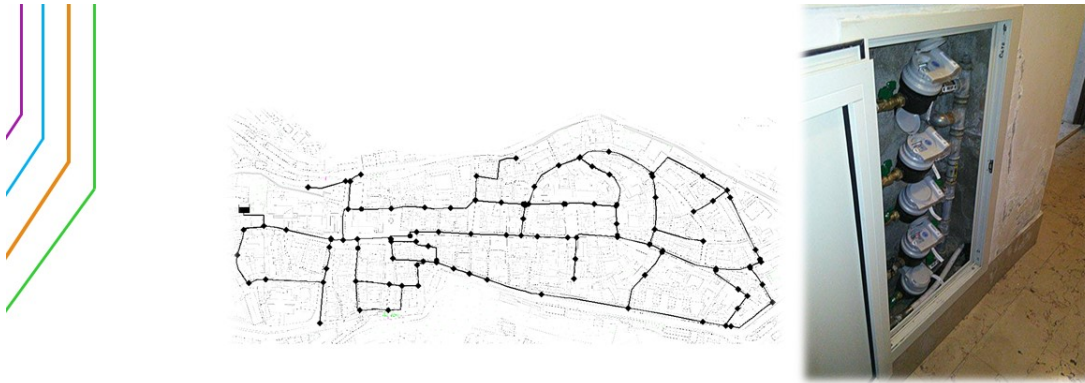


Fig. 6.15 Linea idrica interessata al progetto di Smart Metering



Fig. 6.16 Esploso delle zone raggiunte dal sistema fisso di telelettura dei dati degli Smart Meter

Il sistema di monitoraggio dei dati, previsto nel progetto, comprende - il sistema di automazione della centrale e dei siti produttivi, installato alla fine di maggio 2020 e attualmente in fase di test, - il sistema di monitoraggio della sede amministrativa di ASTEA SPA installato nel 2020 e attualmente in test; il sistema di monitoraggio degli Smart Meter i cui test sono stati iniziati a Marzo 2020, ma ancora in fase di esecuzione, con risultati di raggiungibilità superiori al 93%, per la totalità dei contatori calore e superiori al 95% per i contatori idrici che sono stati sinora installati (pari a circa il 70% a giugno 2020).

6.5 CONCLUSIONI

Il sito scelto per la realizzazione del progetto dimostrativo europeo è la città di Osimo. La città che viene alimentata elettricamente da un unico punto di connessione alla rete nazionale / TSO si configura pertanto come una microgrid municipale, in cui la maggior parte delle reti presenti è gestita da ASTEA Spa o dalla sua società controllata. La microgrid di Osimo è caratterizzata da diverse tecnologie di generazione distribuita: in particolare sono presenti: una rete di teleriscaldamento alimentata da un motore a gas cogenerativo da 1,2 MW_E che produce energia termica distribuita attraverso la rete calore con allacciati circa 1250 clienti; una pompa di calore ad alta temperatura per ottimizzare la gestione del CHP e massimizzare la produzione di energia termica; più di 30 MW_p di impianti fotovoltaici (PV); 400 kW di mini-idro a circa 30 km dal centro storico, la cui energia un tempo veniva messa a disposizione della città; un impianto da 200 kW alimentato da biomassa liquida; due impianti di biogas per una produzione di energia totale di 2 MW. Ad Osimo è stato implementato altresì un programma che riguarda l'inserimento di due macchine elettriche aziendali (EV). Esiste inoltre il sistema, attualmente in test, di monitoraggio dei consumi energetici ed idrici, con cadenza oraria, finalizzato al risparmio energetico e alla riduzione delle perdite del teleriscaldamento e una porzione dei clienti dell'area idrica. Tale programma prevede l'interazione con i clienti tramite applicativi dedicati. A causa dell'elevata penetrazione della produzione di energia rinnovabile (principalmente fotovoltaico), si assiste, durante l'anno, ad un'enorme variazione dello scambio netto di energia elettrica con la rete nazionale, con oscillazioni anche di 30 MW di picco di assorbimento, quando la produzione rinnovabile non è sufficiente per copertura per la domanda locale di energia, fino a 20 MW di picco di iniezione verso la rete nazionale, quando la generazione locale supera i carichi totali (principalmente durante i fine settimana estivi).

Molteplici sono gli obiettivi che si intende raggiungere con la partecipazione al progetto che coinvolge 18 partners tra cui figura l'Università Politecnica delle Marche. Intanto quelli per la comunità che sono salvaguardare le acque pubbliche, ridurre le emissioni della CO₂, favorire lo sviluppo delle energie rinnovabili ed il consumo locale dell'energia prodotta. E poi i benefici individuali dei clienti, attraverso il monitoraggio consapevole dei consumi, un'ottimizzazione della gestione del servizio e la partecipazione attiva del cliente.

La sperimentazione che durerà quattro anni e terminerà a fine 2022, con un budget finanziato nell'ambito della piattaforma europea Horizon 2020, consentirà di dimostrare che una corretta progettazione e conseguente gestione della produzione e stoccaggio dell'energia e l'interazione tra diverse reti energetiche: gas, elettricità, teleriscaldamento e rete idrica (tutte attività sono gestite dal gruppo ASTEA) contribuirà alla decarbonizzazione della microgrid. Ciò potrà avvenire grazie al coordinamento ottimale degli asset gestiti da ASTEA di tutte le reti energetiche (rete di teleriscaldamento, stazioni di pompaggio sulle reti idriche, flessibilità di consumo in alcuni edifici per uffici).

Sarà possibile raccogliere dati e condividere le competenze sviluppate lavorando sulla singola rete energetica, nonché la loro combinazione, in modo da aumentare il potenziale di replicabilità in Europa. E' difficile trovare un contesto unico come Osimo, in cui le varie soluzioni sono progettate per soddisfare le esigenze di diversi contesti e scale energetici. Nel caso specifico le strategie di gestione relative all'impianto di cogenerazione e al teleriscaldamento sono di grande interesse per molti paesi dell'Europa centrale e settentrionale, dove queste tecnologie sono molto comuni.

6.6 RIFERIMENTI

- Horizon 2020 Call: H2020-LC-SC3-2018-2019-2020 (BUILDING A LOW-CARBON, CLIMATE RESILIENT FUTURE: SECURE, CLEAN AND EFFICIENT ENERGY) Topic: LC-SC3-ES-5-2018-2020 Type of action: IA Proposal number: SEP-210489234 Proposal acronym: INTERFACE
- Horizon 2020 Call: H2020-LC-SC3-2018-2019-2020 (BUILDING A LOW-CARBON, CLIMATE RESILIENT FUTURE: SECURE, CLEAN AND EFFICIENT ENERGY) Topic: LC-SC3-ES-3-2018-2020 Type of action: IA Proposal number: SEP-210510403 Proposal acronym: MUSE GRIDS

CAPITOLO 7 CONCLUSIONI

La collaborazione tra DIISM di UNIVPM e gruppo ASTEA, in linea con i progetti europei Muse Grids e Interrface, cui partecipano come partners, ha consentito di approfondire alcune tematiche che riguardano la sostenibilità energetico ambientale attraverso l'ottimizzazione dell'interazione tra produzione, distribuzione e vendita di energia all'interno dell'isola energetica costituita da una smart migro grid. Sono state approfondite tematiche inerenti la cogenerazione e la rete termica di teleriscaldamento, con focus sulla rete locale, analizzando i principali interventi realizzati e le soluzioni progettuali adottate, per rendere più efficienti le attuali infrastrutture e ridurre le immissioni in ambiente. Creare e sostenere la cooperazione fra ricerca scientifica e società, favorendo una maggiore interazione tra processo di miglioramento dell'efficienza energetica e la società civile consente di rendere quest'ultima più consapevole e partecipe.

Il presente lavoro mette in evidenza l'importanza della pianificazione strategica eseguita nel corso degli anni relativamente agli interventi che poi sono stati realizzati e a quelli futuri o in corso di realizzazione, allo scopo di aumentare l'utilizzo delle fonti rinnovabili a servizio delle reti energetiche e di integrare il sistema elettrico con i sistemi energivori al fine di individuare le soluzioni più efficienti rispetto a molteplici indicatori di sostenibilità.

Nello specifico, è stato analizzato nel dettaglio un impianto di cogenerazione localizzato a Osimo, asservito ad una rete di teleriscaldamento per la distribuzione dell'energia termica a stabili residenziali e commerciali di alcuni quartieri. L'impianto sottoposto ad un processo di revamping, tuttora in corso, è dotato di sistemi energetici efficienti per ottimizzarne la produzione, ridurre le emissioni di CO₂, ridurre le immissioni acustiche in ambiente, attraverso importanti interventi di bonifica e di sostituzione delle macchine maggiormente impattanti.

Il lavoro di tesi che è descritto in sei capitoli:

1. Architettura del lavoro
2. Impianti di produzione del Gruppo ASTEA
3. Prestazioni energetiche della nuova centrale di cogenerazione
4. Emissioni atmosferiche
5. Evoluzione acustica della centrale di cogenerazione
6. Reti intelligenti delle multiutilities

Il presente lavoro è stato realizzato, congiuntamente al prezioso e indispensabile contributo dei tutor accademico e aziendale, secondo uno schema – studio che ha previsto varie fasi, sperimentali di misura, di verifica progettuale, di analisi dei dati e di simulazione.

In particolare:

- E' stato avviato con l'analisi di un rilevante numero di dati impiantistici,
- Sono state effettuate verifiche strumentali di efficienza energetica, immissioni ed emissioni, commissioning del sistema di automazione e di quello di telelettura,
- Infine sono state effettuati calcoli e validazione dei risultati previsti.

La finalità del presente lavoro è stata raggiunta. Essa consisteva nel verificare e dimostrare la sostenibilità energetico ambientale del progetto nel suo complesso, pensato nell'ambito di una pianificazione strategica di servizi di produzione efficienti e reti di distribuzione, che ha coinvolto la partecipazione della società civile alle scelte programmate.

Il processo di revamping "smart" ha permesso di ridurre le emissioni della griglia considerata (porzione del centro storico con oltre tremila clienti del teleriscaldamento e idrici), di migliorare le performance energetiche ed economiche degli impianti, grazie allo sviluppo di nuove componenti e macchine e al controllo dei dati di input del sistema costituito dagli Smart Meter e dal relativo monitoraggio remoto. L'automatizzazione così concepita consentirà nel 2021, al termine della fase di verifica, di poter determinare in real-time le performance energetiche dei principali componenti impiantistici, e definire, conseguentemente, nuove strategie di controllo in grado di ridurre le perdite, aumentare la capacità di fornitura delle reti esistenti, ridurre le immissioni acustiche ed atmosferiche in ambiente. Attualmente sulla base dei primi dati di commissioning ottenuti sono stati monitorati

benefici collettivi riguardanti la tutela dell'ambiente attraverso la riduzione, nell'area sperimentata, di CO₂ (10%), TEP (5%). Oltre a ciò sono state realizzate riduzioni importanti delle emissioni acustiche e delle emissioni gassose di NO_x e CO.

Nel momento in cui il sistema sarà a regime e verrà attuato l'intero processo di revamping, si prevede una riduzione di CO₂ del 65%, una riduzione di TEP consumate del 25% e una riduzione delle perdite idriche lungo la rete del 15%, salvaguardando quindi le acque pubbliche.

Inoltre una ulteriore peculiarità del progetto di revamping riguarda il fatto che il sito applicativo è stato inserito, quale sito dimostrativo, nell'ambito di un progetto europeo Horizon2020. Questo perché la città di Osimo che viene alimentata elettricamente da un unico punto di connessione alla rete nazionale / TSO si configura come una microgrid, in cui la maggior parte delle reti presenti è gestita da ASTEA Spa o dalla sua società elettrica controllata.

La sperimentazione, effettuata in collaborazione con UNIVPM, durerà quattro anni e terminerà a fine 2022, con un budget finanziato nell'ambito della piattaforma europea Horizon 2020, consentirà di dimostrare che una corretta progettazione e conseguente gestione della produzione e stoccaggio dell'energia e l'interazione tra diverse reti energetiche: gas, elettricità, teleriscaldamento e rete idrica contribuirà alla decarbonizzazione della microgrid.

Sarà possibile raccogliere dati e condividere le competenze sviluppate lavorando sulla singola rete energetica, nonché la loro combinazione, in modo da aumentare il potenziale di replicabilità in Europa. E' difficile trovare un contesto unico come Osimo, in cui le varie soluzioni sono progettate per soddisfare le esigenze di diversi contesti e scale energetici. Nel caso specifico le strategie di gestione relative all'impianto di cogenerazione e al teleriscaldamento sono di grande interesse per molti paesi dell'Europa centrale e settentrionale, dove queste tecnologie sono molto comuni.

UNITA' DI MISURA

Denominazione	Simbolo	Unità di misura
Anidride carbonica (concentrazione)	CO ₂	mg/Nm ³
Attenuazione sonora	A	dB
Calore specifico	c	kJ/kg K
Coefficiente di assorbimento acustico	α	
Conducibilità termica	λ	W/mK
Consumo di gas alle condizioni standard		Sm ³
Densità	ρ	Kg/m ³
Energia	E	kW / MW
Entalpia	h	kJ/kg
Fattore di comprimibilità	Z	bar
Fattore di direttività	Q	
Frequenza	f	Hz
Livello di pressione sonora	L _{ps}	dB
Livello di potenza sonora	L _w	dB
Modulo di Poisson	σ	
Monossido di carbonio (concentrazione)	CO	mg/Nm ³
Ossidi d'azoto (concentrazione)	NO _x	mg/Nm ³
Perdite energetiche lineari		W/m
Portata massica	m	kg/s
Portata molare	n	Moli/s
Portata volumetrica	V	m ³ /s
Potenza elettrica apparente	P	kVA
Potenza elettrica di picco	P _p	kW _p
Pressione	p	bar
Rendimento	η	%
Resistenza termica	R	mK/W
Tempo di misura acustica	TM	s
Tempo di osservazione acustica	T0	s
Temo di riverbero	T ₆₀	s
Temperatura	T	°C / K
Tonnellate equivalenti di petrolio	TEP	TEP
Velocità	v	m/s
Velocità di propagazione del suono	c ₀	m/s
Viscosità dinamica	μ	P _A s

ACRONIMI

Denominazione	Simbolo	Unità di misura
Certificati bianchi	CB	TEP
Coefficient of performance	COP	
Gestore servizi energetici	GSE	
Potere calorifico inferiore	PCI	kJ/Sm ³
Potere calorifico superiore	PCS	kJ/Sm ³
Primary energy saving	PES	%
Risparmio di energia	RISP	kWh
Risparmio netto integrale di energia termica	RNI	TEP
Titoli di efficienza energetica	TEE	TEP

RINGRAZIAMENTI

Dopo sette mesi intensi finalizzati all'elaborazione del presente lavoro, finalmente sono arrivata a realizzare un obiettivo notevole.

Ho trascorso un periodo formativo importante della mia vita, non solo a livello scientifico, e per questo devo ringraziare il Prof. Fabio Serpilli, relatore di questa tesi di laurea, per l'aiuto e competenza e per la disponibilità e precisione, ma anche a livello personale.

Mi sento in dovere di ringraziare il DIISM di UNIVPM per il supporto offerto nell'elaborazione della tesi su un progetto in cui è partner scientifico di ASTEA, la società che mi ha ospitata nella sua struttura.

In azienda, sotto la guida preziosa del correlatore del tirocinio, Ing. Matteo Lorenzetti, che mi ha seguita su ciascuna attività svolta, con estrema professionalità, competenza e disponibilità, ho potuto maturare un'esperienza valida professionalmente e irripetibile.

Vorrei ringraziare tutto lo staff e il management aziendale che mi ha accolta e con cui mi sono positivamente confrontata. Scrivere questa tesi ha avuto un forte impatto sulla mia personalità.

Vorrei spendere parole di ringraziamento nei confronti di mia sorella Sofia che ha avuto un peso determinante nel conseguimento di questo risultato e a mia madre e mio padre che, con il loro dolce e instancabile sostegno, sia morale che economico, mi hanno permesso di arrivare fin qui davanti a voi oggi, contribuendo alla realizzazione di un sogno.

Una dedica a mia nonna, che mi è sempre stata vicina, ma che purtroppo non c'è più.

Grazie a tutti voi, Elisa