



Ricerca di Sistema elettrico

Monitoraggio e analisi dei consumi energetici Heating&Cooling in un edificio storico del Sulcis

C. Frau, E. Loria, F. Poggi, G. Cau, V. Tola, M. Cascetta, P.F. Orrù

MONITORAGGIO E ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI Heating&Cooling IN UN EDIFICIO STORICO DEL SULCIS

C. FRAU, E. LORIA, F. POGGI, G. CAU, V. TOLA, M. CASCETTA, P.F. ORRÙ

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)* - CUP: I12F16000180001

Obiettivo: Parte B – Edifici ad energia quasi zero (nZEB)

Tema A: Riqualficazione energetica di edifici con interventi di efficientamento

Sottotema: a.3 Monitoraggio e analisi dei consumi energetici

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 IL CASO STUDIO: IL CENTRO RICERCHE SOTACARBO.....	8
3 IL MONITORAGGIO.....	12
3.1 BOLLETTE ELETTRICHE	12
3.2 ENELDISTRIBUZIONE	12
3.3 SMART METERING	12
3.4 LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	18
4 MODELLAZIONE DI UN SISTEMA DI GENERAZIONE TERMICA SMART ACCOPPIATO CON Sonda GEOTERMICA ...	27
5 SVILUPPO DI UN SISTEMA INNOVATIVO DI ACCUMULO TERMICO	30
5.1 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE MEDIA ORARIA DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	30
5.2 ANALISI DEI PROFILI DI CARICO E DI PRODUZIONE E VALUTAZIONE DEI BILANCI ENERGETICI PER IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA TES	30
5.3 SVILUPPO DI UN MODELLO NUMERICO DI SIMULAZIONE DEL SISTEMA INNOVATIVO DI ACCUMULO TERMICO.....	31
5.4 SVILUPPO, DIMENSIONAMENTO E ANALISI DELLE PRESTAZIONI DEI SISTEMI DI ACCUMULO.	31
6 CONCLUSIONI.....	33
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	35

Sommario

Negli ultimi decenni, la crescente consapevolezza dei costi e dei rischi legati ai cambiamenti climatici ha portato l'Unione Europea a prendere la decisione di avviare una decisa transizione verso un sistema energetico a basse emissioni di carbonio. A tale fine ha avviato diverse politiche, tra cui il pacchetto di misure per il clima e l'energia denominato EU2020. Tale programma, entrato in vigore nel 2009, prevede la riduzione di almeno il 20% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, l'aumento al 20% della percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili e il miglioramento del 20% dell'efficienza energetica. L'Unione Europea ritiene che anche riqualificare energeticamente il patrimonio edilizio sia una potenziale via perseguibile per accrescere la sicurezza energetica e per conseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂. Per questo ha predisposto un corpus legislativo volto a promuovere l'efficienza energetica, definendo regole e condizioni affinché, non solo le nuove costruzioni, ma anche le ristrutturazioni, rispettino standard minimi di prestazione energetica.

Gli interventi di riqualificazione energetica sugli edifici esistenti possono essere progettati ad hoc solo dopo una attenta analisi dei consumi: perché gli edifici del futuro possano essere produttori di energia è necessario ridurre il consumo e compensare l'energia richiesta con la produzione da fonti rinnovabili. La consapevolezza consumi energetici è uno dei temi principali della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica e del relativo decreto di recepimento.

Nell'ottica del processo di miglioramento delle prestazioni energetiche perseguito dalla politica aziendale della Sotacarbo in questa annualità si è provveduto a effettuare un monitoraggio energetico sull'edificio che ospita il Centro Ricerche dove, al fine di rispettare gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nella sede è stata prevista l'installazione di un impianto solare fotovoltaico per la produzione di energia elettrica posto in parallelo alla rete.

Sulla base dei risultati del monitoraggio, e nell'ottica di riqualificare l'edificio in termini nZEB, oltre all'impianto fotovoltaico già progettato al fine di coprire la quota di rinnovabile, si è pensato di modificare il sistema H&C accoppiandolo con il geotermico (aumentando così la quota di rinnovabile e sfruttando il pozzo esistente). L'impianto sarà integrato in una micro-grid, di cui faranno parte il fotovoltaico ed un accumulo elettrico.

Lo studio relativo all'analisi di fattibilità tecnica, economica ed ambientale dell'utilizzo di un sistema a pompa di calore del tipo acqua-acqua accoppiata con una sonda geotermica a bassa entalpia per la climatizzazione degli ambienti è stato affidato al Cinigeo, ed è presentato nel Report "Modellazione di un sistema di generazione termica smart accoppiato con sonda geotermica", che costituisce l'Allegato 1 al presente documento.

Oltre a ciò è stato ritenuto valore addizionale fornire un contributo innovativo all'utilizzo ottimale dell'energia attraverso la realizzazione di un sistema di accumulo energetico che consenta la massimizzazione degli autoconsumi. In linea di principio tale obiettivo dovrà essere perseguito mediante l'integrazione dell'impianto di climatizzazione esistente con un sistema di accumulo di energia termica (TES, Thermal Energy Storage) da utilizzare come volano termico. Questa attività di ricerca, i cui contenuti sono riportati nel Report "Sviluppo di un sistema innovativo di accumulo termico" che costituisce l'Allegato 2 al presente documento, è stata affidata al DIMCM dell'Università di Cagliari.

Gli studi effettuati da Sotacarbo, dal Cinigeo e dal DIMCM sono stati svolti in team e parallelamente.

1 Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA hanno stipulato data 21 Aprile 2016 l'Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale.

Questo lavoro si inserisce negli studi svolti in seno all'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Sotacarbo rivolto allo sviluppo di una ricerca dal titolo "PARTE B: Edifici ad energia quasi-zero" facente capo al piano annuale di realizzazione 2016 dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti il Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (NZEB)", progetto A "Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento".

Negli ultimi decenni, la crescente consapevolezza dei costi e dei rischi legati ai cambiamenti climatici ha portato l'Unione Europea a prendere la decisione di avviare una decisa transizione verso un sistema energetico a basse emissioni di carbonio. A tale fine ha avviato diverse politiche, tra cui il pacchetto di misure per il clima e l'energia denominato EU2020. Tale programma, entrato in vigore nel 2009, prevede la riduzione di almeno il 20% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, l'aumento al 20% della percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili e il miglioramento del 20% dell'efficienza energetica. Questi obiettivi, da conseguire entro il 2020, sembrano ormai raggiungibili e perfino superabili. In questo contesto, la Commissione Europea ha proposto il 2030 Climate and energy policy framework, con il quale intende rafforzare una transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, con l'obiettivo di rendere l'economia e il sistema energetico dell'Unione più sicuri, competitivi e sostenibili, assicurando ai consumatori energia competitiva e a basso prezzo, riducendo la dipendenza dalle importazioni di energia e creando nuove opportunità di crescita e di lavoro.

La necessità di raggiungere gli obiettivi nel settore delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica e di ridurre le emissioni di carbonio ha spinto i paesi membri a sostenere progetti di ricerca e sviluppo tecnologico finalizzati a individuare e sostenere le tecnologie idonee a perseguire tali obiettivi.

Tra questi progetti vi sono lo Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) e il Programma Quadro Europeo per la Ricerca e l'Innovazione Horizon 2020. Il SET-Plan, che ha come obiettivo lo sviluppo di tecnologie innovative nei settori energetici, prevede diverse tecnologie prioritarie per gli obiettivi della politica energetica e climatica europea, tra cui lo sviluppo delle smart cities. Le smart cities rivestono un ruolo chiave anche all'interno del programma Horizon 2020, che nell'ambito Energia sicura, pulita ed efficiente, si prefigge di rendere il sistema energetico affidabile, sostenibile e competitivo. A tale scopo, tra i diversi obiettivi specifici da raggiungere, vi è la costruzione di un mercato per tecnologie e servizi per l'uso efficiente ed intelligente dell'energia, anche attraverso lo sviluppo delle smart cities. Questo ruolo è sottolineato anche dalla presenza di tale tematica all'interno di programmi di ricerca sostenuti dall'Unione e all'interno della Energy Roadmap 2050 [1], nella quale l'Unione Europea dichiara che l'efficienza energetica deve essere considerata un obiettivo primario e che il risparmio energetico nei distretti cittadini può contribuire a risparmiare energia nel medio/lungo termine.

L'Unione Europea ritiene che anche riqualificare energeticamente il patrimonio edilizio sia una potenziale via perseguibile per accrescere la sicurezza energetica e per conseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂. Per questo ha predisposto un corpus legislativo volto a promuovere l'efficienza energetica, definendo regole e condizioni affinché, non solo le nuove costruzioni, ma anche le ristrutturazioni, rispettino standard minimi di prestazione energetica. A supporto di queste azioni, l'Europa ha stanziato nel bilancio economico 2014-2020 risorse per circa 20 miliardi di euro. Le Direttive europee 2010/31 e 2012/27 prevedono che le prestazioni energetiche degli edifici del settore civile siano, progressivamente, sempre più efficienti e sempre più CO₂ free.

A livello nazionale, il decreto legge n. 63 del 2013, convertito nella legge n. 90 del 2013, che recepisce la Direttiva 2010/31, ha gettato le basi e individuato i nuovi criteri per l'aggiornamento e la programmazione di standard prestazionali degli edifici (involucro, impianti e fonti rinnovabili) al fine di raggiungere gli obiettivi fissati a livello europeo in materia di edifici a consumo quasi zero (NZEB).

Considerato che l'efficienza energetica rappresenta la prima priorità d'azione della Strategia energetica nazionale in Italia e che il settore dell'edilizia, in ambito nazionale, rappresenta un elemento dalle grandi potenzialità al fine del raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico indicati dal Paese al 2020, il Ministero dello Sviluppo Economico in linea con le direttive europee sulle prestazioni energetiche degli edifici, ha pubblicato recentemente il Decreto Interministeriale 19 Giugno 2017, recante l'approvazione del "Piano d'azione nazionale per incrementare gli edifici a energia quasi zero", ai sensi dell'art. 4-bis – comma 2, del decreto legislativo n. 192 del 2005, unitamente al Piano stesso (Gazzetta Ufficiale n.187 del 11 agosto 2017).

Questo piano (PanZEB), è stato elaborato da un gruppo di lavoro composto dall'ENEA, l'RSE e il CTI, con il coordinamento del Ministero dello Sviluppo Economico. Ad integrazione di questo piano, la Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale, anche detta Strepin, prevista dal decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 e in corso di emanazione, indica altresì in particolare, gli obiettivi da raggiungere, le linee di azione su cui si intende puntare per il loro conseguimento, le criticità da superare e le possibili soluzioni strategiche.

PanZEB definisce univocamente l'nZEB (nearly Zero Energy Building – Edificio a energia quasi zero) come un edificio, sia esso di nuova costruzione o esistente, tale che da un lato tutti gli indici caratteristici delle prestazioni energetiche (calcolati secondo i valori dei requisiti minimi vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici), risultino inferiori ai valori dei corrispondenti indici calcolati per l'edificio di riferimento (edificio virtuale geometricamente equivalente a quello di progetto ma dotato dei parametri energetici e delle caratteristiche termiche minime vigenti); e dall'altro siano rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Nel documento del piano è contenuta la valutazione dell'indice di prestazione energetica per alcuni edifici aventi diversa tipologia edilizia, destinazione d'uso e zona climatica scelti tra quelli utilizzati in precedenti studi. Si evidenzia che, al fine di soddisfare i requisiti degli nZEB e in particolare il requisito riguardante l'energia rinnovabile, sarà fondamentale valutare l'utilizzo della pompa di calore (possibilmente centralizzata e combinata per la produzione di energia termica per riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento) eventualmente associata a sistemi fotovoltaici, ove necessario al raggiungimento della quota rinnovabile.

In un'ottica di riduzione del consumo energetico e di utilizzo di energia da fonti rinnovabili, il concetto di edificio nZEB va sicuramente associato al concetto di edificio Smart, cioè un edificio sostenibile nel quale si possono misurare e confrontare i consumi e migliorare le performance nel tempo. In un periodo in cui i costi dell'energia continuano ad aumentare, la riqualificazione in "chiave Smart" degli edifici esistenti rappresenta, oltre che una scelta di alto valore etico, anche il migliore investimento che si possa fare per valorizzare i propri capitali e, nel contempo, aumentare il valore del proprio immobile.

Il primo passo verso la riqualificazione energetica di un edificio è sicuramente costituito dalla diagnosi energetica, che determina

- a) la prestazione energetica globale sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
- b) la classe energetica individuata attraverso l'indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria non rinnovabile;
- c) la qualità energetica del fabbricato ai fini del contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio;
- d) i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;
- e) le emissioni di anidride carbonica;
- f) l'energia esportata;
- g) le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti.

In particolare gli interventi di riqualificazione energetica possono essere progettati ad hoc solo dopo una attenta analisi dei consumi: perché gli edifici del futuro possano essere produttori di energia è necessario ridurre il consumo e compensare l'energia richiesta con la produzione da fonti rinnovabili.

Avere consapevolezza dei consumi costituisce la base per iniziare ad affrontare un progetto di efficienza energetica e un percorso di risparmio energetico. La consapevolezza dei consumi energetici è uno dei temi principali della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica e del relativo decreto di recepimento.

Al monitoraggio energetico viene riconosciuto un ruolo fondamentale in tali azioni.

Oltre a ciò definire e tracciare i progressi nel tempo delle performances energetiche legate agli interventi di efficientamento effettuati è fondamentale al fine di verificare i target progettuali.

2 Il caso studio: il Centro Ricerche Sotacarbo

Il Centro Ricerche Sotacarbo - CRS è situato a Carbonia, nel sud-ovest della Sardegna, all'interno della area denominata Grande Miniera di Serbariu.

Gli edifici afferenti al CRS occupano una superficie utile coperta pari a circa 1800 metri quadrati suddivisa tra laboratori, uffici, archivi e servizi tecnologici, e sono inseriti all'interno di un'area attrezzata aperta di circa 10000 metri quadri che comprende un'area denominata Piattaforma Pilota, ospitante gli impianti sperimentali, l'area verde e i parcheggi.

L'edificio principale è una costruzione del periodo anteguerra, risalente alla fine degli anni '30, di cui riporta fortemente le caratteristiche costruttive. Esso fa parte di una serie di fabbriche dalle robuste ossature in cemento armato che all'epoca furono realizzate per sostenere la produzione della miniera di carbone di Serbariu, chiusa poi a metà degli anni '60. In particolare vennero realizzate una centrale elettrica, gli uffici, le officine, la lampisteria e la laveria, nonché i vari servizi annessi, tra cui l'infermeria, i magazzini. L'edificio oggetto di questo studio fu allora costruito come "Magazzino materiali".

Nell'ultimo decennio l'area complessiva, ormai preda di un totale abbandono, è stata oggetto di un ripristino urbanistico da parte del Comune di Carbonia, che ha destinato i vari edifici a musei, uffici, e centri di cultura. I vari interventi hanno previsto però solo in maniera marginale azioni di efficientamento energetico.

In particolare, nel 2002 l'edificio ha subito un intervento di ristrutturazione importante, realizzato per permettere il riuso dello stabile destinandolo ad ospitare uffici e laboratori (vedi figura 2.1).



Figura 2.1. Centro Ricerche Sotacarbo (prospetto anteriore).

Sulla base della destinazione d'uso dei vari ambienti, l'area del Centro Ricerche Sotacarbo può essere suddivisa in tre blocchi principali:

- un primo blocco costituito dall'edificio principale, su cui è stato eseguito l'intervento di ristrutturazione ed è oggetto del presente studio, con locali adibiti a uffici, laboratori, archivio e sale riunioni e conferenze (vedi figura 2.2);
- un secondo blocco costituito dal locale di nuova costruzione, adibito ad officina meccanica,
- un terzo blocco che comprende le aree aperte, quali l'area della Piattaforma Pilota, che alloggia gli impianti sperimentali ed i services ad essa collegati, i parcheggi e le aree di accesso e verdi.



Figura 2.2. Usi funzionali della struttura principale.

Nell'ala esposta a NE sono collocati gli uffici e nell'ala a SE/SO i laboratori, mentre una parte del corpo centrale preesistente insieme alla nuova struttura occupante la ex corte interna ospitano l'area conferenze. L'ala destinata agli uffici è articolata in singoli locali collegati tra loro da un corridoio interno. La maggior parte degli ambienti è a doppia altezza, ricavata attraverso soppalchi in acciaio che coprono i 2/3 della superficie, posti ad un'altezza di 2,5 m c.a. dalla quota pavimento e raggiungibili con scale interne a L in ferro parallele alla muratura del corridoio interno (vedi figura 2.3).

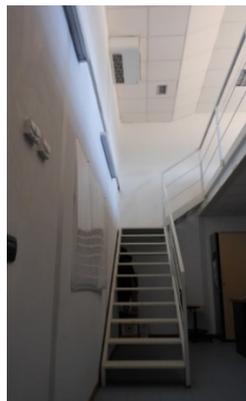


Figura 2.3. Interno degli uffici: accesso al soppalco.

La zona laboratori è suddivisa in locali mediante pareti modulari mobili (locale-locale) o tramezzi in muratura tradizionale (locale-corridoio).

Nella corte interna è stato realizzato ex novo un Auditorium da 100 posti con i relativi servizi, e due sale espositive caratterizzate da ampie aperture finestrate che mostrano una piccola area verde in cui sono inserite.

La parte con maggior utilizzo da parte del personale è quella che ospita gli uffici ed è costituita da 17 ambienti. L'illuminazione degli ambienti avviene attraverso lampade a fluorescenza di dimensione e potenze differenti.

L'edificio è fornito di un sistema di condizionamento dell'aria, del tipo ad unità centrale, alloggiata all'esterno dell'edificio, con ventilconvettori ubicati su ciascun locale destinato ad ufficio o laboratorio, in aderenza all'intradosso del controsoffitto, ad un'altezza di c.a. 5,15 m dalla quota pavimento. L'impianto di climatizzazione è costituito da due generatori a pompa di calore reversibile (per il funzionamento in riscaldamento e raffrescamento) del tipo aria-acqua marca Uniflair, modello ARAC – F 0744A, posizionati nella parte retrostante dell'edificio principale. La logica di funzionamento prevede, normalmente, il funzionamento di una sola pompa di calore (funzionamento on-off) e l'inserimento in funzione della seconda solamente nel caso in cui la prima non sia in grado di soddisfare la richiesta energetica.

Nel CRS sono occupate 32 persone. Le diverse attività lavorative sono svolte con i medesimi orari di lavoro, con inizio alle ore 8.00 del mattino fino alle 18.00 della sera, con una pausa pranzo di un'ora.

Nel corso delle precedenti annualità, l'edificio è stato oggetto di

- audit energetico (PAR 2014), che ha permesso di realizzare l'inventario delle utenze energetiche;
- diagnosi energetica (PAR 2015) che ha identificato la classe di prestazione energetica globale dell'edificio in classe B (in una scala da A4 - edificio più efficiente- a G - edificio meno efficiente), con un indice di prestazione energetica globale (EPgl,nren) pari a 154,15 kWh/m²anno e alcuni punti di criticità tra cui le strutture opache e le strutture trasparenti. In virtù di ciò, sono stati elaborati scenari di miglioramento e fra questi quelli che risultano maggiormente significativi sono la realizzazione di un cappotto interno e la coibentazione del solaio confinante verso ambiente non climatizzato.

Nell'ottica del processo di miglioramento delle prestazioni energetiche perseguito dalla politica aziendale della Sotacarbo e al fine di rispettare gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nella sede è stata prevista l'installazione di un impianto solare fotovoltaico per la produzione di energia elettrica posto in parallelo alla rete. Nel caso specifico, i vincoli monumentali-artistici della struttura che ospiterà l'impianto hanno determinato il ricorso a installazioni che permettessero di ottenere il perfetto mascheramento dei pannelli da parte della struttura muraria. L'impianto sarà montato sulle parti piane della copertura del corpo principale e sulle due falde della copertura dell'officina (Figura 2.4) e sarà realizzato con pannelli fotovoltaici in silicio policristallino. L'energia prodotta dall'impianto sarà principalmente destinata a soddisfare i fabbisogni della struttura, mentre l'eventuale eccesso temporaneo di produzione sarà immesso in rete (Scambio Sul Posto). Tutti i componenti dell'impianto saranno mascherati dalla struttura muraria e non altereranno la sagoma dell'edificio, né saranno visibili dall'esterno.

Il progetto prevede l'installazione di 324 moduli in silicio policristallino di potenza nominale di 270 kWp ciascuno ed estensione totale di 518 m², e di 4 inverter. La potenza totale è pari a 87,48 kWp, che determina una produzione di energia di circa 116.000 kWh/anno (stima eseguita con Meteonorm).

L'impianto sarà del tipo *grid-connected*, con allaccio trifase in bassa tensione multisezione. Infatti, la disposizione delle aree utilizzate per l'installazione dei pannelli fotovoltaici ha permesso l'organizzazione dell'impianto in più sezioni.

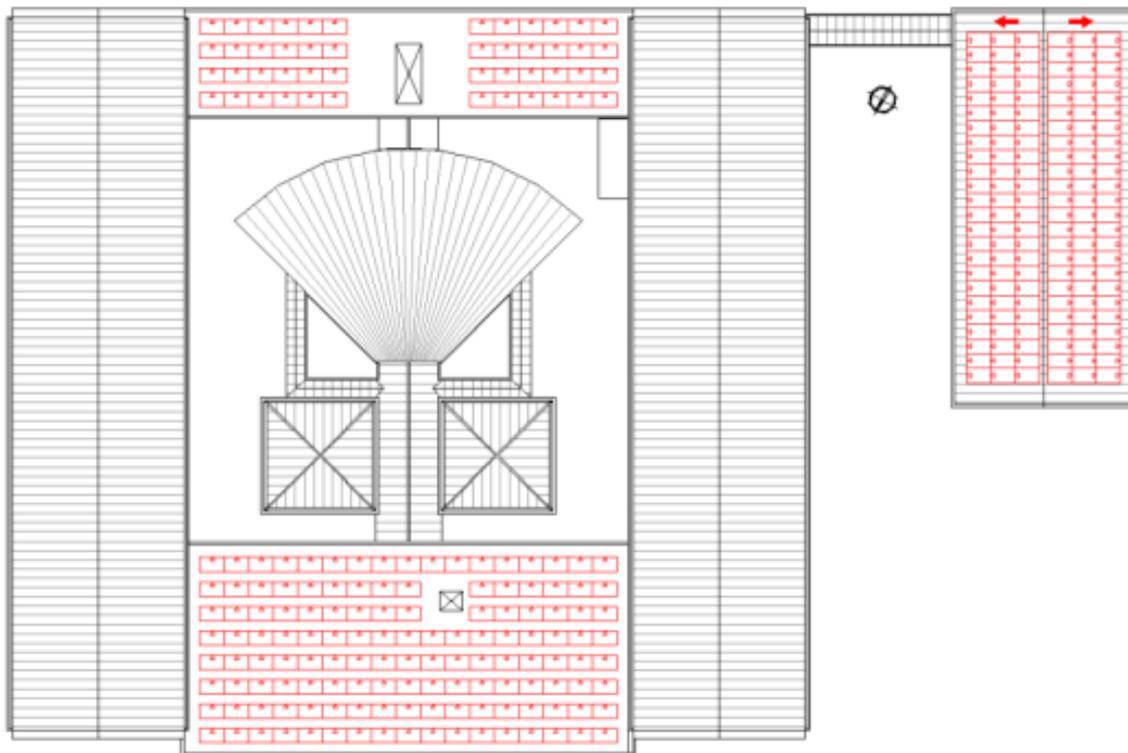


Figura 2.4. Disposizione dei pannelli.

Nella parte posteriore dell'edificio, in prossimità delle pompe di calore, allo stato attuale, è presente un pozzo di età superiore ai 10 anni, mai utilizzato per scopi idrici, che potrebbe supportare l'installazione di una sonda geotermica accoppiata a una pompa di calore acqua-acqua che utilizzi l'acqua di falda.

3 Il monitoraggio

Per la valutazione dei consumi della struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Bollette elettriche;
- Dati di energia attiva prelevata (tramite richiesta al fornitore di energia elettrica);
- Dati del sistema di monitoraggio.

3.1 Bollette elettriche

Sulla base delle bollette elettriche disponibili sono stati valutati i consumi totali e quelli suddivisi nelle fasce F1, F2 e F3.

Le suddette fasce seguono questa suddivisione:

- Fascia F1: dalle 8:00 alle 19:00, dal lunedì al venerdì;
- Fascia F2: dalle 7:00 alle 8:00 e dalle 19:00 alle 23:00, dal lunedì al venerdì; dalle 7:00 alle 23:00 il sabato;
- Fascia F3: dalle 00:00 alle 7:00 e dalle 23:00 alle 24:00, dal lunedì al sabato; tutte le ore del giorno nelle giornate di domenica e dei giorni festivi.

3.2 Eneldistribuzione

Mediante registrazione al sito www.eneldistribuzione.it è stato possibile disporre dei dati di energia attiva prelevata sotto forma di consumo quartorario relative all'utenza CRS.

3.3 Smart metering

Sul mercato sono disponibili vari tipi di strumenti di misura, adatti per il monitoraggio a breve, medio e lungo termine. Sono caratterizzate da variabili livelli di prestazione, prezzi, dimensioni, tipo di trasmissione dati, ecc. Un esempio sono le centraline microclimatiche, i datalogger e le strumentazioni che misurano singoli parametri (termometri, anemometri, igrometri ecc.).

Nell'edificio CRS è installato un sistema di monitoraggio dei consumi elettrici acquistato nella precedente annualità (PAR2015), prodotto e commercializzato dalla ditta Acotel (www.acotel.com).

Il sistema installato è in grado di rilevare i dati di consumo di diverse sezioni dell'impianto:

- Cabina elettrica (complessivo);
- Generale laboratori;
- Generale uffici;
- Ufficio tipo;
- Pompe di calore.

Nel Generale uffici sono conteggiati anche i consumi dell'auditorium, mentre i consumi dell'officina possono essere ottenuti per sottrazione da quello complessivo degli altri rilevati (Generale uffici, Generale laboratori e Pompe di calore).

L'obiettivo di monitorare i consumi di specifiche utenze del Centro (uffici, laboratori, impianto di climatizzazione) ha indotto all'utilizzo di diversi "energy node" (dispositivo di misura) oltre ad un ulteriore dispositivo (MEM business) ubicato nel contatore principale del Centro Ricerche, situato nella cabina di trasformazione MT/BT.

Il sistema si completa con una unità di controllo (MAU) che connette gli energy node con il cloud per l'archiviazione dei dati (piattaforma Acotel net) accessibile con un servizio di gestione dedicato (energy management), dove i dati di consumo (registrati in intervalli quartorari) sono consultabili e da cui è possibile effettuare un postprocessing e il download dei dati.

Una raffigurazione del sistema di monitoraggio è riportata in figura 3.1.

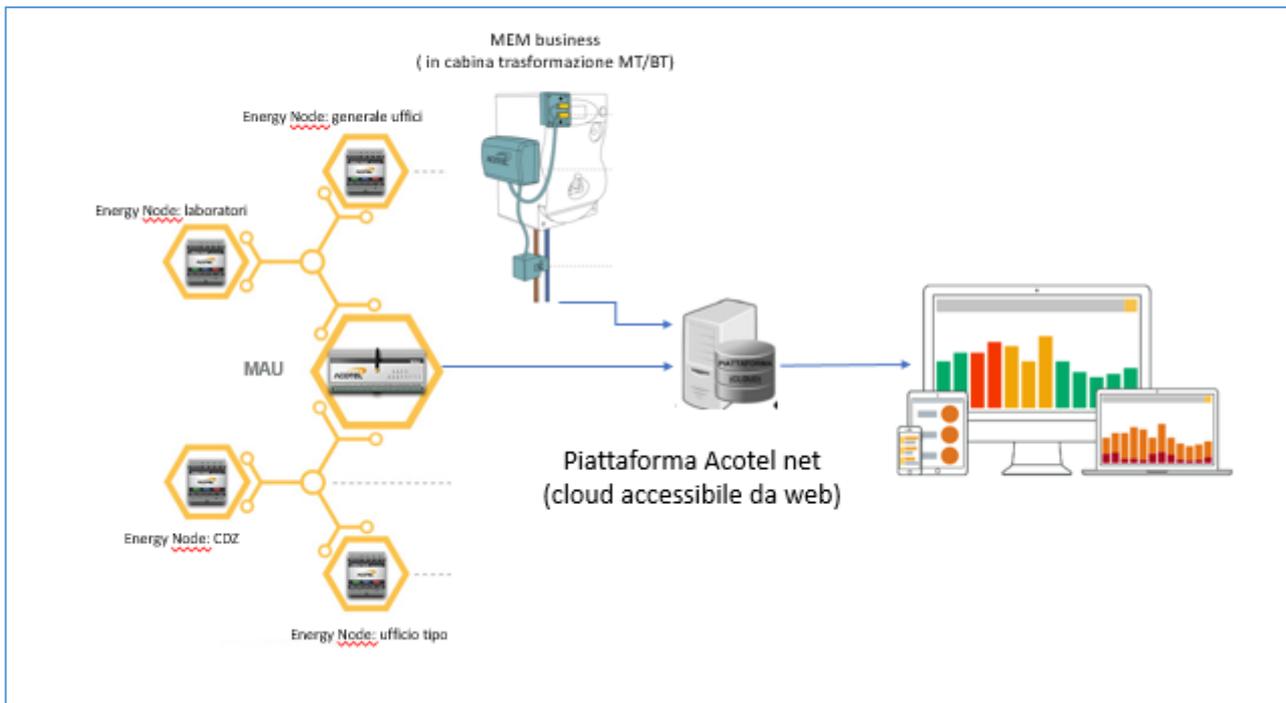


Figura 3.1. Architettura del sistema di monitoraggio dei consumi energetici del Centro Ricerche Sotacarbo.

Di seguito si riportano le caratteristiche dei principali componenti del sistema (Tabelle 3.1–3):

- N. 1 MEM business (Figura 3.2), ubicato nella cabina di trasformazione MT/BT di alimentazione del Centro.

L' acquisizione degli impulsi inviati dal contatore (media tensione) al MEM avviene tramite una scheda ES di interfaccia. Tale scheda ha la funzione di convertire gli impulsi del contatore in segnali compatibili col MEM. E' collegato tramite rete GSM alla piattaforma Acotel net con invio dei dati ogni 24 ore.



Figura 3.2. "Mem business" installato nel contatore principale del Centro Ricerche Sotacarbo.

Tabella 3.1. Caratteristiche “MEM business”



Dati tecnici	Descrizione
Custodia	Contenitore Plastico in ANSABLEND PC/ABSVO
Grado di protezione	IP54
Dimensioni	122X77X54 mm
Architettura Hardware	CPU XLP, Main Clock 8.00Mhz, RTCC 32768Khz Assorbimento in Sleep mode: 20uA circa con sensore
Alimentazione	Batteria primaria tipo LIPO 3,6V nominale 2000mAh: XK11345 +Toroide splitcore CT10/CT24
Connessioni esterne	Jack 2,5mm (collegamento sensori) Coax Jack 3,5mm (collegamento alimentazione opzionale)
Grandezze acquisite	Ingresso digitale CH1: counter, max freq. 500Hz
Canali di comunicazione	GSM/GPRS quad-band
Rispondenze normative	Emissione EMC EN 61326-1; Immunità EMC EN 61010-1

- N. 4 energy node (Figura 3.3), di cui tre su impianto trifase (ubicati nelle diramazioni dell'impianto elettrico relative a: ala uffici, ala laboratori e impianto di climatizzazione) e uno su impianto monofase (ubicato in uno degli uffici e pertanto denominato "ufficio tipo"). Sono dispositivi di monitoraggio ed analisi di reti elettriche in bassa e media tensione, collegati all'unità di controllo locale (MAU).



Figura 3.3. Energy node installati in diverse sezioni dell'impianto elettrico del Centro Ricerche Sotacarbo (ufficio tipo, sez. uffici, sez. laboratori, impianto di climatizzazione).

Tabella 3.2. Caratteristiche “energy node”.



Dati tecnici	Descrizione
Dimensioni	71,3x110x62 mm - 4 moduli barra DIN EN60715
Peso	150 gr
Alimentazione	Switching 90-260Vac o 150-350Vdc/< 1VA
Potenza termica dissipata	2,05VA max
Temperatura operativa	-20/+80°C
Temperatura di stoccaggio	-10/+60°C
Umidità	0-90% senza condensazione
Classe di protezione	MOLEX 22-03-5025 (PROTEZIONE INVERSIONE)
Ingressi corrente	5A max tramite TA (no connessione diretta)
Connettore per ingresso sensore impulsi	0,5VA per ingresso
Ingressi tensione	700Vac max fase-neutro/1200Vac max fase-fase
Assorbimento tensione ingressi	0,15Va per ingresso
Interfaccia RS485	Optoisolata - max 32 dispositivi per linea -Lunghezza massima bus:1200m
Ingresso digitale	Open collector 20mA max.
Uscite digitali	Open collector 100mA max.

- N. 1 MAU (Figura 3.4) unità di controllo connessa alla piattaforma Acotel net tramite rete GPRS. Tutti i dati e gli eventi rilevati sono infatti inviati e storicizzati sul "cloud" Acotel Net ossia la piattaforma di erogazione dati accessibile su pagine web attraverso il servizio di gestione "energy management". In questo modo da remoto è possibile effettuare l'analisi e l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche.



Figura 3.4. Unità di connessione alla piattaforma Acotel.net MAU.

Tabella 3.3. Caratteristiche “MAU”.



Dati tecnici	Descrizione
Dimensioni	9 Unità DIN-EN50022/H = 53mm
Interfacce comunicazione	
Porta Ethernet	1 porta Ethernet 10/100
WiFi	802.11 b/g
BlueTooth	2.1 EDR, classe 2, copertura 30m
USB	2 porte 2.0
GSM/GPRS	Quadband 850/900/1800/1900 MHz
Uscita alimentazione esterna	1 uscita alimentazione esterna (relè 5Amp)
Uscite open collector	9 uscite OC (max 250mA - 12V)
Uscita PWM	1 Uscita PWM gestione clock uZEM (in alternativa uscita positiva max 100mA)
Ingressi	10 ingressi D 0/5V
Seriale RS485	2 porte seriali RS485
Alimentazione	
Tensione da lavoro	12-15Vdc
Corrente assorbita	0,8A
GPRS	0,35A con 2A di picco
Alimentazione switching	VDC 13,8 (potenza minima 20W)
Assorbimento	13,8 VDC
Condizioni ambientali	
Temperatura operativa	-10/+50 °C
Temperatura di stoccaggio	-10/+70 °C
Umidità	0-90% senza condensazione
Grado di protezione	IP20

3.4 La campagna di monitoraggio

Tramite i documenti di fatturazione, sono stati analizzati i consumi mensili di energia elettrica nel quadriennio 2013-2016. L’analisi dei consumi elettrici mediante dati forniti da eneldistribuzione e derivanti dal sistema di monitoraggio è stata condotta nel periodo di tempo compreso tra settembre 2016 – agosto 2017.

Il controllo dei dati di consumo tramite i dati di eneldistribuzione e del sistema di smart metering è tutt’oggi oggetto di analisi.

Sono riportate nelle figure 3.4-9 seguenti i dati annuali totali e mensili di consumo dedotti dai dati di fatturazione del fornitore di energia elettrica, sia come consumo totale, che distinto per fascia oraria.

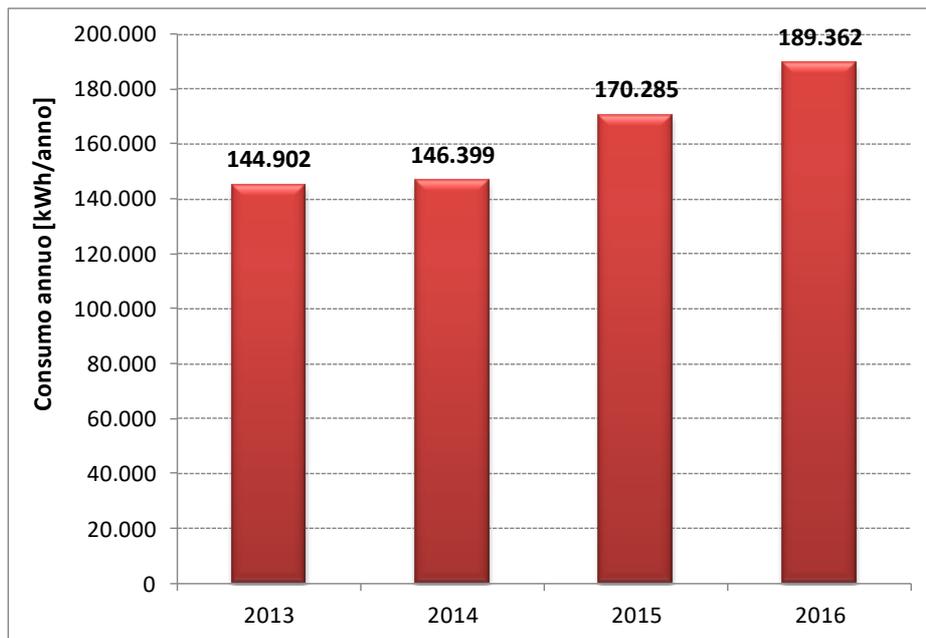


Figura 3.4. Consumo di energia totale per anno (Dati Bollette Fornitore di energia elettrica).

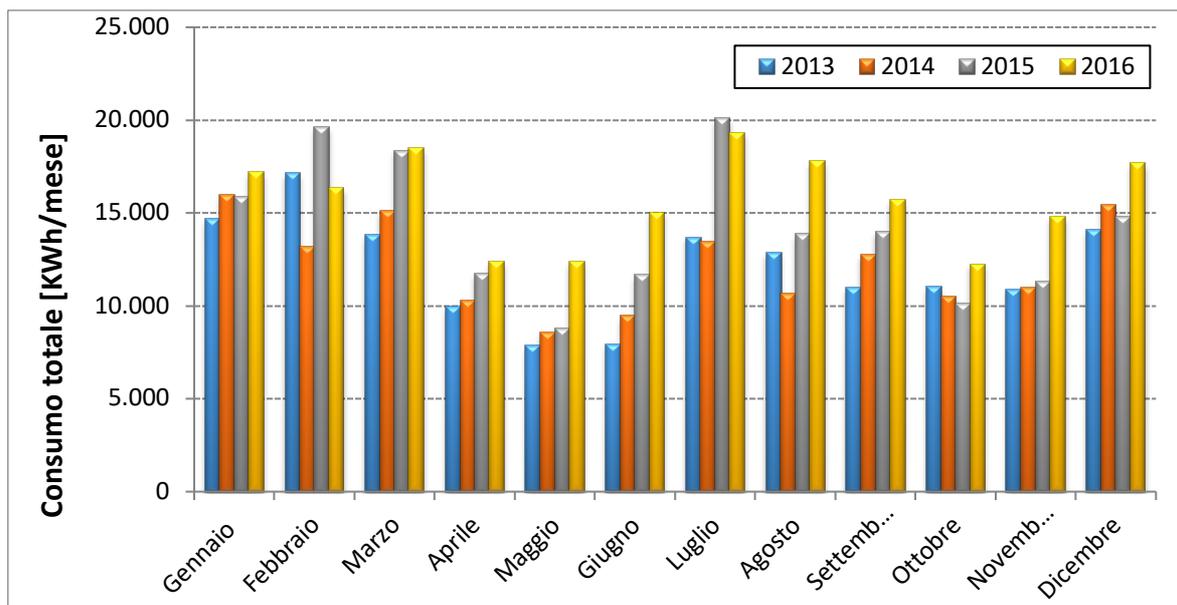


Figura 3.5. Consumo di energia totale per mese (Dati bollette fornitore di energia elettrica).

I consumi totali mensili (Figura 3.5) del 2016 sono costantemente più elevati rispetto agli altri anni considerati, ad esclusione dei mesi di febbraio e luglio, dove i consumi totali più elevati sono stati registrati nel 2015.

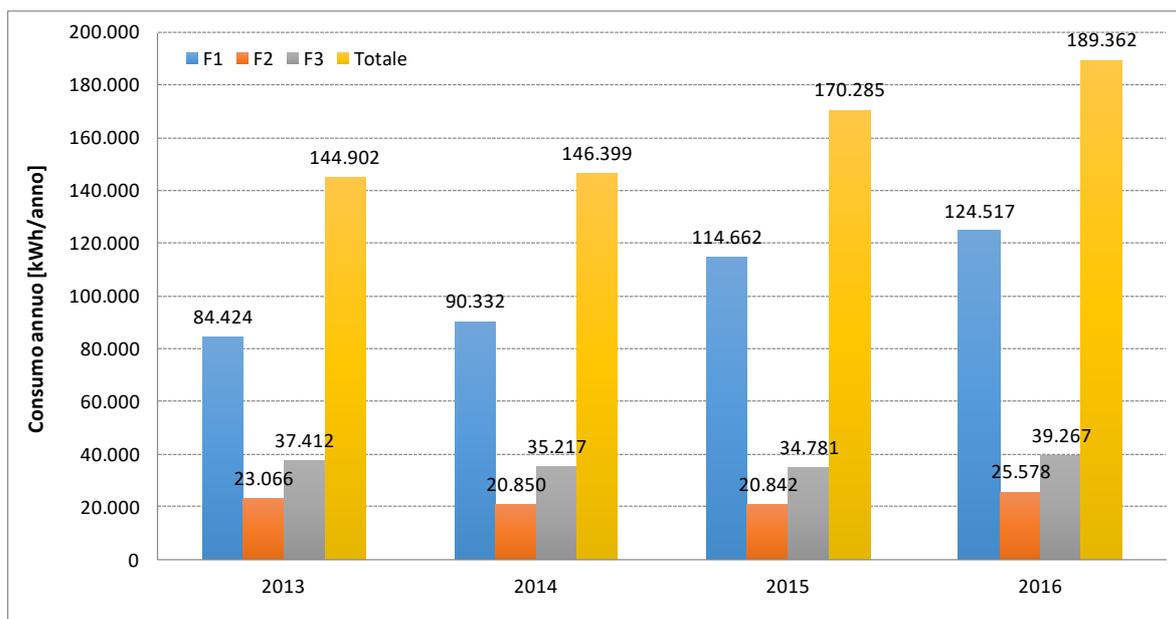


Figura 3.6. Consumo annuale suddiviso per fascia oraria e complessivo (Dati bollette fornitore di energia elettrica).

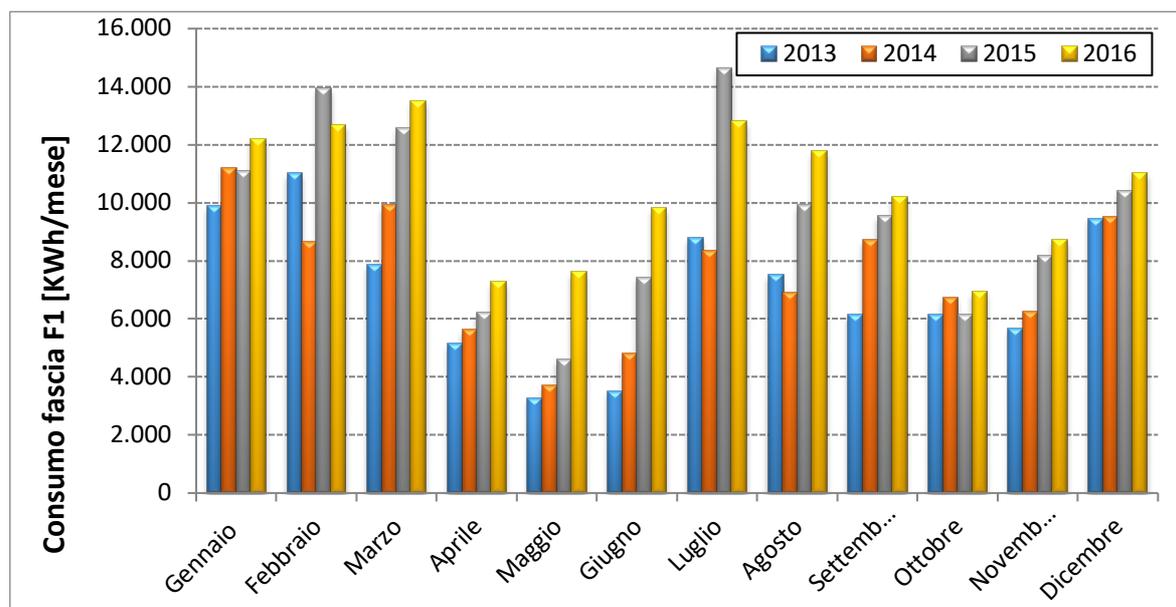


Figura 3.7. Consumi fascia F1 mensili (Dati bollette fornitore di energia elettrica).

Dall’analisi della Figura 3.7 si nota che, nella maggior parte dei mesi del 2016, i consumi in fascia F1 sono stati più elevati rispetto agli altri anni, fatta eccezione per i mesi di febbraio e luglio (nel 2015 sono stati registrati valori superiori a quelli del 2016), probabilmente a causa di temperature più miti nel 2016, con conseguente minor utilizzo della climatizzazione. Nel 2013 i consumi mensili sono inferiori al 2014, tranne che nei mesi di febbraio, luglio e agosto 2013 e si può ipotizzare una variazione dovuta a temperature meno rigide a febbraio 2016 e meno elevate a luglio e agosto dello stesso anno, rispetto al 2013. I mesi di dicembre 2013 e 2014 presentano consumi simili.

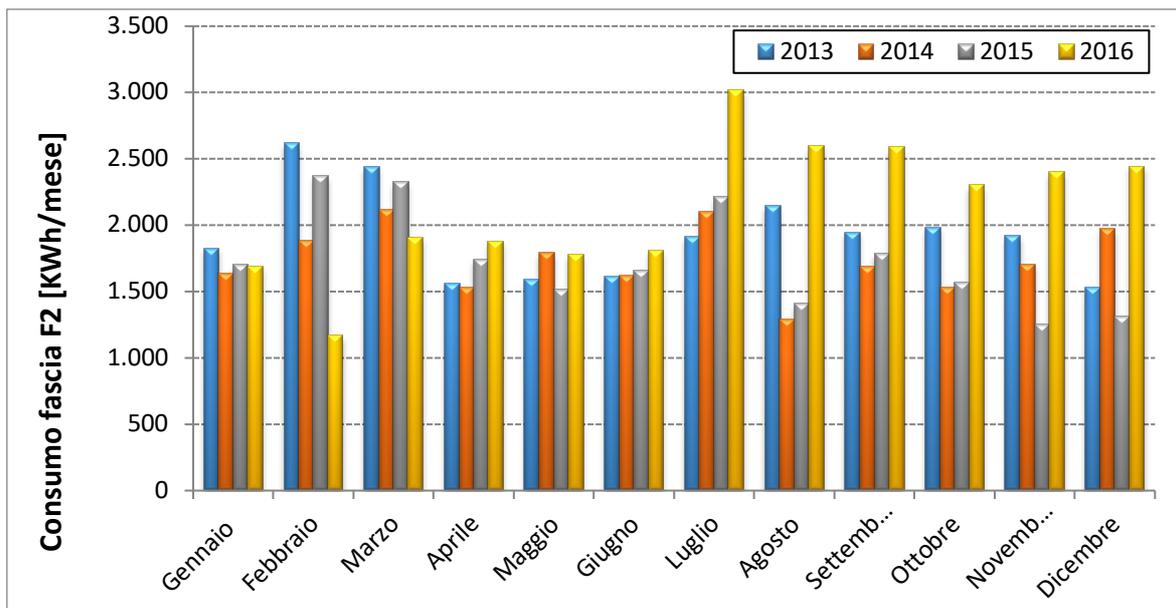


Figura 3.8. Consumi fascia F2 mensili (Dati bollette fornitore di energia elettrica).

L'andamento dei consumi mensili in fascia F2 non segue un andamento costante: i valori oscillano fra 1200 kWh nel mese di febbraio 2016 e 3000 kWh nel mese di luglio 2016. Nel mese di gennaio, i consumi del 2013 sono più elevati rispetto agli altri anni. Si può pensare che i consumi siano stati più elevati per maggiori consumi verificatisi tra le 7:00 e le 8:00, quando si attiva l'accensione della pompa di calore, oppure che l'azienda sia rimasta operativa oltre l'orario di lavoro standard. Da luglio a dicembre, i consumi del 2016 risultano notevolmente superiori a quelli registrati negli altri anni.

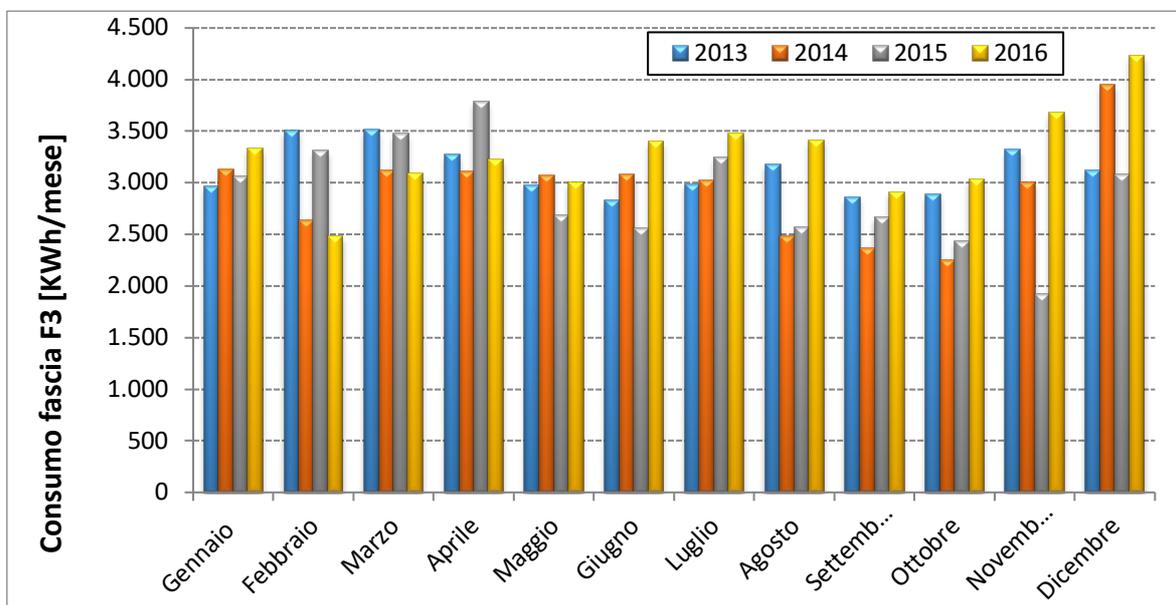


Figura 3.9. Consumi fascia F3 mensili (Dati bollette fornitore di energia elettrica).

Per quanto riguarda la fascia F3, si è verificato un andamento non costante dei consumi nel quadriennio, con un minimo nel mese di novembre 2015 (2000 kWh), e un massimo nel mese di dicembre 2016 (4300 kWh).

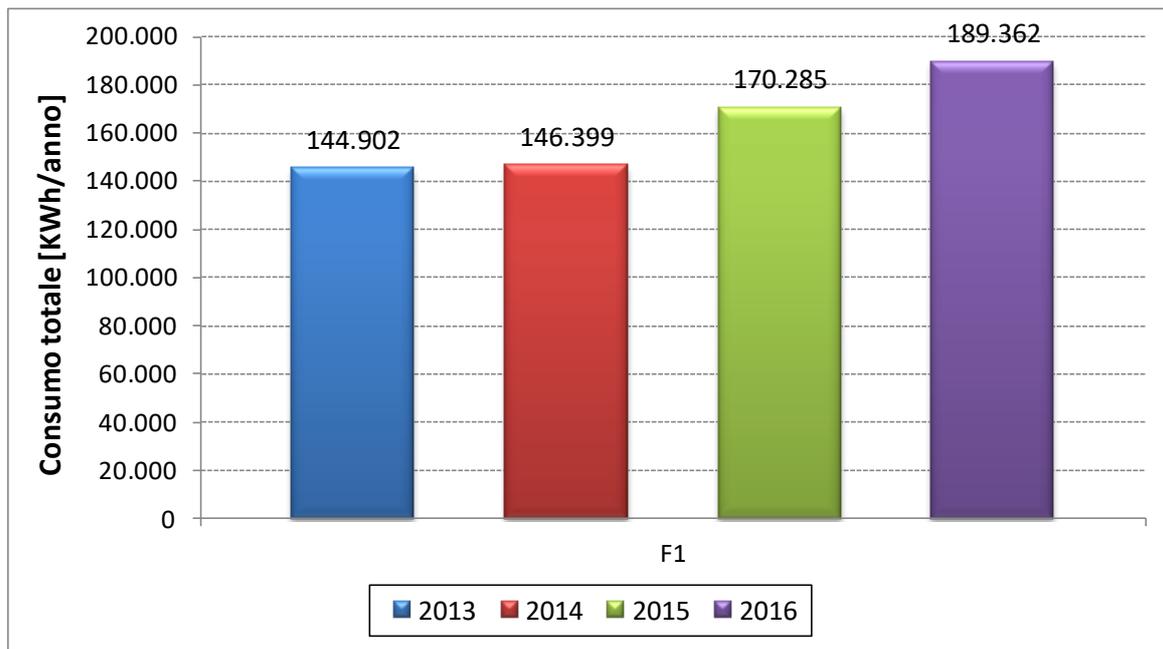


Figura 3.10. Consumo totale in fascia F1 nel quadriennio considerato.

Come si può evincere, i consumi più elevati risultano essere quelli in fascia F1. Difatti, i locali del CRS sono solitamente occupati in orario che va dalle 8:00 del mattino fino alle 18:00 e solitamente presentano la pausa pranzo verso le 13:00. Ne deriva che, nonostante vi siano degli apparecchi in funzione anche nei periodi di non occupazione dell'ambiente, nel momento in cui avviene l'ingresso dei dipendenti il carico complessivo tende ad aumentare rapidamente in base al fatto che cambiano le impostazioni per la regolazione del clima, aumentano i carichi termici, si accendono le varie postazioni PC con le relative periferiche annesse e soprattutto si attiva l'illuminazione artificiale.

Le apparecchiature da ufficio, costituite come detto dai computer, stampanti, FAX, ecc. che rappresentano i veri e propri strumenti di lavoro e che quindi necessariamente vengono usati in maniera continuativa all'interno dell'intero periodo di occupazione; il loro consumo, nonostante le potenze unitarie inferiori alle altre tipologie, diventa consistente se riferito alla quantità, infatti ogni dipendente dispone di una postazione, e se si considera che approssimativamente un PC medio assorbe circa 300 W (anche di più se si tratta di mezzi ad alte prestazioni, usati magari per lavori di grafica) si fa presto a raggiungere qualche decina di kW. Inoltre non bisogna dimenticare che a supporto dei computer, in situazioni in cui improvvise interruzioni dell'alimentazione causerebbero il loro spegnimento con conseguente perdita di dati, vengono installati un certo numero di UPS (Uninterruptible Power Supply), ovvero dei gruppi di continuità in grado di garantire per un periodo definito l'approvvigionamento di corrente elettrica alle utenze. Questi, anche se non utilizzati, richiedono comunque un'alimentazione e quindi un consumo, continuativo praticamente costante nelle 24 ore, proporzionato alla potenza installata.

Globalmente, dal confronto dell'andamento dei consumi negli anni dal 2013 al 2016 si rileva che:

- Il consumo totale annuo è in costante crescita: questo è dovuto in parte all'aumento dell'attività di laboratorio e in parte all'aumento del numero di dipendenti, che ha ricevuto un incremento a partire da ottobre 2015;
- L'incremento dei consumi totali è da ascrivere principalmente all'aumento dei consumi in fascia F1, che cresce costantemente (Figura 3.10);
- I consumi nelle fasce F2 ed F3 si mantengono pressoché costanti.

A partire dai dati dei consumi di energia elettrica su base quartoraria forniti da Enel distribuzione e forniti dal

Il sistema di smart metering è stata effettuata l'analisi dei consumi mensili giornalieri relativamente al periodo da luglio 2016 a settembre 2017. I consumi quattorari sono stati sommati per ottenere il singolo dato orario, al fine di ricostruire i profili di consumo tipo dei giorni lavorativi e non lavorativi. Le elaborazioni sono state effettuate mediante l'ausilio di un foglio di calcolo. Sono stati calcolati i consumi medi orari giornalieri dei giorni lavorativi e non lavorativi, ottenuti come media aritmetica dei consumi orari di ciascun giorno lavorativo o non lavorativo del mese.

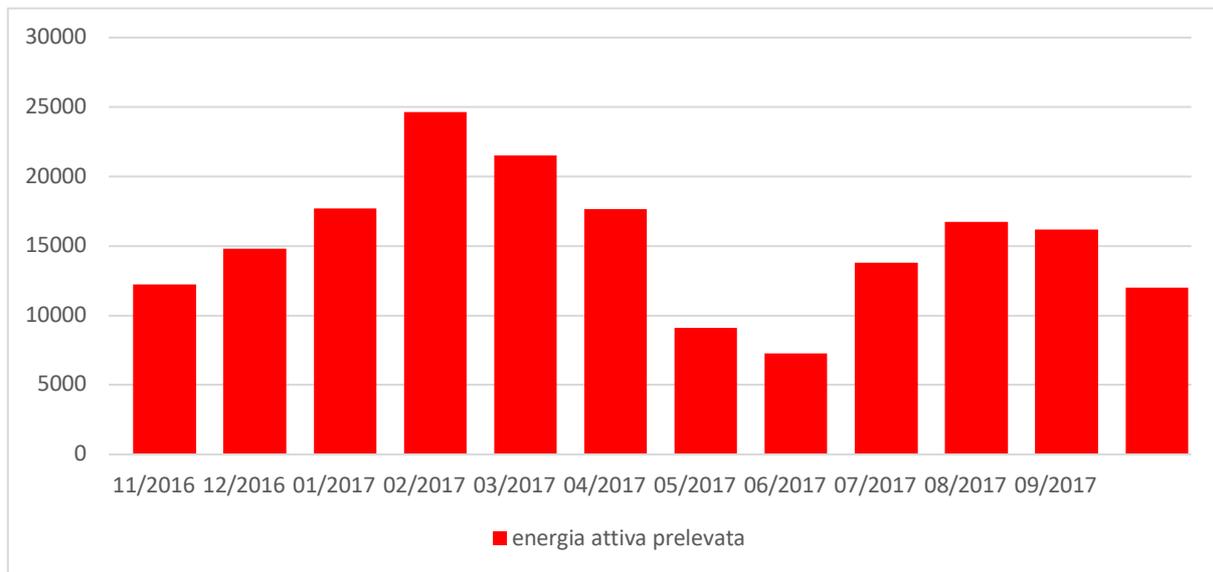


Figura 3.11. Consumo di energia attiva prelevata totale su base mensile (dati enel distribuzione).

Dall'analisi dell'andamento dei consumi mensili durante l'arco dell'anno (Figura 3.11) si nota un aumento dei consumi energetici invernali, a causa del riscaldamento degli ambienti, e di quelli estivi, a causa del raffrescamento. Gli altri consumi, che è possibile ritenere pressoché costanti durante l'anno, sono dovuti principalmente all'impianto di illuminazione e alle attività dei laboratori.

I dati di consumo totale orario per giornata tipo (suddivisi per giornata tipo ferial e giornata tipo festiva) calcolati mensilmente mostrano andamenti regolari e simili per forma, confermando quanto detto relativamente al consumo relativo alla fascia F1. Si nota inoltre che forma e consumi variano in corrispondenza dell'utilizzo o non utilizzo del sistema di climatizzazione. A fine di esempio, si riporta nella Figura 3.12-13 l'andamento relativo al mese di luglio 2016 e gennaio 2017 (sistema di climatizzazione in stato ON), e nella figura 3.14 quello relativo al mese di maggio 2017 (sistema di climatizzazione in stato OFF).

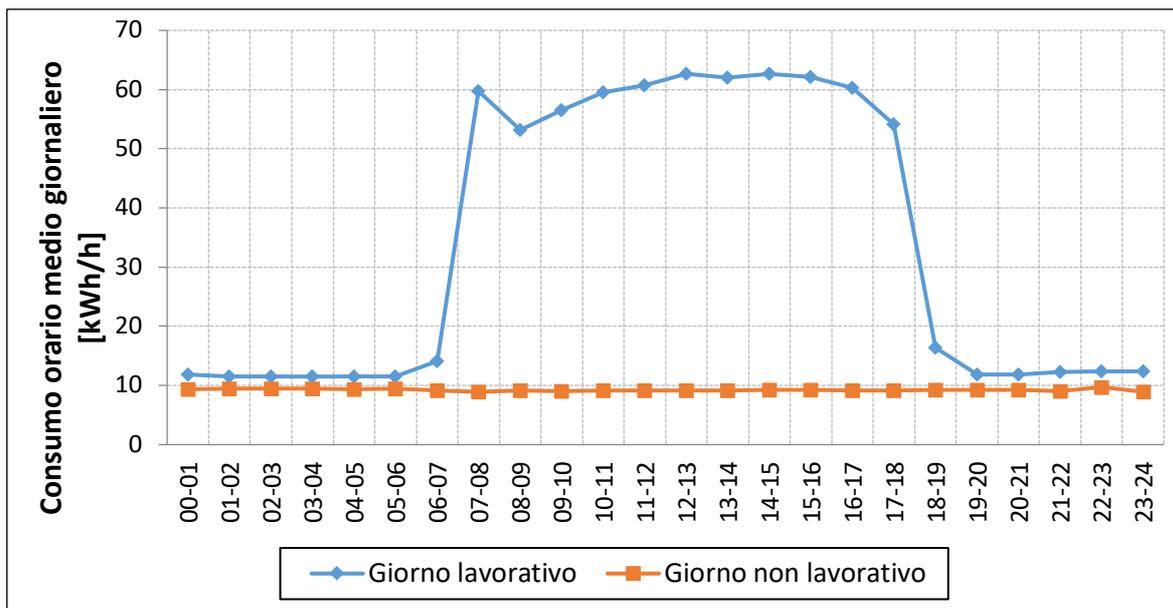


Figura 3.12. Profili di consumo giornaliero tipo – luglio 2016 (dati eneldistribuzione).

Nel mese di luglio 2017, il consumo orario medio dei giorni non lavorativi è pressoché costante ed è di circa 10 kWh/h. Nei giorni lavorativi, invece, i consumi orari medi hanno un andamento quasi costante e prossimo a 12 kWh/h nelle ore fra le 19:00 e le 6:00: tale fascia oraria corrisponde a quella in cui la struttura non è operativa. Dalle 6:00 alle 7:00 si nota un leggero incremento dei consumi, che arriva a circa 15 kWh/h; si verifica, poi, un sostanziale aumento tra le 7:00 e le 8:00, con un picco di circa 60 kWh/h nelle ore centrali. Tale aumento è dovuto all'accensione dell'impianto di climatizzazione, con uno spunto in accensione della pompa di calore all'inizio del turno lavorativo. Fra le 18:00 e le 19:00 il consumo orario scende, a causa dello spegnimento dell'impianto di climatizzazione e successiva chiusura della struttura.

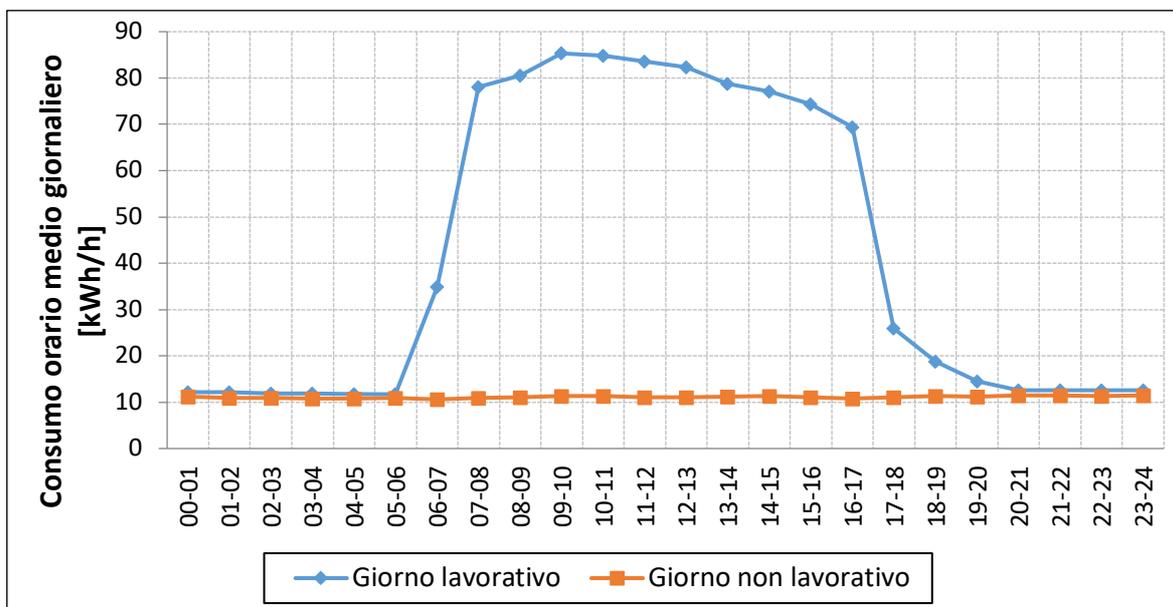


Figura 3.13. Profili di consumo giornaliero tipo – gennaio 2017 (dati eneldistribuzione).

Il profilo di consumo orario tipo dei giorni non lavorativi di gennaio è analogo a quello dei mesi precedenti. Per quanto riguarda, invece, quello dei giorni lavorativi, la curva ha una forma simile a quella dei mesi in cui il sistema di climatizzazione è in fase di riscaldamento e i valori di consumo orario nella fascia 8:00÷17:00 superano gli 80 kWh/h. Ciò è dovuto all'impianto di condizionamento, in quanto gennaio è un mese

particolarmente freddo. Il consumo di base che si registra negli orari di chiusura della struttura confermano il fatto che il consumo orario è quello dei macchinari in stand-by, come accade nei giorni non lavorativi.

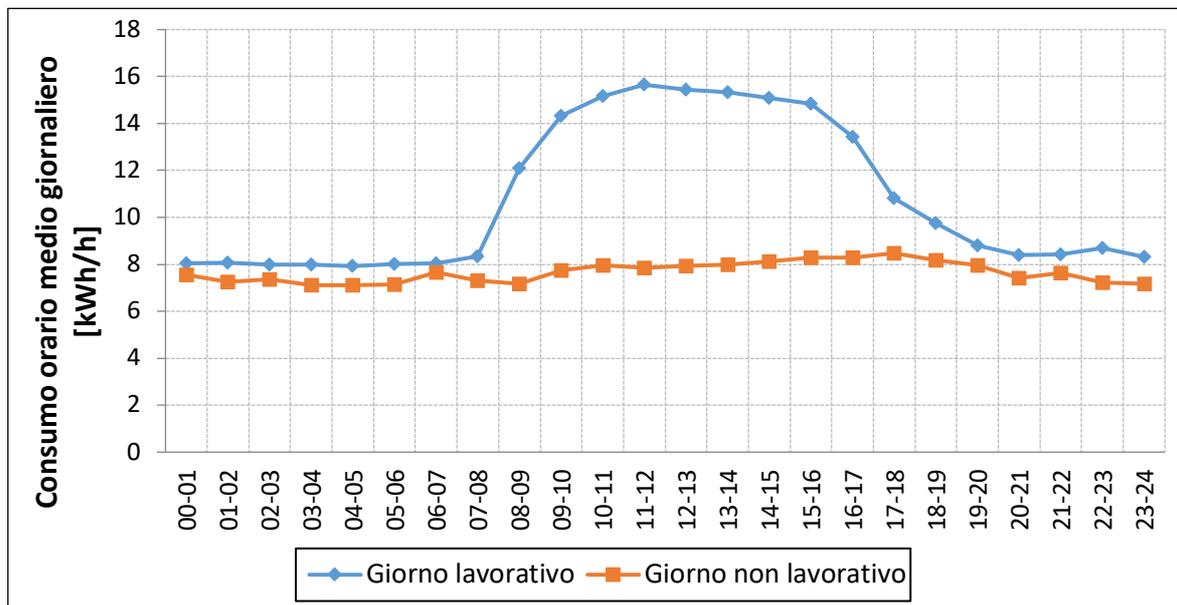


Figura 3.14. Profili di consumo giornaliero tipo – maggio 2017 (dati eneldistribuzione).

Il profilo di consumo orario di un giorno non lavorativo del mese di maggio 2017 è pressoché costante attorno a valori di 7÷8 kWh/h e si registra un minimo rispetto ai mesi vicini.

Nei giorni lavorativi, il profilo di consumo orario ha una forma simile a quella degli altri mesi, con un aumento graduale dei consumi fra le 8:00 (8 kWh/h) e le 12:00 (15 kWh/h), un andamento circa costante sino alle 17:00 e un graduale decremento sino alle 19:00, con la chiusura delle attività. Si riscontrano dei cali dei consumi rispetto al periodo con valori medi di 14÷15 kWh, dovuti alla messa fuori servizio del sistema di climatizzazione per manutenzione.

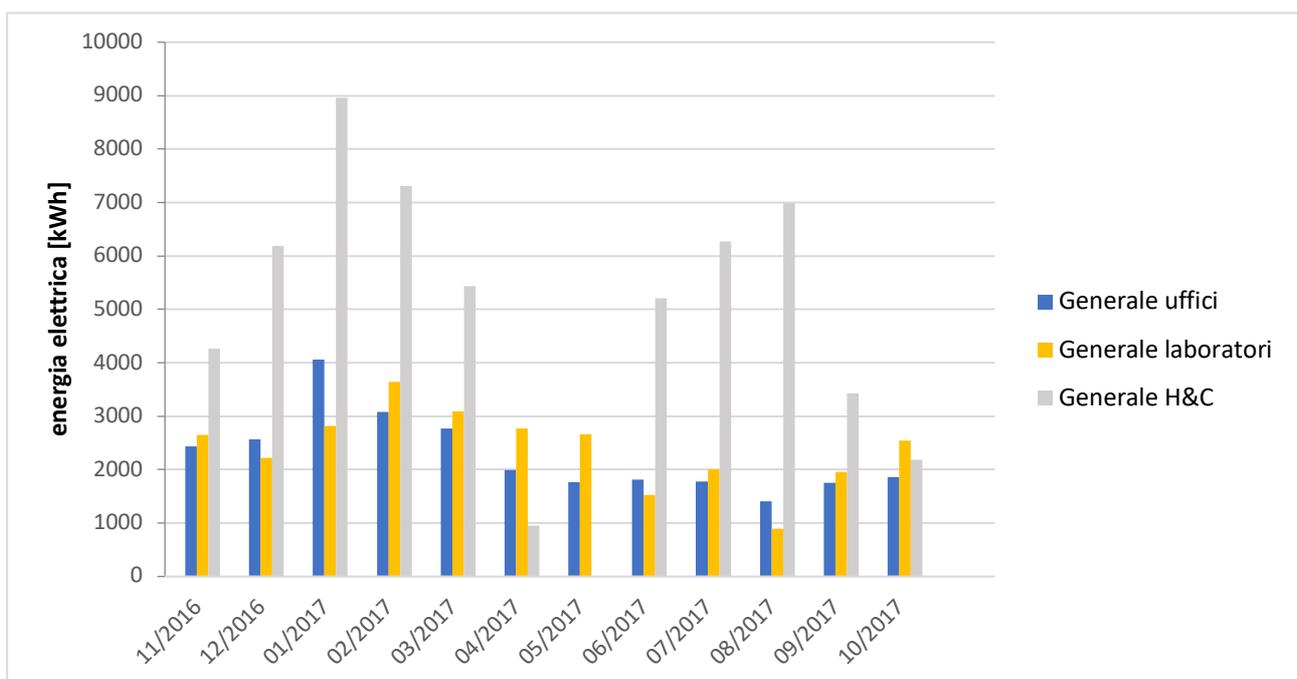


Figura 3.15. Distribuzione dei cariche tra le utenze (dati smart metering).

Quanto sopra detto è verificabile analizzando il grafico di distribuzione dei carichi tra le utenze misurate (uffici, laboratori, H&C), sia in termini mensili (Figura 3.15) che su base giornaliera. Come si nota, la richiesta maggiore di energia è dovuta al riscaldamento e al raffrescamento dell'edificio, con un massimo della richiesta nei mesi invernali piuttosto che nei mesi estivi (come d'altronde riportato nei dati di targa della macchina del sistema di climatizzazione, essa ha un rendimento maggiore in raffrescamento).

Risulta subito evidente che l'anello debole su cui lavorare per ottenere un abbassamento dei consumi è il sistema di condizionamento. Ciò è ancora più evidenziato considerando gli andamenti giornalieri dei carichi ripartiti, dove è ben visibile che l'andamento dei consumi dell'H&C ricalca quello dei consumi totali (a titolo di esempio, si veda la Figura 3.16 seguente, relativa al mese di luglio 2017).

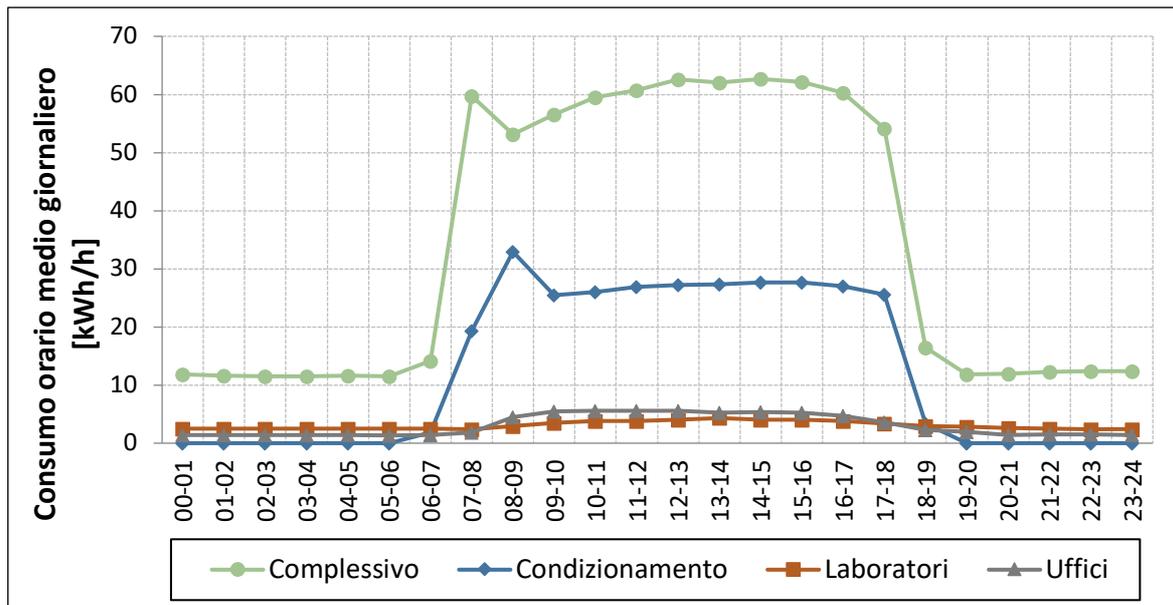


Figura 3.16. Distribuzione dei cariche tra le utenze (dati smart metering) – luglio 2017.

Sulla base dei risultati del monitoraggio di cui sopra, e nell'ottica di riqualificare l'edificio in termini nZEB, oltre all'impianto fotovoltaico già progettato al fine di coprire la quota di rinnovabile, si è pensato di modificare il sistema H&C accoppiandolo con il geotermico (aumentando così la quota di rinnovabile e sfruttando il pozzo esistente). L'impianto sarà considerato integrato in una micro-grid, di cui faranno parte anche l'impianto fotovoltaico ed un accumulo elettrico.

Lo studio relativo all'analisi di fattibilità tecnica, economica ed ambientale dell'utilizzo di un sistema a pompa di calore del tipo acqua-acqua accoppiata con una sonda geotermica a bassa entalpia per la climatizzazione degli ambienti è stato affidato al Cinigeo, ed è presentato nel Report "Modellazione di un sistema di generazione termica smart accoppiato con sonda geotermica", che costituisce l'Allegato 1 al presente documento. Di tale lavoro, è riportata una sintesi nel successivo Capitolo 4.

Oltre a ciò è stato ritenuto valore addizionale fornire un contributo innovativo all'utilizzo ottimale dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico attraverso la realizzazione di un sistema di accumulo energetico che consenta la riduzione degli interscambi di energia elettrica con la rete pubblica e la massimizzazione degli autoconsumi. In linea di principio tale obiettivo dovrà essere perseguito mediante l'integrazione dell'impianto di climatizzazione esistente con un sistema di accumulo di energia termica (TES, Thermal Energy Storage) da utilizzare come volano termico delle pompe di calore annesse all'impianto di climatizzazione, che a loro volta fungono da volano elettrico per l'impianto fotovoltaico di cui si prevede la realizzazione. Questa attività di ricerca, i cui contenuti sono riportati nel Report "Sviluppo di un sistema innovativo di accumulo termico" che costituisce l'Allegato 2 al presente documento, è stata affidata al DIMCM dell'Università di Cagliari. Nel successivo Capitolo 5 è riportata una sintesi del lavoro effettuato.

Gli studi effettuati da Sotacarbo, dal Cinigeo e dal DIMCM sono stati svolti in team e parallelamente.

4 Modellazione di un sistema di generazione termica smart accoppiato con sonda geotermica

Il progetto di ricerca analizza la fattibilità tecnica, economica ed ambientale dell'utilizzo di un sistema a pompa di calore del tipo acqua-acqua accoppiata con una sonda geotermica a bassa entalpia per la climatizzazione degli ambienti. L'impianto sarà considerato integrato in una micro-grid, di cui faranno parte anche un impianto fotovoltaico ed un accumulo elettrico, localizzata presso la sede della Sotacarbo.

Le fasi operative del progetto sono state le seguenti:

- Ricerca bibliografica
- Caso di studio
- Analisi energetica
- Pompa di calore accoppiata con sonda geotermica
- Analisi economica ed ambientale
- Analisi dei risultati e sviluppi futuri

La ricerca bibliografica è stata effettuata analizzando riviste scientifiche e interrogando banche dati sui seguenti argomenti: sonde geotermiche a bassa entalpia, accumulo elettrico, Life Cycle Analysis, Water Footprint Assessment. L'analisi ha consentito di estrapolare 96 articoli di interesse per il caso di specie. Inoltre è stata presa visione della legislazione e della normativa vigente in tema di efficienza energetica. Successivamente è stato analizzato lo specifico caso di studio, valutando il sistema edificio-impianto della Grande Miniera Serbariu che ospita l'attività della Sotacarbo e le possibilità di adeguare le soluzioni esistenti all'utilizzo della geotermia a bassa entalpia.

Nel presente studio sono stati valutati diversi scenari impiantistici del sistema di climatizzazione degli ambienti (Figura 4.1):

- Situazione attuale: generazione con pompa di calore aria-acqua;
- Situazione di progetto: sistema con pompa di calore acqua-acqua accoppiata con sonda geotermica (verticale immersa nel terreno oppure ad acqua di falda).

Sulla base della richiesta energetica degli ambienti scaturita dall'analisi energetica e delle condizioni di funzionamento dell'impianto, in sostituzione della pompa di calore aria-acqua esistente è stata individuata la pompa di calore acqua-acqua modello WRL650 prodotta dall'azienda AERMEC.

Sulla base dei fabbisogni termici dell'edificio è richiesta una sonda geotermica verticale di lunghezza pari a 2.715 m, a cui corrisponde un campo di 7 sonde del tipo a doppio U, di altezza pari a 97 m, all'interno delle quali circola una miscela di acqua e glicole.

In alternativa, la pompa di calore potrà essere accoppiata con una sonda ad acqua di falda che preleva il fluido primario dal pozzo posizionato nella parte posteriore dell'edificio oggetto di studio. La pompa a servizio del circuito dovrà essere in grado di fornire una portata massima di 29.130 l/h. Dal punto di vista impiantistico, in questo caso, al fine di preservare gli organi interni della pompa di calore dall'azione aggressiva (chimica e fisica) dell'acqua di pozzo, tra i due circuiti (della macchina e primario) deve essere posizionato uno scambiatore di calore intermedio in acciaio inox.

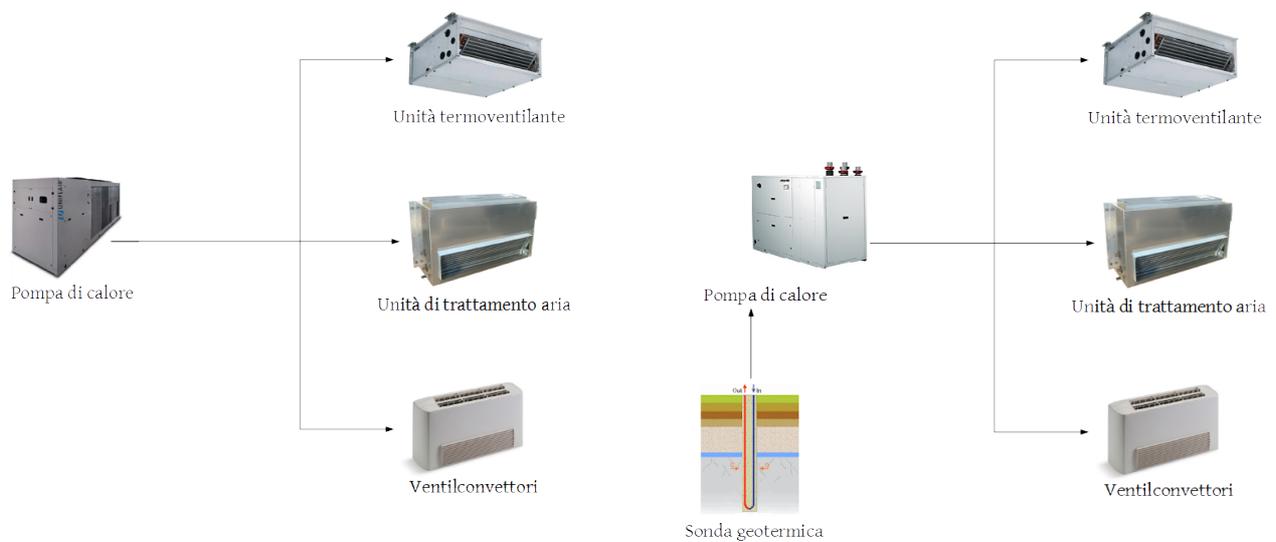


Figura 4.1. Scenari impiantistici del sistema di climatizzazione.

È stata inoltre valutata la possibilità di accoppiare un sistema di accumulo dell’energia elettrica all’impianto fotovoltaico di prossima realizzazione (di potenza pari a 87,48 kWp), al fine di massimizzare l’autoconsumo dell’energia prodotta in situ. In assenza di accumulo, la copertura lorda dei consumi elettrici (vale a dire senza considerare le contemporaneità tra consumi e produzione) con la produzione dell’impianto fotovoltaico è pari al 60,4%, mentre quella netta (dunque considerando la contemporaneità tra consumi e produzione) si attesta al 40,8%. In queste condizioni circa i 2/3 dell’energia vengono autoconsumati, mentre la parte restante viene immessa in rete. Associando al sistema un accumulo elettrico di capacità pari a 100 kWh (effettuato tramite batterie e/o veicoli elettrici), l’energia immessa in rete si riduce dal 32,5 al 18,9%, mentre l’autoconsumo aumenta, passando dal 67,5 all’81,1% (Figura 4.2).

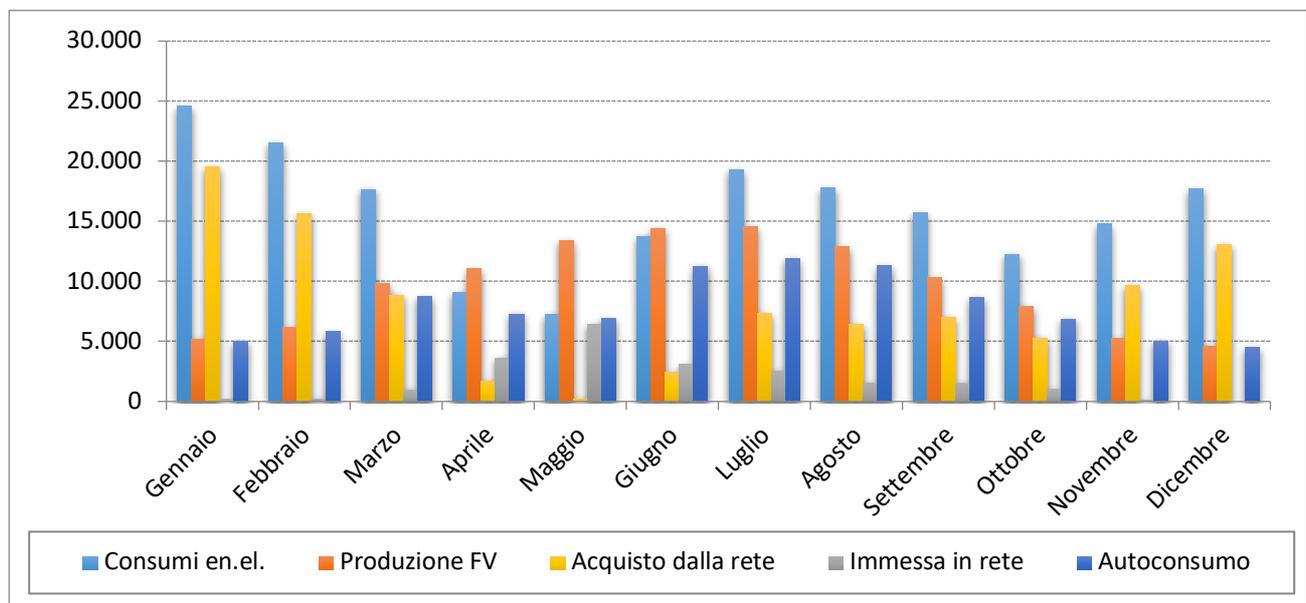


Figura 4.2. Scenario energetico: ripartizione di produzione e consumi.

L’analisi economica effettuata ha determinato che la realizzazione dell’impianto fotovoltaico è economicamente conveniente, mentre un risultato opposto è stato ottenuto per l’accumulo elettrico. Questo è dovuto al fatto che l’impianto fotovoltaico presenta una produzione che bene si sovrappone con i consumi della struttura in cui è impiegato. Per cui l’introduzione nel sistema di un accumulo elettrico produce un aumento dell’energia autoprodotta non sufficiente a bilanciare i relativi costi d’impianto.

La sostituzione della pompa di calore esistente accoppiata con una sonda geotermica risulta essere economicamente conveniente solo con la soluzione ad acqua di falda. La soluzione immersa nel terreno non risulta infatti conveniente in quanto i costi di trivellazione incidono in maniera considerevole, non permettendo un ritorno dell'investimento iniziale.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle valutazioni degli impatti ambientali e dell'impronta idrica degli scenari tecnologici considerati nel loro ciclo di vita complessivo, è emerso che l'utilizzo della geotermia, sia nella configurazione impiantistica ad acqua di falda sia con sonda geotermica verticale immersa nel terreno, sono alternative valide a sostituire la soluzione tecnologica attuale, che ha mostrato impatti notevolmente superiori.

Gli sviluppi futuri dello studio in oggetto riguarderanno la progettazione esecutiva e la successiva realizzazione dell'impianto sperimentale. A questa dovrà essere affiancata la realizzazione dell'impianto fotovoltaico e dell'eventuale sistema di accumulo. Una soluzione alternativa a quella studiata può essere l'accoppiamento di un accumulo termico in associazione a quello elettrico.

In caso di realizzazione della soluzione con sonda immersa nel terreno, si potrà preliminarmente valutare la correttezza dell'interdistanza tra le sonde geotermiche effettuando un'analisi del sistema tramite il Metodo agli Elementi Finiti (FEM), che permetterà oltretutto di valutare l'evoluzione della distribuzione delle temperature nel terreno circostante la sonda.

Propedeutico alla progettazione e alla realizzazione dell'intervento sarà la caratterizzazione del pozzo posizionato nella parte posteriore dell'edificio oggetto di studio. Al fine di determinare le caratteristiche del pozzo e la sua portata di esercizio, sarà di fondamentale importanza effettuare una prova di portata, svolta in base a quanto stabilito dalla normativa. Inoltre si dovrà procedere anche alla caratterizzazione dell'acqua presente in falda, al fine di determinarne il livello di aggressività chimica e fisica in riferimento ai diversi componenti dell'impianto con cui essa interagirà.

5 Sviluppo di un sistema innovativo di accumulo termico

L'obiettivo generale del progetto di ricerca consiste nel fornire un contributo innovativo all'utilizzo ottimale dell'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico, di cui si prevede la realizzazione presso il Centro Ricerche Sotacarbo, attraverso la realizzazione di un sistema di accumulo energetico che consenta la riduzione degli interscambi di energia elettrica con la rete pubblica e la massimizzazione degli autoconsumi. In linea di principio tale obiettivo dovrà essere perseguito mediante l'integrazione dell'impianto di climatizzazione esistente con un sistema di accumulo di energia termica (TES, Thermal Energy Storage) da utilizzare come volano termico delle pompe di calore annesse all'impianto di climatizzazione, che a loro volta fungono da volano elettrico per l'impianto fotovoltaico di cui si prevede la realizzazione. Ciò, ovviamente, nei limiti consentiti dagli altri fabbisogni elettrici e dalla stagionalità della produzione e dei consumi, con i seguenti benefici e implicazioni:

- incremento della quota di autoconsumo e conseguente riduzione degli interscambi con la rete elettrica esterna;
- riduzione degli interventi di fermata e di avviamento delle pompe di calore esistenti al raggiungimento delle temperature di set-point;
- produzione di energia termica ad opera delle pompe di calore contestuale alla produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico in tempi e in misura svincolati dai fabbisogni istantanei, resa possibile attraverso la compensazione degli squilibri tra produzione e utilizzo da parte del sistema TES;
- la presenza di un sistema TES di adeguate caratteristiche e dimensioni può produrre benefici anche in caso di alimentazione delle pompe di calore con energia elettrica prelevata dalla rete esterna che possono operare svincolate dall'utenza in fasce orarie di minore costo.

Aspetto centrale del progetto di ricerca proposto è lo studio concettuale di un sistema di accumulo termico non convenzionale a letto di materiale solido a basso costo basato sul principio del termocline e il suo confronto con un sistema di accumulo ad acqua di tipo convenzionale.

Il progetto di ricerca proposto si è sviluppato secondo le fasi e attività di seguito riportate.

5.1 Valutazione della produzione media oraria dell'impianto fotovoltaico

Mediante il software "Meteonorm" di previsione stocastica dei dati meteo-climatici sono state generate le medie orarie di radiazione globale normale alla superficie ricevente e di temperatura ambiente, relativamente alla posizione geografica della sede della Sotacarbo, per un "anno tipo" di riferimento.

A partire dai dati generati dal software Meteonorm è stata quindi effettuata, con definizione oraria, una stima della produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico il cui comportamento in funzione dei dati meteo-climatici è stato simulato mediante un modello numerico appositamente sviluppato. Questa attività è stata svolta in stretto coordinamento con il progetto di ricerca intitolato "Sviluppo di un modello di micro-grid per la gestione ottimale di un sistema di produzione di energia mediante sonda geotermica" svolto parallelamente al presente progetto.

5.2 Analisi dei profili di carico e di produzione e valutazione dei bilanci energetici per il dimensionamento del sistema TES

Sulla base delle previsioni di produzione elettrica da fotovoltaico ottenute attraverso il software Meteonorm di cui al punto precedente, si è ricostruito per ciascun mese dell'anno un giorno tipo medio mensile, determinando l'andamento della produzione media oraria stimata di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico.

Attraverso l'analisi dei consumi elettrici del centro ricerche Sotacarbo, misurati ogni quarto di ora, è stato inoltre possibile valutare i consumi orari della struttura in ciascun giorno dell'anno. Procedendo analogamente alla stima della produzione elettrica dell'impianto fotovoltaico, è stato pertanto possibile

valutare, per ogni mese dell'anno, i consumi elettrici orari medi mensili di una giornata tipo feriale e di una festiva, attraverso la media dei consumi orari di ogni giornata feriale e festiva del mese.

Dalle analisi della produzione elettrica da fotovoltaico e dei consumi elettrici è emerso come nelle giornate festive si abbia generalmente un surplus di produzione di energia elettrica rispetto ai fabbisogni del centro ricerche, mentre nei giorni feriali si abbia un deficit di energia, situazione che comporta un significativo interscambio di energia elettrica con la rete pubblica.

È quindi emersa l'opportunità di utilizzare in modo conservativo l'energia elettrica prodotta in eccesso durante le giornate festive, quando gli assorbimenti elettrici del centro ricerche sono minimi, in modo da ridurre l'interscambio con la rete pubblica. L'eccedenza di produzione elettrica, infatti può essere efficacemente utilizzata per alimentare la pompa di calore dell'impianto di climatizzazione producendo energia termica (o frigorifera nella stagione estiva) da immagazzinare in un opportuno sistema di accumulo, per poi utilizzarla nelle giornate feriali al fine di mitigare gli assorbimenti elettrici della pompa di calore quando l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico è insufficiente a coprire i fabbisogni.

5.3 Sviluppo di un modello numerico di simulazione del sistema innovativo di accumulo termico.

Ai fini della progettazione e della valutazione delle prestazioni del sistema di accumulo termico più idoneo allo scopo è stato sviluppato un modello di simulazione numerica tempo-dipendente del sistema TES innovativo, di tipo passivo con letto di materiale solido, a partire dalla rielaborazione di un modello già disponibile realizzato per lo studio di sistemi TES operanti con fluido termovettore gassoso. Il modello in parola consente di prevedere l'evoluzione temporale del campo di temperatura e del profilo di temperatura (termoclino) all'interno del TES durante le fasi di carica e scarica. Esso costituisce pertanto uno strumento indispensabile per la definizione delle specifiche di progetto e per la valutazione delle prestazioni energetiche del sistema di accumulo termico nonché per la definizione dei criteri di gestione e per la valutazione delle prestazioni del sistema integrato pompa di calore-TES e del sistema esteso termico-fotovoltaico. Insieme al modello di accumulatore innovativo è stato anche sviluppato il modello di simulazione di un accumulatore convenzionale, senza cioè l'utilizzo di un materiale solido di riempimento, al fine di un confronto delle due soluzioni, convenzionale e innovativa.

5.4 Sviluppo, dimensionamento e analisi delle prestazioni dei sistemi di accumulo.

Sulla base delle valutazioni effettuate e delle risultanze emerse nel corso dell'analisi dei profili di carico e di produzione elettrica da fotovoltaico di cui al precedente punto 2, sono stati sviluppati e confrontati diversi sistemi di accumulo, dimensionati sulla base di differenti specifiche di progetto. Il volume del serbatoio di accumulo è stato perciò dimensionato con riferimento ai seguenti aspetti:

Disponibilità di energia elettrica in eccedenza nel periodo estivo, con riferimento al giorno festivo "tipo" del mese di giugno. In questo caso sono state analizzate due differenti soluzioni:

- massimo sfruttamento dell'energia elettrica disponibile in eccedenza nei due giorni consecutivi di un weekend;
- sfruttamento dell'energia elettrica disponibile in eccedenza limitato ad un solo giorno, pari quindi alla metà del caso precedente, in ordine alle eccessive dimensioni del sistema di accumulo della soluzione precedente sia per quanto riguarda l'ingombro, sia per quanto riguarda il limitato utilizzo nel periodo invernale.

Disponibilità di energia elettrica in eccedenza nel periodo invernale, con riferimento al giorno festivo "tipo" del mese di gennaio. In questo caso, essendo l'eccedenza di energia elettrica molto minore rispetto a quella estiva, il suo sfruttamento è esteso ai due giorni consecutivi del weekend.

Il dimensionamento preliminare è stato effettuato considerando serbatoi di accumulo di forma cilindrica con valori del rapporto altezza/diametro (aspect ratio) variabili tra 1 e 4 a parità di volume. La scelta finale è stata poi rivolta a serbatoi con aspect ratio unitario per la loro maggiore compattezza.

Sono state considerate due diverse tipologie di accumulo entrambe utilizzanti l'acqua come fluido termovettore:

- accumulo innovativo di tipo passivo con serbatoio riempito con letto di materiale solido granulare;

- accumulo convenzionale di tipo attivo diretto che utilizza la sola acqua come fluido termovettore e mezzo di accumulo.

Con l'ausilio dei summenzionati modelli di calcolo, per ciascuna configurazione sono state analizzate l'evoluzione del profilo di temperatura (termoclino) all'interno del serbatoio e l'evoluzione dell'energia termica residente del serbatoio durante le fasi di carica e scarica.

Dall'analisi delle prestazioni delle varie configurazioni del sistema di accumulo termico analizzate nel corso del progetto di ricerca emerge come il sistema di tipo attivo ad accumulo diretto ad acqua assicuri una maggiore energia accumulabile rispetto al sistema di tipo passivo ad acqua con materiale solido.

Il dimensionamento del sistema di accumulo effettuato con riferimento al surplus estivo permette di accumulare la totalità dell'energia in eccesso prodotta durante il weekend estivo, ma risulta sovradimensionato per i mesi invernali. Inoltre, a causa del ridotto deficit elettrico dei giorni feriali, risulta complicato l'utilizzo dell'energia frigorifera accumulabile nei giorni festivi.

Il dimensionamento invernale prevede invece un sistema di accumulo di minori dimensioni, tali da assicurare l'accumulo del surplus energetico di un weekend "tipo" del mese di gennaio. Un sistema di accumulo di queste dimensioni potrebbe essere facilmente "scaricato" durante i giorni feriali, ma una quota anche superiore al 70% del surplus delle giornate festive estive non potrebbe essere recuperata.

Altre possibili soluzioni, la cui scelta dipende essenzialmente dai limiti posti alle dimensioni del sistema dagli spazi disponibili e, ovviamente, dai costi sostenibili, potranno essere analizzate nel in una fase successiva della ricerca.

Al proposito è opportuno segnalare che una considerevole riduzione delle dimensioni del sistema di accumulo potrebbe essere ottenuta attraverso l'utilizzo di un sistema a calore latente basato su opportuni PCM (Phase Change Materials). L'analisi delle prestazioni del sistema di accumulo con PCM è in fase di avanzamento e potrebbe essere oggetto di una futura ricerca.

6 Conclusioni

In un'ottica di riduzione del consumo energetico e dell'utilizzo di energia da fonti rinnovabili il concetto di edificio nZEB va associato al concetto di edificio Smart, cioè un edificio sostenibile nel quale si possono misurare e confrontare i consumi e migliorare le performance nel tempo.

In un periodo in cui i costi dell'energia continuano ad aumentare, la riqualificazione sostenibile degli edifici esistenti rappresenta, oltre che una scelta di alto valore etico, anche il migliore investimento che si possa fare per valorizzare i propri capitali e, nel contempo, aumentare il valore del proprio immobile.

Nel corso delle precedenti annualità l'edificio ospitante il Centro Ricerche Sotacarbo è stato oggetto di audit energetico e di diagnosi energetica. Al fine di migliorare le prestazioni energetiche della sede si è proseguito, nell'annualità corrente, con l'analisi dei consumi della struttura, facendo riferimento ai dati delle bollette elettriche, dei consumi quart'orari e delle rilevazioni del sistema di monitoraggio energetico. L'analisi energetica ha evidenziato che i consumi della struttura sono da attribuirsi principalmente alla climatizzazione degli ambienti, all'illuminazione e alle attività di laboratorio. I consumi si concentrano prevalentemente nelle ore centrali dei giorni lavorativi (dal lunedì al venerdì), mentre nelle restanti ore dei giorni feriali ed in quelli festivi questi sono trascurabili e dovuti principalmente ai macchinari dei laboratori che devono essere mantenuti in stand-by.

Sulla base della richiesta energetica degli ambienti e delle condizioni di funzionamento dell'impianto, in sostituzione della pompa di calore aria-acqua esistente è stata valutata la fattibilità tecnica, economica ed ambientale dell'utilizzo di un sistema a pompa di calore del tipo acqua-acqua, accoppiata con una sonda geotermica (verticale immersa nel terreno oppure ad acqua di falda) per la climatizzazione degli ambienti.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle valutazioni degli impatti ambientali e dell'impronta idrica degli scenari tecnologici considerati nel loro ciclo di vita complessivo, è emerso che l'utilizzo della geotermia, sia nella configurazione impiantistica ad acqua di falda sia con sonda geotermica verticale immersa nel terreno, sono alternative valide a sostituire la soluzione tecnologica attuale, che ha mostrato impatti notevolmente superiori. Tuttavia si evidenzia che la sostituzione della pompa di calore esistente, accoppiata con una sonda geotermica, risulta essere economicamente conveniente solo con la soluzione ad acqua di falda. La soluzione immersa nel terreno non risulta infatti conveniente in quanto i costi di trivellazione incidono in maniera considerevole, non permettendo un ritorno dell'investimento iniziale.

È stata inoltre valutata la possibilità di accoppiare un sistema di accumulo dell'energia elettrica all'impianto fotovoltaico di prossima realizzazione (di potenza pari a 87,48 kWp), al fine di massimizzare l'autoconsumo dell'energia prodotta in situ. In assenza di accumulo, la copertura lorda dei consumi elettrici con la produzione dell'impianto fotovoltaico è pari al 60,4%, mentre quella netta si attesta al 40,8%. In queste condizioni circa i 2/3 dell'energia vengono autoconsumati, mentre la parte restante viene immessa in rete. Associando al sistema un accumulo elettrico di capacità pari a 100 kWh (effettuato tramite batterie e/o veicoli elettrici), l'energia immessa in rete si riduce dal 32,5 al 18,9%, mentre l'autoconsumo aumenta, passando dal 67,5 all'81,1%.

Dall'analisi economica si è evidenziato che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico risulta economicamente conveniente, mentre il risultato opposto è stato ottenuto per l'accumulo elettrico. Questo è dovuto al fatto che l'impianto fotovoltaico presenta una produzione che bene si complementa con i consumi della struttura in cui è impiegato. Pertanto, l'introduzione nel sistema di un accumulo elettrico, produce un aumento dell'energia autoprodotta non sufficiente a bilanciare i relativi costi d'impianto.

In ultima analisi si è valutata la possibilità di integrare l'impianto di climatizzazione esistente con un sistema di accumulo dell'energia termica (TES, Thermal Energy Storage) o frigorifera, con lo scopo di minimizzare gli scambi di energia elettrica con la rete pubblica, incrementando, al contempo, gli autoconsumi della produzione da fonte rinnovabile, attraverso l'azionamento differito delle pompe di calore asservite all'impianto di climatizzazione, utilizzando, nei giorni feriali, il surplus di energia accumulata nei giorni festivi. Nello specifico sono state prese in considerazione due differenti tipologie di accumulo termico: una di tipo attivo ad accumulo diretto, ove l'acqua costituisce sia il fluido termovettore che il mezzo di accumulo, e una

di tipo passivo ad acqua con materiale solido (steatite). Il sistema di accumulo termico è stato studiato con riferimento a due differenti possibili criteri di dimensionamento: accumulo estivo o accumulo invernale. Dall'analisi delle prestazioni del sistema di accumulo termico, emerge come il sistema di tipo attivo, ad accumulo diretto, assicuri una maggiore energia immagazzinabile, rispetto al sistema di tipo passivo, con materiale solido, in virtù della maggior capacità termica del fluido rispetto alla steatite.

Tra i due criteri di dimensionamento del sistema di accumulo esaminati è risultato che:

- dimensionamento estivo: consente di accumulare la totalità dell'energia in eccesso prodotta durante il weekend estivo (circa 3350 kWh), risultando tuttavia, sovradimensionato per i mesi invernali, richiedendo un volume del serbatoio eccessivo (circa 600 m³).
- dimensionamento invernale: prevede un sistema di accumulo più piccolo (circa 200 m³), facilmente "scaricabile" durante i giorni feriali, non consentendo peraltro di recuperare anche quote superiori al 70% del surplus delle giornate festive estive.

I sistemi di accumulo presi ad esame rappresentano solo due dei possibili criteri di dimensionamento del sistema - tra i tanti disponibili - la cui scelta dipende essenzialmente dai limiti posti alle dimensioni del sistema, dagli spazi nonché dai costi sostenibili.

7 Riferimenti bibliografici

1. European Commission, 2011: Energy Roadmap 2050. Available from <http://eur-lex.europa.eu>;