

RELAZIONE SUI DATI ENERGETICI DELLA CER “LE VELE”

UN ESEMPIO DI FONDAZIONE E
SVILUPPO DI UNA COMUNITÀ
ENERGETICA RINNOVABILE

A CURA DI FRANCESCO BANDINELLI

CONTENUTI

PREMESSA	2
----------	---

DEFINIZIONE DI UNA CER	3
------------------------	---

INQUADRAMENTO NORMATIVO	7
-------------------------	---

LA CER “LE VELE”	10
------------------	----

PRESENTAZIONE DEI DATI ENERGETICI	11
-----------------------------------	----

ANALISI DEI COSTI DELLE BOLLETTE	28
----------------------------------	----

INTERVENTI SUGGERITI	30
----------------------	----

P R E M E S S A

Il presente lavoro è reso possibile dal contributo del “Premio Michele Calì”, assegnato annualmente alla miglior comunità energetica alla conferenza nazionale IFEC. Il premio ha l’obiettivo di dare un contributo economico alla CER vincitrice, da utilizzare per affiancare un giovane laureato (di età inferiore ai 35 anni) alle attività della CER, promuovendone quindi attività di sviluppo successive alla sua costituzione. Il contributo è erogato dalla famiglia Calì, nella memoria dell’emerito professore del Politecnico di Torino, Michele Calì e ha raggiunto le tre edizioni (dal 2022 al 2024).

La CER “Le Vele” si è aggiudicata il premio come “CER dell’anno” nel 2023 e ha utilizzato i fondi resi disponibili per finanziare la creazione di un report sull’andamento della CER stessa. Il presente report ha quindi l’obiettivo di presentare dati utili alla comprensione delle capacità energetiche di una CER appena costituita, analizzando i dati energetici disponibili. Inoltre, una sezione di raccordo viene proposta nelle prime pagine, per una breve introduzione in materia di CER, con alcuni dati sullo sviluppo attuale sul territorio italiano.

La presentazione dei dati viene fatta a seguito dell’elaborazione dei dati ricavati dal software di gestione dell’impianto fotovoltaico, fornendo una panoramica dei principali indici di valutazione del bilancio energetico della CER. Sono presentati i dati relativi alla produzione dell’impianto, così come quelli sui consumi dello stabile che lo ospita. Sono purtroppo ignoti gli effettivi scambi interni con i *consumer* associati, i quali dati devono ancora essere resi noti dal Gestore dei Servizi Energetici. Attraverso i dati disponibili è però possibile valutare la quantità di energia che l’impianto devolve verso l’esterno dell’edificio principale.

Il presente lavoro è a cura di Francesco Bandinelli, laureato in ingegneria meccanica e dottorando presso il Politecnico di Torino.

I dati utilizzati per la realizzazione del presente documento potranno essere richiesti via e-mail all’indirizzo francescobandinelli99@gmail.com e ottenuti previa autorizzazione di CER “Le Vele”.

DEFINIZIONE DI UNA CER

Cos'è una CER?

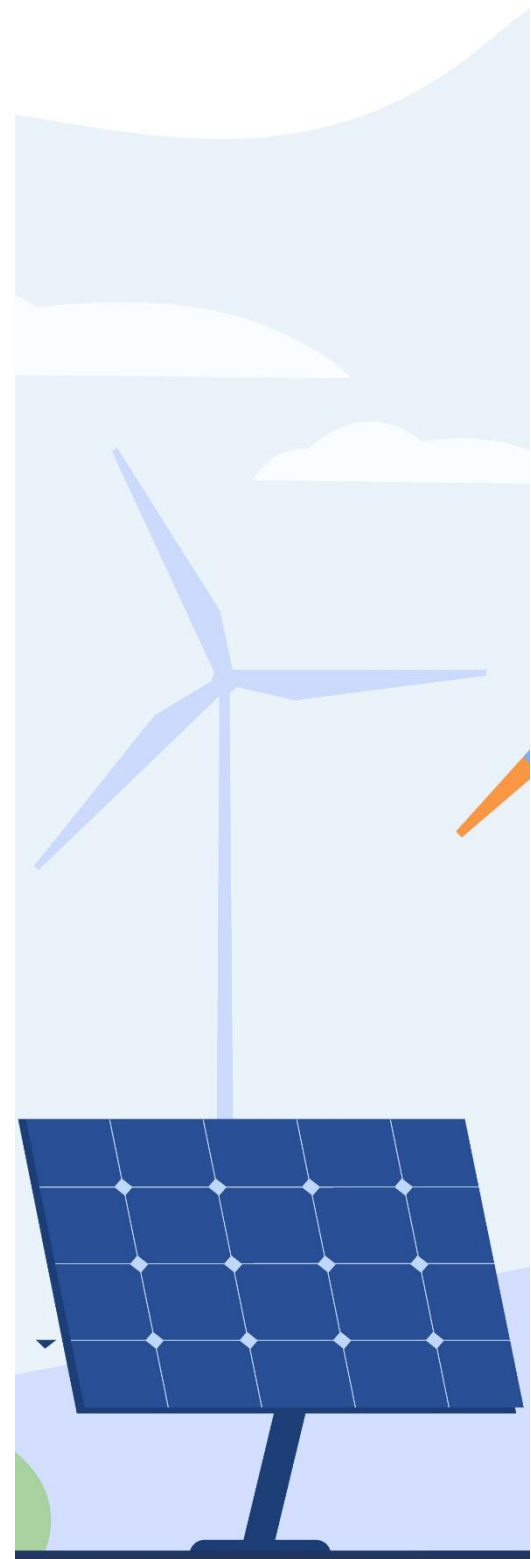
Le comunità energetiche rinnovabili (CER) sono una soluzione di autoconsumo diffuso, in cui diversi attori costituiscono un'associazione con lo scopo di autoprodurre e condividere internamente energia elettrica. Le CER sono soggetti giuridici in cui soggetti (da privati cittadini a enti statali) condividono l'energia elettrica prodotta da un impianto di produzione rinnovabile di nuova realizzazione.

Il decreto MASE n. 414 del 7 dicembre 2023 pubblicato il 23 gennaio 2024 regola le condizioni di costituzione di una CER e definisce gli incentivi ad essa riconosciuti.

Quali sono gli obiettivi di una CER?

L'incentivo si basa sul concetto di energia condivisa, individuata come la quantità minima tra l'energia immessa nella rete nazionale dalla CER e i consumi energetici dei membri ad essa associati. Il MASE riconosce quindi un incentivo su questa quota di energia, misurata ora per ora, che viene erogato annualmente alla CER. L'obiettivo dell'incentivo è dunque quello di aiutare a diffondere lo sviluppo delle CER sul territorio nazionale e di portare a successivi investimenti di espansione o efficientamento (come sistemi di accumulo).

L'incentivo promuove la condivisione dell'energia elettrica prodotta tra i diversi membri della CER e con l'esterno (la rete nazionale). Tale paradigma aiuta la diffusione di centri di produzione energetica a livello locale sul territorio nazionale, in contrapposizione con le politiche attuate nei decenni scorsi. La costituzione delle CER permette infatti di delegare gli interventi di installazione di fonti energetiche rinnovabili in modo diffuso sul territorio, anche all'interno dei centri abitati.





Il modello di produzione energetica si orienta quindi verso una delocalizzazione della produzione dalle grandi centrali, tendendo a sopperire al crescente consumo energetico tramite l'installazione di nuovi hub energetici.

Oltre agli obiettivi appena definiti, gli incentivi sono alla base di una volontà di promuovere le CER come poli di sviluppo del tessuto sociale. Non è raro, infatti, che gli attori delle CER possano essere enti benefici, che possono quindi investire gli incentivi erogati dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) in attività a beneficio della comunità.

In definitiva, la realizzazione di una CER rappresenta un'opportunità per i cittadini di partecipare attivamente alla transizione energetica, avendo esperienza diretta dei benefici che essa comporta.

Quali sono gli attori all'interno di una CER?

Indipendentemente dalla tipologia dei soggetti coinvolti, è possibile individuare delle figure precise all'interno di una comunità energetica. La prima è quella del *prosumer*, ossia il soggetto che all'interno della CER produce e autoconsuma energia elettrica. La seconda è quella del *consumer*, ossia colui che all'interno della CER non dispone di un sistema produttivo, ma beneficia dell'autoconsumo (anche virtuale) di energia prodotta all'interno della CER.

Su quest'ultimo fattore è necessaria una precisazione: l'autoconsumo virtuale deriva dal fatto che l'energia condivisa non è (necessariamente) direttamente trasferita da un soggetto all'altro, ma passa dallo smistamento della cabina primaria. È infatti condizione necessaria alla costituzione di una CER che gli associati siano connessi alla stessa cabina primaria. La contemporaneità della produzione energetica da parte del *prosumer* con il consumo energetico del *consumer* comporta la definizione di un flusso di autoconsumo interno alla CER, che come discusso, è soggetto all'erogazione di incentivi da parte del GSE.

Qual è la situazione attuale delle CER in Italia?

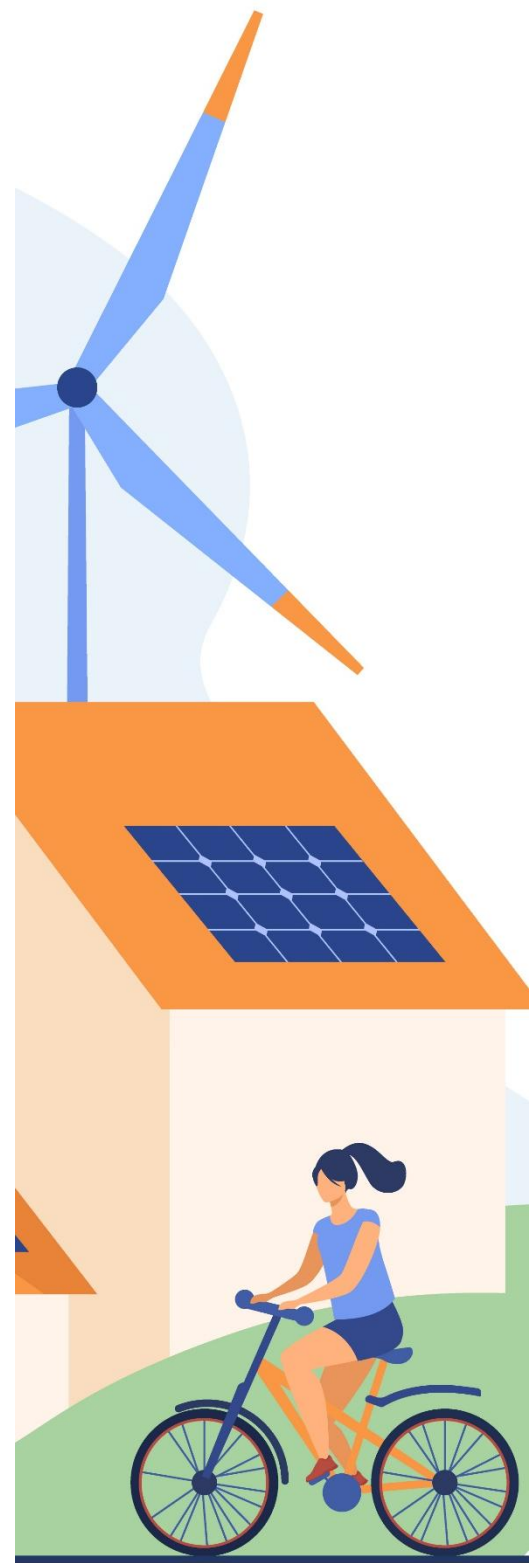
Al 31 maggio 2025, secondo l'elenco fornito dal GSE¹, in Italia sono registrate nel registro degli incentivi 421 CER sul territorio nazionale. Si contano un totale di 630 impianti installati (alcune CER hanno più di un impianto), 3598 utenze e quasi 44 MW di potenza installata. Considerando invece il totale delle CER costituite e in fase di registrazione, il numero totale delle CER sale a 1248 (dati aggiornati al 31/08/25), per un totale di 126 MW di potenza installata. Il 59% delle CER sorge nelle regioni settentrionali del Paese, seguito dal 26% nelle regioni meridionali e dal 15% nelle regioni centrali.

La crescita del numero di CER iscritte nel registro del GSE in Italia negli ultimi anni è stata evidente, anche se i numeri in gioco sono ancora più bassi rispetto agli obiettivi inizialmente prefissati dai piani di investimento. Secondo l'Electricity Market Report 2024² di Energy&Strategy, al 2024 erano presenti sul territorio italiano 168 CER, con un aumento considerevole rispetto al numero del 2023 di 89 CER. Considerando i numeri appena presentati, il tasso di crescita delle CER iscritte al registro del GSE appare elevato: pari all'89% dal 2023 al 2024 e al 151% dal 2024 al 2025 (al 31/05).

Lo sviluppo delle CER sul territorio italiano è evidente, anche se ancora limitato rispetto agli obiettivi normativi prefissati. Il "Decreto CER" prefigge infatti l'obiettivo di raggiungere 5 GW di potenza installata in configurazioni di autoconsumo entro il 2027.

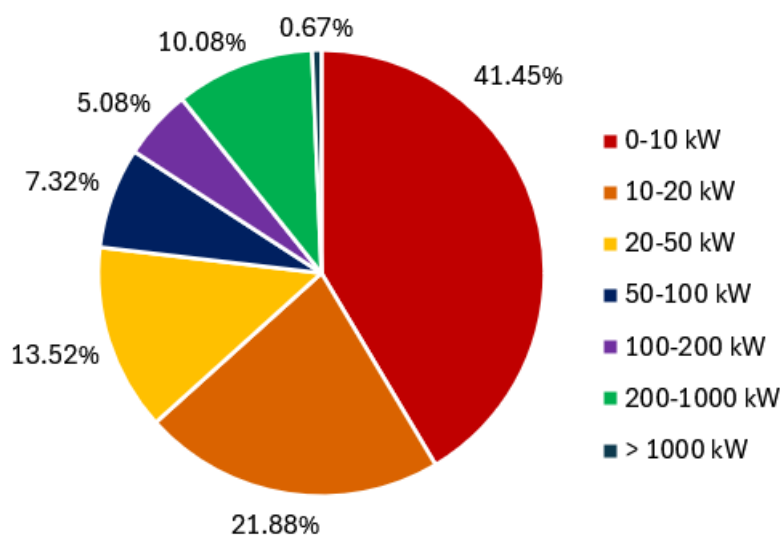
¹ Elenco Comunità Energetiche Rinnovabili redatto dal GSE in data 31/05/25.

² Electricity Market Report 2024 dell'osservatorio di ricerca Energy Strategy del Politecnico di Milano.



Ad oggi le CER costituite (comprese quelle non iscritte al registro del GSE per l'incentivazione) hanno una potenza installata che rappresenta appena il 2.5% dell'obiettivo finale. È altresì importante ricordare che secondo i dati del GSE aggiornati al 31/08/25, la potenza installata su impianti appartenenti a CACER (compresi quelli non iscritti al registro del GSE per gli incentivi) ammonta a quasi 190 MW, quindi al 3.8% dell'obiettivo finale previsto. Appare però alquanto chiaro che l'obiettivo dei 5 GW di potenza installata entro la fine del 2027 rimane particolarmente difficile da raggiungere.

Secondo i dati resi disponibili dal GSE³, nel 2025 le CER in Italia sono distribuite, in termini di potenza installata, nel seguente modo:



In conclusione, la gran parte degli impianti installati ha una potenza inferiore ai 20 kW, indicando come la maggior parte delle CER nasca nel contesto di configurazioni di autoconsumo di piccole dimensioni. È doveroso osservare come la maggior parte della potenza installata sia invece da attribuire ai pochi impianti di grandi dimensioni. Di questi ultimi, solo quelli con potenza inferiore a 1 MW possono accedere però agli incentivi erogati dal GSE.

³www.pniecmonitoraggio.it



INQUADRAMENTO NORMATIVO

La storia normativa delle CER risale alla direttiva europea n. 2001 del 11/12/2018 (RED II Clean Energy Package), che prevedeva il raggiungimento del 32% di quota energetica rinnovabile entro il 2030 a livello europeo. La direttiva è stata successivamente modificata, aggiornando l'obiettivo al 42.5% entro il 2030, più in linea con l'obiettivo di decarbonizzazione previsto per il 2050.

A livello italiano i primi passi sono stati mossi con la delibera del 04 agosto 2020 318/2020/R/eel dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA), che ha cominciato a regolare l'energia elettrica condivisa in termini economici.

Il Ministero della Transizione Ecologica ha poi emanato il decreto legge del 16/09/2020, con cui ha individuato la tariffa incentivante per le configurazioni sperimentali di autoconsumo e comunità energetiche rinnovabili.

È del 2021 il decreto legislativo dell'8 novembre 2021 n.199, con cui viene recepita la direttiva europea RED II in materia di comunità energetiche, avviando l'iter di consolidamento normativo.

Il 23/01/2024, dopo un anno e sette mesi dal decreto del 2021, viene pubblicato il decreto attuativo (decreto CACER) per normare e promuovere lo sviluppo delle configurazioni di autocosumo in Italia, tra cui le CER, che diventa operativo dal 23/02/2024. La configurazione finale del decreto regola dunque le modalità di incentivazione e di riconoscimento delle CER e delle altre configurazioni di autoconsumo possibili.



Il decreto legislativo dell'8 novembre 2021 n.199⁴ definisce il quadro normativo per i meccanismi, gli incentivi, il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari al conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione del sistema energetico del 2030 e del 2050.

In particolare, gli articoli 30 e 31 del decreto trattano dei temi di autoconsumo, comunità energetiche rinnovabili e sistemi di rete. L'articolo 30 definisce un autoconsumatore di energia rinnovabile come un cliente finale che diviene autoconsumatore di energia rinnovabile, che quindi produce e accumula energia elettrica rinnovabile per il proprio consumo. L'articolo 30 stabilisce inoltre che l'energia deve essere prioritariamente condivisa all'interno della configurazione di autoconsumo e che l'eccedenza può essere venduta a terzi. Viene altresì stabilito che la partecipazione al gruppo di autoconsumatori di energia rinnovabile non può costituire un'attività commerciale e industriale principale.

L'articolo 31 definisce gli obiettivi principali e i requisiti per la costituzione della comunità energetica, tra cui:

- L'obiettivo principale è quello di fornire ambientali, economici e/o sociali.
- Le CER sono soggetti di diritto autonomo e l'esercizio dei poteri di controllo fa capo ai soggetti che sono situati nello stesso Comune in cui è presente l'impianto.
- Gli impianti a fonti rinnovabili sono entrati in esercizio dopo l'entrata in vigore del decreto, fermo restando la possibile partecipazione di impianti preesistenti in misura non superiore al 30% della potenza totale a capo della comunità.

⁴ Decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199.

Il decreto MASE n. 414⁵ del 7/12/23, divenuto operativo dal 23/02/24, disciplina le modalità di incentivazione per sostenere l'energia elettrica prodotta da impianti a fonti rinnovabili che fanno parte di configurazioni di autoconsumo.

Il Titolo II del decreto specifica che la sua validità termina con il raggiungimento dei 5 GW di potenza installata ed incentivata e comunque non oltre il 31/12/27.

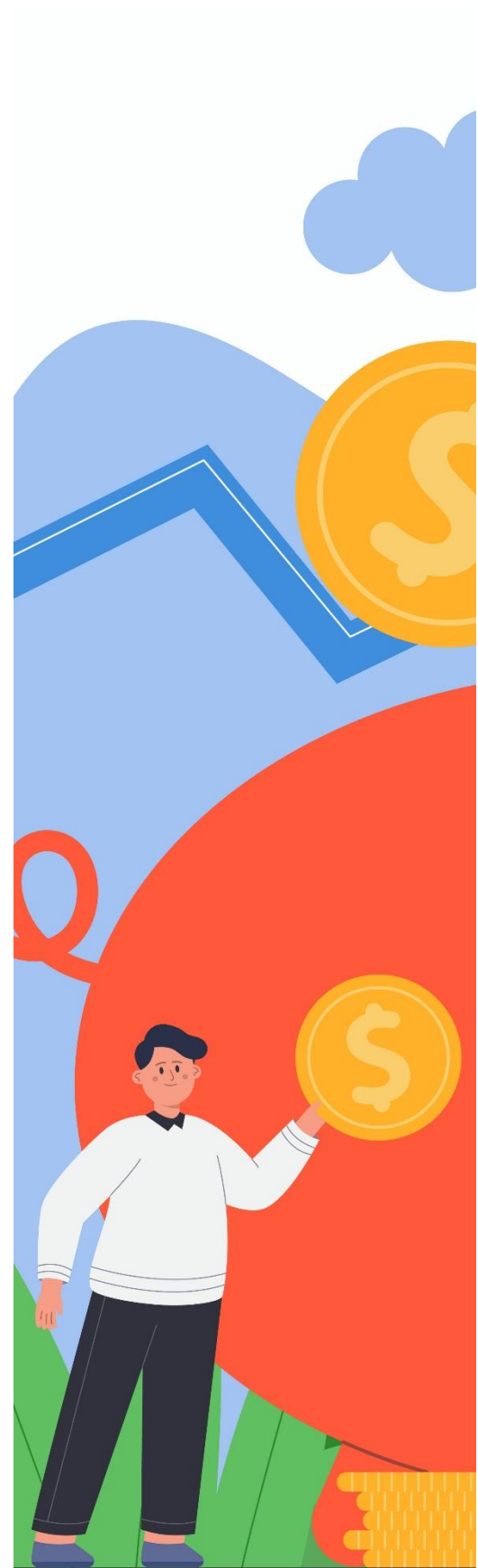
Il Titolo III del decreto prevede invece lo stanziamento di fondi per l'erogazione di contributi in conto capitale fino al 40% del costo ammissibile per lo sviluppo delle CER e delle altre configurazioni di autoconsumo in comuni con meno di 5000 abitanti. Questo limite è stato recentemente allargato ai comuni con meno di 50000 abitanti.

Il calcolo della tariffa premio spettante alla configurazione di autoconsumo, in base all'energia elettrica condivisa, varia in base alla potenza dell'impianto (potenza installata minore o maggiore di 200 kW) e possiede dei fattori in base alla regione di appartenenza nel caso si tratti di un impianto fotovoltaico.

Per ottenere l'incentivo sulla condivisione di energia elettrica, come sancito dall'articolo 3, comma 2, del decreto, le configurazioni di autoconsumo devono (tra vari altri criteri):

- Avere una potenza installata inferiore a 1 MW per singolo impianto.
- Gli impianti di produzione e i punti di prelievo (utenze) devono essere collegate alla medesima cabina primaria.
- Gli impianti produttivi devono possedere i requisiti prestazionali e ambientali previsti per rispettare il principio di "Do No Significant Harm".

⁵ "Decreto CER". Decreto MASE n. 414 del 7 dicembre 2023.





LA CER “LE VELE”

La CER “Le Vele” nasce il 20 novembre del 2023 a Roma, nel quartiere Prati. La comunità energetica comprende l’Istituto Leonarda Vaccari, realtà che si occupa di ragazzi diversamente abili e delle loro famiglie, con servizi assistenziali di varia natura; l’Istituto Comprensivo Claudio Abbado; l’associazione “VAILV” (Amici dell’Istituto Leonarda Vaccari); l’associazione “Il vento sulla vela”.

L’Istituto Leonarda Vaccari accoglie circa 300 persone di età differente con disabilità di vario tipo, che possono usufruire dei servizi di assistenza offerti. A circa 28 persone è inoltre offerta la residenza permanente all’interno dell’istituto.

Superate le difficoltà iniziali riscontrate nell’ottenere l’autorizzazione all’installazione dell’impianto fotovoltaico su un edificio storico, i lavori si sono conclusi positivamente nel giro di meno di due settimane di lavoro effettivo. L’impianto da 82 kW (70 kW di potenza degli inverter) è stato donato dal Banco dell’energia e da Edison e il progetto è stato realizzato dall’associazione senza scopo di lucro “Scenario B”. L’impianto è situato sul tetto, che conta circa 900 metri quadrati di spazio complessivo, e comprende 198 pannelli, per un totale di 384 m² di superficie captante.

Con il risparmio in bolletta e gli incentivi derivanti dalla condivisione dell’energia elettrica, la CER “Le Vele” si prefigge gli obiettivi di ridurre i costi operativi delle associazioni che ne fanno parte e di permettere l’implementazione di nuovi servizi assistenziali, così come di progetti di valenza sociale per le persone più bisognose. Nei confronti dell’ambiente, la CER si pone l’obiettivo di ridurre le emissioni, contribuire alla decarbonizzazione e alla transizione ecologica del Paese.

Nel 2023 la CER “Le Vele”, in occasione della conferenza annuale IFEC sulle comunità energetiche, ha vinto il “Premio Michele Calì” come migliore CER dell’anno.

PRESENTAZIONE DEI DATI ENERGETICI DELLA CER “LE VELE”

In questa sezione vengono presentati i dati ricavati dal software gestionale degli inverter. L'interfaccia utente permette di mostrare i dati relativi alla produzione dell'impianto e ai consumi su base quotidiana, attraverso dei grafici dedicati. L'esportazione diretta dei dati non è una funzione attualmente disponibile, motivo per il quale è stato usato un software online per il riconoscimento automatico dei grafici disponibili (automeris.io). Il software riconosce la curva in funzione del colore specificato e permette la successiva esportazione dei relativi dati numerici.

La presentazione dei dati a disposizione viene effettuata a partire dall'analisi della massima capacità produttiva dell'impianto su base mensile. Questo dato è individuato a partire dall'analisi delle curve di massima produzione energetica relative al mese. In sostanza viene creata una curva fittizia sulla base dei dati di produzione massimi rilevati, così da individuare una giornata ideale di generazione elettrica massima. Lo studio di questo dato è rilevante ai fini dell'analisi del coefficiente di sfruttamento reale dell'energia solare disponibile, ottenuto confrontando la produzione ideale con quella reale registrata dal software di gestione. L'analisi prosegue con un commento dettagliato dei dati produttivi reali, che sono soggetti a variazioni in funzione delle condizioni stagionali e meteorologiche.

La seconda parte dell'analisi verte invece sui dati di consumo, distinguendo le abitudini dell'utenza in funzione della stagione e della tipologia di giornata, come verrà presentato in seguito. Verrà anche presentato il dato del consumo “basale”, ossia quello che viene ritenuto scollegato dalle attività principali del centro riabilitativo e che rappresenta piuttosto il consumo energetico che caratterizza tipicamente le fasce orarie notturne. Proprio questo dato deve essere oggetto di valutazione per eventuali interventi di installazione di sistemi di accumulo energetico (batterie). Essendo temporalmente sfasato rispetto alla produzione di energia elettrica, evidentemente concentrata nelle ore più luminose della giornata, risulta il principale ostacolo all'autosufficienza dell'edificio.

ANALISI DEI DATI DI PRODUZIONE

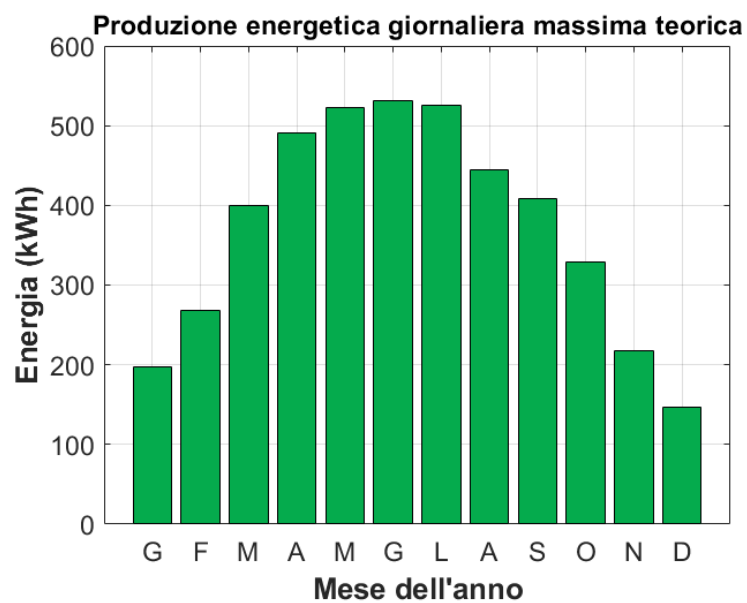
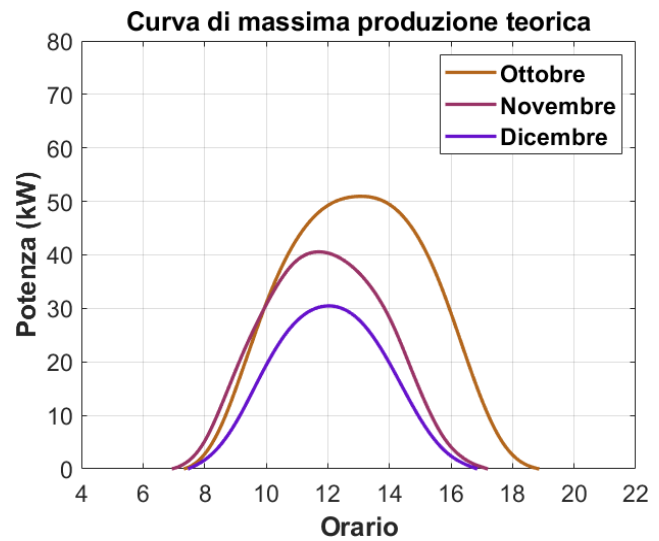
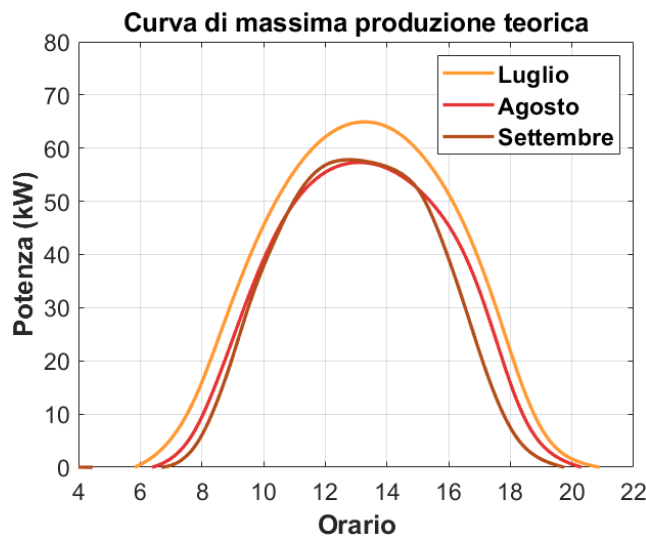
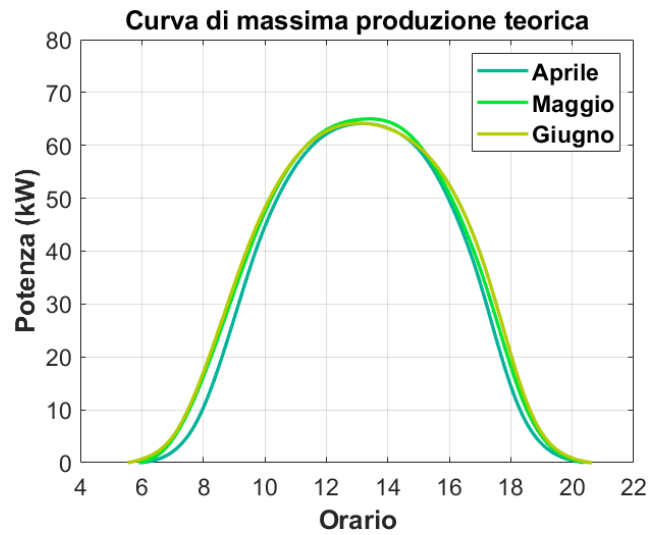
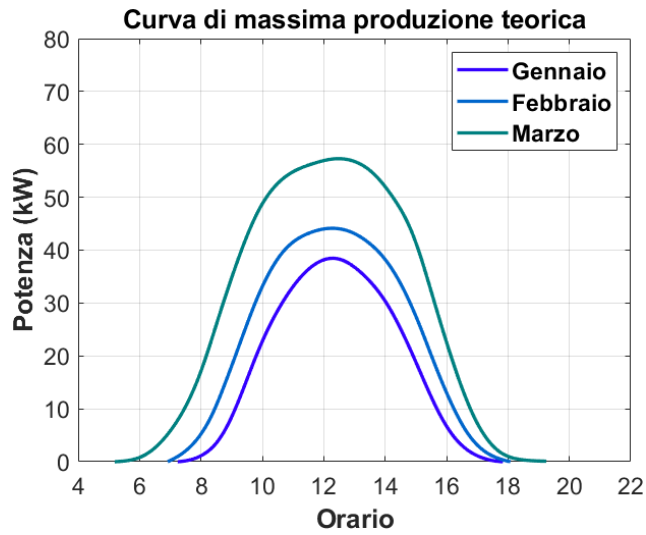
GIORNO DI MASSIMA PRODUZIONE TEORICA MENSILE

In questa sezione viene presentato, per ogni mese, il giorno ideale come massima produzione energetica teorica. La ricostruzione di tale dato viene fatta a partire dalle curve giornaliere di produzione, di cui si esegue l'involuppo massimo attraverso la funzione *spline_fit* integrata in MATLAB. La scansione temporale mensile può risultare approssimativa per una variabile come il giorno di massima produzione energetica, tuttavia la necessità della definizione di questo intervallo temporale dipende da due motivi principali: l'impossibilità di ottenere una giornata teorica di massima produzione su un intervallo di tempo minore (a causa di condizioni meteorologiche o letture apparentemente erranee da parte del software degli inverter) e l'eccessiva mole di dati che si verrebbe a creare. Pertanto, la presentazione dei dati di produzione massima teorica è finalizzata a presentare una tendenza stagionale, utile al fine di classificare la capacità produttiva dell'impianto in funzione del momento dell'anno.

La ricostruzione delle curve produttive teoriche massime, come anticipato, risulta utile per un confronto tra la potenzialità dell'impianto installato e le reali capacità produttive riscontrate dall'analisi dei dati provenienti dagli inverter. Dal rapporto tra produzione media effettiva e produzione massima teorica verrà infatti definita l'efficienza dell'impianto su base mensile.

Osservando i grafici proposti è possibile notare come la massima produzione teorica istantanea si ottenga nei mesi tra aprile e luglio, con picchi di circa 65 kW tra le 12:00 e le 14:00. Il mese con il giorno teorico più produttivo risulta essere giugno, il che è principalmente dovuto all'estensione laterale della pseudo-gaussiana in conseguenza del maggior numero di ore di luce. La produzione giornaliera massima teorica associata al mese di giugno è di circa 530 kWh. La tendenza generale della produzione giornaliera rispecchia l'andamento stagionale climatico e riflette la distribuzione delle ore di luce quotidiane in funzione del periodo dell'anno.

Di seguito vengono presentati i grafici mensili suddivisi per stagione e l'istogramma con la produzione energetica associata mese per mese.



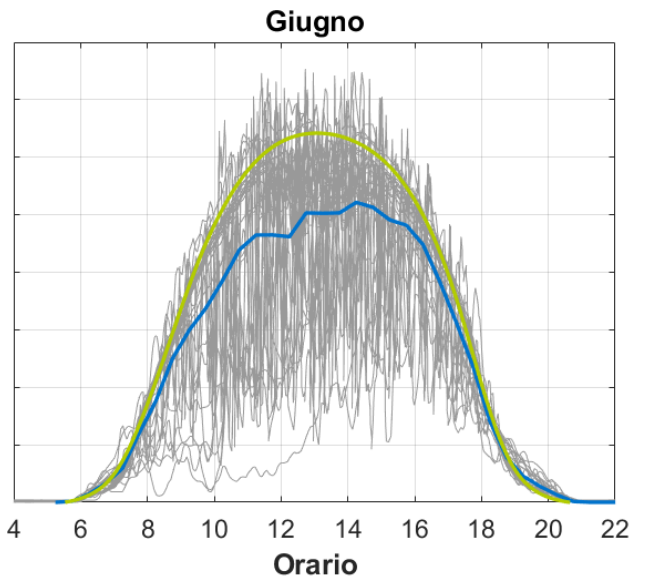
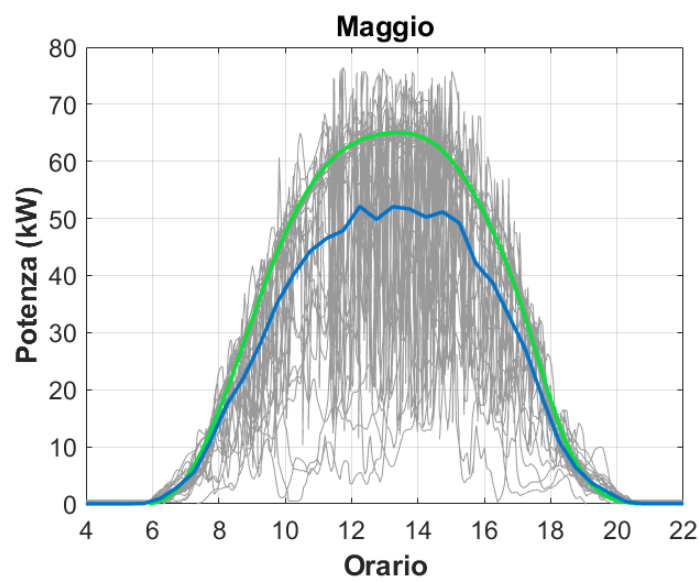
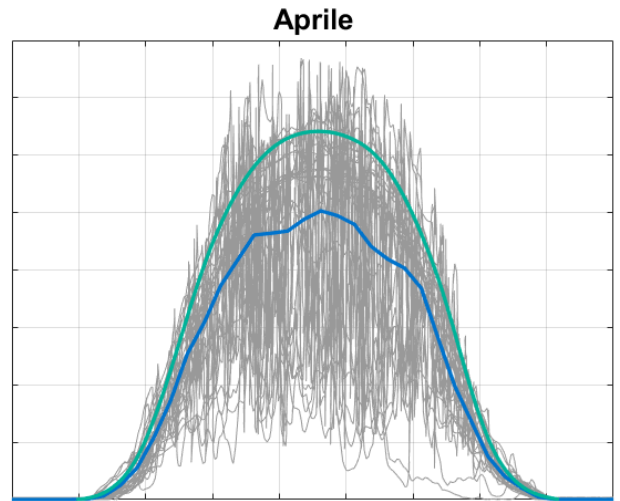
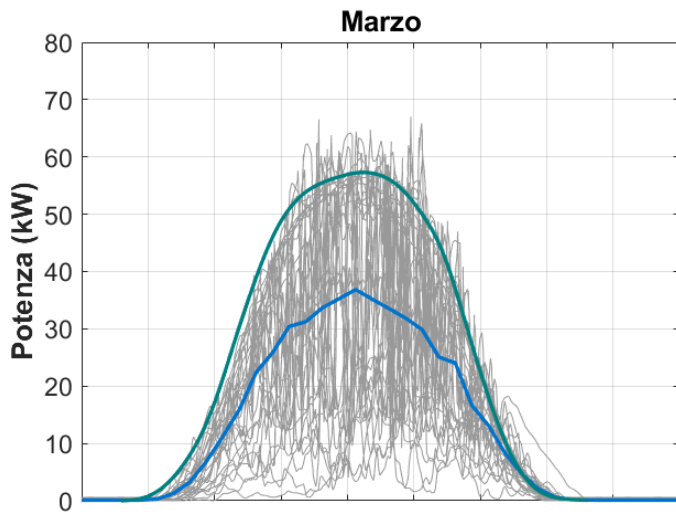
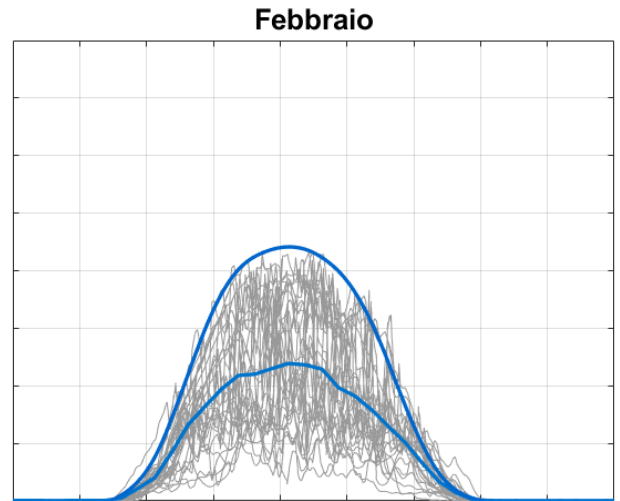
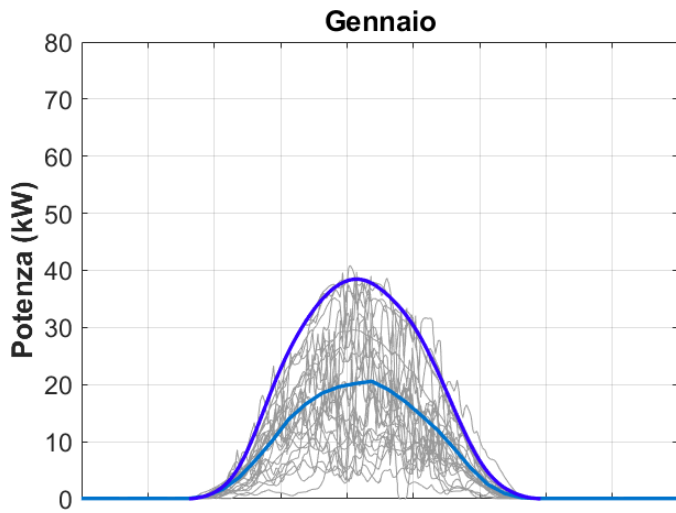
RESA EFFETTIVA DELL'IMPIANTO SU BASE MENSILE

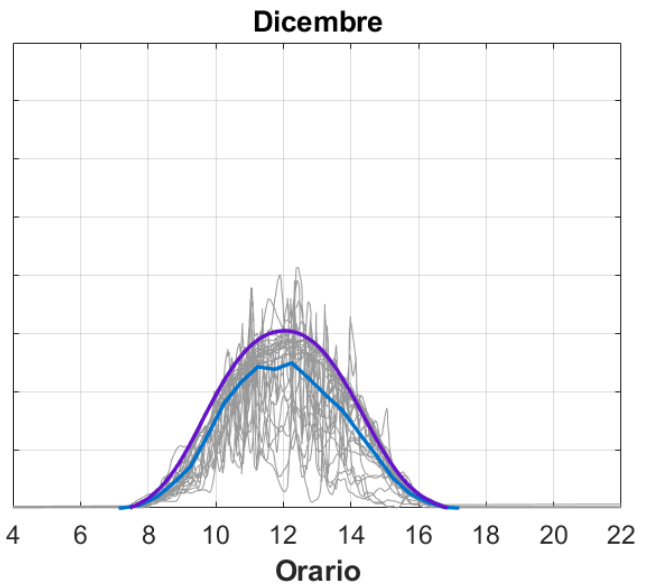
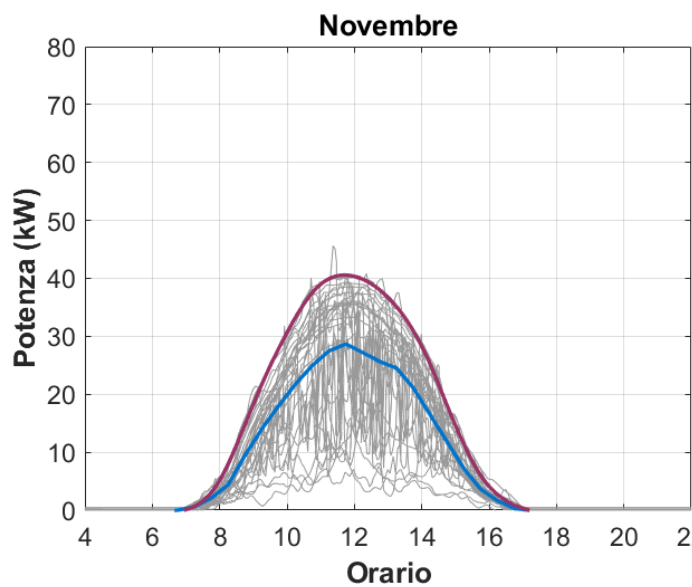
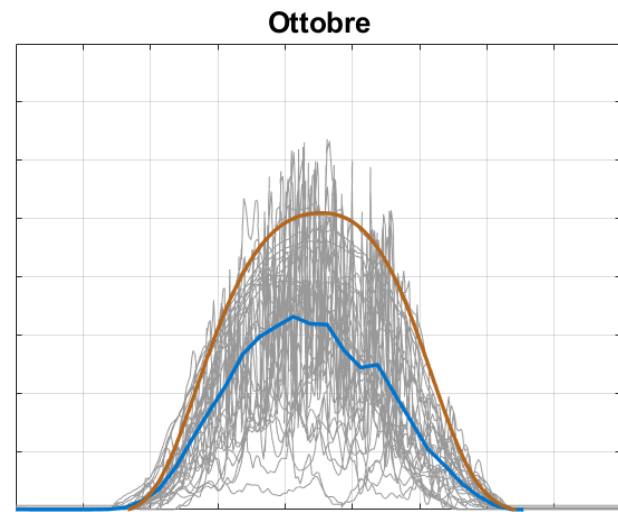
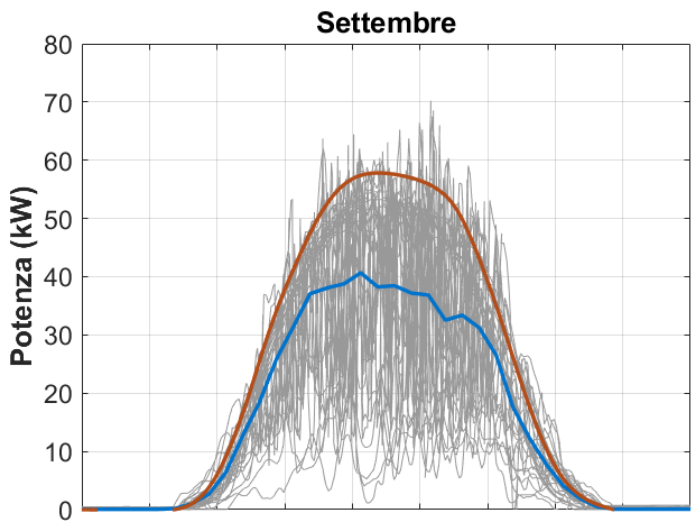
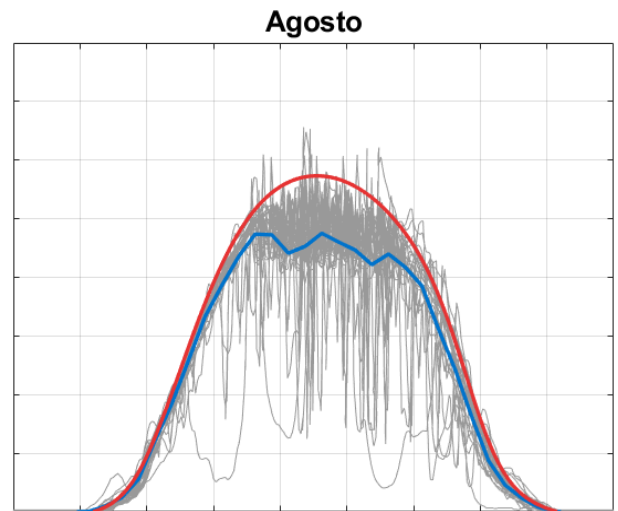
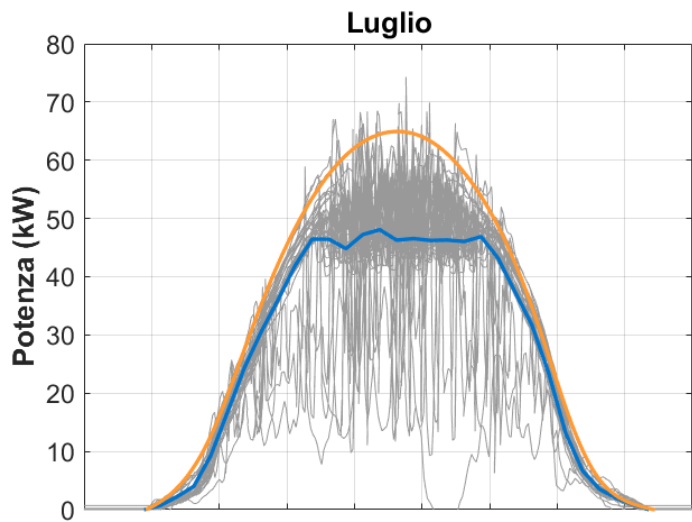
Le curve di produzione giornaliera sono mediate per ottenere una curva di produzione energetica media su base mensile. Dal confronto tra la massima produzione teorica e la produzione energetica media è possibile valutare la prestazione dell'impianto. Quest'ultima è chiaramente influenzata da fattori meteorologici ed è un dato utile per l'individuazione di una tendenza stagionale, più che un dato assoluto. Il confronto, infatti, è viziato dal fatto che la produzione massima è legata ai giorni maggiormente produttivi, i quali possono essere concentrati in una specifica parte del mese per questioni stagionali o meteorologiche. Nell'arco di un mese la produzione giornaliera può variare significativamente e il dato di produzione massima è significativamente influenzato dalla frazione maggiormente redditizia dei giorni analizzati. Il dato di produzione media è invece equamente influenzato da tutti i giorni del mese, dunque risulta essere più rappresentativo delle condizioni reali. In definitiva, la resa su base mensile sottostima senza dubbio le reali capacità dell'impianto, ma offre un'indicazione utile riguardo alla tendenza stagionale.

Una premessa doverosa deve essere fatta sui dati provenienti dall'impianto: molto spesso appare evidente come alcuni picchi di produzione siano da attribuire ad errori di lettura o comunicazione da parte del software di controllo. Tali picchi superano infatti la reale potenza installata nell'impianto fotovoltaico e sono quindi una fonte di disturbo per l'analisi dei dati produttivi. Nel presente studio tali disturbi non sono corretti, visto che i dati presentati sono relativi alla produzione energetica piuttosto che alla potenza istantanea. L'integrazione temporale del dato di potenza contribuisce già a smussare la presenza dei picchi, che sono nella quasi totalità dei casi di brevissima durata. Pertanto, i grafici presentati di seguito contengono le curve così come trasmesse dagli inverter al fine di presentare i dati provenienti dal software di controllo nella loro integrità.

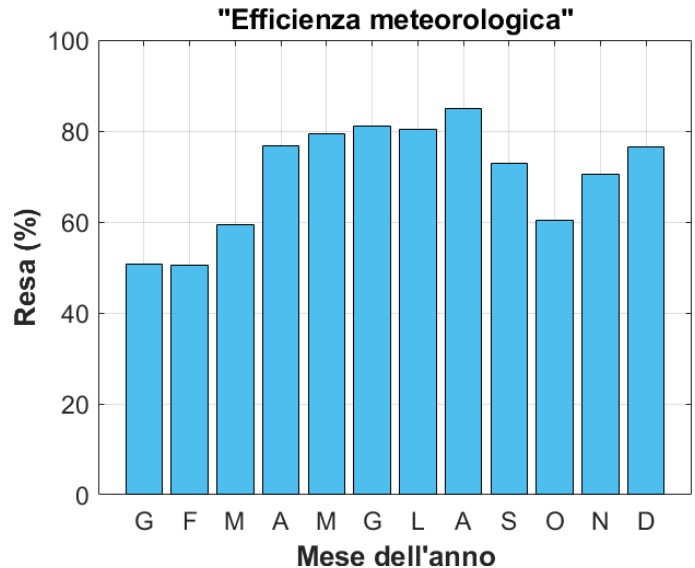
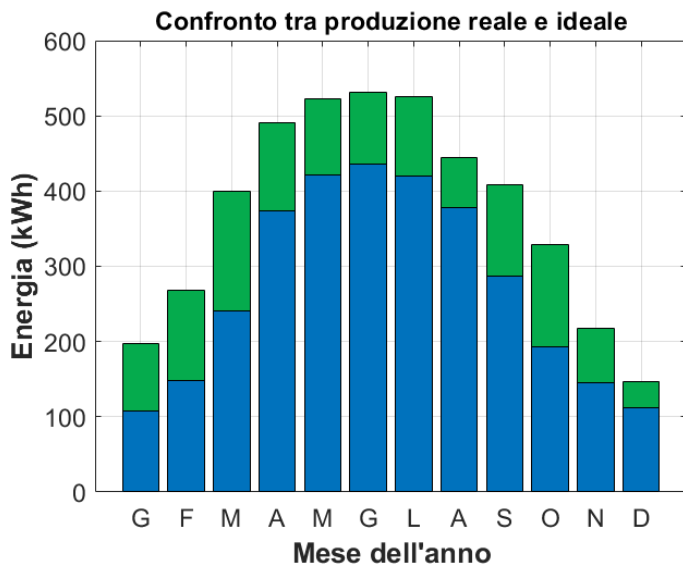
Un altro commento preparatorio alla visualizzazione dei dati, principalmente quelli mediati, è che la produzione dell'impianto oscilla in maniera sistematica in una specifica fascia oraria di alcuni mesi. Nello specifico, tra giugno ed agosto, nella fascia oraria compresa tra le 10 e le 16, si osservano un'oscillazione e una forte limitazione della produzione energetica. Il fenomeno è facilmente riscontrabile dalla visualizzazione delle curve medie di produzione, che risultano appiattite nella fascia oraria indicata. Il periodo maggiormente interessato dal fenomeno va dagli ultimi giorni di giugno fino ai primi giorni di settembre, il che fa pensare all'influenza di sistemi di protezione dell'impianto contro il surriscaldamento dei componenti.

Di seguito vengono proposti i grafici delle curve di produzione energetica giornaliera con la relativa media mensile e la curva di massima produzione teorica, suddivisi per i mesi dell'anno. Le curve in grigio rappresentano i dati derivati dal software, le curve blu (situate più in basso) sono le curve di potenza generata media, mentre le curve colorate (situate in alto) fanno riferimento alla potenza generata ideale.





A completamento dei grafici appena presentati, vengono di seguito proposti due istogrammi riassuntivi. Nel primo è possibile confrontare i valori assoluti di produzione massima teorica giornaliera con la produzione effettiva giornaliera; nel secondo viene proposta un'“efficienza meteorologica”. Quest'ultima è calcolata come il rapporto tra la produzione reale e quella teorica, volendo quindi rappresentare un'efficienza dell'impianto principalmente influenzata dalle condizioni meteorologiche. Nel caso di un impianto fotovoltaico, è infatti importante ricordare come il fattore meteorologico sia preponderante nell'effettiva resa della produzione di energia elettrica. La conoscenza di tale dato aiuta a comprendere meglio l'affidabilità di questo tipo di energia rinnovabile.



Dall'osservazione dei grafici è possibile notare la concordanza tra gli andamenti a campana della produzione massima teorica giornaliera e della produzione reale giornaliera. L'efficienza dell'impianto è influenzata dalla condizione meteorologica, ma appare anche evidente l'effetto di limitazione di produzione osservato per i mesi estivi e discusso in precedenza. I mesi di luglio e agosto sono particolarmente rappresentativi di questo fenomeno, probabilmente dovuto a un eccessivo riscaldamento dell'impianto e a una sua conseguente limitazione in potenza. Si osserva inoltre come nei mesi di novembre e dicembre la resa meteorologica dell'impianto sia superiore a quella di mesi analoghi come gennaio e febbraio.

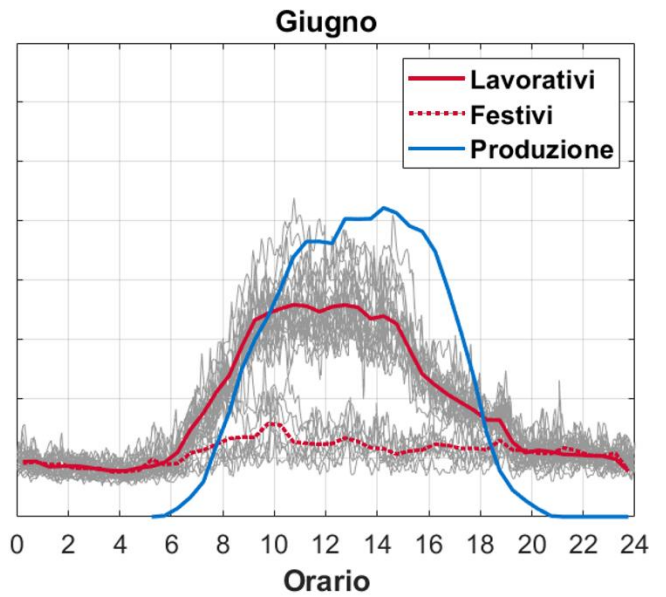
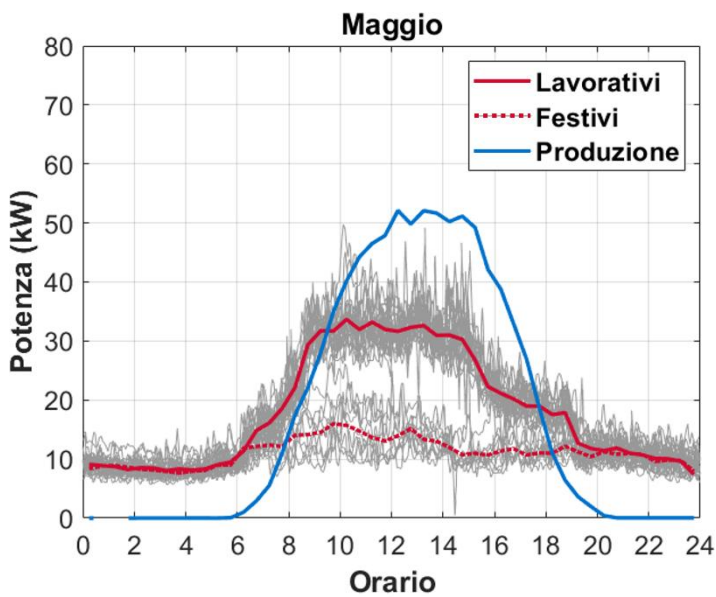
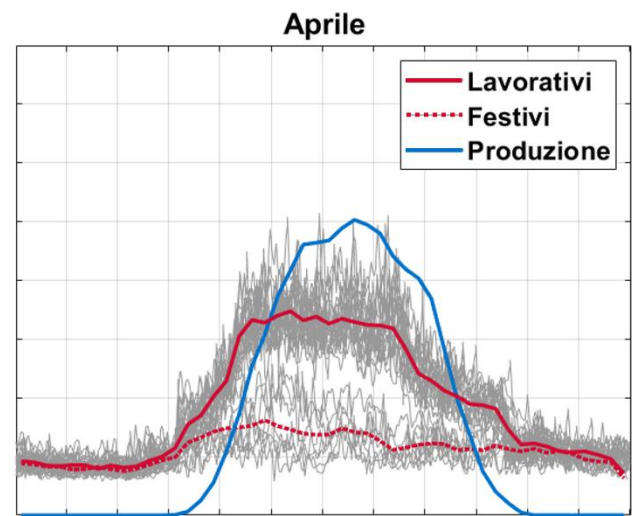
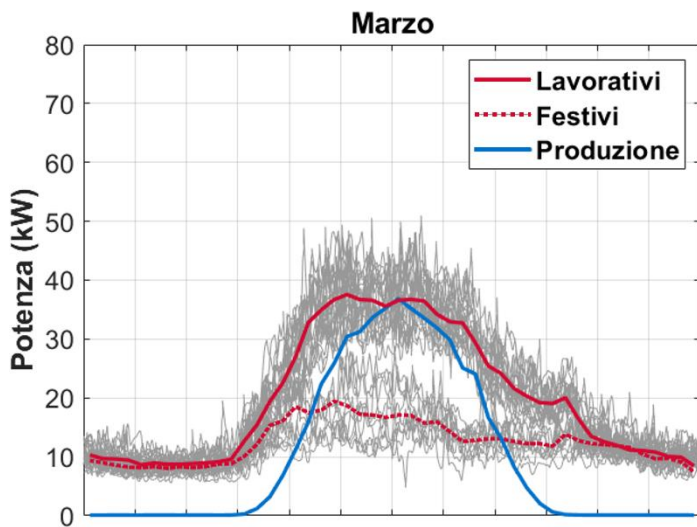
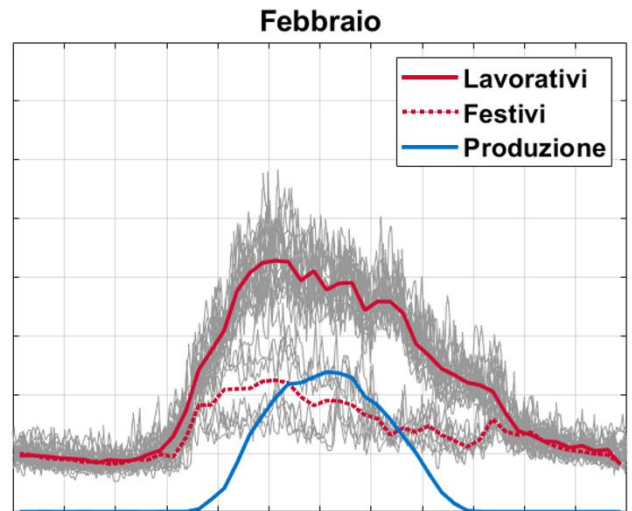
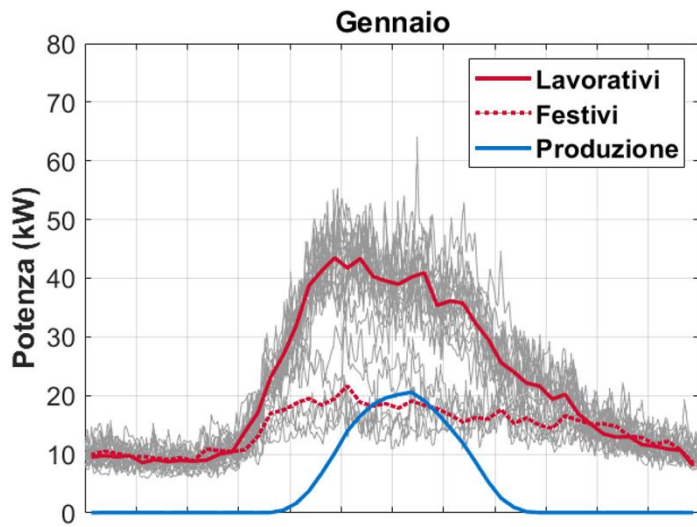
ANALISI DEI DATI DI CONSUMO

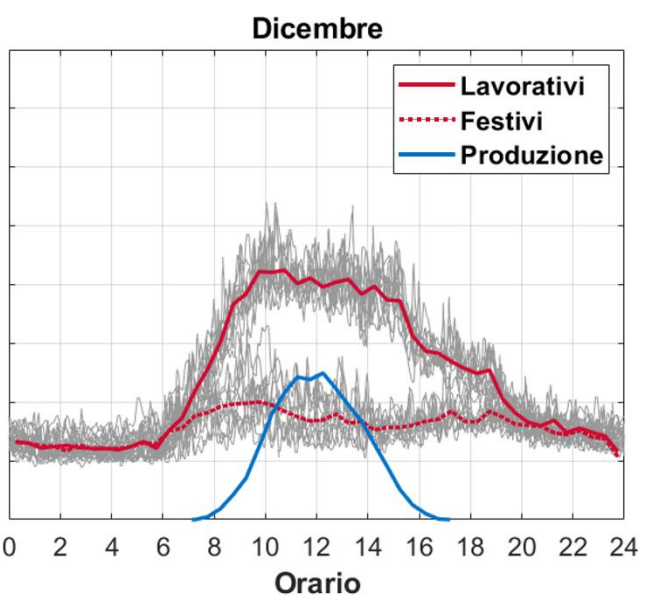
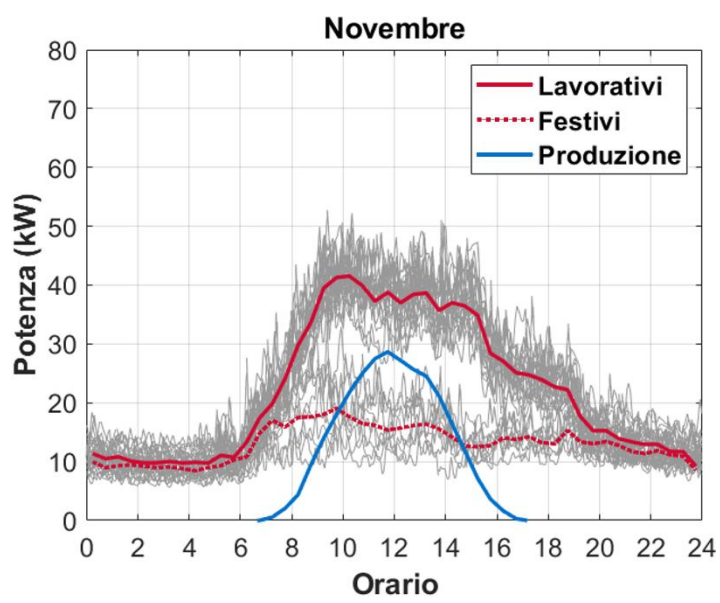
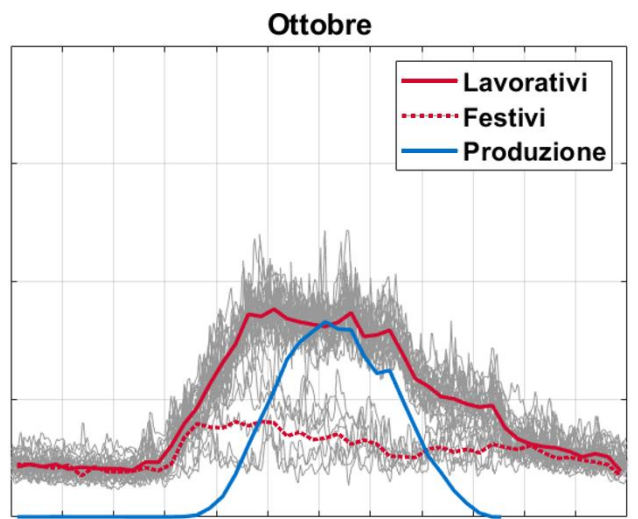
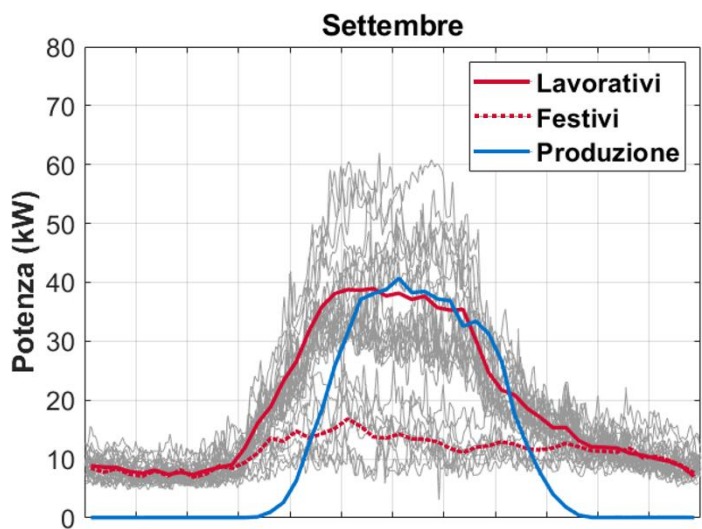
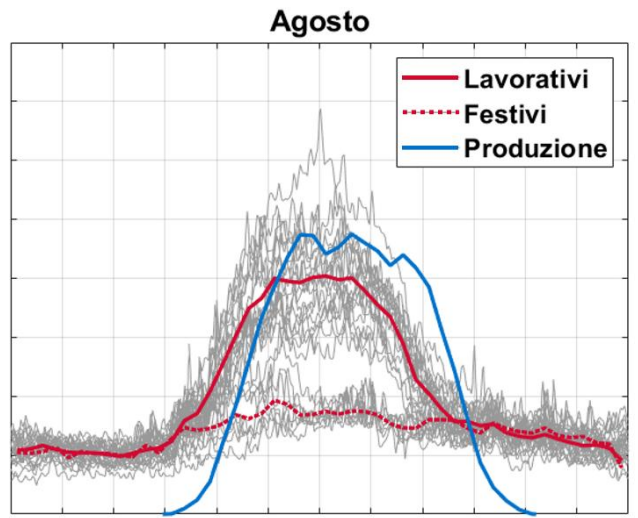
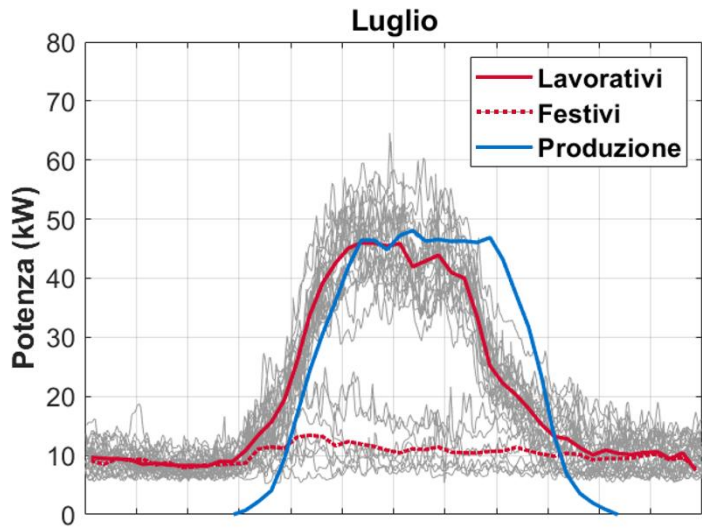
CONSUMO GIORNALIERO TIPICO

Le attività dell'Istituto Leonarda Vaccari includono servizi a persone disabili e alle loro famiglie, compreso il pernottamento di alcune di esse all'interno dell'edificio. Per questi motivi, i consumi energetici hanno una quota "basale" dovuta alle attività di vita quotidiana delle famiglie, così come una quota variabile in funzione delle attività professionali svolte durante la settimana. Date queste premesse, è utile distinguere i consumi secondo la tipologia del giorno: lavorativo (da lunedì a venerdì) e festivo (sabati, domeniche e feste nazionali).

Allo scopo di presentare i dati di consumo in funzione di queste due categorie, vengono illustrati i grafici degli andamenti medi dei consumi quotidiani di energia elettrica per ogni mese. Le curve in rosso rappresentano le curve medie di consumo giornaliero in funzione dell'orario, divise tra giorni lavorativi (consumi medi più alti) e giorni festivi (consumi medi più bassi). Per maggiore chiarezza, le curve rosse tratteggiate rappresentano i consumi medi dei giorni festivi e le curve rosse continue rappresentano quelli dei giorni lavorativi. In aggiunta, la produzione media giornaliera su base mensile viene sovrapposta, permettendo di confrontare il dato produttivo con quello di consumo in funzione dell'orario. In questo modo, mese per mese, è possibile osservare quali sono i momenti della giornata in cui, in media, l'edificio è completamente autosufficiente a livello energetico.

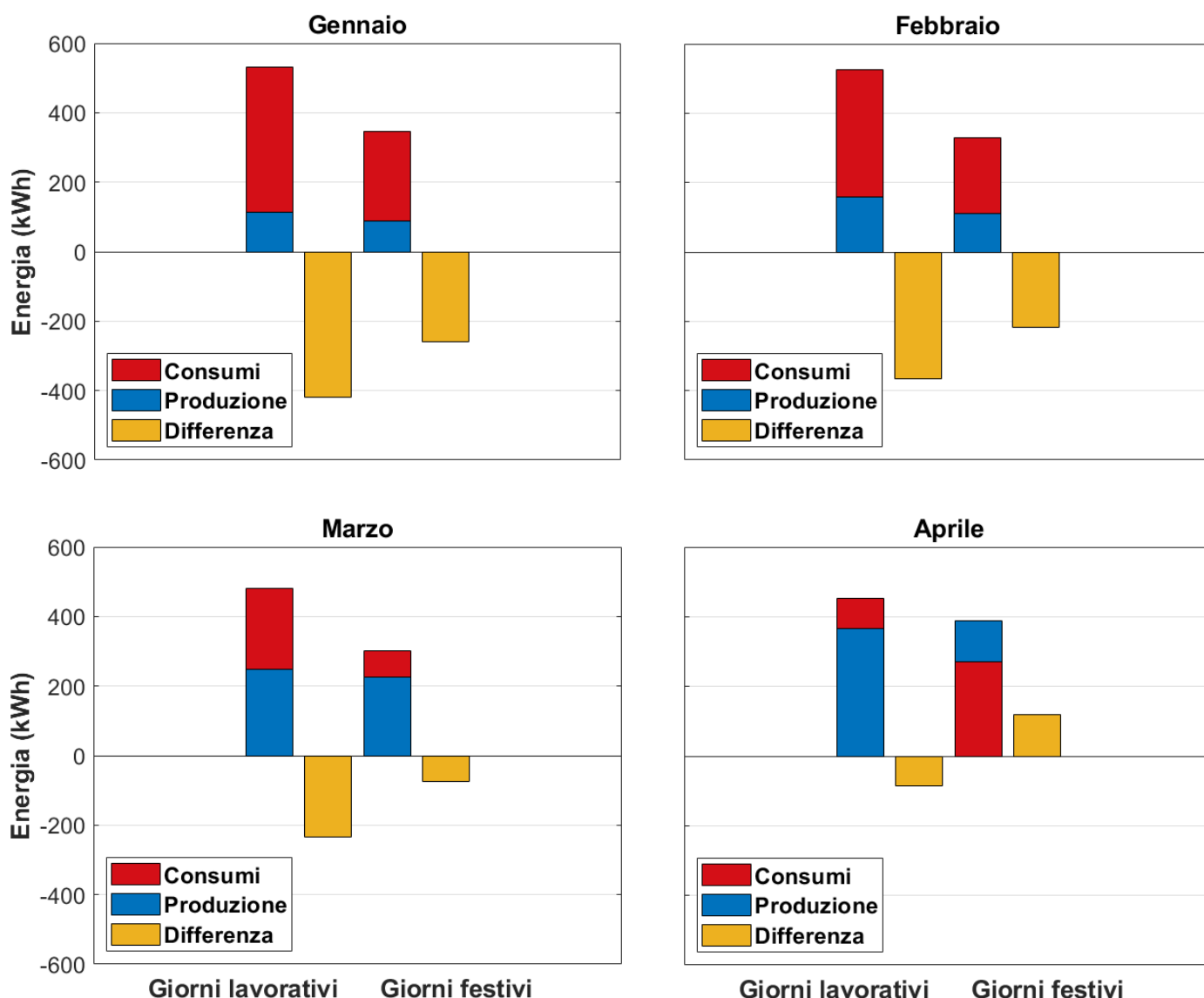
Successivamente vengono presentati i grafici relativi alle quantità di energia quotidiana prodotte e consumate su base mensile, suddivise tra giorni festivi e lavorativi. Da questi grafici sarà più facile evincere il bilancio energetico dell'edificio a livello complessivo, senza però il dettaglio sulla corrispondenza temporale tra produzione e domanda di energia a livello quotidiano.

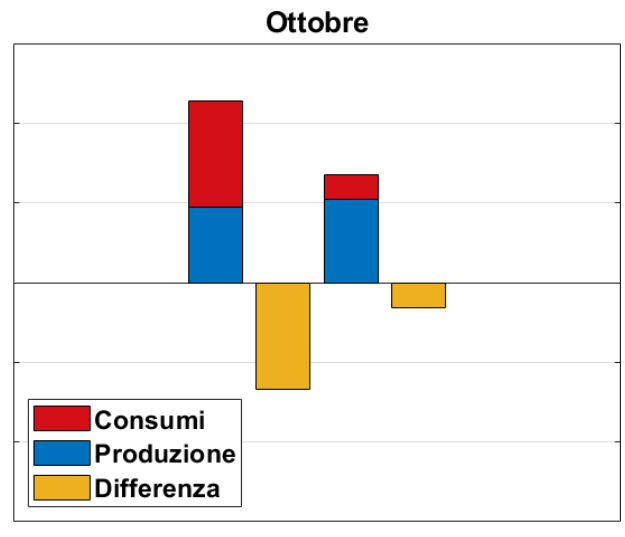
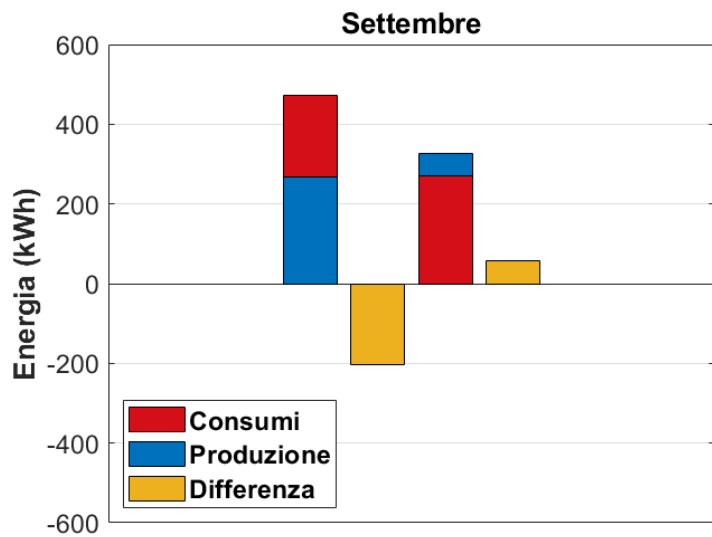
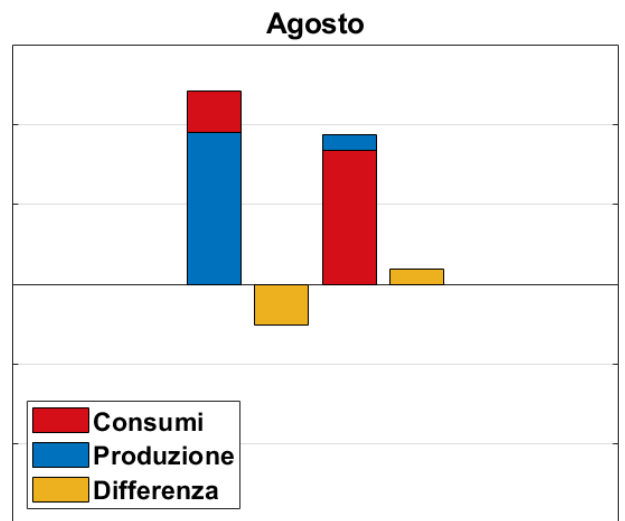
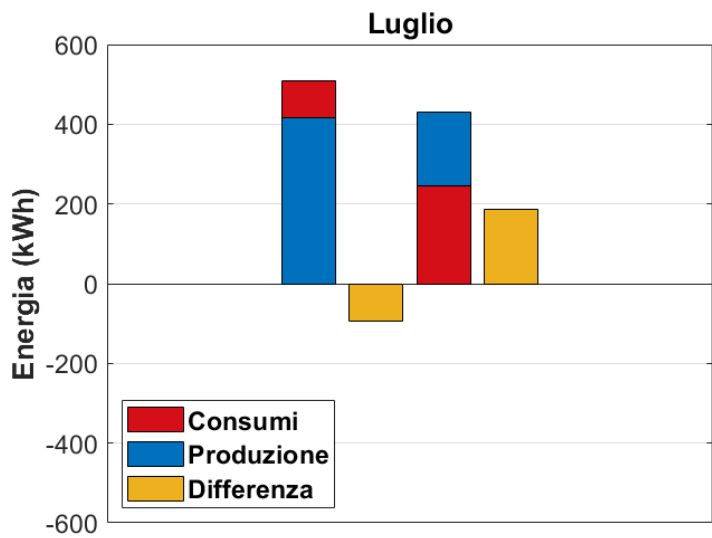
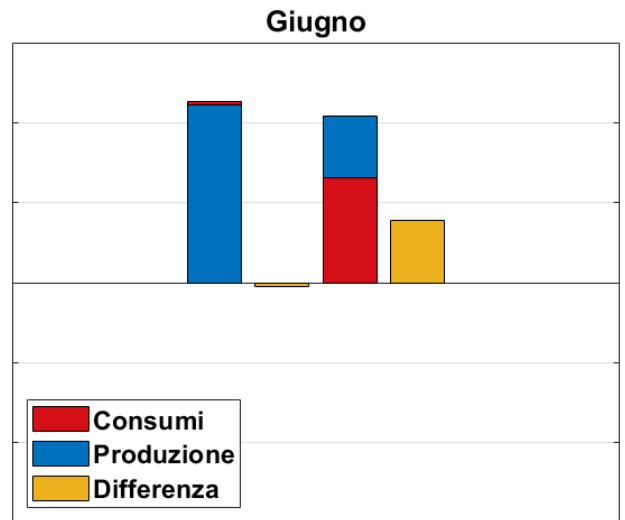
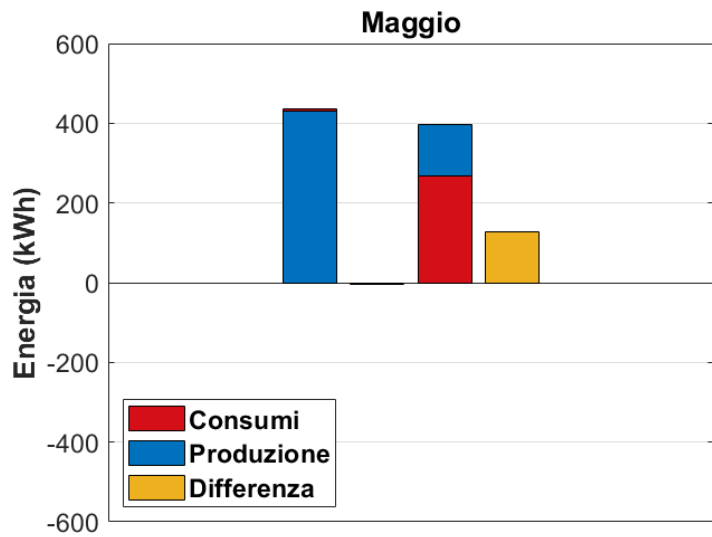




Dai grafici appena proposti è possibile osservare la distribuzione della richiesta e della produzione energetica, messe a confronto. Appare chiaro come il grado di autonomia energetica dell'edificio dipenda essenzialmente dal periodo stagionale, dalle attività svolte e dall'ora del giorno.

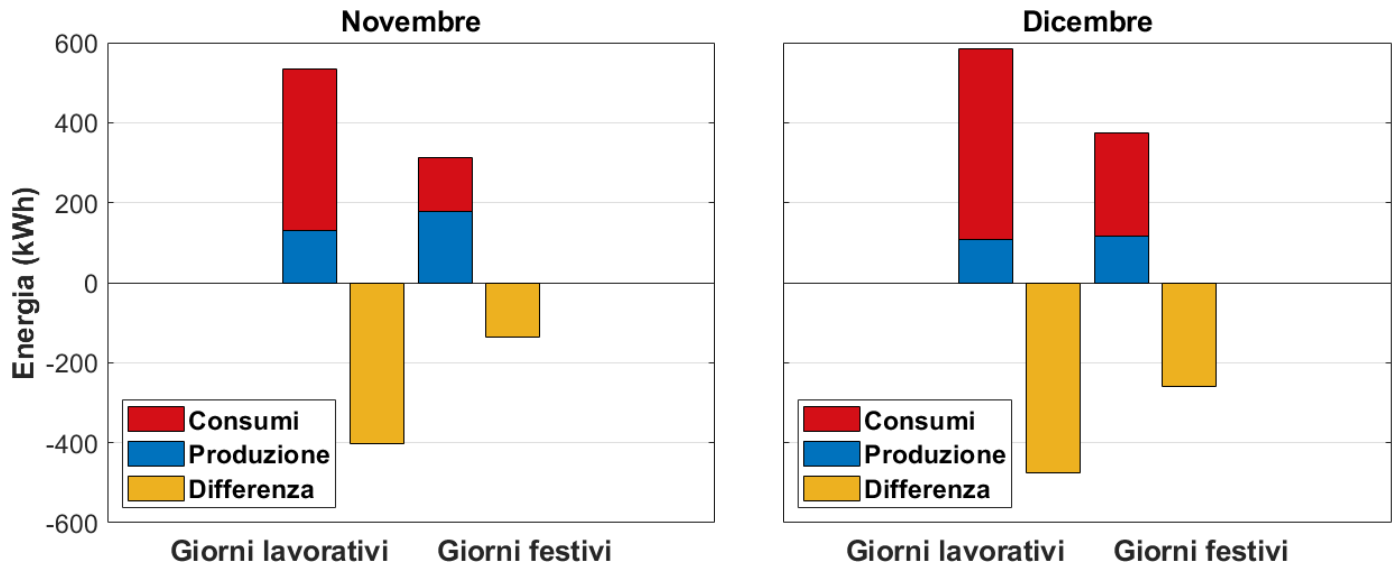
Di seguito vengono presentati dei grafici riassuntivi per facilitare la comprensione del grado di autosufficienza energetica dell'edificio. In particolare, gli istogrammi presentati mostrano i livelli di consumo elettrico giornaliero medio, distinto per giorno lavorativo o giorno festivo, e la produzione elettrica media. In aggiunta a tali dati viene anche riportata la differenza tra la produzione di energia elettrica dell'impianto e i consumi dell'edificio. Quest'ultima è inoltre la quantità che determina la conseguente premiazione incentivante fornita dal GSE, qualora condivisa tra i membri della CER, o corrisponde a una quantità immessa e venduta alla rete nazionale.





Giorni lavorativi Giorni festivi

Giorni lavorativi Giorni festivi



La tendenza stagionale risulta particolarmente evidente osservando le cifre di produzione elettrica e consumi medi quotidiani, mese per mese. La produzione di energia elettrica segue la stagionalità come evidenziato nel capitolo precedente, raggiungendo il picco produttivo medio nel mese di giugno. Il riflesso della stagionalità sui consumi appare evidente, probabilmente influenzato dalle necessità di raffrescamento e riscaldamento tramite condizionatori elettrici. Se infatti le attività dell'associazione sono sostanzialmente indipendenti dalla stagione, la variazione dei consumi è facilmente attribuibile all'impianto di climatizzazione: i maggiori consumi sono infatti concentrati nei mesi centrali dell'estate e nei mesi centrali dell'inverno, dove le esigenze in questi termini risultano maggiori.

Osservando i grafici presentati, è possibile osservare come esista una differenza sostanziale tra il grado di autonomia dell'edificio e la sua capacità di generare surplus energetico. Il surplus energetico viene definito come la differenza positiva tra energia prodotta ed energia consumata.

Considerando i giorni lavorativi medi, non si riscontra un surplus di energia ma un sostanziale pareggio per quanto riguarda i mesi di maggio e di giugno. Considerando invece i giorni festivi medi, il surplus energetico medio quotidiano raggiunge un picco di 185 kWh nel mese di luglio. Tali dati sono però da confrontare con la reale autonomia energetica dell'edificio. La maggior parte dell'energia prodotta è infatti concentrata nella fascia maggiormente illuminata della giornata, quando i raggi solari hanno incidenza massima sui pannelli dell'impianto solare. I consumi, di contro, sono distribuiti su una fascia oraria più ampia e mantengono una quota basale durante le ore notturne. Sebbene sia presente un surplus energetico, l'autonomia energetica dell'edificio non è garantita, in quanto domanda e offerta di elettricità non sono temporalmente allineate.

Alla luce dei dati presentati è possibile concludere che maggio e giugno sono i mesi con il rapporto più bilanciato tra domanda e produzione di energia elettrica. La stagionalità condiziona fortemente il bilancio energetico dell'edificio, evidenziando come i consumi tendano ad essere maggiori proprio nei mesi in cui la produzione è minore. Dicembre e gennaio sono infatti i mesi in cui si osserva la differenza negativa maggiore tra produzione e consumi di energia elettrica.

Riguardo al consumo di energia durante le ore notturne, definito "basale" con riferimento alla sua natura di consumo fisso di fondo, è possibile osservare una sostanziale congruenza della potenza assorbita media tra i diversi periodi dell'anno. Attestandosi intorno ai 10 kW, con un lieve aumento fino a 11 kW e 12 kW nei mesi di novembre e dicembre rispettivamente, rappresenta la maggiore voce di costo energetico per due fondamentali ragioni. La prima risiede nell'estensione oraria di tali consumi, dato che copre almeno 6 ore notturne; la seconda risiede invece nello sfasamento temporale rispetto alla fascia oraria produttiva, rendendo quindi automaticamente necessario importare energia dalla rete elettrica nelle ore notturne. Il consumo "basale" rappresenta dunque il principale ostacolo all'autosufficienza dell'edificio.

GRADO DI AUTONOMIA ENERGETICA

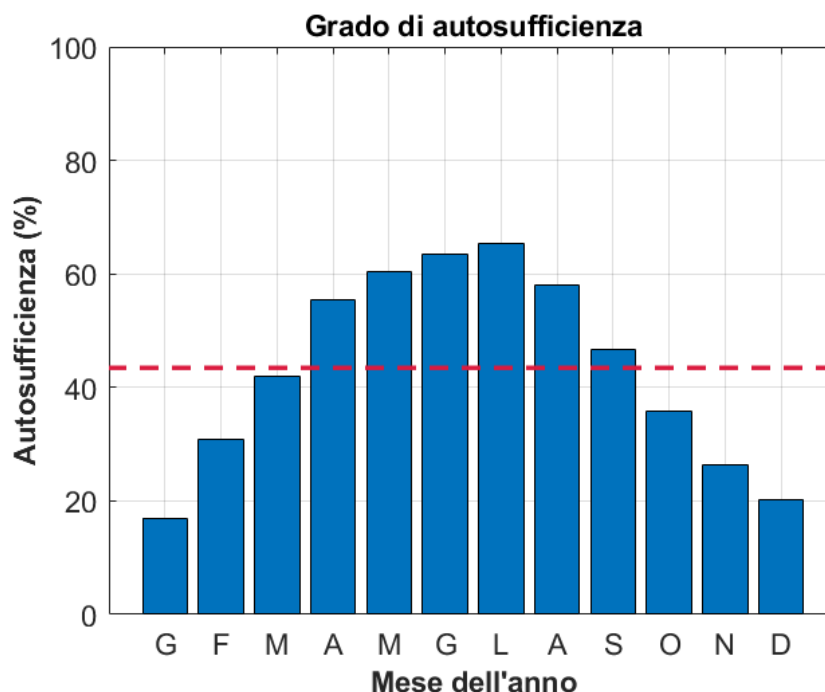
Alla luce dei dati di consumo presentati nella sezione precedente, è possibile ricavare maggiori informazioni sul grado di autonomia energetica dell'edificio. Confrontando infatti gli andamenti quotidiani di produzione e consumo di energia elettrica, si può stimare quale sia la percentuale di autoconsumo media su base mensile, così come gli orari in cui in media l'edificio è energeticamente autosufficiente.

Il calcolo non tiene conto della sovrapproduzione energetica, che viene infatti condivisa con gli altri membri della comunità energetica o venduta alla rete nazionale. Il confronto deve necessariamente prevedere l'analisi dei dati fasati temporalmente, così da verificare l'effettivo dato istantaneo di autoconsumo energetico. Il semplice rapporto tra energia prodotta ed energia consumata terrebbe infatti conto di energia che non viene effettivamente consumata dall'edificio, quindi è necessario epurare il dato.

Sulla base di queste considerazioni, il grado di autonomia energetica dell'edificio viene calcolato come segue:

$$\text{Autosufficienza} = \frac{\text{Energia}_{\text{prodotta}} - \text{Energia}_{\text{ceduta}}}{\text{Energia}_{\text{importata}} + \text{Energia}_{\text{prodotta}} - \text{Energia}_{\text{ceduta}}}$$

Da cui si ricavano i seguenti andamenti mensili:

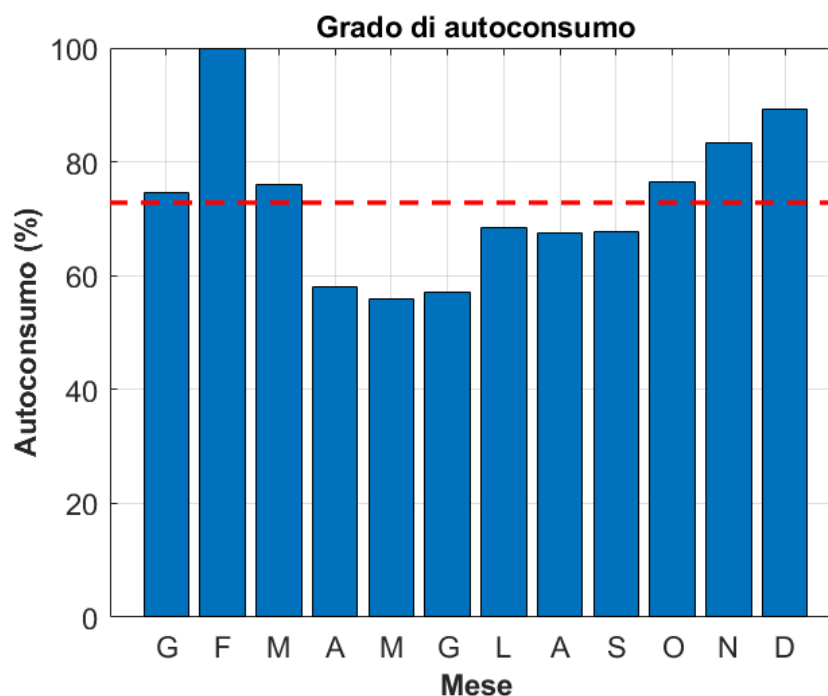


Il grafico mostra il grado di autosufficienza energetica per ogni mese dell'anno, con l'aggiunta della media annuale che si attesta al 43%. L'andamento rispecchia, come ci si aspetta, quello osservato nei grafici della produzione mensile di energia dell'impianto.

In aggiunta al grafico appena presentato, risulta utile anche osservare la suddivisione della produzione energetica in energia effettivamente consumata dall'edificio e in quella che invece viene esportata all'esterno (condivisa o venduta). Dal confronto delle due quantità si evince infatti il grado di autoconsumo dell'edificio, aprendo a ulteriori considerazioni su un'eventuale dotazione di capacità di accumulo. Il grado di autoconsumo viene valutato mediante la seguente formula:

$$\text{Autoconsumo} = \frac{\text{Energia}_{\text{prodotta}} - \text{Energia}_{\text{ceduta}}}{\text{Energia}_{\text{prodotta}}}$$

Di seguito il grafico riassuntivo di tale suddivisione su base mensile:



La linea rossa tratteggiata rappresenta il grado di autoconsumo medio annuale, che si attesta al 73%. L'andamento rispecchia chiaramente una tendenza stagionale inversa a quella del grado di autosufficienza. Il grado di autoconsumo rispecchia infatti la quantità di energia che, una volta prodotta dall'impianto, viene direttamente consumata dall'edificio. Nei mesi invernali, data la minore o nulla eccedenza di produzione, il grado di autoconsumo risulta maggiore. Nei mesi estivi, non essendo presente una capacità di accumulo energetico e non avendo un allineamento completo tra produzione e consumo di energia elettrica, il grado di autoconsumo risulta minore.

A conclusione di questa sezione vengono presentati gli orari in cui, in media, l'edificio risulta completamente autosufficiente a livello energetico in funzione del mese. Gli orari sono ricavati dal diretto confronto tra le curve medie di consumi e produzione, distinguendo tra giorni lavorativi e festivi. La seguente tabella fornisce indicazioni utili per la pianificazione delle attività dell'associazione, operazione importante nell'ottica di ottimizzare l'equilibrio tra produzione e richiesta di energia e ridurre l'importo di energia elettrica dalla rete nazionale.

Mese	Giorni lavorativi		Giorni festivi	
	Inizio	Fine	Inizio	Fine
Gennaio	-	-	11:15	13:30
Febbraio	-	-	10:45	15:00
Marzo	-	-	9:00	16:15
Aprile	10:00	17:15	8:30	18:00
Maggio	9:30	17:45	8:00	18:15
Giugno	9:45	18:00	7:45	18:15
Luglio	10:45	18:15	8:00	18:30
Agosto	10:15	17:45	8:30	18:00
Settembre	11:30	16:45	9:00	17:15
Ottobre	-	-	9:45	16:00
Novembre	-	-	9:45	14:30
Dicembre	-	-	10:30	13:45

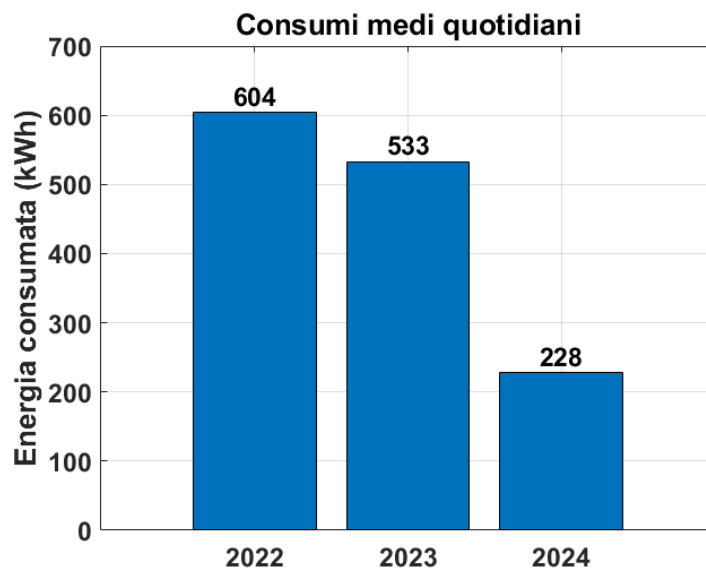
Come osservato nelle sezioni precedenti, i mesi in cui in media si ottiene il periodo più esteso di autosufficienza energetica risultano maggio e giugno. È interessante notare come nei giorni festivi l'autosufficienza energetica sia sempre raggiunta, anche per un intervallo temporale limitato.

ANALISI DEI COSTI DELLE BOLLETTE

COMPARAZIONE DEI COSTI CON GLI ANNI PRECEDENTI

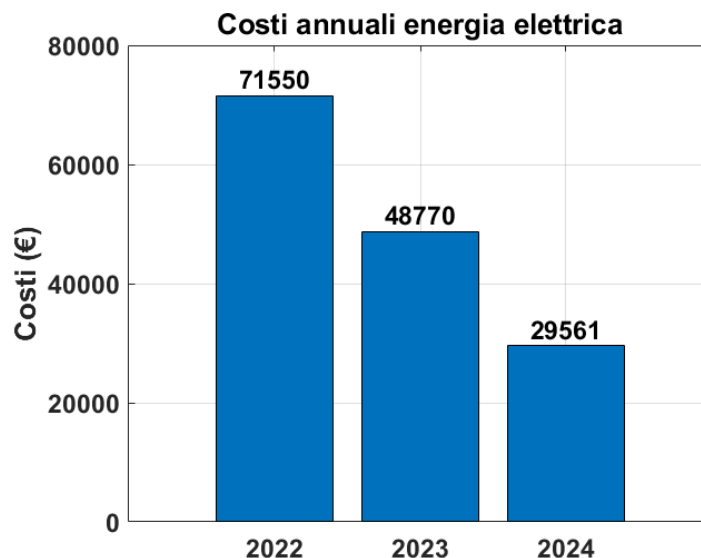
Dall'analisi dei costi riportati nelle bollette dell'energia elettrica è possibile quantificare i benefici economici derivanti dall'installazione dell'impianto. Comparando gli anni solari 2022, 2023 e 2024 è possibile ricavare una fotografia della situazione dei consumi che ricadono sulla rete elettrica nazionale. Nello specifico, il 2022 rappresenta un anno con l'impianto fotovoltaico del tutto assente, il 2023 rappresenta un anno con l'impianto entrato in esercizio solo per i mesi finali e il 2024 rappresenta un anno con l'impianto a pieno regime di funzionamento.

Osservando il seguente grafico è possibile osservare l'andamento dei consumi medi giornalieri da rete elettrica nazionale nei rispettivi anni:



La tendenza di diminuzione è evidente e particolarmente accentuata nel passaggio da 2023 a 2024, anno in cui l'impianto entra definitivamente in funzione. Il 2023 presenta già una sostanziale diminuzione dei consumi da rete elettrica nazionale, dovuta all'entrata in esercizio dell'impianto verso la fine dell'anno solare.

Il seguente grafico mostra invece l'andamento dei costi annuali delle bollette dell'energia elettrica:



La tendenza osservata nel grafico dei consumi è rispettata, anche se la diminuzione dei costi è già particolarmente accentuata nel passaggio dal 2022 al 2023, per ragioni di mercato dell'energia e non riconducibili al solo effetto dell'impianto fotovoltaico. Confrontando dunque gli anni 2022 e 2024, è possibile ricavare una stima del risparmio economico dovuto all'introduzione dell'impianto fotovoltaico. L'analisi è condotta ipotizzando due diversi scenari: nel primo si valuta solamente la differenza dei costi, senza ulteriori considerazioni; nel secondo si attualizza invece il costo dell'energia del 2022 con quello del 2024. In questo modo è possibile ricavare un risparmio economico più accurato, che tiene conto dei consumi di energia elettrica ipotizzando uno stesso prezzo al chilowattora. I consumi del 2022 vengono quindi moltiplicati per il costo (€/kWh) del 2024, ottenendo il costo attualizzato nell'anno di funzionamento dell'impianto fotovoltaico.

Nel primo scenario il risparmio è di 41988 €, mentre nel secondo è di 48402 €. Nei due casi il risparmio è pari rispettivamente al 58.7% e 67.6% del costo dell'energia nel 2022, quindi dimostra l'efficacia dell'intervento di installazione.

INTERVENTI SUGGERITI PER AUMENTARE L'EFFICIENZA

CAPACITÀ DI ACCUMULO

La soluzione allo sfasamento temporale tra produzione e consumo di energia elettrica è chiaramente quella della dotazione di un sistema di accumulo di energia. Considerando i proventi derivanti dalla vendita di energia al sistema elettrico nazionale e dagli incentivi del GSE, così come il risparmio economico sulle bollette dell'energia elettrica, è possibile immaginare un piano di acquisto di moduli di accumulo al fine di migliorare l'efficienza energetica dell'edificio e della CER. Tuttavia, considerando l'attuale capacità produttiva dell'impianto, solamente i mesi di maggio e giugno potrebbero raggiungere l'autosufficienza energetica con una perfetta gestione dei consumi in funzione della produzione. L'investimento richiesto per dotarsi di un sistema di accumulo (intorno agli 800 €/kWh comprensivi di IVA e costi di installazione, senza contare eventuali incentivi) risulta quindi particolarmente oneroso per migliorare solo in parte la situazione.

ADATTAMENTO ORARIO DELLE ATTIVITÀ

Il secondo modo, e probabilmente il più efficace, per aumentare l'efficienza d'uso dell'impianto, è quello di adattare maggiormente le attività dell'edificio alla produzione dell'impianto. Il monitoraggio dei dati di produzione, facilmente reperibili sull'applicazione degli inverter, è uno strumento prezioso per l'organizzazione energeticamente efficiente delle attività dell'associazione. Le indicazioni del presente lavoro possono inoltre fornire dei dati utili per stabilire delle abitudini lavorative maggiormente compatibili con la produzione energetica dell'impianto. Concentrando infatti le attività energivore nelle fasce orarie maggiormente produttive, è possibile ridurre significativamente il divario tra l'energia dell'impianto fotovoltaico prodotta e consumata. Come indicato dai grafici presentati, esiste un margine consistente di energia prodotta durante le ore più luminose che può essere recuperato. La fattibilità di tale intervento deve chiaramente essere valutata in funzione delle necessità degli operatori e delle attività da svolgere all'interno dell'associazione.

R I N G R A Z I A M E N T I

In conclusione, è opportuno ringraziare la famiglia Calì per il contributo economico finalizzato alla realizzazione del presente lavoro, reso possibile dall'istituzione del premio Michele Calì alla migliore comunità energetica dell'anno. Il premio Michele Calì si prefigge l'obiettivo di garantire alle CER appena nate l'affiancamento di un supporto tecnico per la realizzazione di interventi migliorativi. In questo caso, non essendoci un piano progettuale di interventi, il mio lavoro è stato dedicato alla raccolta, analisi e presentazione dei dati energetici della CER "Le Vele". La speranza è che l'analisi possa servire come esempio quantitativo dei benefici energetici ed economici derivati dalla costituzione di una comunità energetica.

Un doveroso ringraziamento va anche alla CER "Le Vele", che ha reso possibile il mio intervento e mi ha supportato nell'accesso ai dati energetici, così come si è resa disponibile per una mia visita in sede. Ringrazio in particolare Valeria Caforio di ScenarioB e l'architetto Pescara per la disponibilità nel condividere informazioni utili alla scrittura del lavoro.

Infine, un ringraziamento anche ai referenti IFEC del Politecnico di Torino, che hanno proposto la mia figura per lo svolgimento dei lavori.

