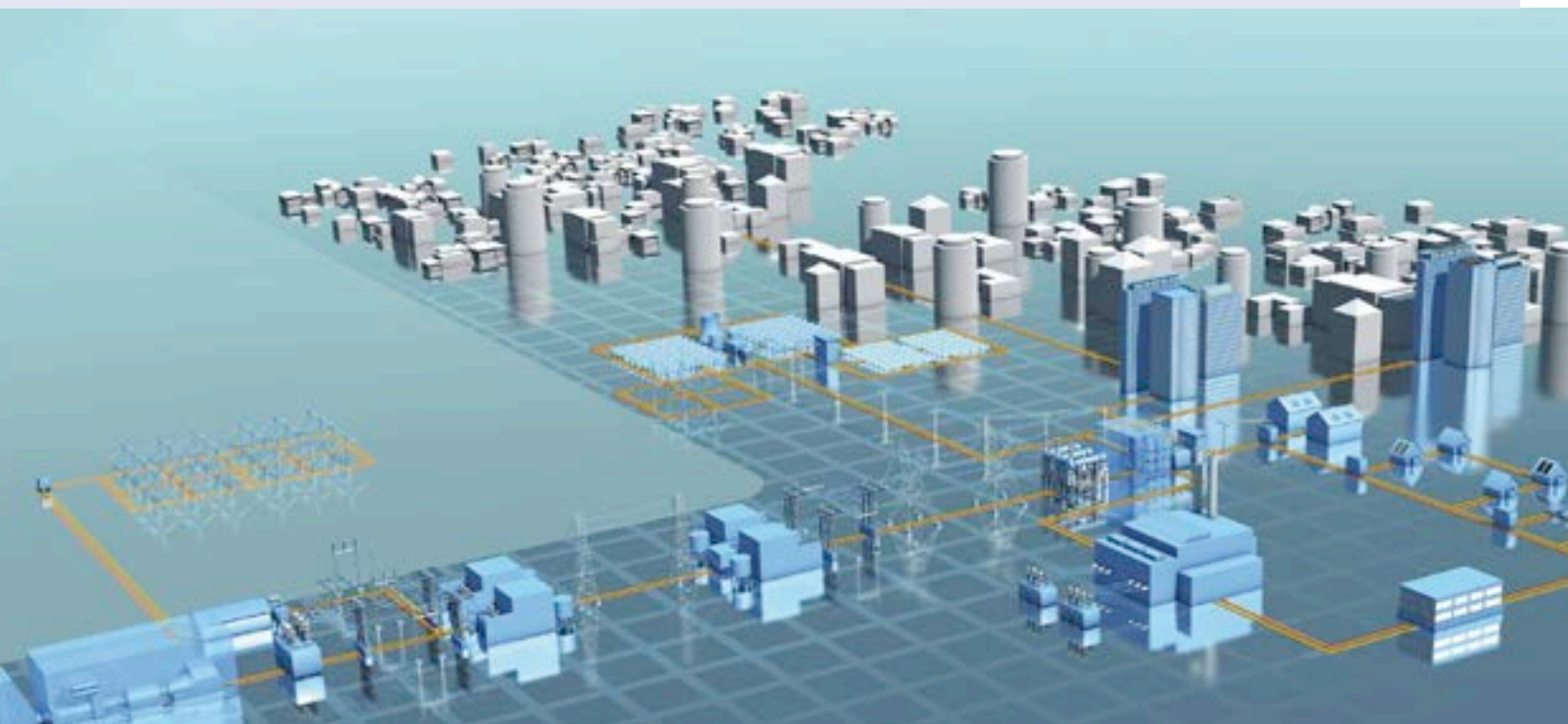


NZEBnet. La piattaforma collaborativa per lo sviluppo e l'implementazione degli edifici a energia quasi zero



Smart Energy Systems, la micro-generazione distribuita dell'energia a servizio degli NZEB: primi risultati dell'attività sperimentale

La ricerca sperimentale della UO 1 ha lo scopo di definire il ruolo potenziale dei sistemi energetici cosiddetti ibridi, con un riferimento particolare allo sviluppo del power-to-gas, P2G, applicato agli storage e alla microgenerazione dell'energia

Livio de Santoli, La Sapienza Università di Roma

UNITÀ OPERATIVA 1

<http://www.nzebplatform.it/>

LA SFIDA DELL'INDUSTRIA DELL'ENERGIA in questi anni è quella di affrontare la transizione verso i sistemi distribuiti sul territorio, gli *Smart Energy Systems*, SES; solo in tal modo infatti si è in grado di permettere l'integrazione di quote di energia da fonti rinnovabili, FER, via via crescenti. La ricerca deve dimostrare per questi sistemi una garanzia di

stabilità e affidabilità della fornitura almeno pari, se non superiore, a quella dei sistemi energetici attuali.

I fattori che hanno spinto verso lo studio dei SES sono, oltre agli obiettivi di de-carbonizzazione, l'invecchiamento delle reti, la necessità di rispondere a una domanda di energia sempre più caratterizzata da fonti rinnovabili non programmabili, la centralità

del ruolo delle *smart grid*. Tra le definizioni di smart grid, quella che segue è tratta dal CEER (Council of European Energy Regulators, CEER Status Review on European Regulatory Approaches Enabling Smart Grids Solutions and Smart Regulation): "A smart grid is an

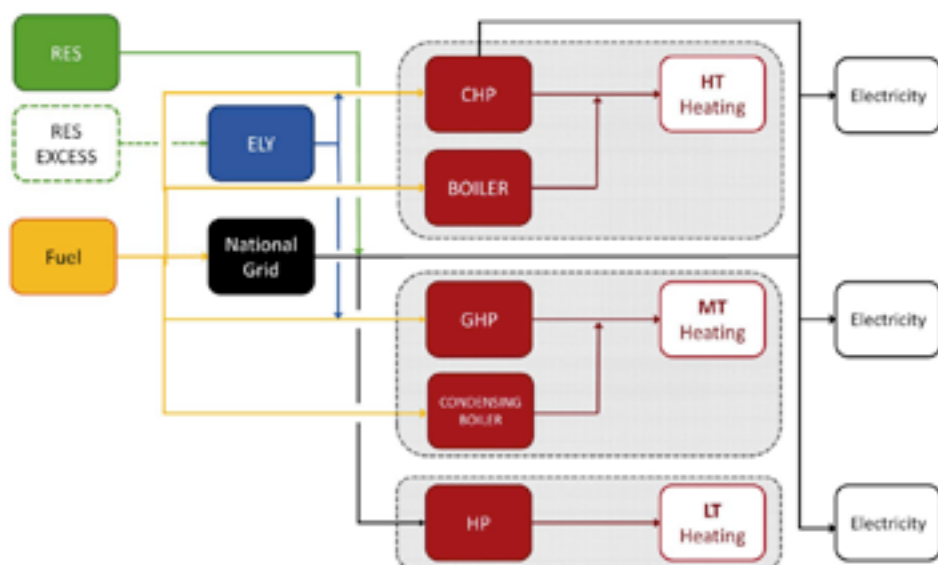


Figura 1 – SES realizzati con tecnologie esistenti per soddisfare la domanda di energia termica a diversi livelli termici e con la integrazione P2G [4]

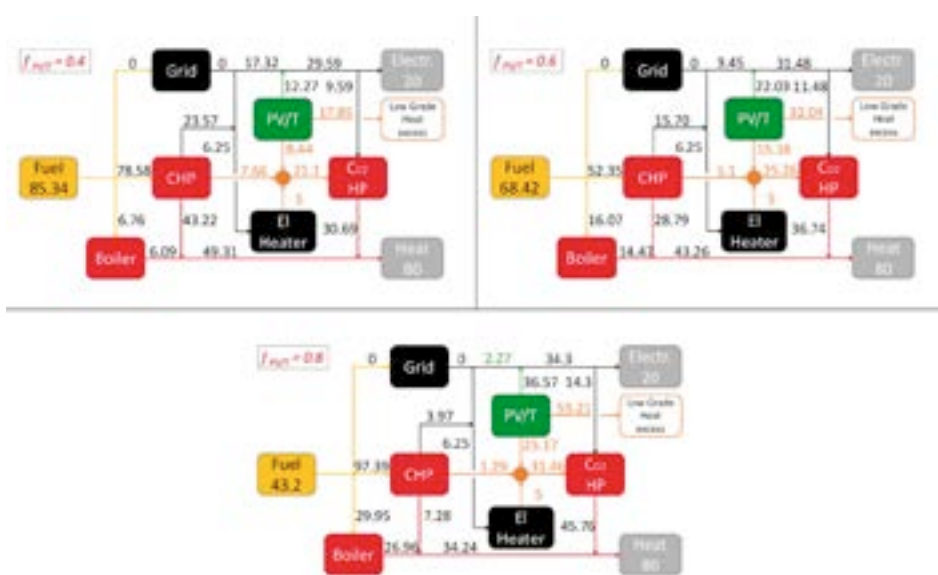


Figura 2 – Bilancio energetico del sistema combinato CHP, CO₂-HP, PV/T e generatore di calore in funzione della frazione termica del PV/T (d1: f_{PV/T} = 0,4; d2: f_{PV/T} = 0,6; d3: f_{PV/T} = 0,8) [5]

electricity network that can cost-efficiently integrate the behaviour and actions of all users connected to it – generators, consumers and those that do both – in order to ensure economically efficient,

sustainable power systems with low losses and high levels of quality and security of supply and safety". In un recente documento [1] è stato introdotto uno schema per accompagnare la transizione facente capo a tre diverse smart grid: elettrica, termica e del

gas, tra loro interagenti. Dalla loro combinazione, attraverso tecnologie già disponibili sul mercato, è possibile dare risposta anche all'inserimento dei SES per lo sviluppo del tema NZEB.

Risulta evidente, in questo scenario, la necessità di una modifica radicale della struttura della domanda e dell'offerta di energia. Il sistema elettrico italiano sta evolvendo verso un mix di generazione più decentrata e caratterizzata da una elettrificazione spinta, soprattutto a seguito della massiccia integrazione delle fonti energetiche rinnovabili. Per abilitare l'integrazione su larga scala di queste ultime, al fine di procedere alla decarbonizzazione dei sistemi elettrici senza mettere in pericolo la sicurezza degli approvvigionamenti, è necessario che sia fornita una maggiore flessibilità dal lato della domanda, attraverso programmi di *demand response*, DR, che prevedano l'introduzione di opportune aggregazioni topologiche dei consumi. L'aggregatore somma le diverse flessibilità dei consumatori per costruire un servizio di DR affidabile e può negoziare accordi anche con consumatori di categorie diverse (industriali, commerciali, residenziali), creando un carico controllabile complessivo, fatto di tante piccole utenze, e vendendolo come una singola entità.

In [2] vengono riportati gli obiettivi dell'aggregatore, le modalità del servizio di DR, i relativi schemi operativi.

La ricerca sperimentale della UO 1 ha lo scopo di definire il ruolo potenziale dei sistemi energetici cosiddetti ibridi, con un riferimento particolare allo sviluppo del power-to-gas, P2G, applicato agli storage e alla microgenerazione dell'energia.

Le infrastrutture di gas esistenti possono partecipare alla transizione verso la decarbonizzazione mediante l'inclusione di gas "rinnovabile" proveniente dalla disponibilità di FER in surplus rispetto alla capacità della rete o della domanda di elettricità. La catena di processo P2G potrebbe svolgere un ruolo significativo nel sistema energetico futuro. L'energia elettrica da FER può essere trasformata in idrogeno immagazzinabile tramite elettrolisi e prevedere una successiva fase di (bio)metanazione. In [3] viene fornita una panoramica delle modifiche richieste per gli utenti finali in termini di impianti di riscaldamento, sistemi di cogenerazione e generatori a gas domestici, nel caso questi siano alimentati con miscele di metano e idrogeno in percentuali variabili in volume. Un'attenzione particolare deve essere rivolta alle questioni relative agli standard di sicurezza, evidenziando la potenziale necessità di una legislazione nazionale per regolare l'idoneità delle miscele. Un elenco di soluzioni tecniche già disponibili sul mercato potrebbero affrontare immediatamente una prima fase della transizione.

I livelli di temperatura da cui sono caratterizzati gli usi finali svolgono un ruolo chiave nella



SMART ENERGY SYSTEMS, THE DISTRIBUTED MICRO-GENERATION OF ENERGY AT THE SERVICE OF NZEB: FIRST RESULTS OF THE EXPERIMENTAL ACTIVITY

The experimental research of the UO 1 is focused on the development of a smart energy system, which is an important step to accelerate the transition towards decarbonisation. The research aims to define the potential role of so-called hybrid energy systems, with a particular reference to the development of power-to-gas, P2G, applied to storage and energy microgeneration. Reference technologies for the construction of hybrid systems have been considered: CHP micro-cogeneration fed by conventional natural gas (with a reserve generator), the two-stage electric heat pump (EHP) and the CO₂ trans-critical electric heat pump (CO₂-HP). Furthermore, as a cold storage tank for CO₂-HP, an array of hybrid solar collectors (PV/T) was used, together with the heat recovered from the CHP exhaust gases.

Keywords: smart energy system, NZEB, CHP, smart grids

domanda di energia termica dei contesti urbani che influiscono sul consumo energetico primario associato e sulla frazione di FER. Nuove soluzioni in ottica SES devono tenere conto di queste caratteristiche di fornitura per concorrere al raggiungimento degli obiettivi comunitari delle rinnovabili termiche. P2G è una tecnologia necessaria per decarbonizzare la catena di approvvigionamento energetico come frazione di combustibili ibridi, combinazione di combustibili fossili e idrogeno rinnovabile e/o biometano, mentre il Power-To-Heat è concepito come una strategia di sistemi di riscaldamento ad alta e media temperatura per passare dalla semplice combustione alla elettrificazione dei consumi termici. In [4] viene esaminata su diversi scenari di energia richiesta a livello suburbano l'influenza di quote progressive di FER (dal 25% al 50% nel mix energetico), per evidenziare i punti di forza e di debolezza delle applicazioni P2G. Il consumo di energia primaria è stato scelto come funzione obiettivo e sono state scelte tre città di riferimento. I risultati di dodici scenari ipotizzati sono stati valutati in termini di quantità FER termica erogata. In Figura 1 viene riportato lo schema generale ipotizzato.

In [5] sono state approfondite tre opzioni di sistemi ibridi con un confronto a partire da una data necessità di energia termica ad alta temperatura e di energia elettrica. Sono state considerate tecnologie di riferimento per la realizzazione di sistemi ibridi: la microgenerazione CHP alimentata a gas naturale convenzionale (con un generatore di riserva), la pompa di calore elettrica a due stadi (EHP) e la pompa di calore elettrica a CO₂ trans-critica (CO₂-HP). Inoltre, quale serbatoio freddo per la CO₂-HP, è stato utilizzato un array di collettori solari ibridi (PV/T), insieme al calore recuperato dai gas di scarico del CHP.

Nella Figura 2 viene riassunto il bilancio energetico del sistema combinato CHP, CO₂ - HP, PV/T e generatore di calore in funzione della frazione termica del PV/T, da cui si evince il valore di energia primaria delle varie soluzioni.

Un tema connesso riguarda l'uso delle miscele idrogeno-metano (H₂NG) negli apparati di combustione: la caratterizzazione di tale combustibile viene fatta in termini di efficienza di combustione. In [6] è stata costruita per via analitica la tabella di Ostwald per ogni miscela sulla base di sperimentazioni effettuate al variare del contenuto di idrogeno nella miscela H₂NG. Inoltre, le equazioni chimiche e i valori caratteristici della miscela gassosa sono stati calcolati per implementarli all'interno dei dati presenti nei cataloghi software degli analizzatori di gas commerciali. Infatti, questi ultimi sono comunemente basati sull'equazione di combustione di Ostwald per correlare le concentrazioni di CO, CO₂ e O₂. I risultati possono essere applicati per analizzare il funzionamento delle caldaie domestiche

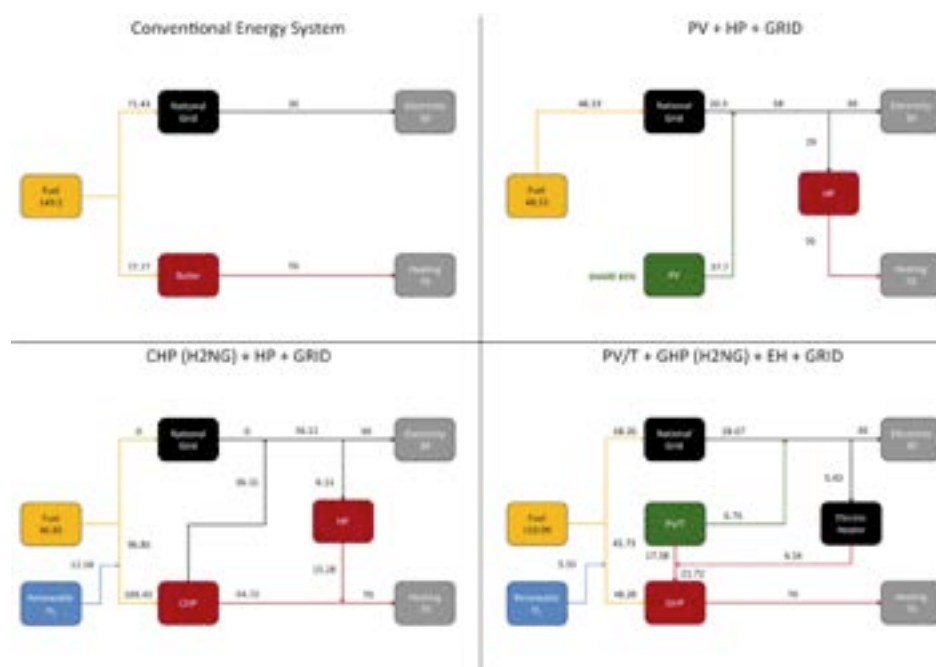


Figura 3 – Bilancio di energia normalizzata di un sistema convenzionale e confronto con i layout analizzati in [7]

convenzionali anche alimentate con H₂NG e per permettere di valutare le implicazioni tecniche per la certificazione delle prestazioni, anche quando operano in modalità di condensazione. L'eccesso di aria e l'umidità relativa sono risultati essere i parametri con i quali valutare gli effetti sulle prestazioni delle caldaie. La concentrazione di ossigeno viene fatta variare da 0% vol. fino a 15% vol. I valori del calore specifico diminuiscono non linearmente per ciascuna miscela, mostrando una riduzione massima pari al 9,825%, per H₂NG al 30%. Per H₂NG @ 30% vol. si nota un aumento massimo della frazione di condensazione (EFC) di 0,9%. Invece, il guadagno EFC più alto, 4,8 punti percentuali, si è

verificato con un'umidità relativa del 90% rispetto ai valori di riferimento ipotizzati per i calcoli.

Inoltre, c'è il tema riguardante il ruolo del gas naturale arricchito di idrogeno (H₂NG) nei sistemi ibridi di energia. In [7] sono state studiate tre diverse opzioni di impianti. Sono stati confrontati un impianto fotovoltaico (PV) e una pompa di calore elettrica a due stadi (EHP), un collettore termico ibrido fotovoltaico combinato con una pompa di calore a gas (GHP) alimentata con H₂NG e un

BIBLIOGRAFIA

- [1] de Santoli L. (a cura di). 2016. Smart Grids: strategia per le comunità dell'energia su scala urbana. Collana Tecnica AiCARR, 23. Milano: Delfino Editore
- [2] de Santoli L, Lo Basso G, Mancini F. 2018. Investigation on an energy aggregator for domestic users in the Italian electricity system: analysis of potential. Inviato per la pubblicazione
- [3] de Santoli L, Paiolo R, Lo Basso G. 2017. An overview on safety issues related to hydrogen and methane blend applications in domestic and industrial use. Energy Procedia, 297
- [4] Nastasi B, Lo Basso G. 2017. Power-to-gas integration in the transition towards future urban energy systems. Int J Hydrogen Energy, 42(38), 23933-51
- [5] de Santoli L, Lo Basso G, Nastasi B. 2017. Innovative hybrid CHP systems for high temperature heating plant in existing buildings. Energy Procedia, 207
- [6] Lo Basso G, Nastasi B, Astiaso Garcia D, Cumo F. 2017. How to handle the hydrogen enriched natural gas blends in combustion efficiency measurement procedure of conventional and condensing boilers. Energy, 123, 615-636
- [7] de Santoli L, Lo Basso G, Nastasi B. 2017. The potential of hydrogen enriched natural gas deriving from power-to-gas option in building energy retrofitting. Energy and Buildings, 149, 424-436
- [8] Lo Basso G, Paiolo R. 2016. A preliminary energy analysis of a commercial CHP fueled with H₂NG blends chemically supercharged by renewable hydrogen and oxygen. Energy Procedia, 1272
- [9] de Santoli L, Lo Basso G, Astiaso Garcia D, Spiridigliozzi G. 2018. Innovative Hybrid energy systems for heating towards NZEB qualification for existing buildings. Proceedings of IEEE Conference, Palermo (Italy)

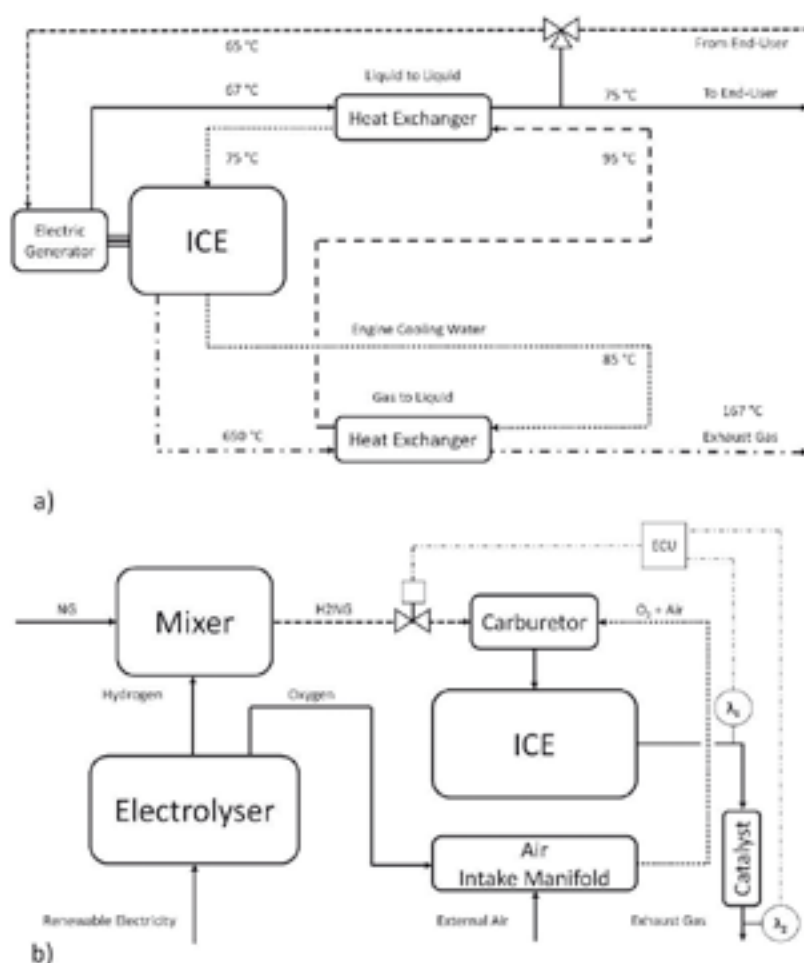


Figura 4 – a) Schema del Micro CHP oggetto di sperimentazione; (b) layout dell'uso di miscele di idrogeno ed ossigeno [8]

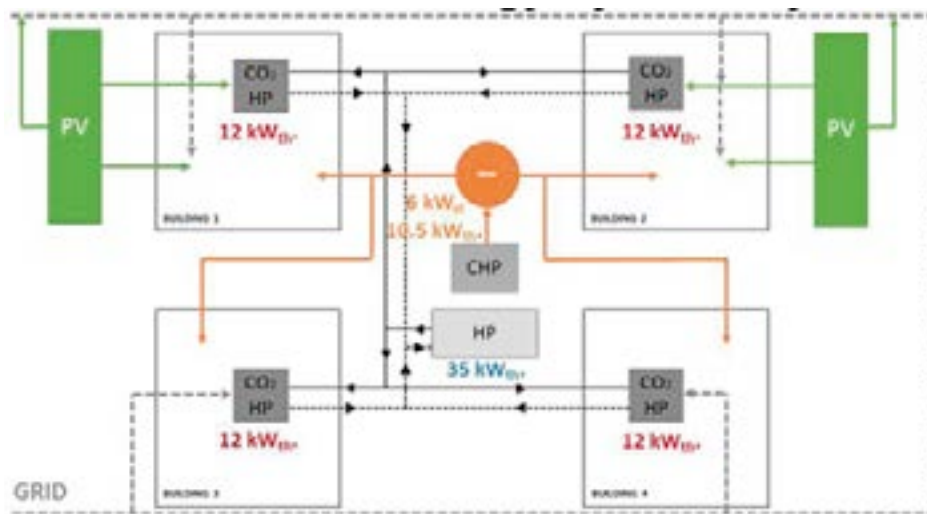


Figura 5 – Layout del sistema ibrido di generazione dell'energia con riferimento a utenze domestiche [9]

CHP alimentato con H₂NG collegato a un EHP a due stadi. Le superfici di captazione richieste del campo fotovoltaico sono state valutate in base a diversi valori di radiazione diretta (DNI) al fine di valutare in che modo la superficie disponibile degli

edifici influisca sulla scelta del layout impiantistico. Un'analisi di sensitività è stata condotta variando il rapporto caratteristico energia elettrica/energia termica richieste dall'edificio (PTHR) e la frazione volumetrica di idrogeno nelle miscele H₂NG e valutando il consumo energetico primario (PEC) e la frazione di energia da FER. Quando fattibile,

PV + EHP mostra la migliore performance in termini di PEC con una quota di energia solare pari al 65%. In altri casi, il PV/T + GHP alimentato con H₂NG @ 30% vol. può essere adatto per PTHR superiore a 0,2 circa. Inoltre, la terza opzione CHP + EHP risulta non competitiva con le altre soluzioni, ma è la migliore nel caso in cui non siano disponibili grandi superfici per l'installazione di PV o di PV/T, come mostrato in Figura 3.

Attualmente, le tecnologie P2G sono considerate soluzioni rilevanti nel caso di produzione di idrogeno che converte l'eccesso di FER elettrica e la successiva sua iniezione nella rete esistente di gasdotti. In questo modo, le miscele H₂NG possono essere utilizzate dalle tecnologie esistenti sia per usi stazionari (motori a combustione interna ICE e microturbine a gas MTG) che di mobilità sostenibile, offrendo migliori prestazioni energetiche. Per quanto riguarda lo scenario di generazione di energia distribuita, la produzione di H₂ locale mediante elettrolisi per l'arricchimento del metano sarà più economica se l'ossigeno prodotto dal processo viene utilizzato invece di essere espulso come sottoprodotto, come di solito accade. In [8] viene discussa l'utilità di utilizzare quell'ossigeno per arricchire la miscela aria-carburante di un motore a combustione interna per applicazioni di micro-CHP alimentato con miscele di H₂NG. È stato fornito un insieme di valori per un'analisi comparativa effettuata al variare del contenuto di H₂ nelle miscele di H₂NG tra 0% e 15% vol. (in condizioni di ossi-combustibile parziale). In particolare, è stata effettuata un'analisi energetica preliminare basata su dati sperimentali, che riporta i parametri operativi del motore, i guadagni e le perdite in termini di efficienza elettrica e di recupero del calore. Il contenuto di ossigeno varia fino al 22% vol. Le prove sperimentali sono state effettuate in una versione commerciale di CHP Volkswagen Blue Tender (19,8 kW_e di potenza nominale, come mostrato in Figura 4).

In [9] è esplorata la possibilità di sviluppare una nuova strategia per lo sviluppo di SES su piccola scala. In questo caso è possibile condividere la rete termica per un piccolo gruppo di abitazioni disposte in un unico lotto. È stato possibile studiare e confrontare i risultati di sistemi innovativi con i tradizionali sistemi di generazione separata. In un esempio ipotizzato di quattro villette, viene condiviso un serbatoio freddo alimentato dal condensatore di una pompa di calore in grado di alimentare 4 pompe di calore a CO₂ transcritica. L'energia elettrica per il sistema ibrido è fornita da un array fotovoltaico e da un impianto di microcogenerazione. I risultati di questa analisi comparativa mostrano l'efficacia di tale intervento in termini di efficienza energetica. Il layout è riportato in Figura 5.