

Città intelligenti e Comunità Energetiche

Carlo Alberto Nucci *Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" - DEI, Rappresentante nazionale EU Mission "Climate-Neutral and Smart Cities"*

La città intelligente o Smart City

Definizione

L'Unione Europea fornisce la seguente definizione di *Smart City* [1]: *"Una Smart City o città intelligente è un luogo in cui i servizi tradizionali sono resi più efficienti grazie all'impiego di tecnologie digitali - dell'informazione e della comunicazione (ITC) - a beneficio dei suoi abitanti e delle imprese. Una Smart City va oltre l'uso delle tecnologie digitali per un migliore utilizzo delle risorse e minori emissioni. Significa reti di trasporto urbano più intelligenti, impianti di approvvigionamento idrico e di smaltimento dei rifiuti migliorati e modi più efficienti per illuminare e riscaldare gli edifici. Significa anche un'amministrazione cittadina più interattiva e reattiva, spazi pubblici più sicuri e soddisfare le esigenze di una popolazione che invecchia".* È naturalmente contemplato e previsto l'uso di *Big Data* e di tecnologie IOT (*Internet of Things*), così come la disponibilità di *set* di dati aperti, interconnessi e condivisi su tutto l'eco-sistema della città, in grado di abbattere barriere e generare maggiore conoscenza del sistema città. La missione *EU Climate Neutral and Smart Cities* [1], di cui si dirà diffusamente più avanti, considera l'innovazione della città non solo di pertinenza tecnologica, ma anche legata agli aspetti sociali, creativi, organizzativi e finanziari necessari per trasformare le città. Si ritiene utile fornire un'altra definizione, più sintetica, e che sottolinea l'importanza del capitale umano. *"È una città in cui la pianificazione e trasformazione urbanistica delle infrastrutture è tesa all'ottimizzazione/digitalizzazione e innovazione dei servizi pubblici al fine da mettere in relazione le infrastrutture delle città con il capitale umano, intellettuale e sociale di chi le abita e rendere la città eco-sostenibile. Ciò è reso possi-*

bile grazie all'impiego diffuso delle nuove tecnologie dell'energia, della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente al fine di migliorare la qualità della vita e soddisfare le esigenze di cittadini, imprese e istituzioni".

Perché le città (e in particolare le città smart)

Le città coprono circa il 3% del suolo del pianeta, ma rappresentano più di 65% dei consumi energetici e producono oltre il 70% di tutte le emissioni globali di gas serra. Le città stanno crescendo rapidamente; in Europa, occupano solo il 4% della superficie terrestre dell'UE, ma vi abitano il 75% dei cittadini, e si stima che entro il 2050 quasi l'85% degli europei vivrà in città.

Le città sono anche il "laboratorio" in cui le strategie di decarbonizzazione dell'energia, dei trasporti, degli edifici e persino dell'industria e agricoltura coesistono e si intersecano. La densità di infrastrutture e del loro uso è maggiore nelle città, c'è quindi anche una maggiore integrazione intersettoriale e presenza d'infrastrutture complesse come, ad esempio, le reti intelligenti (*Smart Grid*), da sempre ritenute un importante fattore abilitante per la implementazione del concetto di *Smart City* (implementazione che in alcuni settori ha subito una accelerazione a causa del COVID-19, come evidenziato nei più recenti convegni internazionali sul tema *Smart City* (per es., <https://attend.ieee.org/isc2-2021/>). Chi scrive condivide quindi pienamente il concetto espresso dalla UE che l'emergenza climatica debba essere affrontata nelle città, per le ragioni soprammenzionate. Sul territorio italiano, caratterizzato da ampie differenze di zone climatiche a causa dello sviluppo geografico longitudinale della penisola, le aree urbane sono spesso costruite intorno a un centro città con un nucleo medievale e rinascimentale, con grandi distretti che includono il patrimonio mondiale dell'UNESCO, ad esempio edifici e monumenti, spesso ereditati dalla civiltà romana e greca. Ciò comporta problemi più

complessi riguardo le soluzioni possibili per le infrastrutture energetiche e di trasporto. Sebbene tenda a ridursi progressivamente, la differenza dei redditi medi nelle diverse regioni del paese è ancora significativa e questo si riflette nelle caratteristiche delle 14 aree metropolitane stabilite lungo il Paese. Una tale varietà di impostazioni e obiettivi rappresenta una delle sfide da affrontare nella sperimentazione di soluzioni nuove e affidabili, insieme all'innovazione tecnologica e sociale. Inoltre, il nostro Paese è anche periodicamente minacciato da eventi naturali (attività sismica, eruzioni vulcaniche, inondazioni, ecc.), che devono essere considerati nella pianificazione di qualsiasi implementazione di tecnologia intelligente, che a sua volta deve far fronte anche al concetto di resilienza. Siamo infine convinti che, in questo contesto, dovrebbero essere coinvolte anche città a basso reddito con aree socialmente complesse, al fine di evitare che la neutralità climatica e le città intelligenti vengano percepite come un tema d'élite per i cittadini d'élite.

La neutralità climatica e le emissioni serra

Definizione

Neutralità del clima, emissioni zero o neutralità carbonica, consistono nel raggiungimento di un equilibrio tra le emissioni e l'assorbimento di carbonio. Un modo per ridurre le emissioni e raggiungere la neutralità carbonica consiste nel compensare le emissioni prodotte in un settore riducendole in un altro. Questo può essere fatto investendo nelle energie rinnovabili, nell'efficienza energetica o in altre tecnologie pulite. Il sistema per lo scambio delle quote di emissione dell'UE è un esempio di schema per la compensazione delle emissioni di carbonio. Dovrebbero peraltro essere presi in

considerazione tutti i forzanti climatici di breve durata (*Short-Lived Climate Forcers* - SLCF), gas e particelle che influenzano il clima, hanno una durata compresa tra pochi giorni e un decennio; molti di loro sono anche inquinanti atmosferici. Le attività umane contribuiscono alle emissioni di SLCF nell'atmosfera.

Panoramica sulle emissioni globali e nazionali

Sono alcuni osservatori, disseminati in alcuni luoghi strategici del globo, grazie ai quali viene monitorata la concentrazione di CO₂. In figura 1 viene mostrato l'andamento dal 1960 sino ai giorni nostri della concentrazione di anidride carbonica rilevata a Mauna Loa nel Pacifico [2-3].

È interessante determinare quali sono le attività antropiche più responsabili di tali emissioni. In figura 2 è mostrata la percentuale gas serra rispetto a un totale di circa 50 miliardi di tonnellate e-

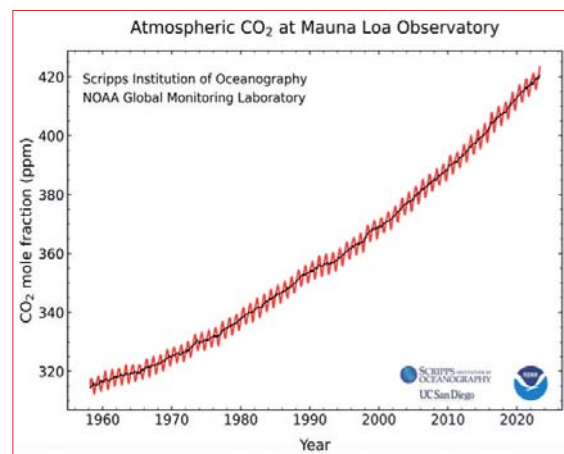


Figura 1
Concentrazione di anidride carbonica misurata presso l'osservatorio di Mauna Loa dal 1960 all'anno 2022. La curva rossa rappresenta i valori medi mensili, centrati sulla metà di ogni mese. La curva nera rappresenta la media mobile epurata dalle variazioni stagionali. Adattata da [2-3]

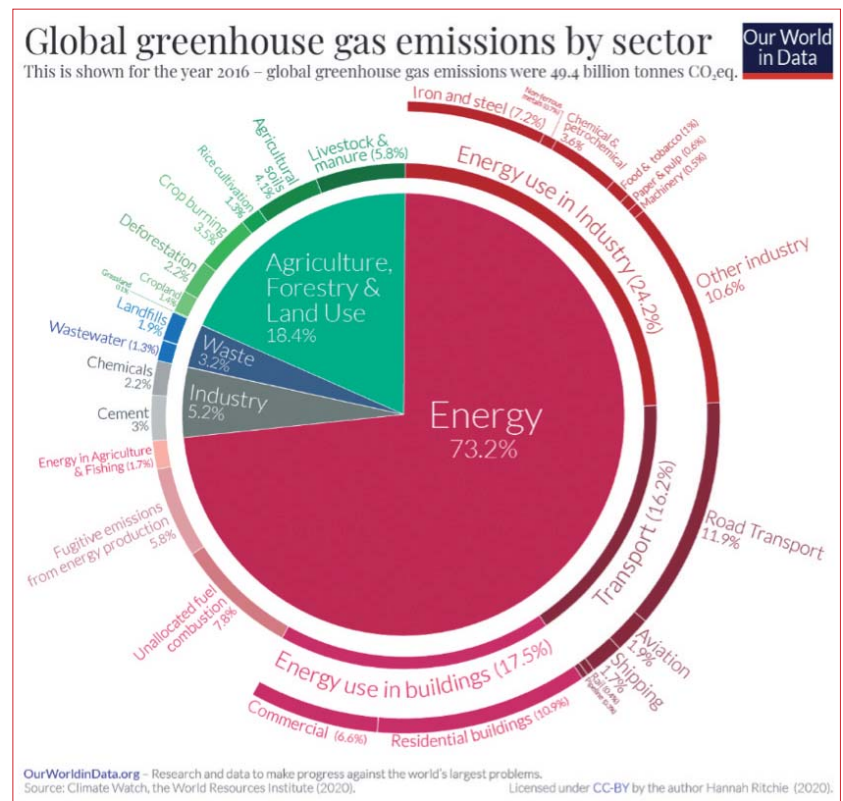


Figura 2

Emissioni globali di gas serra per settore nell'anno 2016 - Adattato da [4]

quivalenti di CO₂ ascrivibile a ogni settore per l'anno 2016. Negli anni seguenti, a livello globale le emissioni sono complessivamente aumentate di qualche punto percentuale sino al 2019, per poi subire una lieve contrazione dovuta alla pandemia. È l'uso dell'energia negli edifici, nei trasporti, e nell'industria che determina la maggior parte di produzione di gas serra, quasi i tre quarti. Questo perché l'energia usata per riscaldare e illuminare gli edifici, per muovere i mezzi di locomozione e di trasporto merci e per svolgere le attività industriali proviene in gran parte da fonte fossile. L'industria del cemento e di alcuni prodotti chimici viene enucleata nella figura 2 in quanto per alcuni settori industriali, come quello della produzione del cemento, la produzione di CO₂ non è eliminabile anche se l'energia impiegata provenisse da fonte rinnovabile. Non è questo il caso dell'energia impiegata negli edifici, nei quali se il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione fossero

conseguiti tramite, ad esempio, energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, la produzione di gas serra risulterebbe azzerata.

Nel nostro Paese, in virtù dei diversi provvedimenti che sono stati adottati per abbattere le emissioni, in linea con quanto l'Europa richiede ai propri Stati membri, le emissioni si sono invece ridotte di alcuni punti percentuali, come mostrato dalle figure 3 e 4 [5].

La Mission Climate Neutral and Smart Cities

Le Mission EU

In parte ispirate dalla missione Apollo 11 di portare un uomo sulla luna, le Missioni europee di ricerca e innovazione mirano a fornire soluzioni ad alcune delle più grandi sfide che l'umanità deve affrontare. Lo scopo delle Mission prevede, oltre all'utilizzo dei programmi di Ricerca e Sviluppo, anche la messa

Figura 3 ▶

Emissioni nazionali di gas climalteranti dal 1990 al 2019 per settore - Adattato da [5]

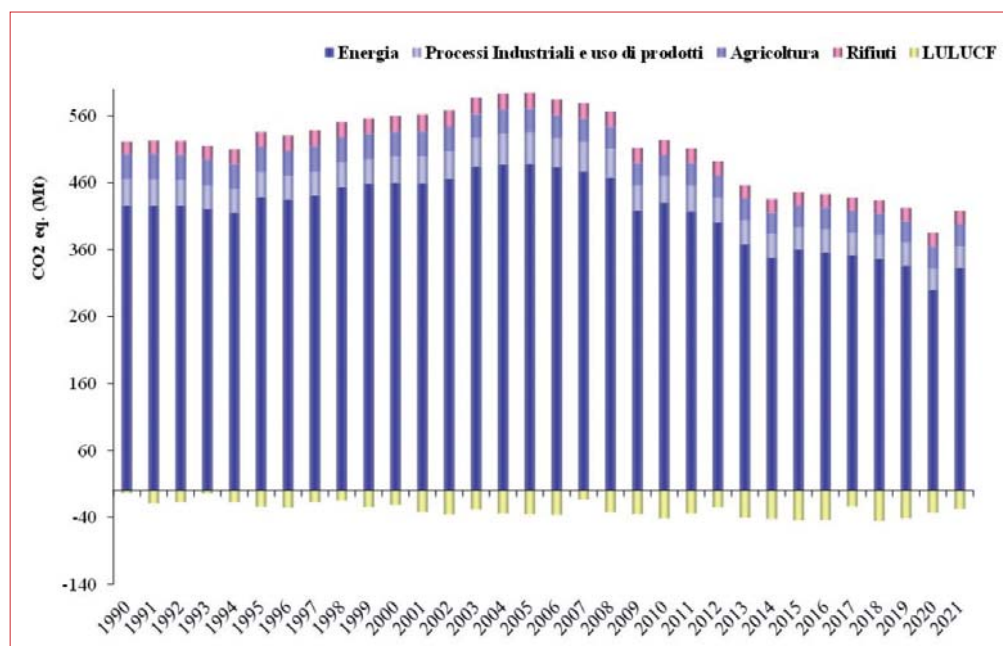
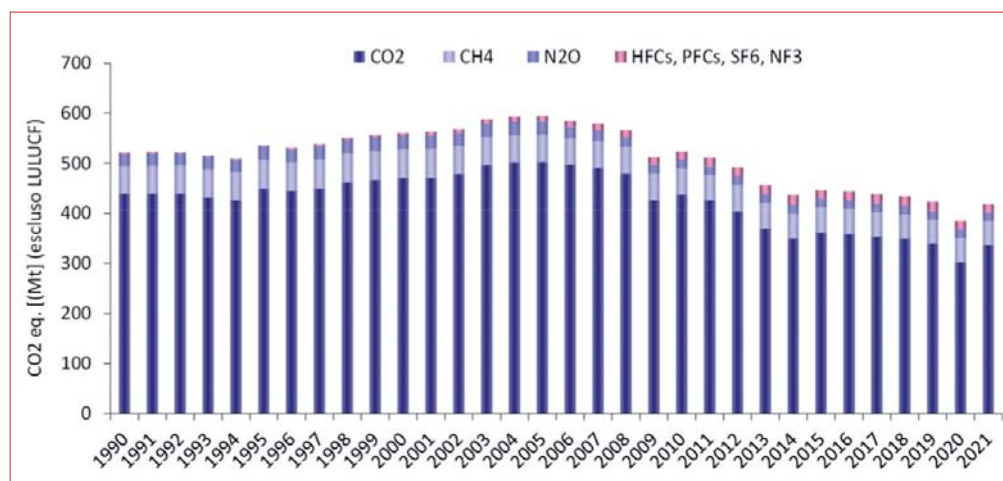


Figura 4 ▶

Emissioni nazionali di gas climalteranti dal 1990 al 2019 per gas - Adattato da [5]



a sistema di diversi strumenti finanziari ed eventuali interventi normativi dettati dalle indicazioni raccolte sul terreno (enti locali e cittadini) in un approccio che viene definito *bottom-up* [1].

Le *Mission* sono 5, una per ognuna delle seguenti aree (la denominazione originale, in inglese, è in italico):

- a.** Cancro (*Cancer*) → lottare contro il cancro;
- b.** Adattamento ai cambiamenti climatici incluso la trasformazione sociale (*Adaptation to climate change including societal transformation*) → adattarsi ai cambiamenti climatici;
- c.** Oceani sani, mari, acque costiere e interne (*Healthy oceans, seas coastal and inland waters*) → proteggere i mari e le acque del pianeta;
- d.** Neutralità climatica e città intelligenti (*Climate-neutral and smart cities*) → raggiungere la neutralità climatica e vivere in città più ecosostenibili e “intelligenti”;
- e.** Salute dei terreni e del cibo (*Soil health and food*) → assicurare la salute dei suoli per tutelare quella di alimenti e persone.

La Mission “100 Climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizen”

La *Mission* viene descritta dal suo scopo: “Sostenere, promuovere e dare visibilità a 100 città europee nel loro processo di trasformazione verso la neutralità climatica entro il 2030, e trasformare queste città in poli di sperimentazione e innovazione per tutte le città, diventando esempi e guide nel contesto dell’European Green Deal che l’Europa ha intrapreso per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050” [1].

Vi sono alcuni passi/obiettivi rilevanti per raggiungere tale scopo:

- costruire un processo multilivello e co-creativo formalizzato in un *Climate City Contract* (di cui diremo in seguito) che, pur adeguato alle realtà di ogni città, punterà allo scopo della missione;
- promuovere un processo che porti i cittadini a diventare “agenti di cambiamento” attraverso iniziative di tipo *bottom-up* e attraverso nuove forme di *governance*;
- aiutare le città ad accedere ai mezzi finanziari per realizzare lo scopo della *Mission* tramite i fondi di *Horizon Europe*, Fondi strutturali e di investimento europei, i *Just Transition Funds*, *InvestEU*, gli strumenti di *Next Generation EU* e altri fondi UE.

Per affrontare la sfida della neutralità climatica, la *Mission EU* propone un processo di co-creazione multilivello attraverso l’introduzione del suddetto *Climate City Contract* al fine di:

- a)** esprimere l’ambizione e l’impegno di tutte le

parti coinvolte negli obiettivi della *Mission*;

- b)** identificare i *gap* relativi alle politiche e alle strategie di implementazione come base per una strategia per transizione verso la neutralità climatica e l’implementazione del modello di *Smart City*;
- c)** coordinare le parti interessate e responsabilizzare i cittadini intorno agli obiettivi comuni;
- d)** coordinare le autorità nazionali/regionali e dell’UE allo scopo di fornire il quadro legale, di *governance* e finanziario necessario per il sostegno di ogni città;
- e)** creare uno “sportello unico” per le negoziazioni multilivello allo scopo di facilitare l’azione della città per la transizione.

Ogni *city contract* dovrà includere gli obiettivi, specificare il piano d’azione e il piano di investimenti per realizzare la transizione e identificare le parti interessate e le responsabilità degli attori coinvolti. Il contratto non è inteso come un documento chiuso che vincola legalmente una città a una unica linea di condotta fino al 2030. L’idea principale è creare un documento in continua evoluzione sulla base delle richieste (*live and demand-driven*) che mette le città al centro del processo di trasformazione e determina - sotto forma di ecosistemi locali - il loro ambito, attività e tempistica. Una parte centrale del contratto dovrebbe riguardare lo sblocco dei *driver* alla trasformazione. La missione dà la priorità a cinque fattori principali: i) nuove forme di *governance* partecipativa, ii) nuovi modelli economici e di finanziamento, iii) pianificazione urbana integrata, iv) tecnologie digitali e v) gestione dell’innovazione. Poiché la *governance* multilivello è un elemento indispensabile per il successo della Missione, il contratto sarà firmato idealmente dal governo locale, la Commissione Europea e le rispettive autorità nazionali o autorità regionali. La maggior parte dei quadri politici, regole, regolamenti e standard che saranno necessari alle città per il complesso sforzo tecnico, finanziario e sociale di raggiungere la neutralità climatica proverranno dai livelli regionali/nazionali o europei, così come dipenderà da tali livelli di *governance* anche il finanziamento relativo. In tale contesto, le autorità nazionali e regionali possono svolgere un ruolo fondamentale nel trasferimento delle conoscenze e nell’attività di replica durante la condivisione, nel comprendere e definire le condizioni comuni in tutte le città di un Paese o di una regione.

Le 100 città selezionate sono state rese note il 28 aprile 2022¹. Tra esse figurano le nove città italiane di Bergamo, Bologna, Firenze, Milano, Padova,

¹ Le città (in realtà 112) sono state selezionate mediante un processo iniziato il 25 novembre 2021 con la pubblicazione di una call EU, chiusa il 31 gennaio 2022 (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2591).

Parma, Prato, Roma e Torino. Le città partecipanti sono incoraggiate a progettare e implementare un modello multisettoriale di *governance* in cui saranno gli *stakeholder* locali, come imprese, università e la società civile a far parte del *city contract* e a contribuire alla sua progettazione e implementazione nelle città. Allo stesso modo, *stakeholder* regionali o nazionali potenzialmente in grado di garantire il successo del contratto (ad es., aziende regionali di trasporto, produttori nazionali di energia, istituti di ricerca nazionali, ecc.) dovrebbero essere incoraggiati a aderire dal firmatario competente regionale o nazionale. Le strategie regionali di specializzazione intelligente e il loro collegamento con la politica di coesione della UE possono fungere da modello su come impostare la già menzionata *governance* multisettoriale con forti componenti di R&I e di politiche di finanziamento, adattandosi alle condizioni e ai punti di forza locali.

Sarà inoltre incoraggiata la *governance multi-stakeholder* tra le città. Con l'aiuto della struttura e delle strutture della *Mission*², questo dovrebbe assumere due forme:

i) un raggruppamento sistematico sotto forma di *cluster* delle città che hanno firmato un contratto e che condividono le stesse condizioni locali e vogliono risolvere sfide comuni o creare economie di scala;

ii) la collaborazione con le città che non hanno firmato un contratto, cioè le centinaia di città europee che intendono trarre ispirazione, imparare e replicare le idee e le soluzioni che sortiranno dalla implementazione della *Mission*.

La figura 5 illustra i principali attori coinvolti nella *mission*: comunità d'affari, comunità accademica, città, autorità nazionali e regionali, gli enti proposti ai finanziamenti, gli organismi di normazione internazionali, le interazioni tra di loro, la commissione Europea, e il loro coinvolgimento nella preparazione del *climate city contract*.

La transizione energetica

Produzione e consumi di fonti energetiche

La tradizione scientifica e tecnologica italiana, di prim'ordine nelle aree tecniche previste dalla *Mission* in questione, rappresenta un *asset* fondamentale per sviluppare soluzioni orientate al futuro sopra menzionato: le direttive del *Clean Energy Package for All Europeans* [7] possono quindi essere implementate con successo in parecchi distretti metropolitani, città e conglomerati. Lo confermano le importanti partecipazioni ai partenariati europei su città e comunità intelligenti (EN-SCC and EIP-SCC) e nella *Covenant of Majors for Climate and Energy*, oltre ai numerosi progetti *Climate-KIC Italy demonstrator*³. È un punto di par-

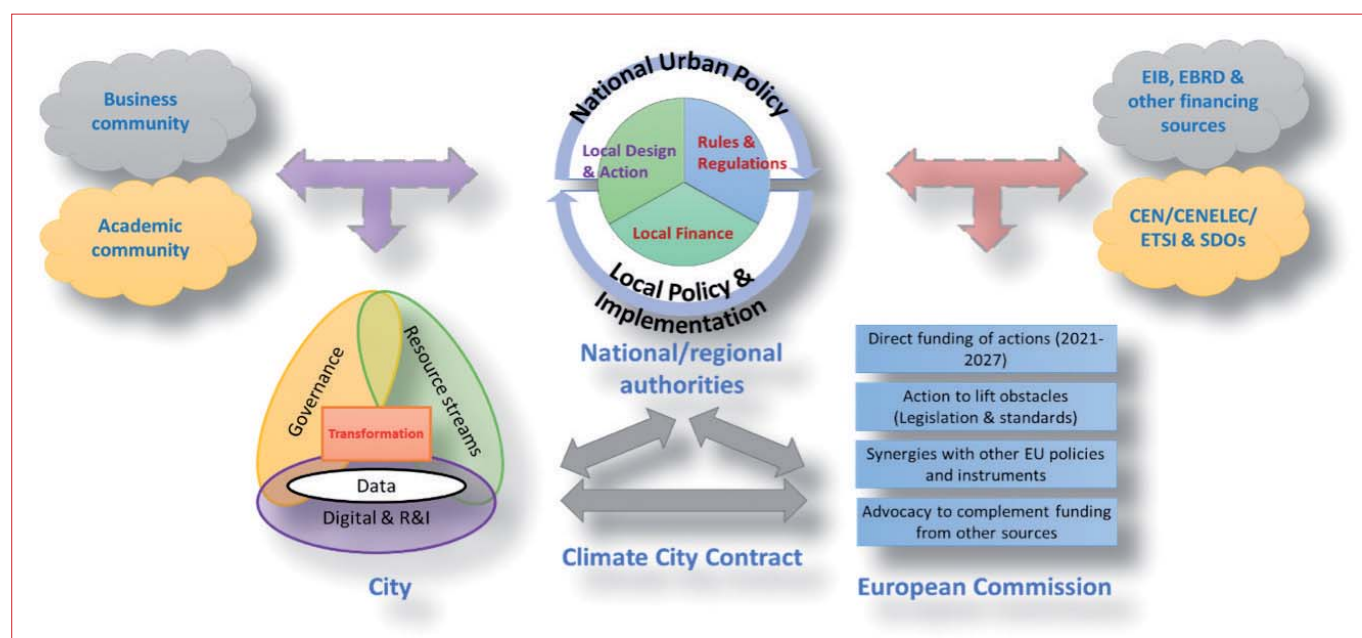


Figura 5
Il "Mission Climate Neutral and Smart Cities framework" - Adattata da [6]

² Un aiuto fondamentale alle città per la implementazione del climate city contract è fornito dal Progetto *EU EIT Climate-KIC Net Zero Cities*, una *Mission Platform* (<https://netzerocities.eu>) che tra gli scopi ha anche una serie di servizi disponibili online, la individuazione dei *city advisors*, previsti per ognuna delle città della *Mission* e il lancio di call per lo sviluppo di progetti pilota. A *Net Zero Cities*, si è aggiunto recentemente il progetto *HEU CapaCITIES* <https://cordis.europa.eu/project/id/101056927>

tenza importante, data la situazione attuale riguardo i consumi di fonti di energia primaria dell'area europea, per circa il 70% ancora da fonti fossili, come mostrato in figura 6.

Tra le fonti fossili, la più impiegata in Europa è il gas, che peraltro l'Europa ha tradizionalmente importato per buona parte dei propri fabbisogni da altri Paesi, tra cui la Russia, la Norvegia, l'Algeria con percentuali che hanno subito recentemente notevoli variazioni in seguito alla guerra Russia-U-

craina. L'Italia, che tra gli stati membri dell'Unione è quello con maggior dipendenza da forniture straniere di gas, oltre il 40%, dal 2021 al 2022 ha ad esempio diminuito di oltre il 60% la propria fornitura dalla Russia, aumentato di oltre il 230% quella dal Nord Europa, di oltre il 40% quella dall'Azerbaijan, e di quasi 50% quella di gas naturale liquefatto [9].

In figura 7 è mostrato l'andamento della produzione e del consumo di gas per regione in miliar-

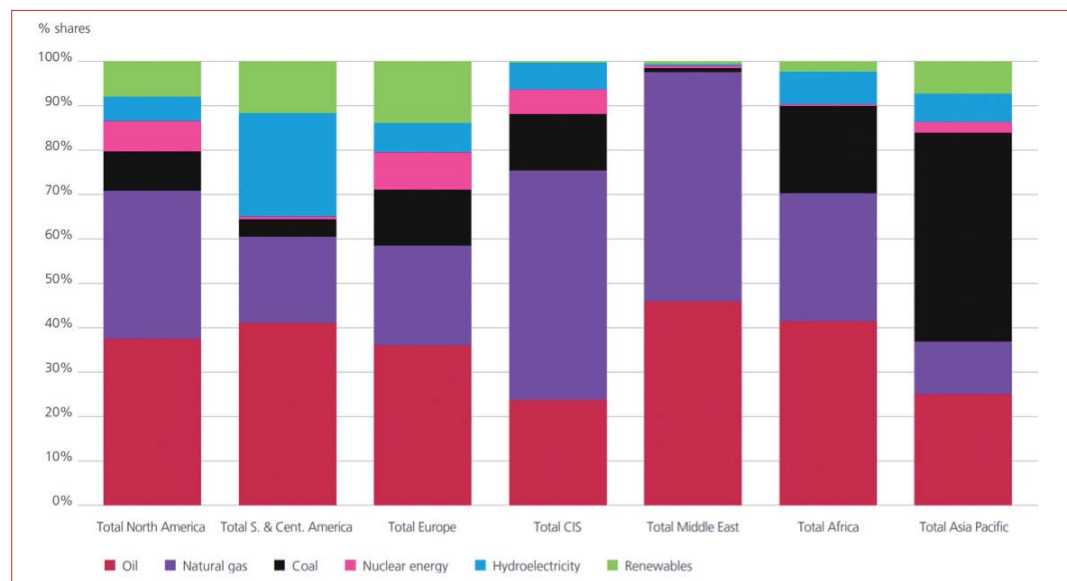


Figura 6
Consumo % di fonti di energia primaria per regione al 2020. - Adattato da [8]

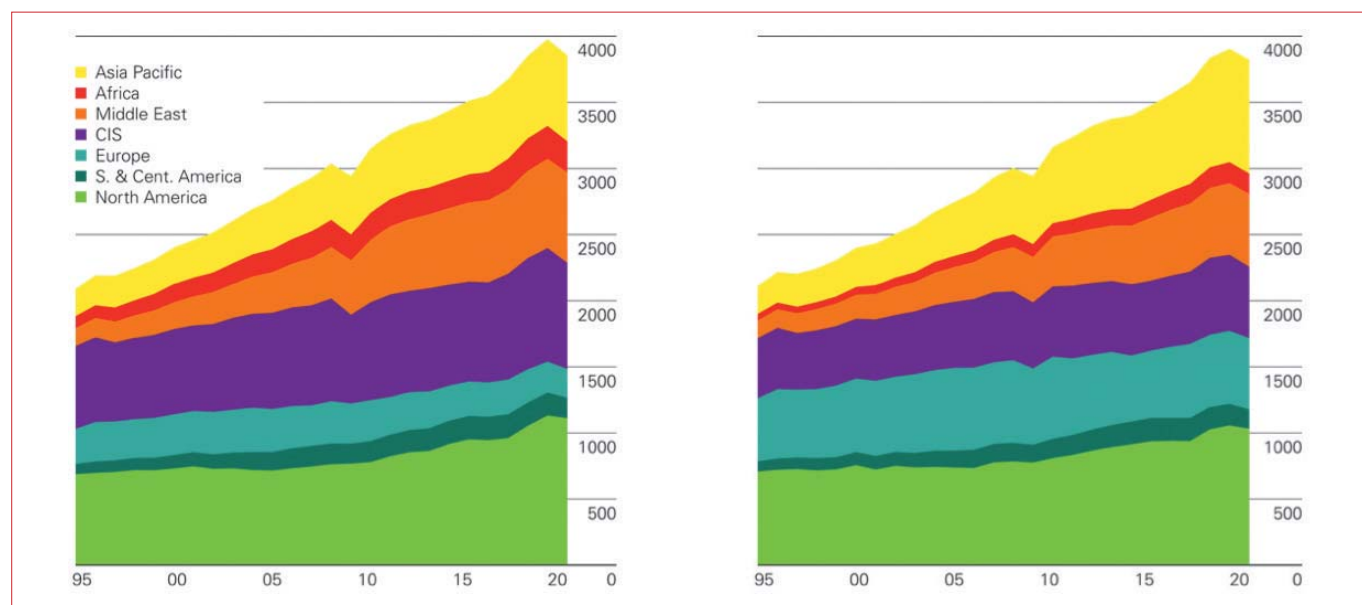


Figura 7
Produzione e consumo di gas per regione in miliardi di metri cubi - Adattato da [8]

3 Deep Demonstration - Healthy Clean City Milano: www.climate-kic.org/programmes/deep-demonstrations/#intro
GECO: <https://italy.climate-kic.org/projects/geco-green-energy-community>
Landscape Metropolis: <https://italy.climate-kic.org/projects/landscape-metropolis-paesaggio-come-infrastruttura>
Merezate+: <https://italy.climate-kic.org/success-stories/merezate>
SAFERPLACES: <https://italy.climate-kic.org/projects/saferplaces>

di di metri cubi per regione, dal 1995 al 2020, che conferma la già menzionata dipendenza dell'Europa da altri paesi riguardo l'approvvigionamento di gas naturale.

Interessante poi riportare, a conclusione del presente paragrafo la evoluzione negli ultimi dieci anni del consumo mondiale di energia primaria per fonte (figura 8) [10].

Della importanza e significatività di questi dati, in gran parte auto esplicativi, si tratterà nelle conclusioni. Meritano una nota gli impianti nucleari. Se da un lato i nuovi impianti entrati in funzione negli ultimi anni sono stati in gran parte bilanciati dal ritiro di vecchi impianti (<https://world-nuclear.org/>), circa 60 reattori sono in costruzione in tutto il mondo, e altri 110 sono previsti, di cui la maggior parte in Asia.

Il Green Deal Europeo

Come noto, la Commissione europea ha adottato con il *Green Deal* una serie di proposte per trasformare le politiche dell'UE in materia di clima, energia, trasporti e fiscalità in modo da ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, che ha dato luogo al *fit-for-fifty five package*. In que-

sto contesto, il nuovo obiettivo per la quota di energia rinnovabile per il 2030 è stato fissato al 40%, mentre quelli in termini di efficienza energetica per il consumo di energia finale primaria al 36-39% [11]. Sono obiettivi più ambiziosi rispetto a quelli della conferenza delle parti sul cambiamento climatico, la COP, rispettivamente a 40%, 32% e 32,5% [12].

Ruolo della elettrificazione

Da quando l'Europa e i suoi Stati membri si diedero nel gennaio 2008 il noto obiettivo "20-20-20", il settore elettrico italiano ha risposto in modo adeguato, al punto che nel 2019 il 39,4% della generazione elettrica totale è avvenuto attraverso fonti rinnovabili a cui, come riportano le pubblicazioni statistiche consultabili sul sito di Terna, è riconducibile al 31 dicembre 2021 il 48,4% del totale della capacità di produzione elettrica.

I settori termico e dei trasporti sono ancora saldamente dominati da fonti primarie di energia da combustibili fossili e la loro transizione elettrica, auspicata in più sedi, richiederà tempi lunghi; è comunque ragionevole ritenere che la rete elettrica sarà sempre più interessata da un costante espansione in termini di potenza prodotta e

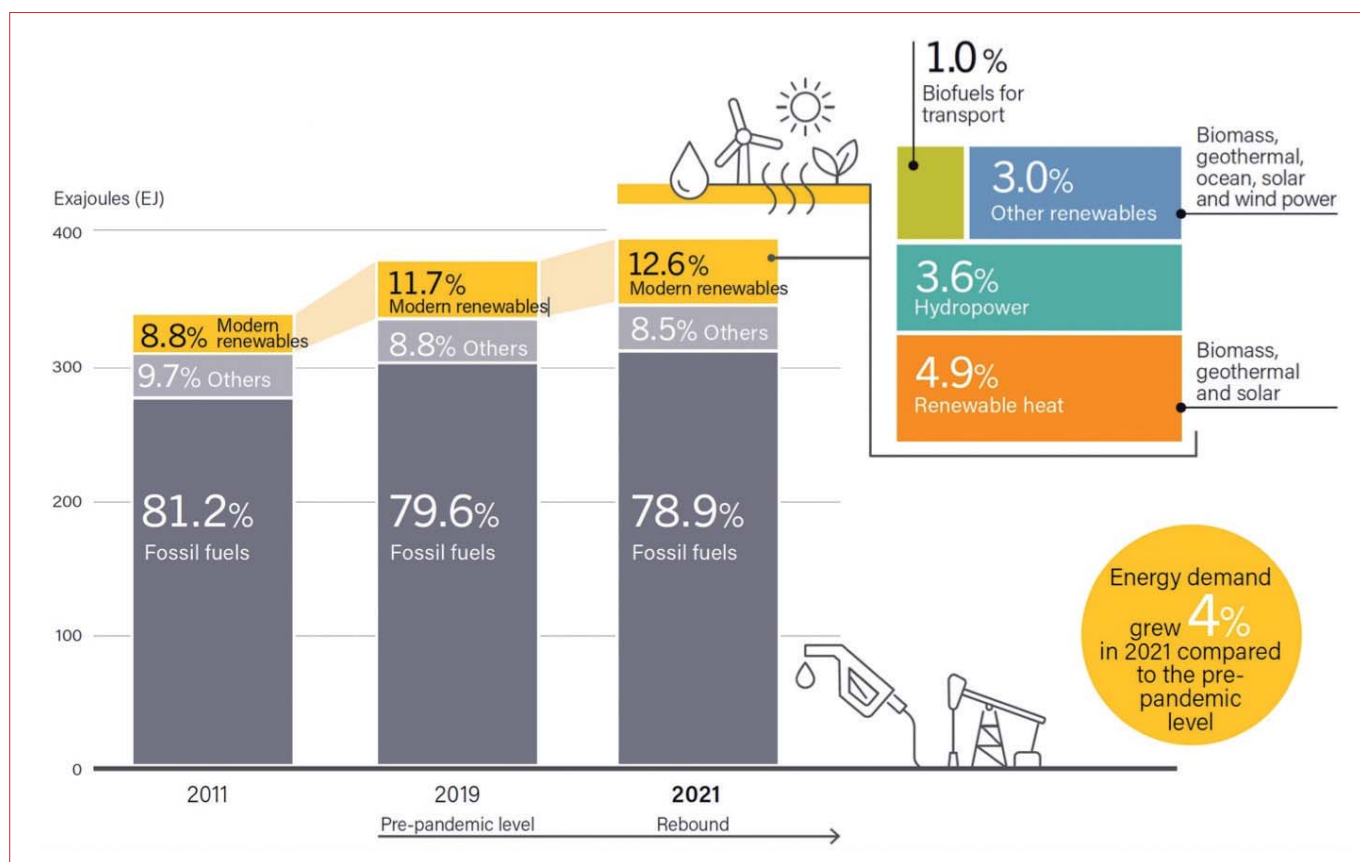


Figura 8 Andamento del consumo di energia primaria per fonte, negli anni 2011, 2019 e 2021. Others: comprende il nucleare e le biomasse tradizionali (Adattato da [10])

trasmessa, a causa dell'aumentare del fabbisogno di energia elettrica. Per il trasporto terrestre - escludiamo dal ragionamento la rete ferroviaria - è prevista una penetrazione sempre più significativa dei veicoli *full-electric* al punto che diverse fonti prevedono per l'Italia il raggiungimento del 30% al 2030 (diverso è il caso del trasporto navale e aereo, di cui qui non ci occupiamo). Anche per il settore termico - facciamo qui riferimento essenzialmente al riscaldamento - per il quale l'impiego di pompe di calore alimentate da generatori elettrici da fonte rinnovabile ha costituito negli ultimi anni una prospettiva sempre più attraente anche alla luce degli incentivi recentemente introdotti [13], è ragionevole prevedere una progressiva, crescente transizione elettrica. A ciò ci aggiunge l'idrogeno verde, o quello blu, più economico - particolarmente adatti per i settori difficili da decarbonizzare e per le attività che richiedono elevato calore di processo - la cui produzione necessita di elettrolisi. Come strumento di accumulo energetico, rispetto ai sistemi elettrochimici, l'idrogeno presenta poi il vantaggio di potere immagazzinare grandi quantità per lunghi periodi, e può essere prodotto quando la rete elettrica non è in grado di accogliere la energia derivante da fonte rinnovabile (*wind curtailment* [14]).

L'espansione e lo sfruttamento delle fonti rinnovabili richiedono, come noto, una gestione ancora più intelligente della rete, sia per la aleatorietà della disponibilità di tali fonti di energia, sia per il fatto che, almeno per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici e la maggior parte di quelli eolici, la loro connessione alla rete avviene tramite inverter. Gli inverter non sono dotati dell'inerzia meccanica che invece posseggono le masse rotanti degli alternatori delle centrali termoelettriche e idroelettriche tradizionali, provvidenziale nel far fronte, almeno nella fase iniziale, agli squilibri tra la domanda di energia da parte degli utenti e la produzione delle centrali. Da ciò nasce la necessità di equipaggiarli con inerzia sintetica, e.g. [15], mediante lo sfruttamento di sistemi di accumulo o di condensatori/super-condensatori.

La conseguente crescente complessità della gestione della rete elettrica richiede l'ampliamento delle relative infrastrutture ICT, da cui la popolare denominazione *Smart Grid*, rete intelligente. Nel futuro prossimo, si prevede che le *Smart Grid* dovranno far fronte non solo ai problemi tecnici precedentemente menzionati e alla necessità di aumentare l'efficienza del sistema, ma anche soddisfare una domanda crescente di energia spinta dalla transizione elettrica di altri settori, domanda che ha subito un rallentamento solamente durante l'emergenza COVID-19. Il quadro è poi reso an-

cora più interessante se si tiene conto della crescente diffusione di generazione distribuita da fonte rinnovabile nelle reti di distribuzione, le più vicine agli utenti finali, che da semplici *consumer*, consumatori, si stanno trasformando in *prosumer*, produttori-consumatori. La infrastruttura ICT relativa alla rete elettrica non è più quindi prerogativa essenziale della sola rete di trasmissione e subtrasmissione, ma sta estendendosi in modo sempre più capillare sulla rete di distribuzione sino agli utenti finali di bassa tensione.

È infine ragionevole prevedere che le unità di accumulo di energia, in grado di rendere più flessibile la gestione della generazione distribuita da fonte rinnovabile, vedranno una crescente, capillare diffusione soprattutto a livello di reti di distribuzione. Ciò sta avvenendo grazie alla diminuzione del costo dei sistemi elettrochimici che si stanno affiancando, aumentando progressivamente la propria importanza, al tradizionale accumulo di tipo idroelettrico. La crescente diffusione dei veicoli elettrici se da un lato rappresenta un ulteriore carico che la rete elettrica dovrà essere in grado di soddisfare, dall'altro offre l'opportunità rappresentata dagli accumulatori a bordo di essi, che possono costituire una interessante provvista di energia per la rete quando connessi alla rete mediante sistemi di ricarica bidirezionale, soprattutto se la produzione di energia elettrica avviene mediante fonte rinnovabile.

La Smart Grid e lo smart energy system

Il contesto sopra brevemente delineato, offre più di un elemento per giustificare quanto gli addetti ai lavori sostengono da alcuni anni, cioè che la *Smart Grid* costituisce l'*enabler* per eccellenza per l'implementazione del concetto di *Smart City* soprattutto con riferimento alla sostenibilità energetica. Grazie alle tecnologie ICT, le reti elettriche, termiche e del gas dovrebbero poi essere gestite in modo coordinato al fine di sfruttare le sinergie, il che rappresenta una delle sfide tecniche più interessanti per la *Smart City*, alla quale si aggiunge la considerazione che poche aree di ricerca e sviluppo richiedono una collaborazione stretta e frequente tra ricercatori con interessi diversi e complementari come l'area della *Smart City* [18].

La *Smart Grid* è quindi lo strumento principale per realizzare i cosiddetti *smart energy systems* che prevedono l'integrazione del sistema energetico. È l'integrazione del sistema energetico, realizzabile grazie alla pianificazione e al funzionamento coordinati del sistema energetico nel suo complesso, che contiene più vettori energetici, infrastrutture e settori di consumo

(figura 9), la strada che può portare a una decarbonizzazione dell'economia in linea con l'accordo di Parigi e l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile.

Secondo la "EU Energy System Integration Strategy" [19] l'integrazione del sistema energetico si deve sviluppare secondo tre concetti complementari e sinergici:

- un sistema energetico più circolare, imperniato sull'efficienza energetica, in cui sia data priorità alle scelte meno energivore, siano riutilizzati a fini energetici i flussi di rifiuti inevitabili e siano sfruttate le sinergie in tutti i settori;
- una maggiore elettrificazione diretta dei settori d'uso finale, per esempio utilizzando pompe di calore per il riscaldamento degli ambienti o per processi industriali a bassa temperatura, veicoli elettrici nel settore dei trasporti o forni elettrici in determinati settori;
- l'uso di energie rinnovabili e a basse emissioni di carbonio, compreso l'idrogeno e/o i suoi derivati, per applicazioni d'uso finali in cui il riscaldamento o l'elettrificazione diretti non sono realizzabili, o insufficienti dal punto di vista tecnico/economico.

Uno *smart energy system* dovrà garantire un approccio multidirezionale in cui i consumatori svolgono un ruolo attivo nell'approvvigionamento energetico (*prosumer*), immettendo in rete, ad esempio, l'energia elettrica che producono individualmente o in quanto parte di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER).

Al tempo stesso lo *smart energy system* deve essere in grado di ottimizzare i rendimenti tecnici delle reti energetiche interconnesse e all'interno di ogni sottorete.

Per la realizzazione di uno *smart energy system* alcuni punti risultano quindi imprescindibili:

- applicare sistematicamente il principio dell'efficienza energetica prioritariamente in tutto il sistema energetico;
- utilizzare in modo sufficiente e adeguato nei nostri edifici e nelle nostre comunità le fonti di energia locale (ad es., il riutilizzo del calore di scarto proveniente da siti industriali, centri dati o altre fonti);
- utilizzare il potenziale, sovente non sfruttato, delle acque re-

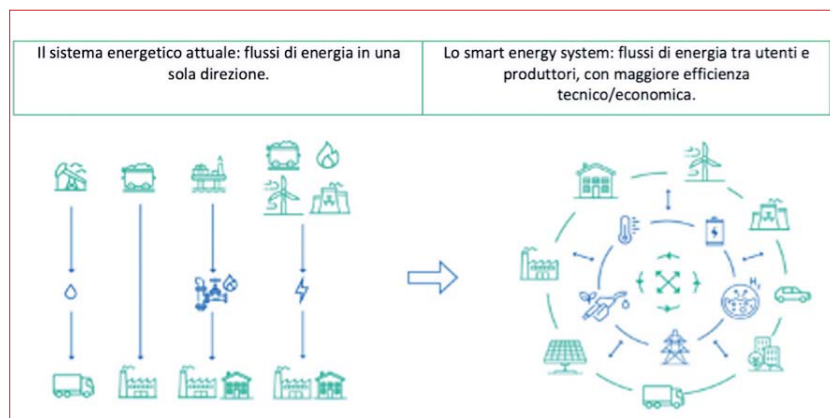


Figura 9

Smart energy system: rappresentazione concettuale in confronto con il sistema energetico tradizionale, adattato da "EU Energy System Integration Strategy" - Adattata da [19]

flue e dei residui e rifiuti biologici per la produzione di bioenergia.

Per integrare il sistema energetico in modo efficace e utilizzare al meglio le infrastrutture esistenti e prevenire la dipendenza da fonti di energia specifiche, occorre aumentare il numero di connessioni fisiche tra i diversi vettori energetici⁴. Occorre quindi un nuovo approccio olistico per la pianificazione delle infrastrutture sia su vasta scala sia a livello locale, che includa la protezione e la resilienza delle infrastrutture critiche. La pianificazione delle infrastrutture dovrebbe agevolare l'integrazione dei vari vettori energetici, consentendo di scegliere tra lo sviluppo di nuove infrastrutture o la conversione di quelle esistenti, e dovrebbe prendere in considerazione le alternative rese possibili dal *demand control* e dai sistemi di accumulo.

Nel settore industriale, più del 60% dell'energia consumata è sotto forma di calore. Le pompe di calore industriali possono quindi contribuire alla decarbonizzazione dell'approvvigionamento di calore a bassa temperatura nelle industrie e possono essere associate al recupero del calore di scarto.

La infrastruttura ICT, potenziata quindi dalla penetrazione delle fonti rinnovabili nella rete di distribuzione, la progressiva elettrificazione di alcuni settori, la disponibilità di *smart-device* da parte di consumer e prosumer, e il rapido diffondersi di app in grado di mettere tali dispositivi in comunicazione con le infrastrutture [20], potrà essere utilmente impiegata per la gestione della *Smart City*. Un esempio convincente di quanto sopra affermato è rappresentato dalle cosiddette Comunità Energetiche.

Le Comunità Energetiche

Nel 2018 e 2019, l'Unione Europea ha approvato pacchetto legislativo "Energia pulita per tutti gli europei", il summenzionato *Clean Energy Package* (CEP) [7] (noto anche come

⁴ www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-09/STEMI_Decarbonizzare%20i%20trasporti_ITA.pdf

Winter Package), composto da quattro regolamenti e quattro direttive che regolano temi energetici, tra cui: prestazioni energetiche negli edifici, efficienza energetica, energie rinnovabili, mercato elettrico⁵. L'Europa con il cosiddetto *Winter Package* si è fatta quindi promotrice di una richiesta agli stati membri di un ripensamento dei quadri regolamentari tale da determinare un maggiore coinvolgimento dei cittadini, grazie al ruolo dei prosumer e delle Comunità Energetiche nel mercato elettrico. Due sono le direttive di maggiore interesse in tal senso: la già menzionata Direttiva Rinnovabili (RED II) [21], e la Direttiva Mercato Elettrico (IEM) [22]. Le Direttive invitano gli Stati membri a normare e promuovere soluzioni legate a: Autoconsumatori, Autoconsumo collettivo e Comunità Energetiche, e a ognuna di esse fa riferimento un tipo di Comunità Energetica.

La sfida della transizione ecologica pone oggi i cittadini e i governi fronte a diverse questioni, tra cui i) la crisi energetica, con l'enorme aumento dei prezzi del gas e dell'energia elettrica che si è verificato tra il 2021 e il 2022, causato da fattori congiunturali, in particolare l'invasione russa dell'Ucraina, e da fattori strutturali; ii) la crisi sociale causata dall'impatto di questi aumenti sulla povertà energetica; iii) la crisi ecologica, spesso sinteticamente richiamate con il termine trilemma dell'energia (sostenibilità ambientale, accessibilità economica e affidabilità dell'approvvigionamento energetico) [23-25].

Un contributo non trascurabile su tutti e tre questi fronti può derivare dalla nascita delle Comunità Energetiche, incentivata nel PNRR da un fondo di 2,2 miliardi di euro. Con le Comunità Energetiche gruppi di cittadini e d'impresе possono associarsi per divenire prosumer, installando capacità produttiva da fonti rinnovabili e realizzando tre benefici:

- i) la riduzione del costo totale della bolletta (esclusi gli oneri di sistema) stimabile anche fino al 30%;
- ii) la vendita al gestore dell'energia per l'immissione in rete dell'eccedenza di energia prodotta e non autoconsumata;
- iii) gli incentivi legati alla energia condivisa per autoconsumo, fissati dalla Legge 8/2020 [30].

Le Comunità Energetiche⁶ sono associazioni di cittadini, attività commerciali o imprese per la pro-

duzione e la condivisione di energia elettrica da fonti pulite. Rappresentano secondo molti una possibilità che apre la strada a nuove opportunità di sviluppo per la transizione energetica del nostro Paese e rappresentano di fatto un esempio di *smart district*, in grado di trasformarsi in *Positive Energy Districts* - PED. Se ne menzionano qui di seguito due tipi.

Le Comunità dell'Energia Rinnovabile (CER) fanno riferimento alla Direttiva RED II: sono un soggetto giuridico, aperto alla partecipazione dei cittadini, delle autorità locali e delle imprese (di piccole e medie dimensioni). Trattano solo fonti di energia rinnovabile, elettrica e termica. La partecipazione è di tipo volontario e può essere interrotta in qualsiasi momento mantenendo comunque i diritti di consumatore finale. In esse possono inoltre essere coinvolti altri attori del mercato come installatori, ESCo, manutentori, finanziatori, ecc., senza che questi diventino necessariamente membri delle comunità; operano nel mercato dell'energia senza avere una prevalente finalità di lucro, con l'obiettivo di soddisfare esigenze di tipo ambientale, economico e sociale e, solo in ultima istanza, di profitto.

Il secondo tipo sono la Comunità dell'Energia dei Cittadini (CEC), fanno invece riferimento alla Direttiva IEM. Le CEC sono un soggetto aperto alla partecipazione aperta e volontaria dei cittadini, delle autorità locali e delle imprese (di piccole dimensioni - a differenza della CER sono escluse le medie imprese), i quali mantengono i propri diritti e obblighi di cliente attivo (un cliente finale o un gruppo di clienti finali consorziati che consuma o conserva l'energia elettrica prodotta nei propri locali situati all'interno di un'area delimitata). La partecipazione può essere interrotta in qualsiasi momento; hanno lo scopo di offrire ai membri o al territorio benefici ambientali, economici o sociali anziché profitti finanziari. Queste comunità trattano solo energia elettrica, anche da fonte non rinnovabile, senza vincoli di prossimità, possono accedere ai mercati dell'energia, partecipare alla generazione, alla distribuzione, alla fornitura, al consumo, all'accumulo, ai servizi di efficienza energetica e ai sistemi di ricarica per veicoli elettrici. Gli stati membri possono consentire che le CEC gestiscano, posseggano o comprino reti di distribuzione, e siano finanziariamente responsabili degli

⁵ Le direttive UE stabilite dal CEP, che cercano di mettere in atto quadri giuridici adeguati a consentire la transizione energetica e a dare un ruolo di primo piano ai cittadini nel settore dell'energia, devono essere seguite da leggi nazionali sui rispettivi temi. Il termine per il recepimento delle direttive da parte degli Stati membri dell'UE e, di conseguenza, per la stesura di legislazioni nazionali, era giugno 2021, termine slittato per varie ragioni, tra cui la emergenza pandemica.

⁶ Le Comunità Energetiche hanno nel nostro paese una tradizione che risale addirittura al periodo a cavallo del '900 quando nacquero le prime esperienze nelle zone alpine ricche di energia idroelettrica. Per esse, così come per tutti quelli instaurate prima dell'entrata in vigore della Legge 8, non vale il meccanismo di remunerazione tramite incentivi dell'energia condivisa. L'Unione europea stima al momento l'esistenza di circa 4.000 comunità energetiche, il numero è peraltro in crescita.

squilibri che apportano alla rete. Una città con un numero consistente di CER, e anche di CEC, ricalcherebbe quindi sotto numerosi punti di vista il modello di *Smart City* previsto dalla *Mission*.

Le Comunità Energetiche con la loro potenzialità di ridurre il costo dell'energia per famiglie e imprese sono una soluzione al caro bolletta presente e futuro; accelerare il più rapidamente possibile il varo delle Comunità Energetiche si ritiene sia una componente necessaria nella strategia del paese verso la transizione ecologica, data anche la possibile partecipazione di esse al mercato, prevista dalla direttiva UE 2019/9446. Un altro aspetto significativo di questa tipologia è la sua capacità di risposta dal basso al problema energetico, creando associazioni tra diversi attori (amministrazioni comunali, diocesi, parrocchie, associazioni di terzo settore, piccole imprese, cittadini) per il bene comune.

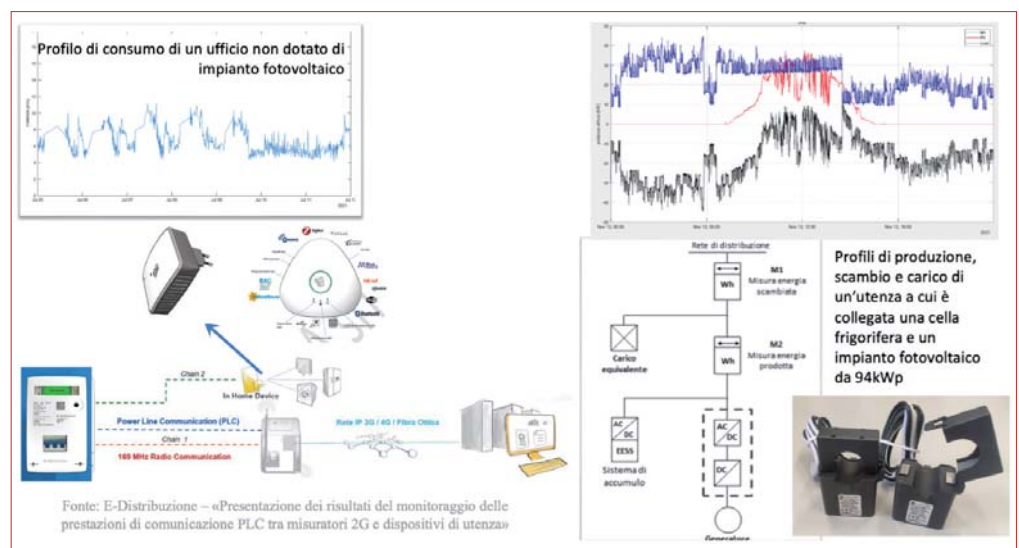
Le CER si prevede possano incrementare l'autoconsumo di energia autoprodotta e contribuire in modo non trascurabile alla transizione ecologica, se, come auspicato in più sedi, entro il 2030 il 20% dell'energia consumata in una città provenisse da Comunità Energetiche. Considerando che il consumo di energia elettrica per una famiglia tipo in Italia è di circa 2.700 kWh, si potrebbe arrivare a evitare emissioni relative di circa 950 kg CO₂/anno. I punti chiave da salvaguardare sono il premio per l'autoconsumo e l'estensione del concetto di autoconsumo all'energia non prodotta e consumata istantaneamente ma accumulata in loco dalla Comunità Energetica e utilizzata successivamente. Il premio per l'autoconsumo, che rappresenta a oggi la parte più significativa del beneficio, ha una sua ben precisa ratio. La transizione ecologica aumenterà, per quanto esposto in precedenza, i flussi di energia sulla rete elettrica determinando quindi oneri importanti di gestione e investimenti e di riorganizzazione della stessa (*Smart Grid*). Un si-

stema di produzione geograficamente diffuso e partecipato composto da molti attori che autoconsumano ciò che producono localmente riduce la quota di energia prodotta che fluisce lungo le reti elettriche, riducendo il rischio di congestionamento e di disservizi e rendendo meno urgenti gli investimenti necessari al loro potenziamento.

Per consentire ai cittadini di modificare i modelli di consumo energetico e di passare a soluzioni che sostengano uno *smart energy system*, e.g. [26, 27], è poi essenziale che questi dispongano di informazioni chiare e facilmente accessibili. I clienti - cittadini e imprese - dovrebbero essere informati sui loro diritti, sulle opzioni tecnologiche disponibili, sulle emissioni di carbonio e sull'impronta ambientale associate, di modo che possano compiere scelte informate e guidare realmente la decarbonizzazione. Vi sono infatti limiti alle capacità degli attuali contatori "intelligenti" di nuova generazione, che non essendo dotati di SIM non permettono ai membri delle CER di scambiare dati in tempo reale o comunque utili per gestire in modo ottimale e indipendente i flussi energetici della microrete relativa. Per far fronte a questa limitazione, oggi sono previsti *meter* da affiancare in parallelo ai contatori intelligenti dei distributori dell'energia elettrica (soluzioni PL2 chain o NILM, figura 10), non sempre di immediata implementazione [28]. La disponibilità di sensori, estesa anche ai carichi, renderebbe possibile l'implementazione del concetto di *Demand Side Management* (DMS), che consentirebbe il controllo *smart* dei carichi. L'importanza di tali ausili tecnici per le Comunità Energetiche risulta evidente se si ricorda che gli incentivi previsti dipendono dalla quantità di energia autoconsumata. I principali elementi sui quali è possibile agire per ottimizzare al meglio i flussi della Comunità Energetica al fine di massimizzare gli incentivi sono i sistemi di accumulo e i carichi col-

Figura 10 ▶

Esempi di implementazioni di smart metering con tecnologie PL2 Chain e NILM - Adattato da [28]



legati alla comunità stessa (non è possibile chiaramente gestire la fonte rinnovabile che è disponibile in modo aleatorio). La possibilità di avere a disposizione un sistema di gestione o *energy management system* (EMS) della Comunità Energetica in grado di ottimizzare i flussi gestendo l'accumulo e il DSM è quindi legato alla disponibilità di raccogliere e distribuire i dati provenienti dal sistema di *metering* installato e dalla capacità di agire in tempo reale sulle fonti di accumulo e sui carichi [28-29].

In [29] sono riportati i risultati ottenuti per una installazione sperimentale cui l'EMS è interfacciato con un *Real Time Digital Simulator* che utilizza i dati attuali e/o storici provenienti da dispositivi iPL2 Chain e dispositivi NILM installati in un quartiere urbano del distretto Roveri di Bologna. L'approccio proposto è testato in due contesti: nel primo, il simulatore rappresenta un sistema di accumulo (*Battery Energy System* - BES), mentre i dati provengono da dispositivi effettivamente installati presso prosumer/consumatori (figura 11a); nel secondo (figura 11b) il simulatore, oltre al BES rappresenta anche una CER virtuale insieme ai suoi contatori e dispositivi di misura. Il sistema realizzato è utile ai fini della progettazione e della gestione ottima dei flussi energetici della CER, esempio massimizzare la quota di energia condivisa grazie alla gestione ottima del sistema di accumulo.

Nell'ambito delle CER acquisterà in tale contesto sempre più

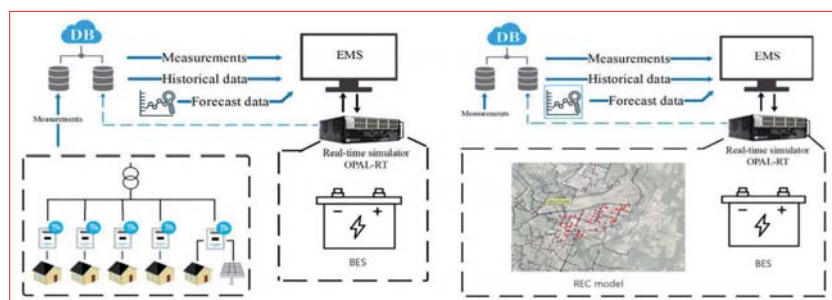


Figura 11
a) Energy Management System di una Comunità Energetica Rinnovabile che utilizza dati storici, previsioni e dati in tempo reale, interfacciato con un Real Time Digital Simulator - RTDS di un Battery Energy System - BES b) come in a) con dati in tempo reale simulati da RTDS di una Comunità Energetica Rinnovabile - REC model - Adattato da [29]

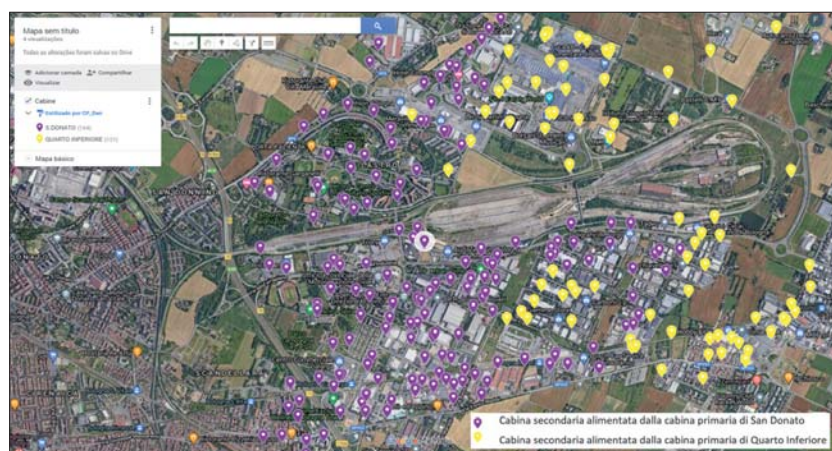


Figura 12
Possibile estensione delle Comunità Energetiche nell'area bolognese di Pilastro-Roveri alla luce della nuova legislatura - Adattato da [28]

importanza il ruolo svolto dalle cabine primarie e secondarie della rete di distribuzione. Le cabine secondarie sono state oggetto della Legge 8/2020 [30] che limitava la potenza delle CER a un massimo di 200 kW e prescriveva che i membri della CER dovessero sottostare alla stessa cabina secondaria. Le cabine primarie sono state invece l'oggetto del recepimento della Direttiva FER II (D.Lgs. n. 199/2021 [31]), che ha superato le limitazioni precedenti prevedendo una potenza degli impianti minore o uguale a 1MW (di cui il 30% può essere anche di vecchi impianti) e disponendo che i membri di una CER siano collegati alla stessa cabina primaria. La disponibilità degli schemi di collegamento degli impianti della rete elettrica cittadina risulta pertanto un elemento rilevante. La figura 12 mostra l'impatto che può assumere il recepimento della Direttiva FER II, secondo il summenzionato D.Lgs. n. 199.

Considerazioni conclusive

Il raggiungimento della neutralità climatica globale riguarda in gran parte le attività che si svolgono nelle città e la produzione della energia necessaria per esse. Da parte dell'Europa vi è attualmente un impegno molto forte per supportare cento città, recentemente selezionate, nel raggiungimento di tale obiettivo per il 2030: la *Mission Climate Neutral and Smart Cities* [32-33]. Essa coniuga l'obiettivo della neutralità climatica con l'implementazione del modello di *Smart City*, due concetti che oggi non è concepibile disaccoppiare, e ha l'ulteriore obiettivo di garantire che le cento città fungano da *hub* di sperimentazione e innovazione per consentire a tutte le città europee di seguire l'esempio entro il 2050. Se da un lato è chiaro che non esiste una soluzione unica per il raggiungimento della neutralità climatica, adatta per tutti i contesti, dall'altro la scelta delle politiche di investimento tecnologico e di regolamentazione richiede una valutazione multidisciplinare dei possibili impatti ambientali, so-

ciali ed economici delle diverse opzioni, di tutt'altro che semplice effettuazione. La "sperimentazione" che l'Europa ha pianificato per le 100 città, e i risultati che ne dovrebbero conseguire, avranno pertanto un grande valore generale.

I consumi mondiali, europei, e nazionali sono peraltro tali da fare prevedere che l'uso di combustibili fossili, ancora estremamente elevato, non potrà essere eliminato nel giro di breve tempo. L'efficientamento degli impianti esistenti pare un ragionevole obiettivo per il breve termine, così come il reperimento di alcune delle fonti fossili meno inquinanti. Anche sul fronte dell'energia nucleare, sempre con l'obiettivo di diversificare il più possibile le fonti di energia primaria, la ricerca sta proseguendo in diversi paesi.

È parere di chi scrive che occorra differenziare il più possibile sia le fonti primarie di energia sia i materiali e le tecnologie che vengono impiegate allo scopo: non esiste un'unica soluzione miracolosa per realizzare la transizione energetica, e si ritiene che sia poco razionale inseguirla. È un problema che riveste enormi interessi, e il mondo accademico ha il dovere di discuterne senza essere condi-

zionato da questi ultimi. Dell'economia invece occorre occuparsene: soluzioni a rischio prossimo allo zero, ma a costo insostenibile non sono proponibili. Negli ultimi 10 anni l'uso di fonti rinnovabili è aumentato, rispetto al totale dall'8,8% del 2011, al 12,6% del 2021, il che comporta un aumento in valore assoluto superiore dato che i consumi energetici complessivi sono cresciuti da circa 340 Exajoule (2011) a poco meno di 400 Exajoule (2021), ma che è ancora un valore molto basso rispetto agli obiettivi 2030 e 2050 della *Conference of Parties* e a quelli ancora più ambiziosi della Unione Europea. Pare quindi ragionevole, anche eliminando dal tavolo della discussione l'origine dei cambiamenti climatici, che il futuro debba essere comunque dedicato a una progressiva riduzione dell'uso di fonti fossili e un aumento di quelle rinnovabili, sempre valutandone e tenendone monitorato il *Life Cycle Assessment* (LCA) dei relativi impianti e componenti (o il LCA semplificato).

La transizione energetica sta puntando in gran parte sulla progressiva elettrificazione dei consumi di vari settori, che dovrà essere accompagnata da una crescente diffusione di generatori elet-

BIBLIOGRAFIA

- [1] Directorate-General for Research and Innovation (European Commission): 100 Climate-Neutral Cities by 2030 - by and for the Citizens, *Interim Report of the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities*, ISBN 978-92-76-19920-5 doi: 10.2777/345941, https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en
- [2] D.J. Hofmann, J.H. Butler, P.P. Tans: A new look at atmospheric carbon dioxide, *Atmospheric Environment*, 43, 2009, pp. 2084-2086.
- [3] https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2_data_mlo.pdf
- [4] <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [5] www.isprambiente.gov.it/attivita/cambiamenti-climatici/landamento-delle-emissioni
- [6] H. Gronkiewicz-Waltz, A. Larsson, A. Boni et al.: (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation): Report of the mission board for climate-neutral and smart cities, *100 climate-neutral cities by 2030 - by and for the citizens*, Publications Office, 2020: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/46063>
- [7] European Commission, Directorate-General for Energy: *Clean energy for all Europeans*, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937>
- [8] *Statistical Review of World Energy 2021*, BP plc, 2021: www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf
- [9] <https://dgsaie.mise.gov.it/bilancio-gas-naturale>
- [10] https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/global_overview/
- [11] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF
- [12] <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- [13] D.L. 19 maggio 2020, n.34: *Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19*.
- [14] X. Dong, C. Kang, Y. Ding, C. Wang: Estimating the Wind Power Integration Threshold Considering Electro-Thermal Coupling of Overhead Transmission Lines, in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, n. 5, pp. 3349-3358, Sept. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2906291.
- [15] J.D. Rios Penalzoa, A. Prevedi, A. Joshi, F. Napolitano, F. Tossani, A. Borghetti: On-line Inertia Estimation in Presence of Distributed Energy Resources, in: International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, *SEST 2023*, pp. 1 - 6.
- [16] European Network of Transmission System Operations for Electricity (ENTSO-E), Rate of Change of Frequency (ROCOF) withstand capability: ENTSO-E guidance document for national implementation for network codes on grid connection, 2017.
- [17] Ministero dello sviluppo economico: La situazione energetica nazionale nel 2019, *Rapporto MISE - Direzione generale per le infrastrutture e la sicurezza dei sistemi energetici e geominerari*, giugno 2020.
- [18] G. Betis, C.G. Cassandras, C.A. Nucci: Smart Cities [Scanning the Issue], *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, Issue 4, 2018, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2812998>
- [19] https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en
- [20] O. Andrisano, I. Bartolini, P. Bellavista et al.: The Need of Multidisciplinary Approaches and Engineering Tools for the Development

trici alimentati da fonte rinnovabile e di sistemi di accumulo distribuiti, aumentando conseguentemente la complessità della gestione dei sistemi elettrici per l'energia. A ciò ci aggiunge il ruolo dell'idrogeno, vettore energetico particolarmente adatto per le attività che richiedono elevato calore di processo, la cui produzione necessita di elettrolisi e che, come strumento di accumulo energetico, ha il vantaggio di potere immagazzinare grandi quantità per lunghi periodi. La progressiva diffusione di ICT dai centri di produzione sino a quelli di utilizzo, anche in forma capillare, e la digitalizzazione smart intersettoriale, sono di conseguenza un'altra componente fondamentale della transizione energetica.

In tempi brevi, la instaurazione di Comunità Energetiche di prosumer, prevista dalle direttive Europee RED II e IEM, può fornire una risposta in grado di risolvere una parte non trascurabile del problema se, come auspicato da più parti, entro il 2030 il 20% dell'energia consumata in una città potesse provenire da Comunità Energetiche, e sottolinea l'importanza che il sistema elettrico e le *Smart Grid* rivestiranno sempre più in tale contesto.

Questo elaborato è ispirato a quanto presentato dallo scrivente il 16 marzo 2021 nel corso della Lezione inaugurale del 332° Anno Accademico dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna "Città intelligenti e neutralità climatica: verso la transizione energetica". Il testo, aggiornato, è ampiamente tratto dalla Nota avente il medesimo titolo, presentata dallo scrivente il 10 novembre 2022 all'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere [34] e dal contributo basato su di essa pubblicato sui *Proceedings of the Academy of Science of Bologna* [35]. Desidero ringraziare sentitamente sia il collega Walter Tega, precedente presidente dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna per l'invito a tenere la Lezione inaugurale, il collega Andrea Silvestri per l'invito a tenere la Relazione all'Istituto Lombardo, l'attuale presidente dell'Accademia di Bolognese Luigi Bolondi e il collega Pierluigi Contucci per l'invito a partecipare alla serie degli *Annales*. Alcune delle considerazioni contenute sono il frutto di scambi di idee e di lavoro in comune con la mia *Alternate Representative* nella *EU Mission "Climate-Neutral and Smart Cities"*, Giuseppina Pappalardo, Direttore facente funzione dell'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del CNR, e con i colleghi Francesco Luca Basile ed Eleonora Riva Sanseverino, rappresentante italiano ed esperto nazionale nel cluster 5 *Climate Energy and Mobility di Horizon Europe*. Un ringraziamento particolarmente sentito ai miei colleghi Alberto Borghetti, Fabio Napolitano e Fabio Tossani, componenti del gruppo di ricerca Sistemi elettrici per l'energia dell'Università di Bologna con i quali collaboro da molti anni.

- and Implementation of the Smart City Paradigm, *Proceedings of the IEEE*, 106(4), 2018, pp. 738-760, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2812836>
- [21] Unione Europea: *Directive UE 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources*, dicembre 2018, <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- [22] Unione Europea: *Directive UE 2019/944 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU*, giugno 2019, <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>
- [23] F.L. Basile, L. Becchetti, C.A. Nucci: Produzione collettiva di energia rinnovabile nelle città: Positive Energy Districts, Comunità Energetiche Rinnovabili, *Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche*, ottobre 2022 www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-10/STEMI_Le%20città%20a%20impatto%20climatico%20zero_ITA_v1.pdf
- [24] F. Cappellaro, G. D'Agosta, P. De Sabbata, F. Barroco, C. Carani, A. Borghetti, L. Lambertini, C.A. Nucci: Implementing energy transition and SDGs targets throughout energy community schemes, *Journal of Urban Ecology*, n. 8, 2022, pp. 1-9.
- [25] S.O.M. Boulanger, M. Massari, D. Longo, B. Turillazzi, C.A. Nucci: Designing Collaborative Energy Communities: A European Overview, *Energies*, n. 14, 2021, pp. 8226-8226.
- [26] S. Lilla, C. Orozco, A. Borghetti, F. Napolitano, F. Tossani: Day-Ahead Scheduling of a Local Energy Community: An Alternating Direction Method of Multipliers Approach, *IEEE Transactions on Power Systems*, 35, pp. 1132 - 1142, 2020.
- [27] S. Hussain, C.Z. El-Bayeh, C. Lai, U. Eicker: Multi-Level Energy Management Systems Toward a Smarter Grid: A Review, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 71994-72016, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078082.
- [28] A. Borghetti, F. Napolitano, C.A. Nucci et al.: Test and validation report on GECO system, GECO - Green Energy Community, Deliverable 210046-D04 supporting Output 210046-O03 "Prosumer system experiment", *Climate KIC project, Internal document*, 2022, www.climate-kic.org/?s=geco
- [29] A. Prevedi, J.D.R. Penalzoza, T. Pontecorvo et al.: Optimal operation of renewable energy communities through battery energy systems: a field data-driven real-time simulation study, *Proc. International Conference on Smart Energy Systems and technologies (SEST)*, Mugla, Turkey, 4-6 settembre 2023.
- [30] Legge 8 che converte in legge il D.L. n. 162, b30 dicembre 2019 (noto anche come *Decreto Milleproroghe*).
- [31] Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199: Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
- [32] Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile: *Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche*, ottobre 2022, www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-10/STEMI_Le%20città%20a%20impatto%20climatico%20zero_ITA_v1.pdf
- [33] C.A. Nucci: La Mission EU "Climate Neutral and Smart Cities", *AEIT*, n. 11-12, novembre/dicembre 2020, ISSN 1825-828K.
- [34] C.A. Nucci: Città intelligenti e neutralità climatica: verso la transizione energetica, *Rendiconti. Classe di Scienze Matematiche e Naturali*, vol. 156, 2022, p. 141-168.
- [35] C.A. Nucci: Neutralità climatica e transizione energetica: il ruolo delle città intelligenti e delle comunità energetiche, *Annales, Proceedings of Bologna Academy of Science, Bologna University Press*, 2003, ISSN: 2975-2302, ISBN: 979-12-5477-324-6, DOI: 10.30682/annalesps2301.