



Università della Valle d'Aosta

Université de la Vallée d'Aoste

Scienze dell'economia e della gestione aziendale

***Smart grids: il ruolo delle reti
elettriche intelligenti nell'ambito
dello sviluppo sostenibile***

Candidato: Michel Florio

Relatore: Anna Maria Alessandra Merlo

Anno accademico 2021-2022

INTRODUZIONE

Dopo più di un secolo di dipendenza da un modello energetico, incentrato sullo sfruttamento di fonti energetiche fossili per la produzione di energia, una serie di eventi di portata globale e di diversa natura, verificatosi negli ultimi due decenni hanno sconvolto completamente le garanzie, i modelli e gli schemi di comportamento del passato, costringendo le economie sviluppate a mettere in atto provvedimenti per una transizione energetica radicale e che abbia luogo nel minor tempo possibile. Tale transizione indubbiamente incorpora valori ambientali, di salvaguardia e di attenzione verso le risorse del pianeta e il loro sfruttamento, altresì in questa presa di posizione sono altrettanto importanti gli interessi economici e geopolitici delle nazioni e delle entità sovranazionali.

Nel presente contesto la diffusione di sistemi che permettano di accrescere l'efficienza energetica, senza dover implementare il numero di impianti esistenti è di primaria importanza e completamente in linea con gli interessi manifestati dai governi. Motivazioni per le quali sono stati stanziati ingenti risorse economiche al fine di poter sfruttare il grande potenziale di queste tecnologie. Pur non trattandosi della soluzione ultima al problema energetico mondiale, le reti intelligenti operano con il fine ultimo di gestire in maniera ottimale l'elettricità prodotta, nell'ottica di risparmio energetico e quindi economico.

Si tratta di un argomento molto ampio che racchiude sotto la sua definizione diverse tecnologie, alcune già ampiamente utilizzate e di uso comune e altre ancora in fase di sviluppo. Grazie all'interconnessione di queste diverse tecnologie si può ambire all'efficienza massima di sistema, che permetterebbe di attuare un concreto cambio di passo nel processo di transizione energetica attualmente in atto.

INDICE

INTRODUZIONE

1.	LA SITUAZIONE ENERGETICA GLOBALE	1
1.1.	Cenni storici ed evoluzione del rapporto con l'energia	1
1.2.	Inquadramento del contesto e analisi della situazione odierna.....	3
1.3	Situazione energetica in Italia e in Valle d'Aosta	7
1.4	Le alternative per uno sviluppo energetico sostenibile.....	11
1.5	Mix energetico del futuro, tendenze e PNRR	14
1.6	Le recenti dinamiche e il REpowerEU	15
2.	LA TECNOLOGIA <i>SMART GRID</i>	19
2.1.	Introduzione <i>smart grid</i>	19
2.2	Diffusione delle <i>smart grids</i> e differenze rispetto alla rete tradizionale	22
2.3	Il funzionamento delle <i>smart grids</i>	26
2.4	<i>Smart grids</i> ed energie rinnovabili.....	30
2.5	Il mercato delle Smart grids e gli investimenti nel settore.....	33
2.6	Modelli concreti di attuazione della tecnologia smart grid, i casi "Enel – Telegestore" ed "Energy Pool"	35
2.7	Il contesto locale: l'idroelettrico	39
3.	PROSPETTIVE FUTURE	41
3.1	Le opportunità offerte dalla tecnologia e le comunità energetiche.....	41
3.2	Limiti della tecnologia e trattamento dati prospettive di crescita e sviluppo e intelligenza artificiale.	43
3.3	Inquadramento della tecnologia nel contesto green economy e PNRR e F.E.R.	46

CONCLUSIONE.....	48
INDICE DELLE FIGURE.....	50
INDICE DEI GRAFICI	51
RIFERIMENTI	52

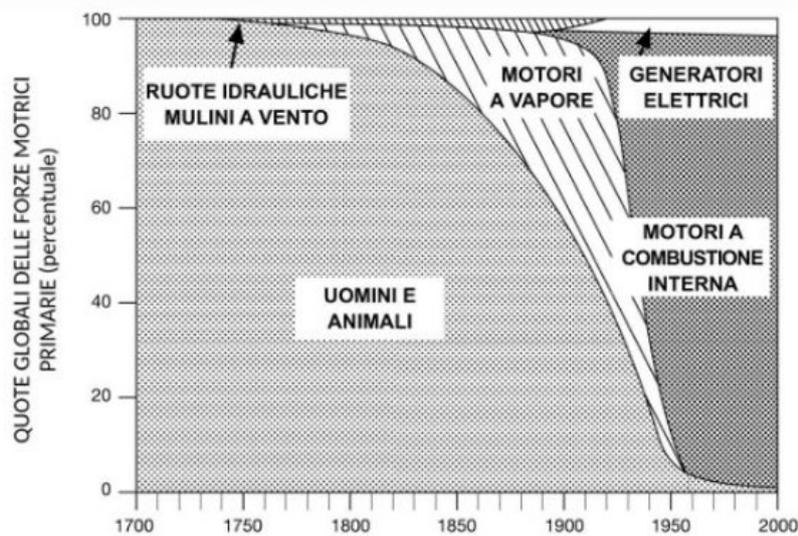
1. LA SITUAZIONE ENERGETICA GLOBALE

1.1. Cenni storici ed evoluzione del rapporto con l'energia

Storicamente, durante la storia dell'evoluzione umana si è assistito a un impiego sempre crescente dell'energia. Partendo dall'antichità, periodo in cui veniva impiegata l'energia dei braccianti, in seguito si progredì grazie all'energia della trazione animale, successivamente si diffuse lo sfruttamento dell'energia cinetica dell'acqua per azionare i mulini, arrivando alla rivoluzione industriale con l'impiego del vapore, prodotto mediante l'utilizzo del carbone. Oggigiorno la civiltà è progredita ulteriormente grazie all'impiego dei motori termici compatti, delle centrali di produzione di elettricità e come ultima frontiera attraverso la generazione di energia proveniente da processi diversi dalla combustione, come l'eolico, il fotovoltaico e l'idroelettrico.

Per chiarificare quanto scritto e dare un'idea della progressione del settore energetico nella storia, considerando i cantieri per le grandi opere dell'antichità dove venivano impiegati centinaia o anche migliaia di lavoratori, si veniva a generare una potenza complessiva che andava dai 10000 w ai 100000 w (60-100 w di potenza muscolare per lavoratore erogata mediamente nell'arco della giornata lavorativa). Ebbene, questa potenza non è superiore a quella prodotta da un motore di un'odierna macchina movimento terra¹.

¹ Vaclav S. (2021), Energia e civiltà. Una storia, Hoepli



2

Figura 1 - il presente grafico indica le quote globali delle differenti forze motrici, nell'evoluzione umana dal 1700 all'inizio del nuovo millennio.

Dal grafico sovrastante, emerge in maniera chiara, quanto siano cambiate le forme di energia durante gli ultimi tre secoli, passando dalla quasi totalità dell'energia prodotta, a partire dalla trazione animale e forza muscolare umana a una situazione intermedia in cui è stato determinante lo sviluppo della macchina a vapore, per finire nel periodo contemporaneo in cui sostanzialmente la totalità della forza motrice generata deriva da motori a combustione interna.

Considerando invece l'aspetto economico, durante gli anni è stata drastica la diminuzione del costo dell'energia (intesa sia in termini di energia primaria che secondaria). La costante decrescita del prezzo dell'energia è dovuta principalmente ai progressivi guadagni in termini di efficienza che sono stati conseguiti nel tempo. I prezzi in termini reali dell'energia, nel corso del XX secolo sono diminuiti del 75%³. Mentre per quanto riguarda l'elettricità l'abbassamento dei prezzi è stato ben più importante nel corso dell'ultimo secolo, infatti, la diminuzione dei prezzi in termini reali della corrente elettrica in Europa

² Vaclav S. (2021), Energia e civiltà. Una storia, Hoepli

³ Kander A., Malanima P., Warde P. 2013 – Power to the people: Energy in Europe over the last five centuries. Princeton (NJ), Princeton University.

occidentale e in Nord America si attesta intorno a un abbassamento del 97-98%⁴. Bisogna però specificare che questo dato è rappresentativo di un settore che in molti paesi, ha goduto e gode tuttora di agevolazioni fiscali o sovvenzioni per favorirne la crescita, non si tratta dunque di un risultato unicamente imputabile al progresso tecnologico. Inoltre, il prezzo dell'energia odierno non tiene conto del fattore ambiente, vale a dire dei costi legati all'inquinamento e alla produzione di gas a effetto serra con tutte le conseguenze che ne derivano.

1.2. Inquadramento del contesto e analisi della situazione odierna.

Tutte le proiezioni per il futuro ci indicano che la domanda globale di elettricità sarà destinata a crescere negli anni, di pari passo con lo sviluppo economico globale. Questa situazione sebbene potrebbe apparire preoccupante, in realtà non lo è così tanto, grazie al fatto che siamo perennemente circondati da energia, in qualsiasi momento, il problema è trovare un modo per poterla sfruttare, trasformandola e incanalandola per poterla impiegare a piacimento.

Grazie al progresso tecnico e allo sviluppo economico, possiamo assistere a due tendenze opposte che agiscono nel medesimo momento, si tratta; da una parte del maggiore fabbisogno di energia dovuto allo sviluppo economico, che necessita di sempre maggiori quantitativi di energia per poter soddisfare una domanda crescente provocata dal maggior benessere generato. Dall'altro lato troviamo una diminuzione dell'energia richiesta per unità di prodotto (intensità energetica⁵),

⁴ Kander A., Malanima P., Warde P. 2013 – Power to the people: Energy in Europe over the last five centuries. Princeton (NJ), Princeton University.

⁵ Si intende intensità energetica, il rapporto tra il consumo di energia e una misura del prodotto (per esempio un elettrodomestico). Sempre legato a questo concetto troviamo l'intensità energetica del PIL, che è misurata in energia, per dollaro di PIL. Vale a dire, quanta energia è

dovuto all'efficientamento dei processi e dei macchinari che sono meno energivori, grazie al progresso tecnico. Il risultato di queste due tendenze contrapposte ci pone di fronte a una crescita della domanda energetica globale, trainata dall'aumento della produzione e della crescita massiccia di macchinari e apparecchiature che operano grazie all'energia.

Fino ad ora si è parlato di energia in termini generali, ma è bene poter distinguere l'energia elettrica, che possiamo definire energia secondaria (quella che utilizziamo quotidianamente anche nel contesto domestico), dall'energia primaria, che viene generata tramite l'utilizzo di materie prime, (si tratta quasi sempre della combustione di elementi di origine fossile) da impiegare all'interno di macchinari al fine di fargli svolgere un determinato servizio. In questo senso è senz'altro importante prendere coscienza che nel processo di produzione dell'energia elettrica derivante da fonti fossili, come petrolio, gas naturale o carbone, una parte non trascurabile, viene dispersa. Anche se in realtà più che di dispersione si può parlare di vero e proprio dispendio, infatti, una parte della materia prima, utilizzata per la produzione di energia, viene trasformata in calore⁶. Calore che molto spesso viene dissipato sotto forma di vapore oppure di acqua calda.

Per quanto concerne il gas naturale, che attualmente è il combustibile più utilizzato in Italia per la produzione di energia elettrica, l'efficienza energetica della centrale più tecnologicamente avanzata supera il 60%⁷. Tuttavia, si tratta di un solo impianto particolarmente performante, infatti se viene fatta una media del rendimento tra gli impianti del nostro paese, otterremo un rendimento

necessaria alla produzione di un dollaro aggiuntivo di PIL. Una bassa intensità energetica in un paese sviluppato è sintomo di maggiore efficienza energetica.

⁶ Si tratta di un fenomeno fisico, teorizzato da Kelvin Planck. Il quale enuncia il secondo principio della termodinamica. Potendolo riassumere in breve, esso stabilisce che in un processo termodinamico non è possibile trasformare la totalità del calore generato in energia, senza disperderne una parte. In sostanza il rendimento di una macchina non può essere 100%, ma sarà sempre un valore inferiore.

⁷ Grassia L. (2009), "A Marghera la centrale più efficiente d'Europa", La Stampa 5 marzo 2019 (<https://www.lastampa.it/economia/2019/03/05/news/a-marghera-la-centrale-piu-efficiente-d-europa-1.33685519/>)

complessivo, più prossimo al 50%⁸. Quanto scritto è utile a fornire maggiore consapevolezza, in merito al fatto che l'utilizzo di energia elettrica, oltre alle perdite dovute al trasporto e alla trasformazione, comprende una perdita dovuta al processo di generazione dell'elettricità. Questo ragionamento è replicabile a tutte le macchine che creano energia a partire da qualsiasi fonte, ma nel caso dei combustibili fossili in generale, quest'efficienza è particolarmente bassa, e risulta migliorabile solamente fino a un determinato limite fisico, oltre il quale non è possibile ottenere un processo più efficiente.

Come riportato precedentemente, il consumo complessivo di energia è in costante aumento, ma questo risulta vero, in particolare in periodi in cui si assiste a una crescita economica. Infatti, il fenomeno del consumo di energia e lo sviluppo economico sono strettamente correlati e all'aumentare dell'uno aumenta conseguentemente anche l'altro fattore. Per un futuro energeticamente più responsabile sarebbe senz'altro auspicabile arrivare a scindere questo rapporto, disaccoppiando di fatto questi due elementi, cosicché il PIL possa crescere percentualmente più di quanto l'intensità energetica del PIL si abbassi percentualmente, arrivando così ad ottenere un equilibrio o se non addirittura una diminuzione nel consumo di energia complessivo.

Oltre all'aspetto di penuria energetica, ambientale e legato all'efficienza energetica; esiste anche una tematica fondamentale legata agli squilibri che i flussi di denaro derivanti dall'estrazione di combustibili fossili, inevitabilmente creano in particolar modo per quel che riguarda gli idrocarburi. Durante il secolo scorso, la presenza e il controllo dei pozzi di estrazione degli idrocarburi sono stati determinanti per la definizione degli equilibri geopolitico mondiali, si pensi alla situazione di instabilità presente in Medio Oriente che si protrae tale da svariati decenni, essa è stata influenzata pesantemente dalla presenza di fonti fossili nel sottosuolo. In particolare, il petrolio, negli anni ha assunto un valore economico crescente, tale da costituire una delle materie prime, principali fautrici della

⁸ Ranci P. (2011), Economia dell'energia, Il mulino

crescita del Novecento. In particolare, occorre ricordare che questo mercato è stato in mano per più di mezzo secolo a un oligopolio collusivo, il quale, ha assunto un'importanza primaria, in quello che è lo scacchiere economico mondiale.

L'oscillazione del prezzo, soprattutto se avviene in breve tempo è in grado di ribaltare gli equilibri politici ed economici di intere nazioni, così come definire il successo economico di un paese oppure il suo tracollo, esempio lampante potrebbe essere individuato negli Emirati Arabi Uniti e nel Venezuela, due aree geografiche incredibilmente ricche di idrocarburi, che vivono in situazioni economiche e sociali diametralmente contrapposte.

Questo discorso è decisamente valido per il petrolio, la cui concentrazione nelle differenti zone geografiche è iniqua. Eppure, lo stesso discorso non è valido per il carbone, combustibile molto utilizzato come fonte di energia primaria agli inizi dell'industrializzazione e utilizzato oggi principalmente come fonte di energia secondaria. Il carbone è un combustibile abbondante nel sottosuolo e sicuramente più equamente distribuito nei continenti, il suo consumo negli anni è cresciuto e la tendenza è di continuità di questa crescita almeno nel futuro prossimo. In effetti i vantaggi legati a questo materiale sono molteplici, tra cui l'alto potere calorifico, la stabilità del prezzo e l'economicità rispetto ad altri combustibili, dovuta, appunto a una maggiore abbondanza e a una maggiore distribuzione dei giacimenti. La principale problematica legata all'impiego di questa fonte è legata alla massiccia produzione di gas serra e sostanze inquinanti sprigionate durante la combustione, oltre al fatto che il trasporto di questa risorsa richiede sforzi non indifferenti. Quando si parla di carbone non è possibile beneficiare di sistemi di trasporto, quali gasdotti o oleodotti (più economici), ma deve per forza essere effettuato in maniera alternativa, molto spesso per via marittima.

La quota di energia elettrica prodotta a partire da lignite o antracite⁹, costituisce circa un quarto del totale a livello mondiale, ma da sola, la combustione del carbone è responsabile di circa un terzo delle emissioni di gas serra, sempre a livello mondiale.

Come è evidente dall'analisi conseguita, il controllo dell'energia e delle fonti da cui viene prodotta (fonti fossili e non) è in grado di porre chi ne è fornito in posizione di assoluto vantaggio nel contesto geopolitico odierno.

1.3 Situazione energetica in Italia e in Valle d'Aosta

Per poter fornire una visione d'insieme e poter collocare l'Italia nel panorama energetico mondiale, distinguiamo tre aree che raggruppano le abitudini e le possibilità energetiche delle nazioni del mondo:

- Economie industrializzate (U.E. e U.S.), paesi contraddistinti da una crescita dei consumi energetici molto lenta, prodotta da una crescita economica anch'essa molto graduale.
- Economie in via di sviluppo (Est Europa, Brasile, Cina e India), dove crescita dei consumi energetici e crescita economica sono entrambe molto più rapide di quelle dei paesi ad alto reddito. Sono le aree dove si concentrano i maggiori problemi di sostenibilità ambientale.
- Aree con accesso all'energia limitato (molti paesi del terzo mondo), qui la crescita è inesistente ed è presente un elevato indice di povertà nella

⁹ Lignite e antracite sono due tipologie di rocce sedimentarie che possono essere comunemente identificate come carbone. La differenza è presente nel fatto che la lignite è di formazione più recente e possiede un minore potere calorifico a parità di peso. Ambedue sono utilizzate nei processi di combustione per la produzione di energia elettrica.

popolazione. Rientrano nella categoria anche quei paesi a crescita rapida ma che non possiedono una rete energetica efficiente¹⁰.

Il nostro paese fa parte dei paesi industrializzati, contraddistinti quindi da una lenta crescita economica e di consumi energetici. Si tratta di un territorio naturalmente carente di materie prime inclusi combustibili fossili, da impiegare come fonti di energia. Per questo, le importazioni di combustibili dall'estero costituiscono pressoché la totalità delle fonti di energia utilizzate. Nella fattispecie il consumo energetico italiano è caratterizzato da una lieve ma costante diminuzione, presente da più di un decennio¹¹. Questo calo che potrebbe apparire strutturale, in realtà segue in maniera pressoché fedele l'andamento del ciclo economico, rispecchia in maniera speculare i periodi della crisi finanziaria (2008) e della pandemia (2020); i quali, hanno influito notevolmente sulla domanda energetica nazionale. Si tratta quindi di un risparmio in termini energetici non dovuto a un progressivo efficientamento delle utenze e responsabilizzazione delle abitudini dei consumatori, ma derivante da un calo di domanda conseguita alla lunga recessione economica che ha caratterizzato la storia recente della nazione.

Il bel paese fa parte di quegli stati che utilizzano con relativa parsimonia le risorse energetiche che vengono acquistate o prodotte, ponendosi in condizione di efficienza energetica¹². In sostanza con una quantità moderata di consumo delle risorse energetiche sul totale globale si riesce a generare un determinato livello di PIL, come risultato ci troviamo in una situazione relativamente buona in termini di risparmio energetico, confrontandolo con il resto del globo.

Considerando aspetti più generali, quali: la **sicurezza energetica**, (intesa come capacità di rispondere in maniera efficace alla domanda presente e futura di energia), **l'accesso equitativo all'energia** da parte della popolazione, a un prezzo

¹⁰ Ranci P. (2011), Economia dell'energia, Il mulino, 22

¹¹ La diminuzione della disponibilità energetica lorda è passata i circa 180 Mktep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) ai 143,5 Mktep del 2020. Ministero della transizione ecologica (2020), Relazione annuale situazione energetica nazionale dati 2020, <https://dgsaie.mise.gov.it/situazione-energetica-nazionale>

¹² World Energy Council (2009), Energy Efficiency report 2009, www.worldenergy.org

accessibile e la **sostenibilità ambientale** (prevenzione e limitazione dei danni ambientali conseguenti i processi di trasformazione dell'energia), l'Italia gode di un buon piazzamento nella classifica mondiale¹³ che riassume in un unico indice questi tre macro indicatori.

Quando si esamina il sistema energetico italiano, è d'obbligo riservare una menzione particolare al Gas naturale, combustibile che da solo costituisce la componente più importante del mix energetico del paese. La maggior parte del gas naturale, raggiunge l'Italia per mezzo di gasdotti¹⁴ e proviene in maniera preponderante da Russia, Algeria e Nord Europa¹⁵. La restante parte di combustibile, viene importato via mare, sotto forma di GNL¹⁶, combustibile in forma liquida che deve subire un processo di rigassificazione, effettuato in specifici impianti, passaggio obbligato per poter essere immesso nella rete di gasdotti nazionale e reso accessibile alle utenze finali.

Per quanto concerne le altre fonti energetiche dopo il gas naturale troviamo in ordine di importanza: il petrolio e i prodotti da esso derivati, le fonti rinnovabili e i bioliquidi e per finire il carbone e in minima parte l'energia derivante da impianti di termovalorizzazione dei rifiuti non riciclabili¹⁷.

Giunti a questo punto risulta doveroso considerare anche il livello locale, andando ad analizzare la situazione energetica della regione autonoma Valle d'Aosta. La

¹³ Si tratta del 15° posto nella classifica stilata dal World Energy Council nel suo "Trilemma Index". World Energy Council (2021), Trilemma Index 2021, https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Trilemma_Index_2021_-_Executive_Summary_-_French.pdf

¹⁴ La quota che viaggia per mezzo di gasdotti è di 53,5 miliardi di metri cubi (su un totale di 71,3 mld di mq.) che rappresentano l'81% delle importazioni totali. Ministero della transizione ecologica (2020), Relazione annuale situazione energetica nazionale dati 2020, <https://dgsaie.mise.gov.it/situazione-energetica-nazionale>

¹⁵ Ministero della transizione ecologica (2020), Relazione annuale situazione energetica nazionale dati 2020, 31, <https://dgsaie.mise.gov.it/situazione-energetica-nazionale>

¹⁶ Gas Naturale Liquefatto, è gas naturale reso liquido attraverso un processo di condensazione, che permette di ridurne drasticamente il volume, così da essere trasportato via nave in notevoli quantità.

Mocellin M. (2022), Atlante Treccani - sez. Geopolitica, 21 aprile 2022, https://www.treccani.it/magazine/atlante/geopolitica/Le_incognite_GNL.html

¹⁷ Ministero della transizione ecologica (2020), Relazione annuale situazione energetica nazionale dati 2020, 24, <https://dgsaie.mise.gov.it/situazione-energetica-nazionale>

regione, grazie alla sua posizione, gode di importanti possibilità di sfruttamento dell'energia, in particolare per quel che riguarda l'energia elettrica. Infatti, l'abbondanza di corsi d'acqua alpini e il dislivello che questi affrontano per poter arrivare a valle, risultano congeniali per la diffusione e l'utilizzo della tecnologia idroelettrica. Tecnologia che è utilizzata per produrre energia elettrica in misura sufficiente a coprire buona parte del fabbisogno energetico del territorio¹⁸. Sul territorio sono presenti anche impianti eolici e fotovoltaici, ma contribuiscono in maniera minima al mix energetico regionale; infatti, il restante fabbisogno è soddisfatto dalle importazioni di energia elettrica dal resto della penisola.

L'energia primaria viene importata tramite trasporto su gomma e fornisce alimentazione principalmente per il riscaldamento degli edifici e la mobilità. Tuttavia, in alcuni comuni della regione una parte del riscaldamento viene garantita dal sistema di teleriscaldamento che è stato introdotto in alcune località della Valdigne¹⁹ e nella città di Aosta, alternativa meno impattata dal punto di vista ambientale ed economico, rispetto ai metodi di riscaldamento tradizionali²⁰.

¹⁸ La Regione risulta la più virtuosa a livello nazionale producendo l'80% del fabbisogno di energia elettrica da fonti rinnovabili, in stragrande maggioranza dall'idroelettrico.

Istat (2020), Rapporto tematico "goal7", <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2020/goal7.pdf>

¹⁹– Arpa Valle d'Aosta (2013), gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e le tecnologie per ridurre le emissioni, 19/04/2013 https://www.regione.vda.it/energia/pdf/REPORT_2B2.pdf

²⁰ <http://www.telcha.it/www/rispetto-per-lambiente/>

1.4 Le alternative per uno sviluppo energetico sostenibile

Come si è potuto evincere dai precedenti paragrafi, notiamo che gran parte dell'energia che viene consumata attualmente nel mondo e nella nostra nazione proviene da risorse non rinnovabili. La problematica che questo comporta è di doppia natura: in primis, economica a causa dei costanti rincari dei combustibili convenzionali, e in secondo luogo bisogna considerare che modello energetico tradizionale risulta sempre più incompatibile con il percorso intrapreso dalla maggior parte delle economie sviluppate, vale a dire quella della sostenibilità ambientale. Sempre nell'ottica di gestione parsimoniosa dell'esborso monetario che questa comporta. La società è quindi proiettata verso un mix energetico che sia decisamente più attento alle emissioni di gas climalteranti in atmosfera, motivo per il quale la direzione è di persecuzione di un cambiamento più o meno radicale delle nostre fonti di approvvigionamento.

I principali protagonisti e i migliori candidati per il rimpiazzo sei combustibili fossili sono senz'altro le F.E.R.²¹ più inneggiate, come il fotovoltaico, l'eolico e l'idroelettrico, ma ad esse si possono affiancare (per necessità e per complementarità) diverse altre fonti energetiche, le quali, da sole non saranno adeguate a garantire un flusso di elettricità costante e sufficientemente importante a soddisfare la richiesta.

La tecnologia della fissione nucleare di ultima generazione potrebbe costituire una valida alternativa alla scomparsa dei combustibili fossili dal settore dell'energia elettrica, infatti, questa tecnologia è in grado di garantire alti rendimenti energetici, costanti nel tempo e non soggetti a stagionalità e a fenomeni atmosferici, senza l'immissione in atmosfera di gas a effetto serra. Risulta doveroso rimarcare che periste la non trascurabile controindicazione della produzione di scorie nucleari, il cui smaltimento risulta complesso da gestire.

²¹ Fonti energetiche rinnovabili.

Come ulteriore evoluzione nel campo della ricerca nucleare non è possibile non citare la tecnica della fusione nucleare, procedimento fisico, nel corso del quale le particelle di un gas, scaldate a varie decine di milioni di gradi, si muovono e si scontrano tra di loro, sprigionando enormi quantità di energia. A differenza della fissione, il procedimento di fusione, non genera reazioni a catena, risultando perciò più sicuro e controllabile, producendo come scarto, meno scorie e con una radioattività molto inferiore²². Purtroppo, il più grande problema di questa tecnologia è che è ancora in fase di sperimentazione e verosimilmente sarà a disposizione nel medio/lungo periodo, risulta pertanto una strada non praticabile allo stato attuale della tecnologia.

Altra tecnologia molto promettente, che risulta già accessibile ad oggi è l'idrogeno verde²³ (inteso come produzione su vasta scala), fonte energetica che potrebbe davvero rivoluzionare l'intero settore dell'energia nel prossimo futuro.

I vantaggi di questa molecola, alla base del nostro universo, sono molteplici e i rischi e le difficoltà tecnologiche connessi al suo sfruttamento sono gestibili dal punto di vista tecnico. Contrariamente a quanto si possa pensare il processo di produzione dell'idrogeno è già noto dalla fine del milleottocento, e negli anni Trenta del Novecento i primi veicoli ad alimentazione idrogeno videro la luce; tuttavia, con l'abbassamento del prezzo del petrolio le sperimentazioni furono abbandonate²⁴.

Recentemente questa risorsa è stata rivalutata e su di essa i governi dei paesi industrializzati stanno concentrando molti sforzi in termini di investimenti.

²² Si parla di un periodo di radioattività delle scorie derivanti dalla fusione nell'ordine di centinaia di anni, contro quelle della fissione che sono nell'ordine di migliaia. Fonte: Gates B. – *Clima come evitare un disastro, le soluzioni di oggi le sfide di domani* – La nave di Teseo 2021.

²³ Si parla di idrogeno verde, quando si fa riferimento all'idrogeno prodotto interamente per mezzo di fonti rinnovabili. Esistono poi l'idrogeno grigio, prodotto a partire da fonti fossili come il gas naturale (il tipo di idrogeno più diffuso ad oggi) e l'idrogeno blu, nel cui procedimento di produzione, viene affiancato un sistema di cattura e stoccaggio di anidride carbonica. La molecola a cui si fa riferimento è sempre la medesima, varia solamente il processo attraverso il quale viene prodotta. Fonte: <https://www.eni.com/it-IT>

²⁴ Alverà M. (2020), *rivoluzione idrogeno*, Mondadori, 46

Nel nostro paese ha avuto luogo la prima sperimentazione di immissione di idrogeno nella rete di gasdotti (miscelando il gas naturale con il 10% di idrogeno) ottenendo come risultato un perfetto adattamento di questo gas al trasporto nella rete di distribuzione esistente²⁵ (anche se per il momento non in purezza). La sperimentazione sopra citata dimostra inoltre che non sono necessari grandi investimenti per trasportare e stoccare l'energia in eccesso, in quanto questa può essere convertita in idrogeno, a sua volta stoccabile come riserva energetica accessibile in ogni istante. Per quanto concerne i trasporti (trasporti leggeri, marittimi e aerei), anch'essi possono essere adattati all'idrogeno, grazie al fatto che può essere stoccato in serbatoi, dove, tramite l'ausilio della tecnologia delle celle a combustibile, viene convertito in elettricità per produrre il moto del veicolo. Grazie al fatto di avere un potere energetico ben superiore a quello dei combustibili tradizionali²⁶, sono necessarie piccole quantità per garantire un'autonomia equiparabile a quella dei veicoli ad alimentazione tradizionale.

Allo stato attuale delle cose, la principale problematica dell'idrogeno è il suo costo di produzione, che rimane ancora elevato; tuttavia, lungo la catena del valore rimangono ampi spazi per ottimizzare i costi²⁷, occorre, considerare che la risorsa presa in considerazione, è ancora nella fase di sperimentazione, ma con queste premesse è lecito avere ampie aspettative nei suoi confronti.

²⁵ Alverà M. (2020), rivoluzione idrogeno, Mondadori, 61

²⁶ Si parla di un potere energetico di 2,2 volte maggiore di quello del gas naturale, in termini di unità di massa.

Alleau T. (2015), Nouvelles technologies, l'hydrogène, Encyclopédie de l'énergie, 20/10/2015, <https://www.encyclopedie-energie.org/lhydrogene/>

²⁷ Alverà M. (2020), rivoluzione idrogeno, Mondadori, 102-106

1.5 Mix energetico del futuro, tendenze e PNRR

Quanto riportato nel precedente capitolo fornisce un'idea più chiara di come potrebbe variare il mix energetico, in assenza di fonti fossili. Si tratta in tutti i casi di un cambiamento che avverrà probabilmente nel lungo periodo, sebbene da parte di istituzioni, cittadini e di conseguenza anche dalle imprese, non manchino le pressioni per velocizzare questa transizione. Verosimilmente, per voler sostituire completamente i combustibili fossili si renderà necessario implementare la produzione di F.E.R. ma anche di energia proveniente dal nucleare (che sia fissione o fusione), e introdurre, rendendo accessibile un nuovo combustibile economico ed affidabile adatto per i trasporti (al momento il miglior candidato risulta proprio l'idrogeno verde). Una parte del fabbisogno potrebbe essere soddisfatto anche dai biocarburanti e biogas, già oggi presenti, ma che hanno un raggio d'azione circoscritto a causa della limitatezza delle biomasse di origine agricola utilizzate per produrli.

Il nuovo piano di ripresa e resilienza, ideato e finanziato dall'Unione Europea e in fase di concretizzazione per mezzo dell'attuale governo, ha come fine quello di rilanciare la crescita, stanziando importanti risorse economiche nell'ambito della ricerca e della diffusione di fonti energetiche alternative. L'entità dei fondi destinati alla tematica energetica ammonta a 23,78 miliardi di euro²⁸, in cui buona parte è dedicata ad investimenti riguardanti la mobilità e il trasporto locale, a seguire l'incremento delle F.E.R., il potenziamento e la digitalizzazione di infrastrutture di rete, sviluppo della filiera dell'idrogeno e ricerca di nuove fonti energetiche.

²⁸ Presidenza del consiglio dei ministri (2022), piano nazionale di ripresa e resilienza, M2C2, 132-144, <https://italiadomani.gov.it/it/home.html>

In linea con all'argomento trattato in questo lavoro accademico, troviamo nella voce "investimento 2.1" del PNRR, il riferimento all'applicazione delle *smart grid* a più di un centinaio di sottostazioni e alla rete elettrica²⁹ che le riguarda. Questo specifico investimento è stato pensato nell'ottica di efficientamento della rete elettrica e di implementazione della sua flessibilità. Siccome il piano prevede l'implementazione di produzione di energia elettrica proveniente da rinnovabili, è più che mai necessario poter gestire il più efficacemente possibile questa energia, prodotta in modo discontinuo. Inoltre, viene riconosciuta l'importanza delle smart grid anche nell'ottica di potenziamento della rete elettrica esistente al fine di sopperire alla crescente domanda di elettricità dovuta all'elettrificazione dei consumi energetici, come il riscaldamento a pompa di calore.

1.6 Le recenti dinamiche e il REpowerEU

I recentissimi avvenimenti che hanno coinvolto il continente europeo, oltre a un drammatico impatto in termini sociali per i territori coinvolti, hanno avuto l'effetto di provocare dinamiche inaspettate e del tutto imprevedute, sia dal punto di vista economico che delle risorse energetiche. Sono proprio queste ultime le principali cause che hanno spinto l'Unione Europea a adottare provvedimenti radicali per il cambiamento di un modello energetico che nelle condizioni attuali non risulta più sostenibile, né da un punto di vista etico/politico né da un punto di vista economico.

La Commissione Europea ha deciso di integrare il massivo programma di finanziamento dedicato agli stati membri promosso in seguito alla crisi sanitaria³⁰,

²⁹ Presidenza del consiglio dei ministri (2022), piano nazionale di ripresa e resilienza, M2C2, 137, <https://italiadamani.gov.it/it/home.html>

³⁰ Il *Next Generation EU*, per quanto riguarda l'Italia il *PNRR*, di cui si tratta nel capitolo 1.5 del presente testo.

con un piano aggiuntivo di 210 miliardi di euro³¹, che ha come obiettivo principale dichiarato quello di rendere l'U.E. indipendente dai combustibili fossili russi ben prima del 2030 (termine fissato prima del febbraio 2022).

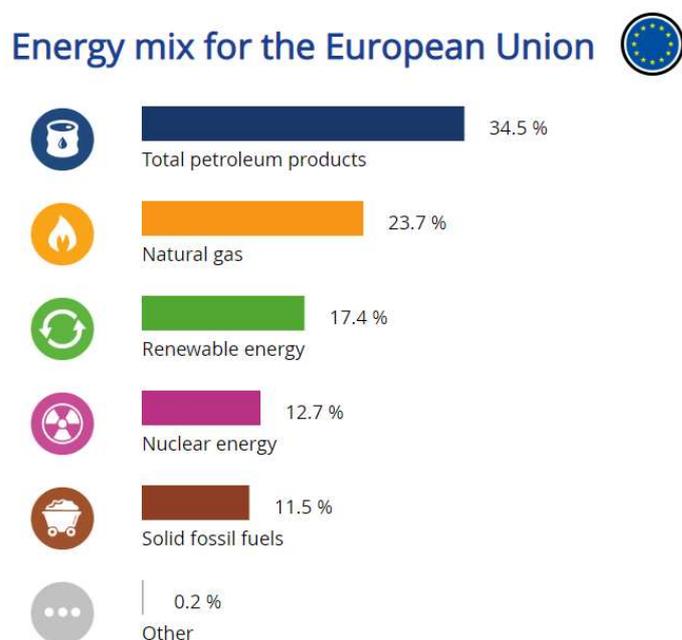


Figura 2. In questa figura vengono riportate le fonti energetiche da cui si approvvigiona l'U.E. e il loro peso percentuale. Tale raffigurazione è rappresentativa del mix energetico antecedente all'entrata in vigore del REpowerEU.³²

Comparando il sovrastante grafico e la situazione energetica attuale a livello europeo è facile immaginare che la stabilità energetica dell'U.E. è messa fortemente a rischio, per questo si rende necessaria la messa in opera del *REpowerEU*.

³¹ Commissione Europea, "REPowerEU: energia sicura, sostenibile e a prezzi accessibili per l'Europa" (maggio 2022), https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_it

³² Eurostat, *Simplified energy balances*, 14 aprile 2022, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_1946578/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=8760d5fb-bdbe-4cfe-9b79-c0dc3eaafe8f

I pilastri principali sui quali si erge questo programma sono tre:

- I. Diversificazione, intesa come la ricerca o l'intensificazione dell'acquisto di materie energetiche da partner strategici. In particolar modo risultano essenziali gli accordi in merito all'approvvigionamento di gas naturale stipulati con Stati Uniti, Algeria e Asia occidentale.

La diversificazione è intesa anche in termini di fonti energetiche, dedicando ampie risorse alla ricerca di fonti energetiche alternative, ponendo particolare attenzione alla ricerca sul biometano e sull'idrogeno verde.

- II. **Risparmio energetico**, in questa voce trovano spazio politiche di sensibilizzazione dedicate ai cittadini europei, finalizzate a ridurre i consumi energetici³³. Sono inoltre state studiate misure economiche atte a limitare il fabbisogno di combustibili fossili e misure di emergenza in caso di una improvvisa interruzione degli approvvigionamenti.

- III. **Accelerare l'adozione delle energie rinnovabili**, in questo campo vengono messe a disposizione ingenti risorse per l'accelerazione della diffusione delle F.E.R. (sempre nell'ottica della diversificazione delle fonti energetiche) e per lo sviluppo e l'integrazione della mobilità pubblica e privata a zero emissioni.

Negli ultimi due fondamenti del *REpowerEU*, trovano largo spazio progetti dedicati alle *smart grids*, all'efficientamento della rete elettrica e all'aumento della sua resilienza³⁴.

³³ In termini percentuali si ambisce ad arrivare a un miglioramento in termini di efficienza del 9% entro il 2030.

Commissione Europea, "REPowerEU: energia sicura, sostenibile e a prezzi accessibili per l'Europa" (maggio 2022), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_22_3137

³⁴ Con questo obiettivo sono stati stanziati 800 milioni di euro da dedicare al finanziamento di progetti che abbiano per oggetto le reti intelligenti, la rete elettrica e quella del gas, all'interno del territorio dell'UE.

Commissione Europea, "REPowerEU: energia sicura, sostenibile e a prezzi accessibili per l'Europa" (maggio 2022), https://ec.europa.eu/info/news/commission-launches-eu-800-million-call-clean-energy-infrastructure-projects-support-repowerEU-plan-2022-may-18_en

L'emanazione di un provvedimento così importante è conseguente all'assoluta straordinarietà della situazione geopolitica attuale, indubbiamente molto grave, ma che ha favorito l'adozione di contromisure che favoriscono e accelerano il processo di decarbonizzazione e di indipendenza energetica del continente europeo, con i relativi vantaggi strategici che possono scaturirne.

2. LA TECNOLOGIA SMART GRID

2.1. Introduzione *smart grid*

La *smart grid*, letteralmente, rete intelligente è una tecnologia in parte ancora in fase di sperimentazione, ma che per alcuni tratti è già realtà ed è presente nella nostra vita quotidiana. Essa, si propone di gestire in maniera efficiente l'energia che transita sulla rete elettrica, in modo da poter sfruttare il maggior potenziale produttivo possibile, derivante delle infrastrutture esistenti. Prima di approfondire nello specifico l'argomento, si rende necessario condividere la definizione ufficiale di *smart grid*, fornita dalla Commissione Europea:

“le smart grids sono reti elettriche, capaci di integrare efficacemente i comportamenti e le azioni di tutti gli utilizzatori ad esse connessi... tutti i soggetti connessi alla rete possono essere allo stesso tempo utilizzatori e produttori.”³⁵

Altro pilastro che si pone alla base di questa tecnologia è il fatto che durante l'arco della giornata la richiesta di energia elettrica a livello nazionale è fortemente disomogenea e talvolta la differenza tra l'energia utilizzata nel momento di minor richiesta e quella utilizzata nel momento di picco (solitamente dalle dodici alle tredici) è molto elevata. L'immagine che segue dimostra graficamente quanto scritto. Questa disomogeneità non è esclusiva alle fasce orarie ma dipende dai periodi dell'anno, dalle stagioni e dalle contingenze macroeconomiche.

³⁵ Parlamento Europeo (2011), Réseaux intelligents : de l'innovation au déploiement, Bruxelles il 12/04/2011, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011DC0202&from=DE>

ORA	CONSUNTIVO	PREVISIONE
01:00	28,981	28,843
02:00	27,435	27,020
03:00	26,576	25,988
04:00	26,176	25,639
05:00	26,366	25,976
06:00	26,576	26,882
07:00	27,420	27,486
08:00	30,500	30,050
09:00	33,315	33,251
10:00	34,682	35,212
11:00	34,596	35,416
12:00	34,097	34,403
13:00	33,257	33,288
14:00	32,031	31,705
15:00	31,894	31,422
16:00	31,490	31,508
17:00	31,478	31,410
18:00	31,961	31,536
19:00	32,412	31,878
20:00	33,473	33,082
21:00	33,671	33,685
22:00	32,629	32,710
23:00	30,648	30,434
24:00	28,258	28,008
Totale:	739,912	736,832

Elaborazione effettuata sulla base di dati di previsione di esercizio

Scostamento alla Potenza Massima :	-2.12%
Scostamento alla Potenza Minima :	2.05%
Scostamento Assoluto Medio Potenza :	0.98%
Scostamento Energia :	0.42%

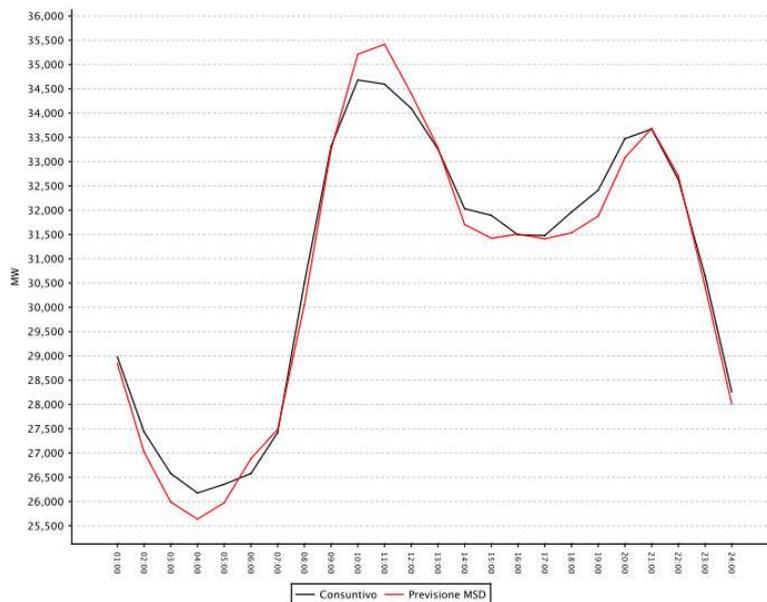


Grafico 1. Il presente grafico rappresenta la richiesta di energia elettrica previsionale e a consuntivo italiana in data 14 maggio 2022, tale grafico presenta una differenza tra massimo e minimo che si aggira intorno ai 8500 Mw³⁶.

Le *smart grids* possiedono l'incarico di distribuire in maniera più efficiente la richiesta di energia elettrica, graficamente si tratta di diminuire la differenza tra il massimo e il minimo del grafico per poter utilizzare complessivamente più energia nell'arco della giornata, pur mantenendo la medesima capacità produttiva, senza la necessità di installare nuovi impianti. Di questo compito si occupano le società specializzate che agiscono sul mercato dell'energia e tramite accordi con le aziende sottoscrivitrici. Nella fattispecie le aziende specializzate suggeriscono il periodo della giornata o dell'anno in cui risulta più economicamente conveniente sostenere la produzione e gli orari in cui è fortemente sconsigliato a causa dell'elevata richiesta. Si tratta di un servizio che permette di far risparmiare considerevolmente alle aziende, valido in particolar modo per quelle più grandi e più energivore; specialmente in un periodo storico in cui i prezzi dell'energia

³⁶ Terna S.p.A. (2022), Report storico previsionale 14 maggio 2022, <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/dispacciamento/dati-esercizio>

elettrica sono saliti vertiginosamente nell'arco di pochi mesi³⁷ e la loro oscillazione è causa di incertezza. Tuttavia, l'esempio appena trattato è in realtà solo una parte di quello che è il panorama globale di questa tecnologia.

In sostanza si tratta di gestire l'offerta e la domanda di energia e fare in modo che esse vengano mantenute il più possibile a un livello costante nel tempo. Detta capacità risulta particolarmente utile in presenza di prospettive future in cui le rinnovabili cresceranno esponenzialmente. Infatti, queste fonti energetiche, caratterizzate dalla loro intermittenza e dalla loro decentralizzazione avranno particolare bisogno di essere gestite in maniera efficiente per poter sfruttare il più possibile i momenti di massima produzione e far fronte attraverso altre alternative ai momenti in cui non viene prodotta energia.

Quando si dichiara che tutti i soggetti connessi alla rete sono al contempo produttori e utilizzatori, significa che in questo contesto, la visione tradizionale della rete dell'energia elettrica si modifica, considerando il consumatore, non più solamente come tale, ma come consumatore e produttore allo stesso tempo. Quanto appena sostenuto, avviene grazie alla decentralizzazione degli impianti di produzione di energia. L'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti delle abitazioni private ne è un esempio calzante.

Altro filone delle *smart grids*, operante nell'ambito domestico sono gli *smart meters*, i cosiddetti contatori intelligenti. Apparecchiature presenti in molte delle nostre abitazioni che hanno il compito di monitorare e ottimizzare il consumo di elettricità per i privati³⁸ al fine di ottenere vantaggi in termini di efficienza, e di conseguenza economici al consumatore. Da quest'ultima applicazione *delle smart grid*, emerge la problematica del trattamento dei dati e delle informazioni

³⁷ ARERA - Autorità di regolazione per Energia reti e ambiente (2022), Andamento del prezzo dell'energia elettrica per il consumatore domestico tipo in maggior tutela marzo 2022, <https://www.arera.it/it/dati/eep35.htm>

³⁸ Ferretti, A. (2015) 'Smart grids' : Les réseaux et compteurs d'électricité 'intelligents'. 1st edn. Presses Académiques Francophones, <https://www.perlego.com/book/3206676/smart-grids-les-reseaux-et-compteurs-dlectricit-intelligents-pdf> (Accessed: 15 May 2022).

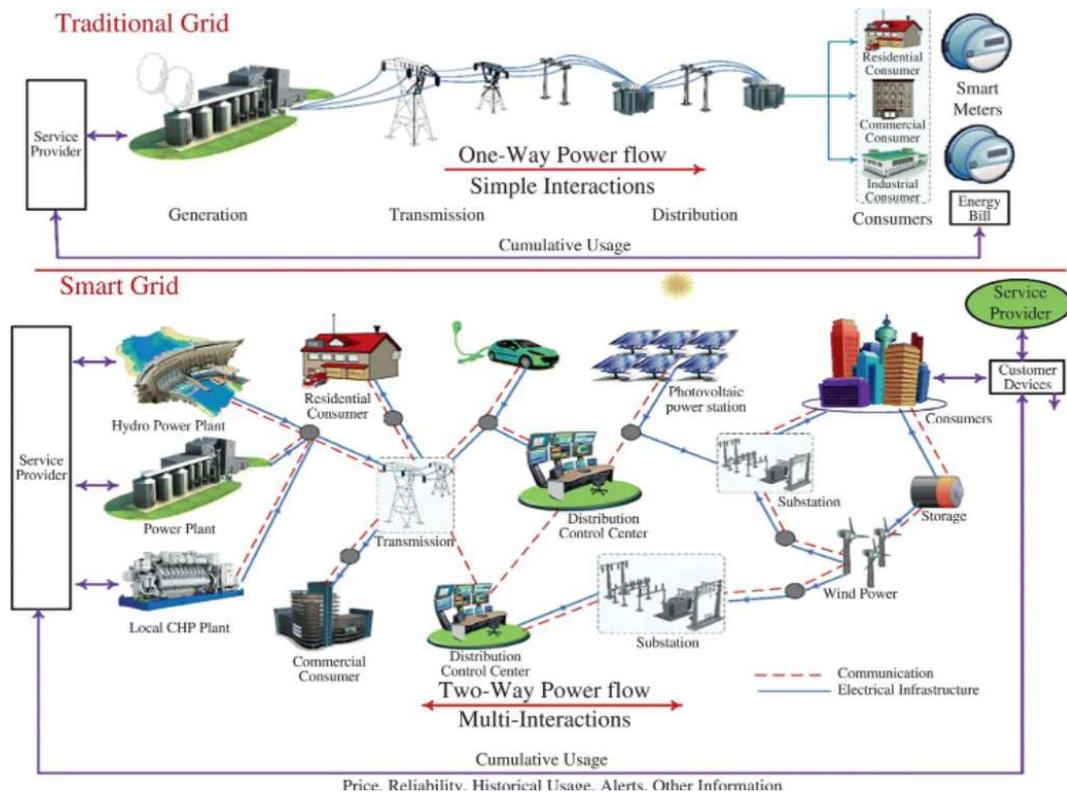
personali dei consumatori a cui le imprese energetiche proprietarie delle apparecchiature possono accedere e potenzialmente condividere a terzi.

2.2 Diffusione delle *smart grids* e differenze rispetto alla rete tradizionale

Ponendo l'attenzione all'insieme di utenti privati notiamo che la diffusione di dei contatori intelligenti (chiamati anche *smart meters*) copre larghissima parte delle utenze nel nostro paese³⁹. Questi impianti permettono oltre alla gestione intelligente dell'energia, anche ulteriori funzioni come; la disconnessione da remoto, l'identificazione di furti d'energia, perdite della rete e definizione dei profili di carico dettagliati per ogni utenza. Nonostante ciò, gli *smart meters* in un prossimo futuro saranno in grado di comunicare con gli elettrodomestici al fine di azionarli nei momenti in cui l'elettricità è più economica, per esempio. Applicazioni come quella appena descritta permettono di limitare il sovraccarico della rete in determinati momenti di picco, evitando così di sostenere ingenti spese per l'ampliamento della rete elettrica (laddove possibile). Attualmente il grande problema del sovraccarico della rete elettrica avviene a causa di mancanza di comunicazione tra utenti e fornitori, e pressoché la totalità delle interruzioni di energia elettrica non programmate avviene sulla rete di distribuzione, le smart grids potranno avere un ruolo di primo rilievo nella limitazione di questi disservizi⁴⁰.

³⁹ European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) e the Council of European Energy Regulators (CEER), Market Monitoring Report M.M.R. (2021), https://extranet.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER%20Market%20Monitoring%20Report%202020%20%E2%80%93%20Electricity%20Wholesale%20Market%20Volume.pdf

⁴⁰ Refaat, S. et al. (2021) Smart Grid and Enabling Technologies. 1st edn. Wiley. Available at: <https://www.perlego.com/book/2806496/smart-grid-and-enabling-technologies-pdf> (Accessed: 17 May 2022).



41

Figura 3 la figura rappresenta la differenza tra una rete energetica tradizionale e una rete intelligente. Particolarmente evidente è l'interscambio dei flussi energetici presente nella rete intelligente.

Volendo analizzare quelle che sono le principali differenze tra una rete tradizionale e una rete intelligente, occorre cambiare radicalmente il modo cui siamo abituati a riferirci al sistema di generazione e distribuzione dell'energia.

Partiamo dal presupposto che la rete elettrica produce esattamente la quantità di energia domandata in ogni istante e non di più, questo perché non esiste, ad oggi, la possibilità di immagazzinare l'elettricità prodotta su vasta scala; quindi, l'unica soluzione è la produzione in tempo reale, si tratta di una condizione che pone non

⁴¹ Refaat, S. et al. (2021) Smart Grid and Enabling Technologies. 1st edn. Wiley. Available at: <https://www.perlego.com/book/2806496/smart-grid-and-enabling-technologies-pdf> (Accessed: 17 May 2022).

pochi limiti e complica parecchio i sistemi di approvvigionamento e il mercato dell'energia elettrica.

L'energia minima necessaria per il fabbisogno che possiamo definire base; è garantita dalla presenza di impianti che producono costantemente elettricità, tipicamente le centrali nucleari⁴² mentre solo nei momenti di maggior richiesta vengono messe in funzione altre tipologie di centrali, tipicamente quelle alimentate a combustibili fossili, con il risultato che l'approvvigionamento energetico nei momenti di massima richiesta non è solamente dispendioso economicamente ma risulta anche più inquinante⁴³.

La rete tradizionale presenta caratteristiche tecniche che risultano obsolete e risultano in disarmonia con i progressi nel campo energetico che sono stati fatti fino ad ora. Nella fattispecie la rete tradizionale si distingue per l'unilateralità; vale a dire che, in questo sistema l'energia elettrica viene prodotta in grandi centri (centrali a combustibili fossili, impianti nucleari) e trasportata mediante la rete di distribuzione alle utenze finali, domestiche o industriali. Questo, avviene con una logica a decrescere, infatti, la tensione dell'energia elettrica viene continuamente rimodulata man mano che si avvicina all'utenza finale, passando dalle alte tensioni⁴⁴ della rete di trasporto internazionale alla tensione utile per far funzionare le apparecchiature domestiche. Le problematiche di questo sistema sono legate al fatto che talvolta la distanza tra il centro di produzione e l'utilizzatore è molto elevata, ciò comporta potenze e costi altrettanto elevati con conseguente dispersione di una parte dell'energia trasportata. Ulteriore problematica da affrontare riguarda la gestione dei sovraccarichi, infatti i sistemi

⁴² La cui produzione energetica non può essere sospesa, pertanto esiste sempre un flusso di energia che viene prodotto.

⁴³ Ferretti, A. (2015) 'Smart grids' : Les réseaux et compteurs d'électricité 'intelligents'. 1st edn. Presses Académiques Francophones, <https://www.perlego.com/book/3206676/smart-grids-les-reseaux-et-compteurs-dlectricit-intelligents-pdf> (Accessed: 15 May 2022).

⁴⁴ Si passa dalle reti ad altissima tensione, 380 000 o 220 000 volt alla tensione delle utenze industriali o domestiche: 380 o 220 volt. Swissgrid (2022), Niveaux de réseau, <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>

tradizionali non sono concepiti per comunicare con gli altri attori della rete; quindi, l'unico modo per gestire gli eventuali sovraccarichi dovuti a una massiva richiesta di elettricità in un lasso di tempo limitato, è l'implementazione della capacità di rete che può avvenire solamente mediante costosi interventi di modifica alla stessa. In aggiunta alle precedenti questioni, subentra il fattore della sicurezza interna dello stato, che identifica come strategicamente svantaggiosa e potenziali punti di debolezza, la presenza di grandi centri di produzione di elettricità, in quanto riconosciuti come sensibili per quanto riguarda attacchi terroristici e calamità naturali.

Il modello delle *smart grids*, si propone come alternativa alla rete tradizionale, non solo grazie ai già citati vantaggi in termini di efficientamento e di sostenibilità ambientale, ma soprattutto grazie alla possibilità di fare fronte alle criticità che contraddistinguono il sistema fino ad ora utilizzato. In particolare, la diversificazione delle fonti di approvvigionamento comporta la necessità di un sistema di trasporto dell'energia di tipo bidirezionale a operante a bassa tensione, il quale permette di ridurre le perdite di sistema grazie alla prossimità delle sorgenti produttive. Proprio la bidirezionalità della rete garantisce l'adattamento a differenti tipologie di carichi, di sistemi di stoccaggio e di generazione. L'adozione delle *smart grids* assicura, inoltre, una gestione intelligente dei sovraccarichi di rete, potendo scaglionare e dare priorità a determinati utilizzi piuttosto che ad altri. A impedire il sovraccarico della rete è altresì il fatto di contare su un sistema di "autoriparazione" della rete in caso di interruzione del servizio, infatti le tecnologie *smart grids*, sono in grado di gestire problemi alla rete di distribuzione, senza dover interrompere nemmeno temporaneamente la fornitura.

Per avere un'integrazione ottimale del sistema *smart grid*, tuttavia, si rende necessario, un meccanismo in grado di stoccare l'energia prodotta in eccesso per poterla utilizzare in un secondo momento. In questo senso, persiste una

problematica attinente al fatto che ad oggi, non esiste un metodo economico e versatile per immagazzinare grandi quantità d'energia

2.3 Il funzionamento delle *smart grids*

Per poter comprendere in maniera completa il funzionamento di questa innovativa tecnologia si rende necessario immaginare un'infrastruttura onnipresente caratterizzata da elevatissima automazione e in grado di gestire autonomamente i flussi di energia in entrata e in uscita. Tale infrastruttura opera per mezzo di una combinazione di hardware (identificabili come minicomputer, molto performanti racchiusi in box di metallo, che vengono installati in maniera diffusa lungo la rete), operanti per mezzo di software e in grado di comunicare, in molti casi, grazie alle reti di telecomunicazione preesistenti. Quanto descritto fino ad ora premette una capacità di calcolo e complessità di gestione dei processi, particolarmente avanzata, alla quale è stato possibile accedere grazie ai recenti progressi tecnologici, in particolare nel campo dell'IT, che sono tutt'ora in atto e che promettono una sempre maggiore integrazione ed efficienza delle reti intelligenti nel prossimo futuro.

Considerando più dettagliatamente la tecnologia di comunicazione che utilizzano queste reti, sappiamo che le infrastrutture utilizzate per la trasmissione dei dati sono diverse e alcune di esse già di comune utilizzo. Tra le principali troviamo la

tecnologia Zigbee ⁴⁵ , WLAN (utilizzata per la rete wi-fi), rete cellulare ⁴⁶ , comunicazione PLC⁴⁷.

Esaminando l'architettura delle reti *smart grid*, è possibile riscontrare la presenza di tre caposaldi propri a questa tecnologia:

- **l'alimentazione**, risulta essenziale conoscere la fonte da cui proviene l'energia per poter gestire in modo efficace la distribuzione,
- la **comunicazione**, necessaria per poter garantire una perfetta armonia tra tutti i dispositivi che compongono *la smart grid*, come i contatori, sensori distribuiti nella rete, computer con i software dedicati.
- **L'informazione**, utile per poter gestire efficientemente ed efficacemente i carichi sulla rete, le abitudini di consumo e quelle di produzione degli utenti⁴⁸.

⁴⁵ Tecnologia affidabile, economica ma con ridotta larghezza di banda e velocità di elaborazione dati limitata, utilizzabile in contesti di prossimità e in cui si privilegia l'economicità.

⁴⁶ Come 4G e 5G, per esempio, si tratta di una rete ampiamente diffusa pressoché ovunque, che si rende quindi adatta alla comunicazione in questo settore, gode di grande efficienza di trasmissione dati, ma è condivisa con altri utenti e non è perciò ad uso esclusivo delle SG.

⁴⁷ rete di trasmissione dati operante tramite la rete elettrica, già ampiamente utilizzata attualmente, ma che per essere adatta alle SG richiede modifiche e investimenti in termini di sistemi di interfacciamento.

Refaat, S. et al. (2021) Smart Grid and Enabling Technologies. 1st edn. Wiley. 1.5.4 Available at: <https://www.perlego.com/book/2806496/smart-grid-and-enabling-technologies-pdf> (Accessed: 19 May 2022).

⁴⁸ Refaat, S. et al. (2021) Smart Grid and Enabling Technologies. 1st edn. Wiley, 9 (1.5) <https://www.perlego.com/book/2806496/smart-grid-and-enabling-technologies-pdf> (Accessed: 18 May 2022).

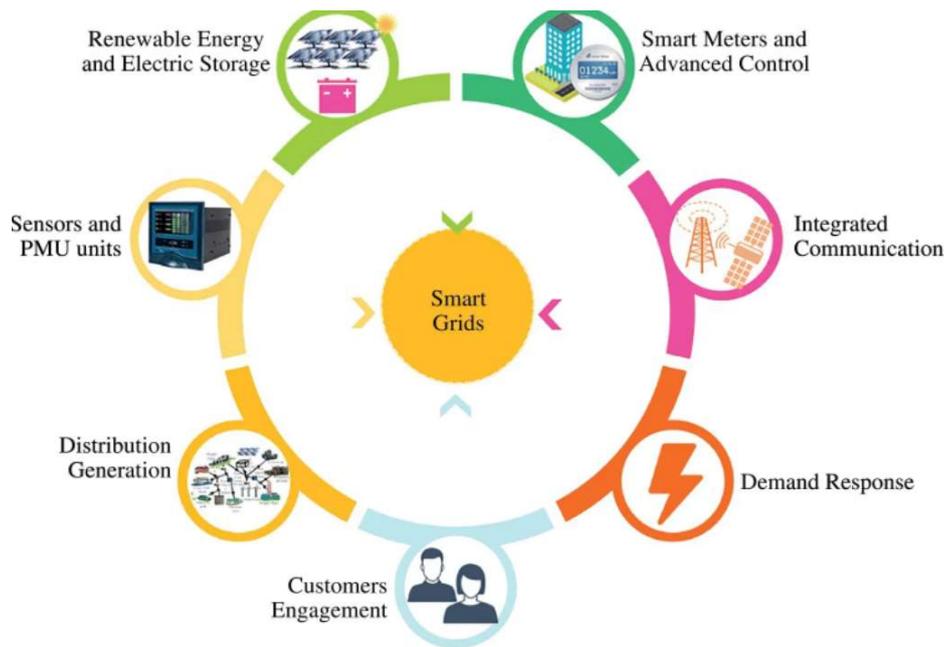


Figura 4 La presente figura rappresenta le aree tecnologiche chiave della rete *smart grid* con i suoi attori principali.

A titolo esemplificativo possiamo considerare il caso di un'utenza domestica, in cui è stata installata un sistema di generazione energetica di tipo fotovoltaico. In un contesto del genere è stato effettuato un investimento nell'acquisto di dispositivi di microgenerazione ad alta efficienza e a basse emissioni, contribuendo alla decentralizzazione delle sorgenti di energia e capace di contribuire all'immissione di elettricità in rete nei momenti di picco (qualora l'energia prodotta non sia del tutto assorbita dalle utenze interne dell'abitazione), evitando di produrre quella stessa energia altrove, evitando altresì emissioni di gas serra, perdite legate alla rete e al trasporto. Quanto scritto, applicato su vasta scala e nel lungo periodo si traduce in una dismissione dei centri di produzione di energia, divenute superflue o perlomeno limitando la costruzione di nuovi impianti. Tale sistema sarà collegato a un *mini computer* programmato appositamente per lo scopo, il quale, avrà il compito di gestire il flusso di energia in entrata (quello derivante dall'impianto fotovoltaico) facendo in modo di ottimizzarlo, vale a dire utilizzarlo nell'abitazione oppure venderlo alla rete, se in quel dato momento il prezzo dell'energia risulta

soddisfacente, rinviando a orari serali i cicli degli elettrodomestici in modo da poter beneficiare dei minori prezzi dell'energia proveniente dalla rete.

In alternativa, l'energia elettrica prodotta in eccesso, anziché ceduta, potrebbe essere dirottata all'utenza del garage e quindi alimentare e caricare la batteria dell'automobile (nel caso di auto elettriche) ed utilizzare l'auto stessa come "serbatoio" di energia: svuotato o riempito a seconda delle esigenze domestiche.

Nell'ambito delle imprese, i processi sono idealmente gli stessi, tuttavia è presente una complessità tecnica maggiore richiedenti apparecchiature molto più complesse e con una capacità di calcolo implementata. Si rende necessario considerare che, nell'ambito aziendale è possibile fare molto, dal punto di vista dell'efficienza energetica, in quanto, le società e in particolare l'industria pesante sono utenze molto energivore⁴⁹, in questo ambito i risparmi in termini di flussi energetici ed economici sono senz'altro notevoli.

La differenza rispetto ai privati è dovuta al fatto che non tutte le aziende hanno la possibilità di installare impianti per la produzione di energia, o anche qualora fosse possibile, spesso non in maniera sufficiente a poter sopperire al loro intero fabbisogno. Per questa motivazione, con ogni probabilità, i centri di produzione centralizzati non scompariranno, ma cambieranno la loro natura (da centrali a carbone a parchi eolici *offshore*, per esempio) e saranno comunque più diffusi sul territorio.

⁴⁹ Si tratta di grandi industrie del cemento, della metallurgia, ma anche chimica, alimentare e del vetro. Ranci P. (2011), Economia dell'energia, Il mulino.
Terna S.p.A. (2022), Comunicato stampa "nel 2021 deciso recupero dei consumi elettrici +5,6% rispetto al 2020, tornati sui valori del 2019" <https://www.terna.it/it/media/comunicati-stampa/dettaglio/consumi-elettrici-2021>

2.4 *Smart grids* ed energie rinnovabili

Quando si parla del settore energetico, inevitabilmente presto o tardi si deve considerare una variabile che non in tutti i settori è presente, l'intervento pubblico, presente in pressoché tutte le economie sviluppate, risulta significativo in quanto è alla base di tutte le attività economiche. Per tale ragione una sua regolarizzazione e l'erogazione di incentivi e limitazioni agli utenti o produttori in determinate situazioni conduce a dinamiche e traiettorie di mercato differenti da quelle classiche di un mercato non regolamentato.

Trattando di energie rinnovabili occorre tenere presente che attualmente, nel passato e molto probabilmente anche in futuro sono presenti in maniera diffusa, sgravi fiscali o incentivi di altra natura più o meno cospicui per chi installa apparecchiature per la produzione di energie rinnovabili, sia che si tratti di aziende che di privati. Tali agevolazioni sono state ideate in un'ottica di risparmio energetico, di economicità e di transizione sostenibile del settore energetico.

Uno degli effetti positivi conseguenti alle sovvenzioni statali in materia di energie rinnovabili, è il fatto di rendere disponibili questi impianti a un prezzo minore, così da accrescerne la richiesta, e di conseguenza la produzione, il che si tramuta nella possibilità dei produttori di sfruttare le economie di scala e migliorare le tecnologie. Tutto ciò permette alle aziende produttrici di poter offrire prodotti più competitivi in futuro. È importante non sottovalutare il prezzo di queste tecnologie, infatti è uno dei fattori cruciali per la loro diffusione e per accelerare il processo di transizione.

Interessandoci alle singole energie rinnovabili è chiaro che per trovare una sostenibilità in termini di efficienza ed economicità sarà inevitabile favorire un mix di approvvigionamenti piuttosto che concentrarsi su un'unica fonte.

Pressoché tutta l'energia esistente sul pianeta e di conseguenza anche quella a cui possiamo avere accesso deriva direttamente o indirettamente dal sole, il quale è

responsabile dello spostamento delle masse d'aria e di acqua sulla terra, oltre che all'irraggiamento diretto della superficie. La tecnologia fotovoltaica, che sfrutta la luce bianca prodotta dalla stella, è basata su pannelli di silicio che possono fornire energia per 25-30⁵⁰ anni senza manutenzione e la cui fabbricazione ha costi ambientali drasticamente minori rispetto alla tradizionale produzione di energia. Inoltre, la loro efficienza è stata progressivamente in ascesa negli anni.

L'eolico è l'altro grande protagonista candidato per favorire la creazione di una rete decentralizzata, grazie anche qui all'abbondanza della materia prima per il funzionamento delle turbine. Per entrambe queste alternative sussiste una grande problematica che è riscontrabile nella grande fluttuazione in termini di produzione⁵¹.

Esiste poi un'ulteriore via percorribile, che è quella del geotermico, si tratta di un'energia rinnovabile, prodotta dalla terra che può essere sfruttata per mezzo di vapore o acqua calda che sono sprigionati dal terreno. Nella fattispecie per poter ottimizzare e sfruttare in maniera conveniente questa energia occorre scendere in profondità nel terreno; è scendendo infatti che le temperature sono più alte⁵². Persistono problematiche di natura tecnica e di convenienza economica nello sfruttamento di questa risorsa, che però non hanno impedito di fare notevoli passi in avanti negli ultimi decenni sul fronte dello sfruttamento del calore della terra. Non è escluso quindi che in un futuro prossimo il geotermico possa contribuire in maniera rilevante al mix energetico globale. Anche se in alcune parti del mondo (specialmente laddove magari l'eolico e il fotovoltaico non sono opzioni praticabili) questa risorsa risulta già ampiamente utilizzata o utilizzabile.

⁵⁰ Belu, R. (2022) Smart Grid Fundamentals. 1st edn. CRC Press. Available at: <https://www.perlego.com/book/3198871/smart-grid-fundamentals-pdf> (Accessed: 14 June 2022).

⁵¹ La prova di quanto affermato, è il fatto che il 50% dell'energia viene prodotta da una turbina nel 15% del tempo totale di funzionamento.

⁵² Si parla di un aumento di temperatura di circa 30°C per ogni km di profondità. Belu, R. (2022) Smart Grid Fundamentals. 1st edn. CRC Press. Available at: <https://www.perlego.com/book/3198871/smart-grid-fundamentals-pdf> (Accessed: 14 June 2022).

La seppur parziale complementarità dell'insieme di queste risorse è già in grado di garantire lì per una base per un sistema energetico diffuso a bassa tensione in grado di limitare in parte le fluttuazioni in fase di produzione. Tuttavia, persiste un non trascurabile ostacolo di natura tecnica derivante dall'interfacciarsi in rete di fonti energetiche così diversificate, dovuto dalla necessità di modulare la tensione in modo che oscilli entro gli stretti limiti stabiliti e ad altri parametri tecnici.

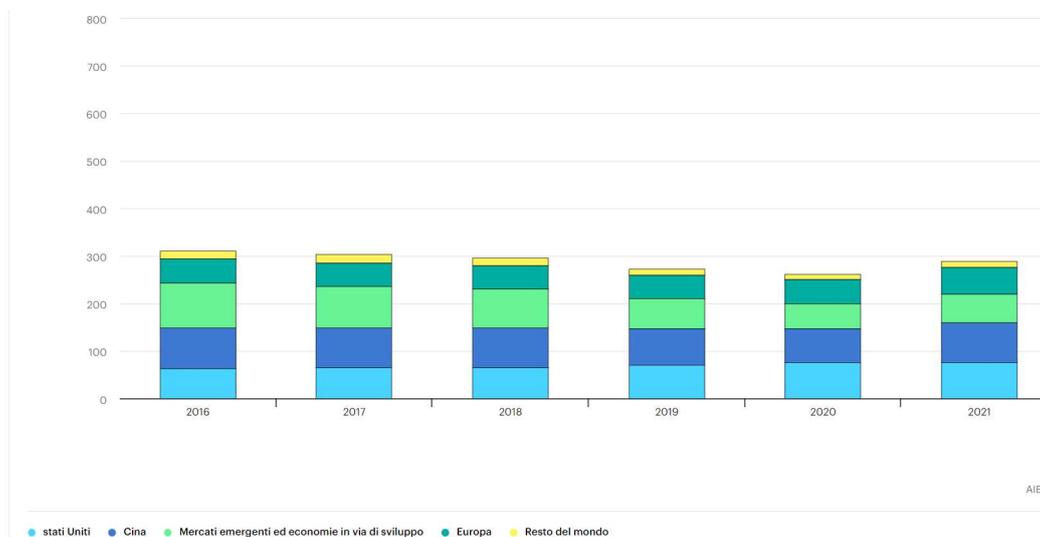
Risulta però doveroso porre l'attenzione sul risparmio energetico derivante dal taglio alle perdite di rete; infatti, con un sistema diffuso, il percorso dell'elettricità è molto minore, dal punto di vista fisico, per raggiungere all'utenza finale, ciò permette di evitare i lunghissimi trasferimenti per mezzo di cavi, le modulazioni di tensione e le conseguenti ingenti perdite durante il trasporto.

Con riferimento alle perdite, esse non sono trascurabili, infatti possono costituire fino a 1/10 del costo totale dell'energia trasportata, anche se dipendono dalla tensione, infatti più la tensione dell'elettricità è alta, minori saranno le perdite⁵³.

⁵³Si parla del 10,2% del costo totale per le utenze a bassa tensione, del 3,8% per quelle a media tensione e del 2% per quelle ad alta tensione (utenze industriale). ARERA <https://www.autorita.energia.it/allegati/docs/09/TIS.pdf>

2.5 Il mercato delle Smart grids e gli investimenti nel settore

Per quanto riguarda gli investimenti che hanno come oggetto la rete di distribuzione dell'energia possiamo dire che hanno subito un calo a livello mondiale fino al 2021⁵⁴, anche a causa della crisi pandemica, per poi ritornare a crescere successivamente, come appare evidente dall'istogramma sottostante.



55

Grafico 2. Investimenti a livello mondiale, in miliardi di dollari dedicati alla rete elettrica per area geografica nel periodo 2016-2021. Gli investimenti per l'ultimo anno preso in analisi, il 2021, si attestano sui 290 miliardi di dollari.

I leader degli investimenti sulle reti energetiche sono le economie occidentali e la Cina, tuttavia, anche l'India (seppur in maniera minore) con il suo innovativo programma di sviluppo delle reti⁵⁶, emerge come uno dei principali protagonisti di questa transizione.

⁵⁴ AIE (2021), Smart Grids , AIE, Parigi <https://www.iea.org/reports/smart-grids>

⁵⁵ AIE, Spesa per investimenti nelle reti elettriche per regione, 2016-2021 , AIE, Parigi <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-spending-in-electricity-networks-by-region-2016-2021>

⁵⁶ AIE (2021), Smart Grids , AIE, Parigi <https://www.iea.org/reports/smart-grids>

Per quanto riguarda l'Unione Europea, è previsto che l'installazione dei contatori intelligenti (elementi chiave della rete *smart grid*) arriverà a coinvolgere più di tre quarti dei cittadini europei nel 2024⁵⁷

Con il rinnovo della rete di distribuzione, è in atto una revisione dei ruoli degli operatori di rete locali e nazionali che sono chiamati a ricoprire posizioni differenti rispetto al passato, facendo fronte a una serie di innovazioni e cambiamenti che obbligano un rapido adattamento. In tal merito si rende necessario creare infrastrutture dotate maggiore efficienza (intesa come limitazione delle perdite e capacità di trasmissione) e maggiore flessibilità (intesa come capacità di adattarsi a diversi carichi di diversa intensità in fasce orarie differenziate).

Oltre a questa problematica si aggiunge l'effetto del cambiamento climatico che condiziona le infrastrutture della rete elettrica sottoponendole a maggiori sollecitazioni causate da eventi meteorologici estremi più frequenti, viene quindi data priorità all'irrobustimento delle infrastrutture.

Inoltre, la siccità (fenomeno che va intensificandosi con gli anni) viene minata la capacità di stoccaggio e produzione dei bacini idroelettrici, strutture cruciali nel sistema energetico globale.

Per fronteggiare tali problematiche, giocano un ruolo importante l'applicazione delle nuove tecnologie a questo contesto, quali lo sviluppo di un sistema basato su *blockchain* ed intelligenza artificiale, strumenti in grado di regolare, semplificare ed ottimizzare, tutto quel che oggi viene eseguito in maniera semi automatica nella gestione e nella compravendita dell'energia elettrica.

⁵⁷ Commissione Europea, "Smart grids and meters", consultato nel giugno 2022, https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en

2.6 Modelli concreti di attuazione della tecnologia smart grid, i casi “Enel – Telegestore” ed “Energy Pool”

2.6.1 Italia, 2001, Enel “Telegestore”

Fin dai primi anni del duemila, la società Enel, leader del settore energetico italiano ha intrapreso un massivo programma di investimenti propedeutico allo sviluppo delle reti intelligenti nel paese. Per l’attuazione dei progetti sono state mobilitate ingenti risorse economiche che complessivamente superano i due miliardi di euro⁵⁸. Tali fondi sono stati dedicati in prevalenza al progetto Telegestore, con il quale si provvede all’installazione di *smart meters* presso le utenze private e aziendali con l’obiettivo di apportare benefici economici⁵⁹ e temporali agli utilizzatori e ai produttori.

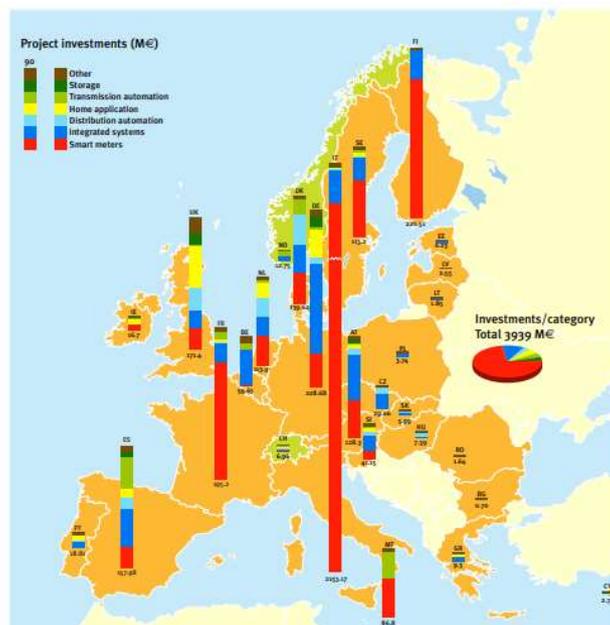


Figure 2. Geographical distribution of investments and project categories

* This figure does not include the total budget of the Swedish smart meter programme (estimated budget €1.5 billion), as not enough details were made available at this stage.

⁵⁸ Con un investimento complessivo ben al di sopra degli altri membri dell’unione europea.

⁵⁹ In termini economici il risparmio annuo realizzato è di 500 milioni di euro all’anno, che per i consumatori si traduce in un potenziale abbassamento delle tariffe energetiche. V. Giordano, F. Gangale, G. Fulli, M. Sánchez Jiménez, (2011) JRC REFERENCE REPORTS, Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments, 38-42, https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf

Figura 5, entità economica per nazione dei progetti di investimento inerenti alle smart grids, suddivisi per tipologia. ⁶⁰

Tale piano ha avuto larga adesione presso i consumatori che si sono mostrati favorevoli all'installazione di contatori intelligenti, i quali hanno loro permesso di poter monitorare in maniera più attenta i consumi e di ottimizzarli. Sempre inerente allo stesso ambito è stato sviluppato il progetto "Address⁶¹", in cui viene gestita la compravendita della flessibilità di carico delle utenze, in modo da mettere a disposizione la capacità di carico individuale che in un dato momento non è utilizzata ad altre utenze che necessitano temporaneamente di un fabbisogno energetico supplementare.

Tale assetto è reso possibile grazie alla presenza di aggregatori, sistemi che si occupano di aggregare e gestire i flussi energetici delle singole utenze, creando una domanda attiva di energia a partire dalla potenza installata ma non utilizzata.

La redditività di una piattaforma degli aggregatori aumenta in maniera più che proporzionale al numero di utenze sottoscrittrici, a condizione di vincoli amministrativi non eccessivamente stringenti e garanzia di trasparenza per la tutela della *privacy*.

I costi di investimento di questi progetti sono stati sostenuti fino a questo momento dalle società di produzione e distribuzione di energia⁶², le quali si sono avvalse della creazione di consorzi pluridisciplinari in partenariato con aziende tecnologiche ed università per poter raggiungere gli obiettivi prestabiliti. Tuttavia, per poter implementare la diffusione delle reti intelligenti (anche oltre gli *smart meters*) si renderà necessaria una condivisione dei costi di investimento tra

⁶⁰V. Giordano, F. Gangale, G. Fulli, M. Sánchez Jiménez, (2011) JRC REFERENCE REPORTS, Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments, 17, https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf

⁶¹ V. Giordano, F. Gangale, G. Fulli, M. Sánchez Jiménez, (2011) JRC REFERENCE REPORTS, Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments, 38-42, https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf

⁶² V. Giordano, F. Gangale, G. Fulli, M. Sánchez Jiménez, (2011) JRC REFERENCE REPORTS, Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments, 38-42, https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf

produttori/gestori e utenti. In quanto un modello in cui sono solo i produttori/gestori ad investire potrebbe minare la loro disponibilità a sostenere ingenti investimenti in futuro.

2.6.2 Francia, 2010, Energy Pool

Nel dipartimento della Savoia in Francia, ha sede, Energy Pool una delle società che costituiscono gli attori principali del mondo delle *smart grids* in Europa. In particolare, la suddetta azienda può essere vista come un unico grande aggregatore di energia elettrica, che rende disponibile alle aziende, soprattutto alle più energivore, elettricità ricavata dall'ottimizzazione dei consumi grazie alle comunicazioni in tempo reale tra i diversi attori.

Il contesto; il paese in cui opera l'impresa e la sua caratteristica di essere indipendente dai grandi gruppi energetici la rendono un interessante caso di studio.

Anche la Francia, come la grande maggioranza dei paesi industrializzati, possiede la peculiarità di avere un'importante differenza tra i picchi di consumo energetico delle ore centrali della giornata e i punti più bassi della curva, raggiunti durante la notte⁶³. Tale caratteristica sottintende una grande potenza installata, che tuttavia, viene utilizzata solamente in un arco temporale giornaliero inferiore all'ora. In aggiunta la Francia possiede numerosi centri per la produzione di energia nucleare, i quali non possono sospendere la produzione di energia, in caso di

⁶³ Nel caso dell'Italia, prendendo in considerazione la curva energetica del 14 maggio 2022 si ottiene un gap energetico di circa 8500 MG (capitolo 2.1). Mentre nel caso della Francia, considerando sempre la curva energetica del 14 maggio il gap tra picco di domanda e punto più basso ammonta a circa 11500 MG, valore che in proporzione, risulta simile a quello dell'Italia. RTE, Réseau de Transport d'Électricité (2022), Report storico previsionale 14 maggio 2022, <https://www.services-rte.com/fr/visualisez-les-donnees-publiees-par-rte/courbes-de-consommation.html>

minore richiesta energetica, ma solamente rimodulati. Il nucleare, inoltre, costituisce gran parte della produzione energetica totale nel paese⁶⁴.

In un contesto del genere esiste un ragguardevole campo d'azione, in quanto il mercato non è ancora saturo il che, ha permesso a Energy Pool di ottenere una rapida crescita⁶⁵ grazie anche al fatto di avere assunto negli anni una dimensione sempre più internazionale⁶⁶. Dedicandosi anche a progetti in paesi emergenti, i quali necessitano di una gestione ancora più attenta delle risorse energetiche, data la scarsità di impianti di produzione.

Il core business di questa realtà si basa su tre pilastri fondamentali:

- *Software solution*, sviluppo di software per la gestione di piccole reti intelligenti a cui sono collegati clienti e fornitori,
- Gestione dei flussi di energia elettrica e di gas naturale da immettere nelle aziende che acquistano i loro servizi,
- *Consulting*, vengono eseguite consulenze sulla gestione energetica,

Energy Pool opera di fatto, nel settore B2B, ma si occupa anche della vendita dei propri servizi a RTE (*Réseau de Transport d'Électricité*), la società del trasporto dell'energia elettrica in Francia.

Come accennato, si tratta di un settore in piena crescita, che offre interessanti opportunità di sviluppo⁶⁷ nel prossimo futuro, acuite dalle recenti crisi che hanno stravolto gli scenari mondiali. Si concilia perfettamente con il processo di transizione energetica che è in atto nel mondo. Tuttavia, esiste una concorrenza

⁶⁴ Si tratta di 56 impianti in totale che coprono il fabbisogno energetico del paese per più del 70%. RTE, Réseau de Transport d'Électricité, bilan électrique 2019 (2019), https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-06/bilan-electrique-2019_1_0.pdf

⁶⁵ Nel 2021 la crescita del fatturato aziendale è stata di circa il 30%.

⁶⁶ i paesi nel portafoglio aziendale sono 20, tra cui i più rilevanti per la società sono Turchia, Giappone e Francia.

O. Baud (amministratore e fondatore della società), intervento del 9 marzo 2022 presso la sede della società a Bourget du Lac, dipartimento della Savoia (Francia).

⁶⁷ O. Baud (amministratore e fondatore della società), intervento del 9 marzo 2022 presso la sede della società a Bourget du Lac, dipartimento della Savoia (Francia).

assolutamente non trascurabile, composta dai grandi gruppi energetici come EDF. Anch'essi hanno sviluppato degli organi interni che si occupano della gestione delle reti e degli aggregatori; tuttavia, per via della loro natura non possiedono autonomia gestoria e agilità, comparabili al caso preso in esame.

2.7 Il contesto locale: l'idroelettrico

Proseguendo con la trattazione del vasto argomento delle *smart grids*, è doveroso porre l'attenzione sul contesto locale. Il nostro territorio, sebbene sia implicato in maniera piuttosto limitata dalla diffusione della tecnologia *smart grid*, dispone di notevoli quantità di una risorsa primaria che si presta in maniera eccellente all'applicazione di sistemi nell'ambito delle reti intelligenti, vale a dire l'acqua. Tale risorsa risulta preponderante nel mix energetico della regione Valle d'Aosta, risorsa sfruttabile in maniera efficace grazie ai grandi dislivelli e all'abbondanza delle masse glaciali in quota, che garantiscono un afflusso continuo durante l'anno.

Grazie alla presenza di serbatoi idrici (come le dighe) è possibile immagazzinare grandi quantità d'acqua che possono essere utilizzate anche a mesi di distanza dalla data del loro stoccaggio. Un importante vantaggio che possiedono i bacini idrici è il fatto di poter modulare il flusso di energia prodotto in maniera estremamente rapida⁶⁸. Grazie a questa caratteristica gli impianti idroelettrici con maggiore portata sono gli unici capaci di sopperire a grandi picchi energetici nell'arco di minuti, e sono, per questo motivo utilizzati per porre aggiustamenti alla curva energetica previsionale.

Il caso dell'idroelettrico valdostano è virtuoso in termini di efficienza, in quanto, la totalità delle risorse idriche disponibili (ad eccezione dei minimi deflussi vitali)

⁶⁸ Occorrono circa 15 minuti, per variare il flusso energetico prodotto da un impianto idroelettrico, tempistiche nemmeno paragonabili a quelle necessarie per la modulazione di un impianto nucleare o una centrale a gas naturale per esempio.

A. Luongo (ingegnere presso CVA S.p.A.), intervento del 1° luglio 2022 presso la sede della società a Chatillon, Valle d'Aosta (Italia).

vengono sfruttate in maniera da ottimizzare la produzione e la resa economica, grazie al fatto di avere la possibilità di immagazzinamento dell'acqua in quota. Nella fattispecie, la regolazione delle portate e dei flussi di acqua per l'erogazione di una data quantità di energia richiesta, in un dato momento, avviene mediante sistemi interconnessi in tempo reale che regolano in maniera automatica i volumi non solo negli impianti immediatamente sottostanti alle dighe, ma a caduta, a tutti gli impianti sottostanti fino al fondo valle⁶⁹. In questo momento si tratta dell'unica energia rinnovabile in grado di essere sfruttata indipendentemente dal periodo dell'anno o dal momento del giorno e modulata in tempo reale in base alle esigenze, senza la necessità di trovare una soluzione allo stoccaggio dell'elettricità prodotta.

Tuttavia, è bene precisare che le risorse idriche sono soggette al ciclo dell'acqua, che ne influenza sensibilmente la quantità disponibile a seconda della stagione, tuttavia, attraverso una parsimoniosa gestione è possibile sopperire alla richiesta energetica in qualsiasi periodo dell'anno, salvo eventi di siccità estrema.

⁶⁹ Tale configurazione possiede una difficoltà tecnica elevata, ma che permette uno sfruttamento completo delle risorse a disposizione, la tecnologia alla base dei sistemi di comunicazione è il PLC.

3. PROSPETTIVE FUTURE

3.1 Le opportunità offerte dalla tecnologia e le comunità energetiche

Nelle sezioni precedenti è stata posta l'attenzione sugli aspetti della tecnologia *smart grids* che stanno influenzando maggiormente nel processo di transizione energetica in atto negli ultimi anni, quali *smart meters* e aggregatori. Tuttavia, esiste un'applicazione relativamente recente delle reti intelligenti, la quale racchiude tutte le principali caratteristiche delle *smart grids* e sfrutta in maniera efficace i vantaggi che questa rete può portare. Si tratta delle **comunità energetiche**, termine che identifica un insieme di soggetti, operanti in un'area geografica circoscritta, nell'ordine di dimensione di un edificio o di un quartiere, i quali, grazie all'installazione di impianti F.E.R. dislocati all'interno della comunità, si intercambiano energia durante le ore di produzione, a seconda delle necessità e in contemporanea. Esiste, inoltre la possibilità di installazione di accumulatori, i quali sono capaci di stoccare la sovrapproduzione di elettricità, rendendola disponibile in un secondo momento. La creazione di soggetti di questo genere risale a più di un secolo fa⁷⁰, ma solamente nell'ultimo periodo ha trovato le condizioni adeguate a un suo sviluppo e diffusione, grazie anche alla regolamentazione di cui recentemente il settore ha beneficiato⁷¹.

Tali comunità prendono legalmente forma societaria (tipicamente cooperativa) e possiedono il vantaggio del potersi approvvigionare dell'energia prodotta nelle

⁷⁰ Nella fattispecie il primo ente di questo genere nasce nel 1897 in Valtellina, SEM (Società Elettrica in Morbegno), tutt'ora esistente e interamente dedicato alla produzione di energia idroelettrica.

S.E.M., (2022), "Chi siamo", <https://www.sem-morbegno.it/ChiSiamo.html>

⁷¹ Facendo riferimento alla Legge n°8 del 2020;

Gazzetta Ufficiale, 29 febbraio 2020, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/29/20G00021/sg>

immediate vicinanze dal sito di produzione, e di conseguente grande flessibilità, oltre ad incentivare i singoli utenti all'installazione di impianti F.E.R.. Ulteriore vantaggio, riguarda l'accesso da parte dei soci sottoscrittori agli incentivi messi a disposizione dal governo.

Le entità di cui è stato trattato possono riguardare sia edifici privati che aziende: anche se, al momento, limitato a PMI ed aziende agricole, in questo ultimo caso si parla di comunità energetiche agricole.

Risulta in ogni caso doveroso rimarcare che sono presenti anche in questo settore alcune criticità, legate essenzialmente alla vulnerabilità data dalla concentrazione di tutte le fonti di produzione di energia in un distretto geografico limitato, il quale potrebbe essere potenzialmente soggetto a fenomeni naturali avversi o altri avvenimenti che possono compromettere l'approvvigionamento energetico, anche se, in ogni comunità viene mantenuto l'accesso alla rete di distribuzione nazionale sulla quale è possibile fare affidamento oppure scambiare quote di energia. Il perimetro attualmente limitato in cui operano queste reti, impedisce di esprimere il potenziale in termini di efficienza energetica raggiungibile con una rete di maggiore estensione e con un maggior numero di utenze, come quella di un comune o di una città di piccole dimensioni, a titolo di esempio.

3.2 Limiti della tecnologia e trattamento dati prospettive di crescita e sviluppo e intelligenza artificiale.

Le prospettive di crescita di questa tecnologia sono molteplici e potenzialmente in grado di rivoluzionare l'intero processo di produzione e distribuzione dell'elettricità, in maniera responsabile e parsimoniosa. Tutto questo, al fine di utilizzare nel miglior modo possibile l'energia che viene prodotta, spesso, ad un alto costo ambientale ed economico.

Prendendo in considerazione l'applicazione dell'intelligenza artificiale alla tecnologia *smart grid* si possono immaginare solo alcuni dei molteplici benefici di cui ci si potrebbe avvalere, né è lampante esempio la manutenzione predittiva, vale a dire l'individuazione dei guasti dell'infrastruttura di distribuzione prima ancora che essi si manifestino, aumentando notevolmente l'affidabilità complessiva di rete. Oppure, nel contesto domestico, l'accensione o lo spegnimento di apparecchiature elettriche quando inutilizzate e la modulazione della potenza in base al contesto di utilizzo delle stesse. Si tratta, tuttavia di utilizzi minoritari rispetto alla vasta gamma di quelli che potenzialmente potrebbero essere messi in atto in tutta la filiera energetica.

Nonostante siano state gettate le premesse per l'implementazione dello sviluppo delle reti intelligenti, che non si limiti al solo contesto domestico ma che coinvolga l'intera infrastruttura, sussistono ancora diverse problematiche non secondarie da affrontare per poter assistere a una diffusione su vasta scala di questa tecnologia.

Prima tra tutte, come accennato nei capitoli precedenti, esiste la limitazione infrastrutturale e tecnologica che coinvolge quasi la totalità della rete di distribuzione. Quest'ultima, infatti, è stata ideata per il trasporto unidirezionale dell'elettricità e non di certo per incanalare flussi energetici a bassa tensione che si muovano da e verso l'utilizzatore. L'ammodernamento di tale infrastruttura nella sua totalità richiede un investimento colossale in termini economici, di cui

non possono farsi carico solamente i grandi produttori (in quanto economicamente sconveniente per questi ultimi), ma è necessario un cofinanziamento da parte dello stato e dei cittadini. Tuttavia, un primo sforzo in questo senso è stato fatto, grazie allo stanziamento dei fondi per l'ammodernamento della rete di distribuzione previsto dal PNRR⁷², un primo importante passo in avanti in questo senso, ma che da solo non è sufficiente a garantire la conversione dell'intera infrastruttura nazionale.

Secondariamente, si palesa un'altra problematica di natura tecnica che attualmente pone alcune limitazioni all'adozione diffusa e capillare *delle smart grids*, si tratta della gestione degli ingenti flussi di dati derivanti dall'interazione tra i dispositivi, gli impianti, i contatori e la rete. I sopracitati flussi sono tali da richiedere tecnologie per la loro elaborazione (come l'intelligenza artificiale, ma anche computer dotati di grandi capacità di calcolo) che attualmente sebbene disponibili sul mercato, non sono lo sono a prezzi tali da favorirne un massivo impiego.

Altra criticità riguarda i dati raccolti dalle apparecchiature che compongono le reti intelligenti, proprio questi dati sono essenziali a garantire l'efficienza e provocare i vantaggi propri a questa tecnologia, di cui è stato trattato fino a questo momento. Senza informazioni in merito alle abitudini di consumo degli utenti, della produzione giornaliera degli impianti, dei flussi in entrata e in uscita non ha senso promuovere l'utilizzo delle reti intelligenti. Le *smart grids* possono fare la differenza nel panorama energetico globale solamente avendo accesso alle informazioni rilevabili dalle apparecchiature, pena, l'annullamento del vantaggio in termini di efficienza che promettono di garantire. Altresì, la raccolta di queste informazioni tanto fondamentali, fa emergere la non trascurabile problematica del trattamento dei dati raccolti e della tutela della privacy.

⁷² I fondi a cui si fa riferimento sono i 3,76 miliardi di euro stanziati per il rafforzamento delle reti elettriche intelligenti.
Presidenza del consiglio dei ministri (2022), piano nazionale di ripresa e resilienza, M2C2, <https://italiadomani.gov.it/it/home.html>

Inoltre, nell'ultimo decennio la persistenza di prezzi del gas altamente concorrenziali rispetto alle altre materie energetiche, ha favorito una sempre maggiore presenza di questa fonte energetica all'interno del mix energetico nazionale, tuttavia, i recentissimi risvolti geopolitici e la speculazione sulle materie energetiche hanno provocato un aumento delle quotazioni del gas naturale,⁷³ rendendone molto meno conveniente il suo utilizzo. Come diretta conseguenza a questi rincari, sono al vaglio alternative per una modifica strutturale al mix energetico, con una focalizzazione preponderante sulla via dell'autonomia energetica, possibilmente garantita dalle F.E.R. e dall'estrazione di gas dai giacimenti locali. Fino a che le quotazioni del gas naturale e dei beni energetici sono rimaste a livelli economicamente sostenibili il processo di diffusione e sviluppo è rimasto secondario rispetto alle fonti energetiche tradizionali, ma nel contesto attuale, tale tecnologia passa in primo piano nel panorama dell'energia, giustificando i massicci investimenti messi a disposizione in questa filiera.

Nell'abito del raggiungimento di una maggiore autonomia energetica, le reti intelligenti sono essenziali in quanto permettono di ottimizzare, i flussi energetici prodotti, aumentando l'efficienza degli impianti ed utilizzare meno risorse (che si tratti di impianti fotovoltaici, suolo o risorse idriche) a parità di servizio reso. Il primo passo per un aumento della capacità energetica è non sprecare energia, è questo è possibile, implementando l'efficienza degli impianti e della rete di distribuzione.

⁷³ A titolo esemplificativo considerando il prezzo della materia prima energia del mercato tutelato per quanto concerne il gas naturale si assestava sui 0,478 €/Smc nell'ultimo trimestre del 2021, mentre il suo prezzo nel terzo trimestre del 2022 è di 1,028 €/Smc. Si tratta di più del raddoppio rispetto ai valori di fine 2021, già soggetti a un percettibile aumento dovuto dalla ripresa economica post pandemica e dalla speculazione.

ARERA (2022), Aggiornamento trimestrale, <https://www.arera.it/it/dati/aggtrim.htm#gas>

3.3 Inquadramento della tecnologia nel contesto green economy e PNRR e F.E.R.

In tutte le pianificazioni energetiche e le proiezioni del futuro appare preponderante il ricorso all'energia prodotta da fonti rinnovabili, tali fonti energetiche sono viste come l'unica alternativa al tradizionale modello energetico. Sebbene siano indubbiamente propedeutiche alla decentralizzazione del sistema energetico e possono essere installate in ogni luogo del pianeta, possiedono grandi limitazioni: prima tra tutte la già accennata intermittenza dei cicli di produzione che preclude il loro sfruttamento in determinate fasce orarie o stagionali, per poter ovviare a questa problematica occorrerebbero sistemi di stoccaggio molto capienti, soluzione non percorribile con le odierne tecnologie. Inoltre, spesso, non viene tenuto conto del fatto dei grandi appezzamenti di terreno necessari all'installazione di un parco eolico o fotovoltaico e l'impatto ambientale delle attrezzature sia nella fase di produzione che dal punto di vista dell'inquinamento visivo.

Al momento presente tutti i grandi piani che siano di dimensione locale, nazionale o sovranazionale incorporano un massiccio impiego delle F.E.R., trovando proprio in queste ultime la chiave per la creazione di un nuovo modello.

Indubbiamente il progresso tecnologico e le interazioni degli impianti F.E.R. con le reti intelligenti non possono che aumentare il rendimento complessivo e di conseguenza incidere positivamente sui volumi di elettricità prodotta, ma costituiranno per loro natura una percentuale sul totale, non essendo certo in grado di coprire in maniera efficace l'intero fabbisogno.

Per questa serie di motivazioni le energie rinnovabili non sono la soluzione al problema del cambiamento del mix energetico ma ne costituiscono solo una parte.

La grande problematica energetica attuale spinge i decisori a una sempre maggiore volontà ed esigenza di un cambio di rotta, che escluda i combustibili fossili dal panorama energetico, ma non avendo di fatto una soluzione chiara su quale tecnologia possa colmare la domanda energetica. Volendo escludere l'energia nucleare, al momento non esistono modi di produrre grandi quantità di energia in maniera economica e sostenibile dal punto di vista ambientale; tuttavia, esistono valide alternative minori (in termini di quantità di energia prodotta) che agevolano il processo di transizione, favorendo un sistema ibrido tra combustibili fossili e rinnovabili.

CONCLUSIONE

Attraverso l'analisi proposta in questo lavoro accademico è possibile rendersi conto dell'entità degli sforzi sostenuti e dell'importanza di un cambiamento di modello energetico, che tuttavia presenta numerose incognite e punti di critica che minano alle ottimistiche previsioni di un cambio di modello rapido e con sacrifici economici limitati. Il nuovo modello energetico designato pone un'attenzione particolare alle fonti rinnovabili, sulle quali sono concentrati gran parte delle risorse, ma esse possiedono importanti limitazioni che le obbligano ad essere supportate da altre fonti energetiche alternative. Proprio in merito a queste altre fonti potrebbe rendersi necessaria una rivalutazione dell'energia atomica in quanto concretamente potrebbe offrire soluzioni efficaci, sebbene anche questa energia abbia non poche controindicazioni. I recenti sviluppi tecnologici nel campo dell'idrogeno verde potrebbero favorire la diffusione su larga scala di questo carburante innovativo; tuttavia, anche in questo scenario sono presenti limitazioni non trascurabili. Come è evidente non è presente una chiara via da perseguire, in quanto ogni alternativa presenta i suoi vantaggi e le sue criticità, fino a quando non verrà individuata una fonte energetica in grado di essere largamente utilizzabile, pulita ed economica, occorrerà trovare delle soluzioni che per loro natura non potranno essere considerate ottimali e condivise universalmente ma che costituiranno un primo passo verso un nuovo scenario energetico.

In ogni caso, quale che siano le soluzioni che verranno adottate il risparmio dell'energia prodotta, si colloca alla base delle politiche energetiche intraprese. L'avvento e la diffusione delle reti intelligenti non potrà che agevolare la tanto ambita transizione. I casi analizzati nell'ambito della presente trattazione sono esempi concreti dimostranti che il perseguimento di obiettivi di efficientamento energetico costituiscono un investimento che è in grado di riportare tangibili risultati alla comunità e opportunità interessanti per le aziende che decidono di prendere parte al processo. Inoltre, non bisogna dimenticare che tutti gli sforzi per rendere

più efficiente il sistema, il processo di produzione e di distribuzione dell'energia elettrica, porta a conseguire vantaggi ambientali indiretti e a vantaggi economici diretti per tutte le utenze energetiche.

INDICE DELLE FIGURE

- Figura 1.** il presente grafico indica le quote globali delle differenti forze motrici, nell'evoluzione umana dal 1700 all'inizio del nuovo millennio..... 2
- Figura 2** In questa figura vengono riportate le fonti energetiche da cui si approvvigiona L'U.E. e il loro peso percentuale. Tale raffigurazione è rappresentativa del mix energetico antecedente all'entrata in vigore del REpowerEU.....16
- Figura 3** la figura rappresenta la differenza tra una rete energetica tradizionale e una rete intelligente. Particolarmente evidente è l'interscambio dei flussi energetici presente nella rete intelligente.....23
- Figura 4** La presente figura rappresenta le aree tecnologiche chiave della rete smart grid con i suoi attori principali..... 28
- Figura 5** Entità economica per nazione dei progetti di investimento inerenti alle smart grids, suddivisi per tipologia..... 35

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 2. Il presente grafico presenta la richiesta di energia elettrica previsionale e a consuntivo italiana in data 14 maggio 2022, tale grafico presenta una differenza tra massimo e minimo che si aggira intorno ai 8500 Mw.....20

Grafico 3 Investimenti a livello mondiale, in miliardi di dollari dedicati alla rete elettrica per area geografica nel periodo 2016-2021. Gli investimenti per l'ultimo anno preso in analisi, il 2021, si attestano sui 290 miliardi di dollari..... 33

RIFERIMENTI

Vaclav S. (2021), Energia e civiltà. Una storia, Hoepli

Kander A., Malanima P., Warde P. 2013 – Power to the people: Energy in Europe over the last five centuries. Princenton (NJ), Princenton University

Grassia L. (2009), “A Marghera la centrale più efficiente d’Europa”, La Stampa 5 marzo 2019 (<https://www.lastampa.it/economia/2019/03/05/news/a-marghera-la-centrale-piu-efficiente-d-europa-1.33685519/>)

Ranci P. (2011), Economia dell’energia, Il mulino

Ministero della transizione ecologica (2020), Relazione annuale situazione energetica nazionale dati 2020, <https://dgsaie.mise.gov.it/situazione-energetica-nazionale>

World Energy Council (2009), Energy Efficiency report 2009, www.worldenergy.org

World Energy Council (2021), Trilemma Index 2021, https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WE_Trilemma_Index_2021_-_Executive_Summary_-_French.pdf

Mocellin M. (2022), Atlante Treccani - sez. Geopolitica, 21 aprile 2022, https://www.treccani.it/magazine/atlante/geopolitica/Le_incognite_GNL.html

Istat (2020), Rapporto tematico “goal7”, <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2020/goal7.pdf>

Arpa Valle d’Aosta (2013), gli impianti di teleriscaldamento a biomassa e le tecnologie per ridurre le emissioni, 19/04/2013 https://www.regione.vda.it/energia/pdf/REPORT_2B2.pdf

Telcha, Teleriscaldamento, <http://www.telcha.it/www/rispetto-per-lambiente/>

Alverà M. (2020), rivoluzione idrogeno, Mondadori

Alleau T. (2015), Nouvelles technologies, l'hydrogène, Encyclopédie de l'énergie, 20/10/2015, <https://www.encyclopedie-energie.org/lhydrogene/>

Presidenza del consiglio dei ministri (2022), piano nazionale di ripresa e resilienza, M2C2, 132-144, <https://italiadomani.gov.it/it/home.html>

Commissione Europea, "REPowerEU: energia sicura, sostenibile e a prezzi accessibili per l'Europa" (maggio 2022), https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_it

Eurostat, *Simplified energy balances*, 14 aprile 2022, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_1946578/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=8760d5fb-bdbe-4cfe-9b79-c0dc3eaafe8f

Parlamento Europeo (2011), Réseaux intelligents : de l'innovation au déploiement, Bruxelles il 12/04/2011, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011DC0202&from=DE>

Terna S.p.A. (2022), Report storico previsionale 14 maggio 2022, <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/dispacciamento/dati-esercizio>

ARERA - Autorità di regolazione per Energia reti e ambiente (2022), Andamento del prezzo dell'energia elettrica per il consumatore domestico tipo in maggior tutela marzo 2022, <https://www.arera.it/it/dati/eep35.htm>

Ferretti, A. (2015) 'Smart grids' : Les réseaux et compteurs d'électricité 'intelligents'. 1st edn. Presses Académiques Francophones,
<https://www.perlego.com/book/3206676/smart-grids-les-rseaux-et-compteurs-dlectricit-intelligents-pdf> (Accessed: 15 May 2022)

European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) e the Council of European Energy Regulators (CEER), Market Monitoring Report M.M.R. (2021),
[https://extranet.acer.europa.eu/Official documents/Acts of the Agency/Publication/ACER%20Market%20Monitoring%20Report%202020%20%E2%80%93%20Electricity%20Wholesale%20Market%20Volume.pdf](https://extranet.acer.europa.eu/Official%20documents/Acts%20of%20the%20Agency/Publication/ACER%20Market%20Monitoring%20Report%202020%20%E2%80%93%20Electricity%20Wholesale%20Market%20Volume.pdf)

Refaat, S. et al. (2021) Smart Grid and Enabling Technologies. 1st edn. Wiley.
Available at: <https://www.perlego.com/book/2806496/smart-grid-and-enabling-technologies-pdf> (Accessed: 17 May 2022)

Swissgrid (2022), Niveaux de réseau,
<https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>

Terna S.p.A. (2022), Comunicato stampa "nel 2021 deciso recupero dei consumi elettrici +5,6% rispetto al 2020, tornati sui valori del 2019"
<https://www.terna.it/it/media/comunicati-stampa/dettaglio/consumi-elettrici-2021>

Belu, R. (2022) Smart Grid Fundamentals. 1st edn. CRC Press. Available at:
<https://www.perlego.com/book/3198871/smart-grid-fundamentals-pdf>
(Accessed: 14 June 2022).

ARERA <https://www.autorita.energia.it/allegati/docs/09/TIS.pdf>

AIE (2021), Smart Grids , AIE, Parigi <https://www.iea.org/reports/smart-grids>

AIE, Spesa per investimenti nelle reti elettriche per regione, 2016-2021 , AIE, Parigi <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-spending-in-electricity-networks-by-region-2016-2021>

Commissione Europea, “Smart grids and meters”, consultato nel giugno 2022, https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en

Giordano, F. Gangale, G. Fulli, M. Sánchez Jiménez, (2011) JRC REFERENCE REPORTS, Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments, 38-42, https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf

RTE, Réseau de Transport d'Électricité (2022), Report storico previsionale 14 maggio 2022, <https://www.services-rte.com/fr/visualisez-les-donnees-publiees-par-rte/courbes-de-consommation.html>

RTE, Réseau de Transport d'Électricité, bilan électrique 2019 (2019), https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-06/bilan-electrique-2019_1_0.pdf

O. Baud (amministratore e fondatore della società), intervento del 9 marzo 2022 presso la sede della società a Bourget du Lac, dipartimento della Savoia (Francia).

Luongo (ingegnere presso CVA S.p.A.), intervento del 1° luglio 2022 presso la sede della società a Chatillon, Valle d’Aosta (Italia).

S.E.M., (2022), “Chi siamo”, <https://www.sem-morbegno.it/ChiSiamo.html>

Gazzetta Ufficiale, 29 febbraio 2020,

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/29/20G00021/sg>

ARERA (2022), Aggiornamento trimestrale,

<https://www.arera.it/it/dati/aggtrim.htm#gas>