



ROBERTO PARATO

FONTI RINNOVABILI ED ENERGIA DEL FUTURO

COME INTEGRARE LE TECNOLOGIE DI PRODUZIONE
E DI STOCCAGGIO DI ENERGIA DA FONTE PULITA CON LE RETI
DI DISTRIBUZIONE E DI TRASMISSIONE DI ENERGIA



Clicca e richiedi di essere contattato
per **informazioni** e **promozioni**


GRAFILL

Roberto Parato

FONTI RINNOVABILI ED ENERGIA DEL FUTURO

Ed. I (12-2021)

ISBN 13 978-88-277-0283-3

EAN 9 788827 7 02833

Collana **COME FARE PER** (77)



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**PRONTO
GRAFILL**



**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

RINGRAZIAMENTI	p.	5
INTRODUZIONE	"	11
1. LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE PIÙ DIFFUSE E UTILIZZATE	"	13
1.1. Potenza ed energia prodotta	"	13
1.2. Le principali tecnologie che producono energia da fonti rinnovabili	"	15
1.2.1. L'energia da biomassa	"	15
1.2.1.1. Potenza installata a livello globale	"	16
1.2.2. L'energia geotermica	"	16
1.2.2.1. Utilizzi dell'energia geotermica	"	18
1.2.2.2. Potenza installata a livello globale	"	18
1.2.3. L'energia idroelettrica	"	18
1.2.3.1. Potenza installata a livello globale	"	19
1.2.4. L'energia eolica	"	20
1.2.4.1. Le moderne pale eoliche	"	22
1.2.4.2. Pale eoliche e produzione di energia	"	23
1.2.4.3. Potenza installata a livello globale	"	28
1.2.5. Energia solare	"	28
1.2.5.1. Solare termico	"	28
1.2.5.2. Solare fotovoltaico	"	29
1.2.5.3. Potenza installata a livello globale	"	40
2. NZEB	"	41
2.1. Conservazione dell'energia negli edifici	"	41
2.1.1. Progettazione di edifici passivi	"	41
2.1.1.1. Riscaldamento solare passivo	"	42
2.1.1.2. Costruire con basso utilizzo di energia	"	45
2.1.1.3. Energie rinnovabili integrate negli edifici	"	46
2.1.1.4. Alcuni esempi di edifici NZEB	"	46

3. ENERGIA E EFFICIENZA.....	p.	48
3.1. Edifici.....	"	52
3.2. Industria.....	"	53
3.3. Trasporti.....	"	54
4. SISTEMI ENERGETICI E INTEGRAZIONE		
FRA RETI ELETTRICHE ED ENERGIE RINNOVABILI.....	"	55
4.1. Integrazione basata su aggregazione		
e operatività intelligenti: le <i>smart grid</i>	"	55
4.2. Integrazione di vettori energetici.....	"	57
4.3. Integrazione basata su interfaccia		
fra vettori energetici "power to X".....	"	57
4.4. Le micro-reti.....	"	57
4.5. I vantaggi dell'integrazione di sistemi energetici		
e gli aggregatori.....	"	58
4.5.1. Gli aggregatori.....	"	58
4.5.1.1. Slittamento nel tempo della curva di carico.....	"	59
4.5.1.2. Servizi di bilanciamento della rete.....	"	61
4.5.2. L'integrazione fra differenti tecnologie.....	"	62
4.5.3. Il ruolo delle grandi reti già esistenti (elettrica e gas).....	"	63
4.6. Integrazione ed energie rinnovabili.....	"	64
5. TECNOLOGIE DISPONIBILI E LORO APPLICAZIONI.....	"	68
5.1. Impianti fotovoltaici.....	"	68
5.2. Pompe di calore.....	"	72
5.2.1. Sistemi centralizzati.....	"	74
5.2.2. Sistemi decentralizzati.....	"	75
5.3. Sistemi di accumulo.....	"	81
5.3.1. Sistemi di stoccaggio a batteria.....	"	85
5.3.1.1. Batterie BTM e FTM.....	"	88
5.3.1.2. Servizi delle batterie BTM		
per gli utenti finali.....	"	89
5.3.1.3. Servizi delle batterie BTM		
per gli operatori di rete.....	"	92
5.3.2. Servizi delle BTM per le micro reti elettriche.....	"	92
5.3.2.1. Servizi forniti per il funzionamento		
della rete.....	"	94
5.3.2.2. Servizi forniti grazie al differimento		
degli investimenti.....	"	97
5.3.2.3. Servizi forniti per la generazione		
di energia da parte delle FER.....	"	98

5.3.2.4.	Servizi per le mini reti locali	p.	99
5.3.2.5.	Batterie e veicoli elettrici.....	"	100
5.3.3.	Tecnologia CAES	"	102
5.3.4.	Volani.....	"	104
5.3.5.	Pompaggio in impianti idroelettrici.....	"	105
5.3.6.	L'idrogeno	"	107
5.3.7.	Considerazioni finali sui sistemi di stoccaggio.....	"	111
6.	LE RETI DI DISTRIBUZIONE E LORO POSSIBILI EVOLUZIONI.....	"	114
6.1.	Il ruolo di aggregatori e "prosumer"	"	114
6.2.	Le caratteristiche di una rete flessibile	"	114
6.3.	Fonti di energia distribuite	"	115
6.4.	Esempi di interazione fra fonti distribuite e reti	"	115
6.5.	La adattabilità fra fonti variabili di energia e le reti. Gli sbalzi di tensione	"	117
6.6.	Soluzioni per gestire l'energia da FER in una rete	"	119
6.6.1.	Servizi di dispacciamento "demand - response".....	"	119
6.6.2.	Contenimento della generazione distribuita.....	"	119
6.6.3.	Stoccaggio distribuito di energia	"	119
6.6.4.	Veicoli elettrici	"	119
6.6.5.	Gestione della domanda nel settore industriale	"	120
6.6.6.	Gestione della domanda nel settore commerciale e residenziale	"	120
7.	POTENZIALITÀ DELLE TECNOLOGIE DISPONIBILI E POSSIBILI SVILUPPI NEL FUTURO.....	"	121
7.1.	La accessibilità dei mercati elettrici	"	121
7.2.	Le barriere tecnologiche	"	122
7.2.1.	Le dimensioni degli impianti diffusi	"	122
7.2.2.	Coordinamento fra attività ad alto consumo e produzione	"	123
7.2.3.	Le barriere di sostenibilità.....	"	123
7.3.	Conclusioni	"	125
↘	APPENDICE		
	INTRODUZIONE ALLA PROGETTAZIONE E ALLA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA ENERGETICO INTEGRATO A LIVELLO DI UTENZA FINALE DA COLLEGARE A UNA RETE ELETTRICA INTELLIGENTE	"	127
A.1.	Introduzione	"	127
A.1.1.	Metodo di approccio	"	129
A.2.	Analisi del sito	"	130

	A.2.1.1. Studio della struttura del sito	p.	130
	A.2.1.2. Analisi dei flussi energetici e dei consumi	"	131
A.3.	Interventi di miglioramento dell'efficienza	"	132
A.3.1.	Interventi sulla struttura del sito	"	132
	A.3.1.1. Cappotti isolanti	"	132
	A.3.1.2. Infissi a bassa dispersione termica	"	133
A.3.2.	Interventi sui flussi energetici	"	134
	A.3.2.1. Installazione di impianti ad energia rinnovabile	"	134
	A.3.2.2. Sistema di climatizzazione efficiente	"	134
	A.3.2.3. Acqua calda con pompa di calore	"	135
	A.3.2.4. Luci LED	"	137
	A.3.2.5. Principi di dimensionamento per impianti da connettere in una <i>smart grid</i>	"	137
A.4.	Integrazione delle tecnologie in una rete intelligente	"	139
A.5.	Bibliografia	"	143
BIBLIOGRAFIA			" 145
INDICE ANALITICO			" 151

INTRODUZIONE

Il nostro modello di sviluppo è altamente energivoro e di grande impatto sull'ambiente. Per questo motivo è sempre più sentita l'esigenza di impiegare tecnologie e risorse energetiche che aiutino a ridurre l'effetto delle attività umane sull'ecosistema.

Negli ultimi anni, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile è in costante crescita.

Il progresso e il miglioramento della tecnica consentono di avere degli strumenti e soluzioni evoluti ed innovativi nel campo dell'efficienza e del risparmio energetico. Oggi si può immaginare un futuro in cui la tecnologia a disposizione sarà integrata con i metodi di produzione e di gestione dell'energia, in modo da rendere più sostenibili le nostre attività e migliorare il nostro impatto sul pianeta.

In questo libro si cerca di esplorare le possibilità che sono oggi disponibili per contribuire a limitare il cambiamento climatico e perseguire lo sviluppo sostenibile attraverso le sinergie fra evoluzione tecnologica, efficienza energetica e energie rinnovabili.

La transizione energetica che ne conseguirà, potrà generare ampi vantaggi socio-economici che cambieranno in positivo le nostre vite.

LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE PIÙ DIFFUSE E UTILIZZATE

La Terra è assimilabile a un sistema chiuso, che non scambia con l'esterno materia ma energia. Ogni giorno riceve dal Sole una quantità media di energia pari a $1.366,9 \text{ W/m}^2$. Essa viene assorbita dal nostro ecosistema come calore, come luce, ed è indispensabile per la sintesi clorofilliana e tutto il ciclo del carbonio al quale è legata la vita sulla terra.

Le energie rinnovabili sfruttano l'energia che arriva dal Sole sotto forma di energia irradiata come luce e calore (solare termico e fotovoltaico) o come energia cinetica (energia eolica, idrica). Altre forme di energia rinnovabile utilizzano indirettamente l'energia solare, come l'energia dalle biomasse, oppure sfruttano il calore generato dal nucleo terrestre, come l'energia geotermica.

Nelle pagine successive ci concentreremo sulle fonti rinnovabili che al momento hanno maggiore diffusione e hanno un rapporto costi/benefici migliore rispetto alle altre.

1.1. Potenza ed energia prodotta

Prima di descrivere in modo più dettagliato i dispositivi che sfruttano l'energia presente nell'ambiente come il Sole e il Vento, diamo alcune definizioni utili:

- **Potenza:** energia che in un dato fenomeno viene trasferita per unità di tempo;
- **Potenza di picco:** potenza massima che può essere erogata per brevi periodi di tempo;
- **Potenza nominale:** potenza che viene erogata in modo continuativo per un determinato intervallo di tempo in particolari e specificate condizioni operative in corrispondenza delle quali avviene la trasmissione di energia (ad esempio temperatura esterna, velocità del vento... ecc. ecc.). La potenza si misura in watt (W). I watt si possono convertire in joule e viceversa secondo la seguente equazione:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}}$$

L'energia che viene trasferita con una determinata potenza e per un determinato intervallo di tempo si misura in joule (J), ma si può indicare anche in wattora (Wh). Di solito non si utilizzano i watt-ora ma i chilowattora (kWh), perché è una scala di grandezza che si adatta meglio al funzionamento di molti dispositivi e macchinari che utilizziamo.

Quindi un pannello solare o una pala eolica avranno una loro potenza nominale che, a determinate condizioni di funzionamento, gli consentirà di produrre una certa quantità di energia in un determinato intervallo di tempo. La figura 1.1 mostra l'evoluzione della produzione di energia a livello mondiale nel tempo, suddivisa per fonti di energia. (1)

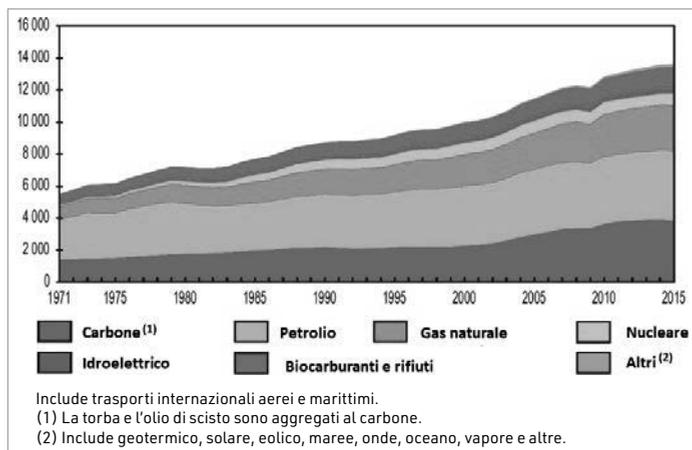


Figura 1.1. Produzione mondiale totale di energia primaria suddivisa per combustibile in Megatep (un milione di tonnellate equivalenti di petrolio)

Si vede come la produzione mondiale di energia sia in continua crescita. La quota di energie rinnovabili è aumentata ma resta ancora una parte minoritaria della produzione globale se confrontata alle fonti tradizionali.

È facile vedere come le energie rinnovabili abbiano assunto una importanza maggiore negli ultimi anni, ma restano ancora minoritarie rispetto alle fonti tradizionali.

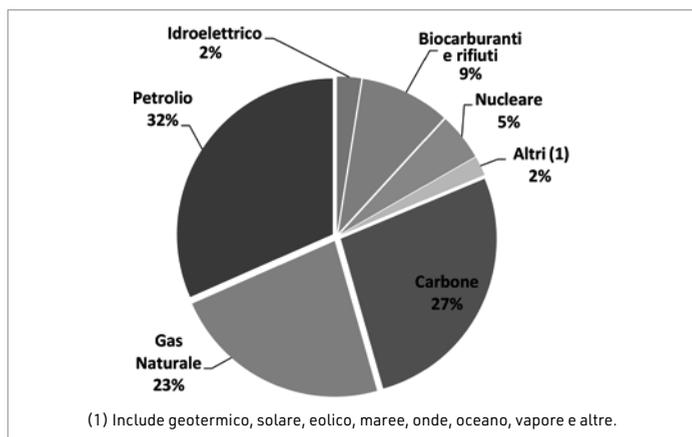


Figura 1.2. Produzione mondiale di energia primaria nel 2018 in percentuale di mega tonnellate equivalenti di petrolio

1.2. Le principali tecnologie che producono energia da fonti rinnovabili

1.2.1. L'energia da biomassa

La biomassa può essere definita come l'insieme di materia organica di origine vegetale e animale, ad eccezione dei combustibili fossili e le materie plastiche, che può essere utilizzata per produrre energia.

Alcuni esempi di biomassa sono gli scarti della produzione agricola e zootecnica, prodotti secondari e di scarto dell'industria, i rifiuti urbani, le coltivazioni di piante utilizzate appositamente per la produzione di oli vegetali.

La biomassa può essere direttamente impiegata come combustibile oppure trasformata essa stessa in combustibili utilizzati in seguito come fonte energetica. La composizione e la provenienza delle biomasse sono schematizzate nella seguente tabella:

Tabella 1.1. *Differenti tipologie di biomasse*

Origine della biomassa	Componenti delle biomasse	Combustibile o fonte energetica
Boschi e foreste	Scarti della lavorazione di legno e cellulosa, residui organici dei sottoboschi	Pellet, cippato
Agricoltura	Piantagioni coltivate direttamente per produrre energia, scarti della produzione agricola e zootecnica	Biocombustibili, oli vegetali
Rifiuti	Scarti delle attività umane, rifiuti	Biogas, biocombustibili, prodotti per la combustione diretta

I combustibili e le fonti di energia ricavate dalle biomasse possono essere impiegati in diversi modi e con differenti tecnologie, che hanno assunto nel corso degli anni un differente stadio di evoluzione. Alcune applicazioni hanno una diffusione su scala industriale, altre sono ancora applicazioni di nicchia che richiederanno, dove possibile, ulteriore sviluppo.

I metodi per produrre energia da biomasse si dividono in due categorie principali:

- 1) *processi biochimici*;
- 2) *processi termici*.

Alla base dei processi biochimici di conversione della sostanza organica c'è il principio che alcuni organismi, quali funghi e batteri, si alimentano di sostanza organica, ossidandola e ottenendo come scarto della loro attività composti chimici, come ad esempio il biogas, che possono poi essere utilizzati per produrre energia.

I processi termochimici consentono di ottenere energia grazie alle reazioni chimiche che avvengono applicando alla biomassa energia termica, cioè calore.

Negli ultimi anni si è fatta strada la differenziazione fra biomassa "tradizionale" e "moderna". Il termine tradizionale si riferisce alla combustione di biomasse come legno, carbone non fossile, scarti animali. Col termine moderno ci si riferisce a biocarburanti liquidi, impianti a biogas, bioraffinerie e impianti di riscaldamento a pellet.

NZEB

Si stima che il 40-45% dei consumi di energia in Europa è concentrato nel settore delle costruzioni e dell'edilizia. Circa due terzi di questa quantità sono consumati nelle abitazioni private. Di conseguenza, rendere le abitazioni e gli edifici più sostenibili diventa un elemento importante nella costruzione di un futuro che impatti meno sull'ecosistema.

Gli interventi di efficienza energetica si possono attuare sia per edifici nuovi che per quelli in ristrutturazione. Nell'Unione Europea, dal 2020, tutti i nuovi edifici devono perseguire l'obiettivo di essere a emissioni inquinanti pari quasi a zero, cioè NZEB, dall'acronimo inglese *Nearly Zero Emission Buildings*.

Le soluzioni per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, variano a seconda della posizione geografica e le condizioni climatiche.

2.1. Conservazione dell'energia negli edifici

I metodi principali per ridurre il consumo di energia negli edifici si possono elencare nelle seguenti categorie:

- 1) progettazione di edifici passivi e conservazione dell'energia;
- 2) materiali di costruzione ecosostenibili realizzati con basso utilizzo di energia;
- 3) elettrodomestici ad alta efficienza energetica e strumenti che favoriscano il risparmio energetico, come ad esempio le luci LED;
- 4) energie rinnovabili integrate negli edifici.

2.1.1. Progettazione di edifici passivi

Il primo passo per avere un edificio sostenibile è far sì che esso dissipi quanta meno energia possibile. Gli edifici passivi sono progettati in modo da sfruttare il Sole per climatizzare e illuminare gli ambienti. In fase di progettazione si utilizzano i principi e i processi naturali che sono alla base dei flussi di energia termica che avvengono per radiazione, conduzione e convezione naturale.

Quando la luce del Sole colpisce un edificio, la radiazione solare può essere assorbita, riflessa o trasmessa. Il calore prodotto dalla radiazione solare genera dei movimenti d'aria che possono essere previsti e convogliati in determinati spazi.

Partendo da questi principi basilari, si possono progettare e scegliere elementi e materiali che aiutino a climatizzare una casa. In una progettazione passiva non sono utilizzate parti meccaniche in movimento per convogliare il caldo o il freddo.

2.1.1.1. Riscaldamento solare passivo

L'obiettivo del riscaldamento passivo è quello di catturare il calore del Sole all'interno degli elementi che compongono l'edificio e di rilasciarlo in forma graduale anche durante le ore in cui il Sole non c'è.

Alcuni accorgimenti fondamentali per il riscaldamento solare passivo sono:

- 1) le superfici vetrate vanno esposte a sud nei paesi freddi. Posizione da evitare nei paesi caldi;
- 2) occorre avere dei materiali che facciano da massa termica per assorbire, immagazzinare e rilasciare il calore.

Ci sono tre differenti tipologie di approccio al riscaldamento solare passivo: guadagno termico diretto, indiretto e isolato. Vediamoli di seguito:

- 1) **Guadagno diretto:** in questo approccio l'ambiente abitabile è il collettore dell'energia solare, i muri e i pavimenti sono progettati per assorbire calore e sono parti funzionali della casa. La radiazione solare che passa attraverso i vetri colpisce i materiali, che ne assorbono il calore e lo rilasciano gradualmente anche durante la notte, come nella figura 2.1.

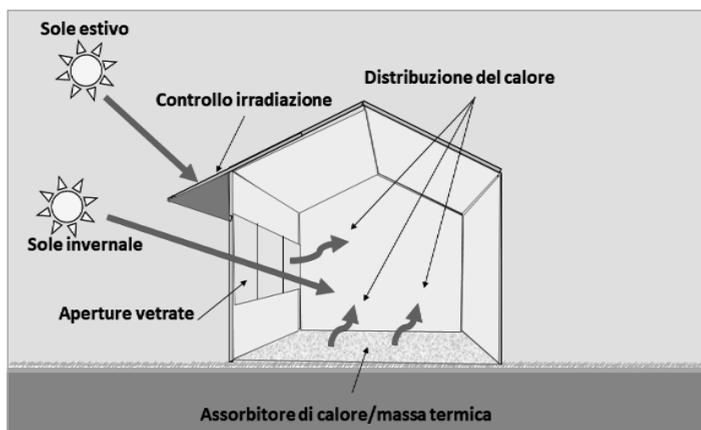


Figura 2.1. Guadagno diretto:
la radiazione viene assorbita e rilasciata durante la notte

Un sistema di guadagno diretto utilizza circa il 60-75% dell'energia che colpisce le superfici vetrate.

- 2) **Guadagno indiretto:** in un sistema a guadagno indiretto la massa termica è posta tra il Sole e lo spazio abitabile. Essa assorbe il calore dalla radiazione solare e lo trasmette alla casa per conduzione. Un sistema indiretto utilizza circa il 30-45% dell'energia che colpisce la superficie della massa termica.

Fra i tipi più diffusi di sistemi a guadagno indiretto ci sono:

- sistemi con muri ad accumulo termico;
- pareti d'acqua;
- superfici d'acqua disposte sul tetto.

I muri ad accumulo termico assorbono il calore durante il giorno. Il calore in eccesso è trasmesso all'ambiente interno attraverso intercapedini che fanno circolare l'aria. Durante la notte i passaggi d'aria all'interno dei muri sono chiusi e questi trasmettono calore all'abitazione solo per irradiazione.

Le pareti d'acqua sono composte da contenitori opachi o trasparenti al cui interno c'è l'acqua. Durante il giorno essa assorbe il calore del Sole e lo irradia all'interno dell'abitazione anche durante le ore notturne.

L'ultimo caso di guadagno indiretto è quello in cui si utilizzano serbatoi di acqua posti sul tetto. Questi sono coperti da uno strato isolante removibile a seconda del momento della giornata e delle stagioni. Durante l'inverno, il Sole scalda l'acqua che trasmette il calore all'interno dell'abitazione. Durante la notte la massa d'acqua viene coperta con l'isolante removibile e il calore accumulato non viene disperso all'esterno ma ceduto solo all'interno.

In estate il meccanismo è il contrario. Durante il giorno lo strato isolante copre il serbatoio d'acqua così che l'acqua assorba calore solo dall'interno della casa. Durante la notte l'isolante è rimosso e l'acqua irradia il calore che assorbe dall'interno della casa nell'ambiente esterno.

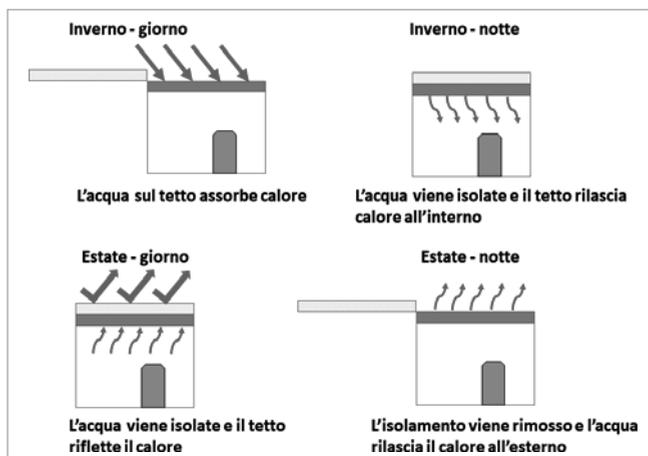


Figura 2.2. Riscaldamento e raffreddamento con il sistema dello stagno d'acqua su tetto

- 3) **Guadagno termico isolato:** in questo tipo di soluzione il serbatoio che accumula il calore dal Sole ha la sua parte assorbente separata dalla zona abitabile della casa. Il calore passa dall'accumulo termico all'abitazione tramite un fluido come acqua o aria, per convezione naturale o forzata. Un sistema a guadagno isolato utilizza

ENERGIA E EFFICIENZA

L'energia da fonte rinnovabile è parte fondamentale di un sistema energetico che riduca il suo peso sull'ecosistema. Gran parte dei gas serra presenti nell'atmosfera è generata dall'uso e la produzione di energia. La ricerca di fonti energetiche a bassa emissione inquinante è una priorità se si vuole evitare l'innalzamento della temperatura oltre la soglia dei 2°, valore di riferimento per le ultime negoziazioni ed accordi internazionali (accordi di Parigi del 2015). Nella figura 3.1 vediamo la quantità di emissioni di CO₂ per settori di consumo energetico.

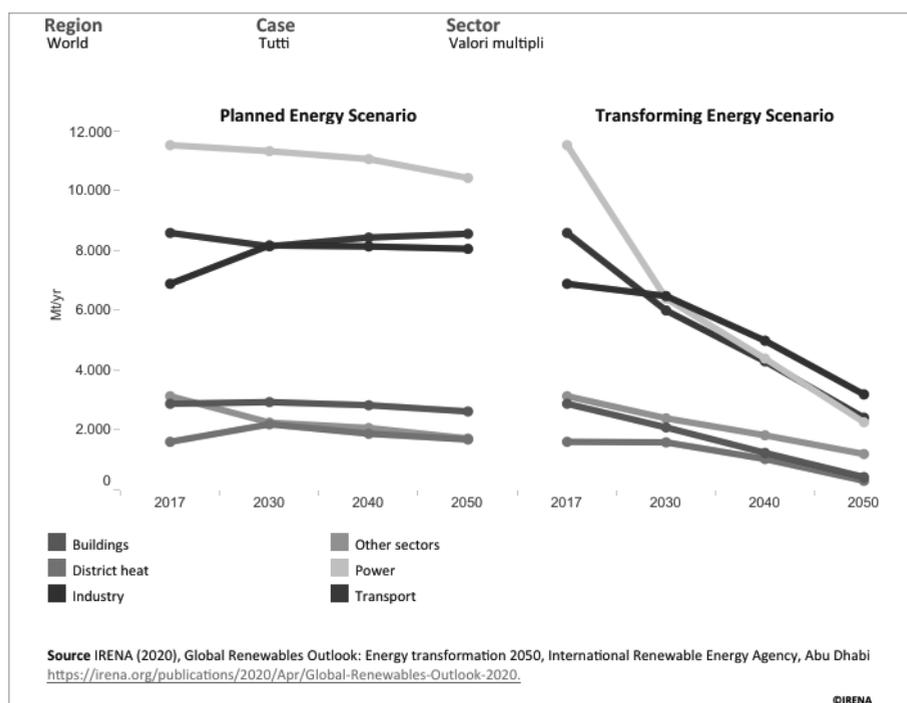


Figura 3.1. Emissioni annuali di CO₂ legate all'energia

Nel grafico di sinistra sono rappresentate le emissioni previste nel caso in cui non si adottino serie politiche di intervento sui consumi energetici. Nel grafico a destra sono

illustrate le emissioni di CO₂ nel caso in cui si intervenga con importanti politiche di implementazione delle energie rinnovabili. Si vede la differenza fra i due scenari e come dovrà essere notevole il cambiamento se vorremo invertire la rotta fino ad oggi seguita.

Se non ci saranno cambiamenti radicali nelle politiche energetiche e le emissioni complessive di CO₂ non saranno ridotte di 470 giga-tonnellate (Gt) entro il 2050, raggiungeremo il livello di emissione di CO₂ che innalzerà la temperatura di 2° in circa 20 anni (18). Ridurre al minimo l'utilizzo di combustibili fossili grazie all'incremento delle energie rinnovabili è un punto chiave per arrivare a una transizione energetica rivolta al futuro.

Nel grafico di figura 3.2 è illustrata la fornitura di energia mondiale attuale (in EJ, exajoule) e la stimata futura evoluzione sino al 2050, entrambe suddivise in fonti rinnovabili e non. Nella parte sinistra del grafico c'è il caso in cui non saranno apportate sostanziali modifiche al nostro modello di sviluppo. Nella parte destra è rappresentato il caso ipotizzato da IRENA (Agenzia Internazionale per le Energie Rinnovabili) con una previsione di un forte aumento delle energie rinnovabili pari al 60% di produzione globale, mirato ad evitare i cambiamenti climatici.

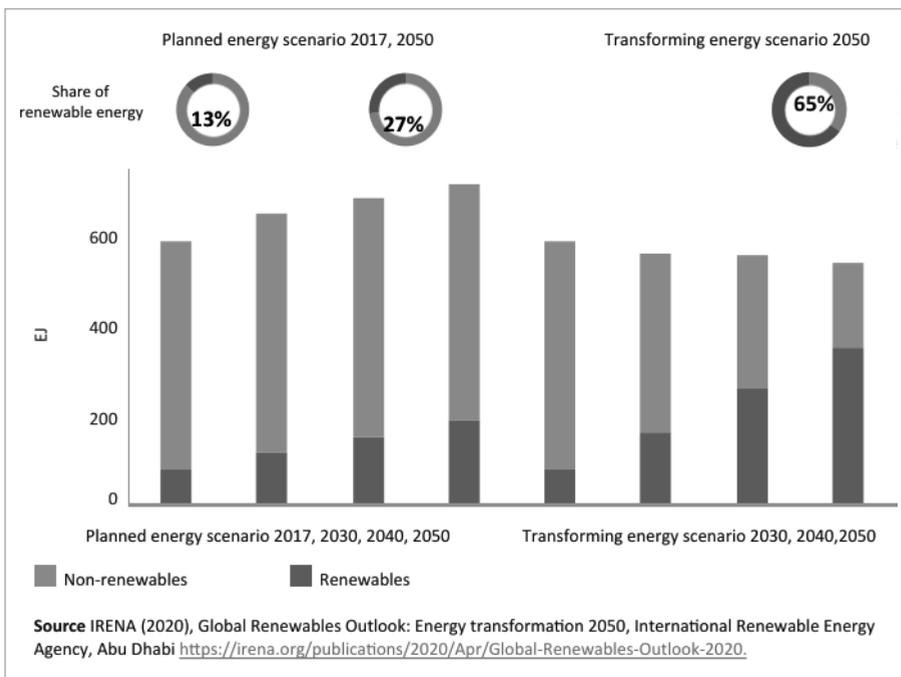


Figura 3.2. Fornitura di energia primaria globale

Senza forti interventi a livello politico e decisionale, le fonti di energia fossili continueranno ad avere un ruolo predominante anche negli anni a venire.

Nel grafico di figura 3.3 si vede in dettaglio come è suddivisa la produzione di energia elettrica per fonti rinnovabili e la sua evoluzione nei due scenari futuri.

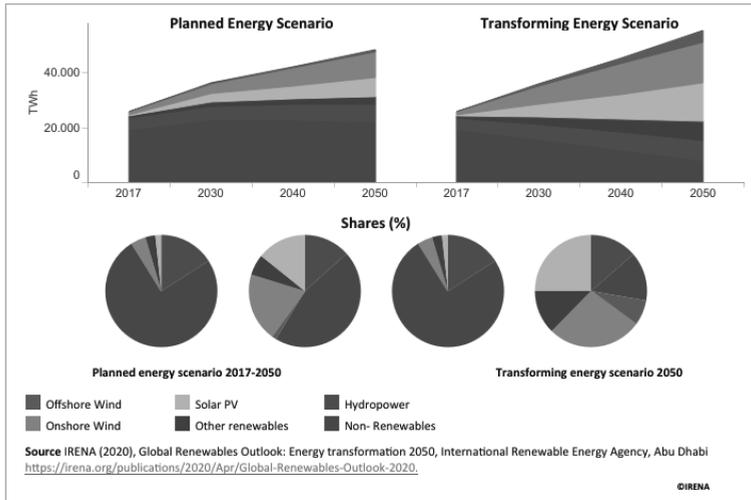


Figura 3.3. Produzione di energia per tipologia di fonte rinnovabile

Anche l'Italia potrebbe seguire questo andamento. Nel grafico di figura 3.4 vediamo la suddivisione dei consumi totali in Italia per tipologia di fonte energetica. Nella colonna a sinistra la situazione nel 2010. Nelle altre due colonne le previsioni per gli scenari futuri.

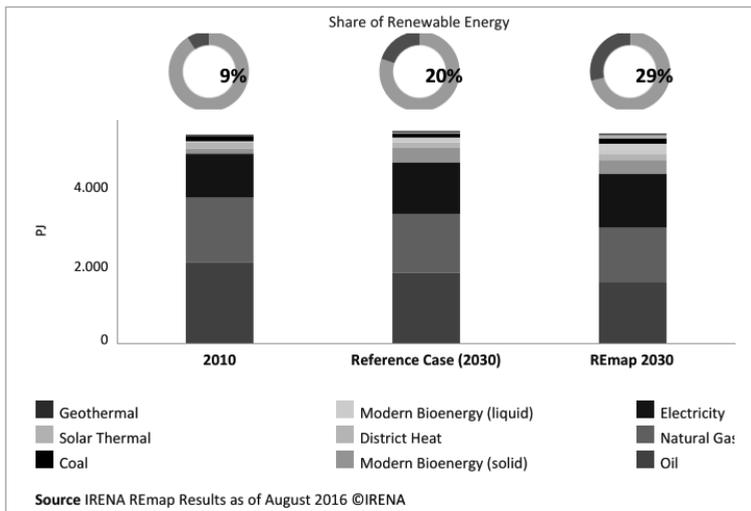


Figura 3.4. Consumi energetici suddivisi per fonti rinnovabili e fossili in Italia

Ogni attività che comporta un consumo energetico dovrebbe essere strutturata in modo da rispettare una scala di priorità. Il primo stadio è la riduzione della richiesta di energia grazie a un miglioramento dell'efficienza. Il secondo stadio prevede che i fabbisogni energetici debbano essere il più possibile alimentati da energie rinnovabili. Come terzo ed ultimo stadio, la richiesta ulteriore di energia deve essere fornita da fonti fossili/

SISTEMI ENERGETICI E INTEGRAZIONE FRA RETI ELETTRICHE ED ENERGIE RINNOVABILI

I sistemi energetici sono costituiti da tutto ciò che riguarda la produzione, la conversione, la consegna e l'utilizzo finale dell'energia. Essi coinvolgono diverse tipologie di combustibili, tecnologie, processi, infrastrutture fisiche che interagiscono fra loro per fornire energia sotto forma di combustibili, elettricità, calore e trasporti.

Queste componenti sono fra loro interconnesse, ma nelle reti di distribuzione tradizionale hanno spesso operato in modo indipendente, assieme alla presenza di grandi centrali di produzione di energia.

Lo sviluppo delle fonti di energia rinnovabile (d'ora in avanti FER), la volontà di aumentare la compatibilità con l'ecosistema di questo tipo di infrastrutture e di ridurre il loro impatto sull'ambiente, richiedono sempre di più soluzioni efficienti ed integrate fra di loro. L'integrazione di un sistema energetico è un processo che richiede il coordinamento e la pianificazione di diversi sottosistemi su differenti livelli di dimensione e scala geografica, per consentire l'accesso all'energia riducendo l'impatto sull'ambiente. (21)

Una classificazione sommaria dei differenti sistemi di integrazione di energia è fatta da tre tipologie principali:

- 1) **integrazione basata su aggregazione e operatività intelligenti**, in cui, grazie a l'impiego di sistemi di automazione e comunicazione avanzati, le varie componenti del sistema interagiscono fra loro in modo coordinato;
- 2) **integrazione di vettori energetici**, in cui si adottano tecnologie che combinino assieme più vettori energetici per la produzione ed il trasporto di energia;
- 3) **integrazione basata su interfaccia** fra vettori energetici "power to X".

4.1. Integrazione basata su aggregazione e operatività intelligenti: le *smart grid*

La Piattaforma Tecnologica Europea per le Smart Grid (ETP, *European Technology Platforms*) dà la seguente definizione: «Una Smart Grid è una rete elettrica in grado di integrare in modo intelligente le azioni di tutti gli utenti ad essa collegati – generatori, consumatori e coloro che ricoprono entrambi i ruoli – al fine di dare in modo efficiente forniture elettriche sostenibili, economiche e sicure».

Nelle *Smart Grid*, l'integrazione fra le diverse parti di un sistema energetico è favorita da tecnologie e dispositivi di telecomunicazione di ultima generazione che aumentano il

grado di automazione e di interazione dei vari componenti della rete elettrica e, in base agli input ricevuti, (ad esempio produzione alternante di energia da parte di una FER) adattano la risposta degli altri componenti del sistema.

Le reti elettriche diventano così più interattive, automatizzate e reattive.

I dispositivi intelligenti di integrazione possono comunicare lo stato della rete per una diagnosi in tempi ristretti e possono inviare segnali di controllo ai vari elementi che la compongono, per consentire un funzionamento coordinato dei componenti del sistema energetico.

I dispositivi di telecomunicazione avanzati e integrati raccolgono i dati di funzionamento dei vari componenti a cui sono collegati. In questo modo la configurazione del sistema può essere cambiata ed ottimizzata in base a previsioni fatte sui dati statistici accumulati.

Sistemi di monitoraggio intelligenti possono aumentare il coinvolgimento degli utenti nella rete di distribuzione, facendo loro assumere un ruolo attivo nello scambio di flussi energetici. Fra i dispositivi più diffusi, che condividono in modo pressoché istantaneo informazioni sullo stato di funzionamento della rete, ci sono i **contatori intelligenti**, che consentono di monitorare i flussi di energia, registrandoli e trasmettendoli al fornitore del servizio. Essi permettono in modo costante la comunicazione fra il fornitore e l'utenza finale.

I **dispositivi di misura dei fasori**, indicati anche come PMU (*Phasor Measurement Units*) sono sensori ultra veloci che consentono di monitorare lo stato della rete e gestirne la potenza presente su una scala di tempo di microsecondi.

Le **infrastrutture per il monitoraggio avanzato** (*Advanced Metering Infrastructure - AMI*) consentono la gestione delle comunicazioni e dei dati che i sistemi di connessione dei contatori intelligenti si scambiano e migliorano la coordinazione fra il fornitore del servizio di energia e l'utenza. (22)

Il **machine learning** è un metodo di analisi e una branca dell'intelligenza artificiale che automatizza la costruzione di modelli analitici. Associato ai **big data**, cioè banche dati che racchiudono una grande quantità di informazioni, consente ai sistemi che la utilizzano di imparare in autonomia da questi dati, identificare autonomamente dei processi e prendere decisioni riducendo al minimo l'intervento umano.

Se applicati alle reti e ai sistemi di distribuzione energetica, contribuiscono alla loro gestione più efficiente ed integrata.

Un altro tema collegato alle *smart grid* è quello di centrale elettrica virtuale.

Attraverso l'utilizzo delle tecnologie elencate precedentemente si riescono ad aggregare diverse fonti di micro generazione di energia, distribuite su un territorio più o meno vasto, con la possibilità di controllare gli elementi che la compongono e gestire i loro flussi di energia. In questo modo, l'insieme dei singoli punti di micro generazione agirà come una unica centrale di produzione.

All'interno di una centrale virtuale si possono integrare diverse fonti di energia che sono poi uniformate dal punto di vista tecnico e commerciale nella centrale virtuale, che diventa così visibile e gestibile dall'operatore di rete.

4.2. Integrazione di vettori energetici

L'integrazione di diversi vettori energetici all'interno di un sistema di generazione e distribuzione di energia, si ha quando differenti tipi di combustibile vengono impiegati per la fornitura di servizi energetici, come nel caso di centrali elettriche a più combustibili o pompe di calore ibride, oppure attraverso la generazione simultanea di differenti servizi energetici tramite l'utilizzo di una singola fonte di energia, come avviene ad esempio negli impianti di cogenerazione, da cui si genera calore ed elettricità.

4.3. Integrazione basata su interfaccia fra vettori energetici "power to X"

Il termine "power to X" si riferisce a tecnologie che convertono surplus energetico in prodotti alternativi.

Con le tecnologie "power to X" (dove la X può stare ad esempio per combustibili, prodotti chimici, gas) è possibile trasferire energia dal settore elettrico ad altri settori come i trasporti, il calore, le reti gas e i processi industriali.

I vettori energetici utilizzati possono essere combustibili come biogas o idrogeno, oppure prodotti chimici, calore e così via. Questi prodotti possono essere usati direttamente oppure riconvertiti in energia elettrica. In questo modo si può creare una connessione di rete tra energia e reti di distribuzione di vari combustibili e si crea una ulteriore opzione per integrare le FER all'interno della rete.

4.4. Le micro-reti

Il concetto di micro reti risale ai primi anni 2000, periodo in cui si fece strada la tendenza a migliorare l'affidabilità della rete per fare fronte a picchi di carico locali, dividendo la rete elettrica in tante sotto reti più piccole, ognuna capace di operare in modo indipendente in caso di guasti. Da allora il concetto si è evoluto, considerando le micro reti come tanti snodi di un sistema più esteso, con la capacità di essere flessibile per adeguarsi alle necessità sia tecniche che economiche del momento.

Le micro reti possono essere viste come una versione in miniatura della rete generale, con un sistema di controllo centralizzato che ne coordina il funzionamento. Nella costituzione delle micro reti giocano un ruolo importante gli impianti FER, celle a combustibile, idroelettrico, che forniscono servizi locali legati all'utilizzo di energia elettrica. Le micro reti non sono soltanto elettriche, ma possono comprendere anche tecnologie come il tele riscaldamento o la produzione di energia da biomasse.

Le micro reti sono molto vantaggiose per le utenze locali, poiché garantiscono un accesso costante all'energia anche in caso di guasti generalizzati della rete. I vantaggi delle micro reti sono anche di tipo socio economico, in quanto favoriscono la partecipazione alla distribuzione dell'energia da parte degli utenti (piccoli impianti fotovoltaici o veicoli elettrici) e possono garantire in maniera continua servizi essenziali, come le cure mediche e gli approvvigionamenti di acqua e cibo in caso di calamità naturali.

TECNOLOGIE DISPONIBILI E LORO APPLICAZIONI

In questo capitolo approfondiremo quali sono le tecnologie disponibili o che potrebbero avere un incremento nel prossimo futuro e che aiuteranno ad integrare risorse di energia distribuite, prevalentemente rinnovabili, con il sistema elettrico ed energetico.

5.1. Impianti fotovoltaici

Gli impianti fotovoltaici sono oggi prevalentemente connessi alla rete di distribuzione elettrica. Lo schema di funzionamento di un sistema fotovoltaico è sempre lo stesso, sia per impianti domestici che per impianti più grandi a servizio di utenze commerciali o industriali, vediamo un esempio.

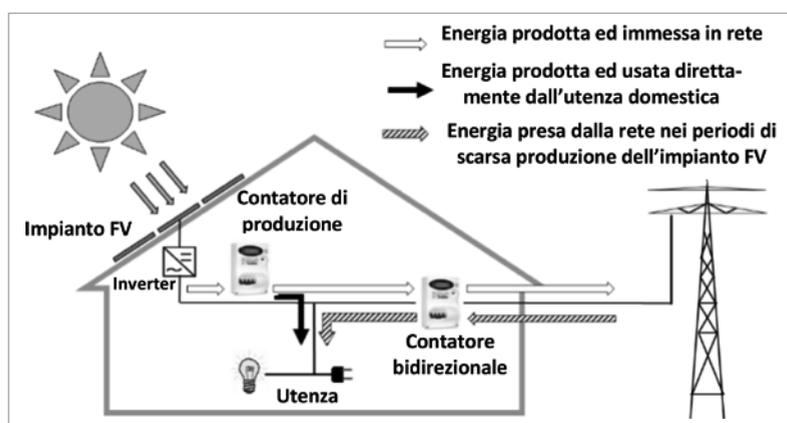


Figura 5.1. Schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico

L'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici, viene trasmessa sotto forma di corrente continua all'inverter, che trasforma la corrente da continua in alternata.

La corrente alternata può quindi essere utilizzata dall'utenza.

Se l'impianto produce più energia di quella richiesta in un determinato periodo, la quantità di energia in eccesso sarà trasmessa alla rete grazie alla presenza di un contatore bidirezionale. Lo stesso contatore consentirà di fare arrivare energia dalla rete

esterna quando la produzione da parte dell'impianto fotovoltaico non basterà a coprire la richiesta che arriva dall'utenza.

Questo è il funzionamento classico di un impianto a fonte rinnovabile che utilizza la rete elettrica come un serbatoio dal quale attingere o al quale dare l'energia a seconda della necessità del momento. Se all'impianto si aggiunge un accumulo a batteria, l'energia in più prodotta non verrà più ceduta alla rete ma immagazzinata nelle batterie e da queste verrà prelevata quando servirà. In figura 5.2 uno schema di questo tipo di impianto.

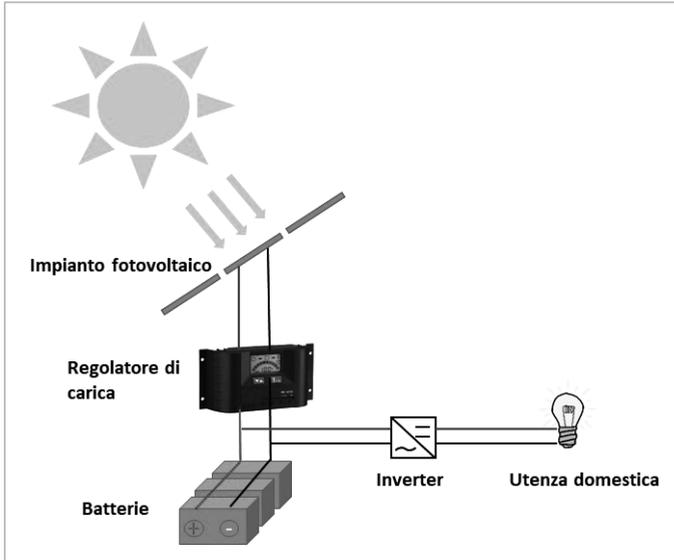


Figura 5.2. Schema di impianto con accumulo a batterie

Il serbatoio di energia non è più la rete ma il sistema di batterie. Rete elettrica e batterie possono anche essere impiegati assieme (vedere figura 5.3).

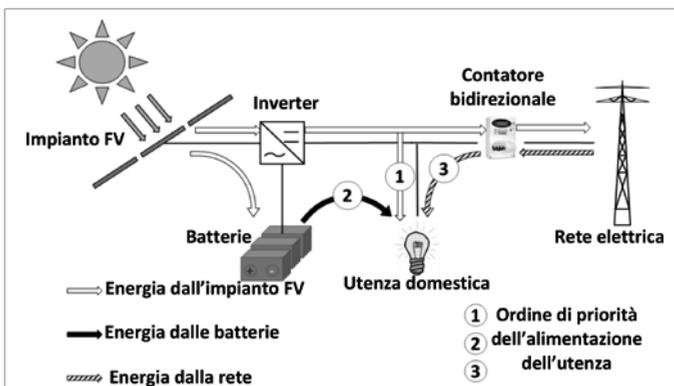


Figura 5.3. Esempio di impianto connesso in rete e con sistema di accumulo a batteria

Gli impianti fotovoltaici possono avere differenti taglie di potenza a seconda del loro utilizzo. Il principio di funzionamento sopra elencato è il medesimo indipendentemente dalla taglia dell'impianto.

Un sistema fotovoltaico può fornire energia a una casa, una attività commerciale o industriale a seconda della sua dimensione.

L'energia prodotta potrà essere consumata istantaneamente oppure potrà essere stoccata in un sistema di accumulo per essere impiegata successivamente.

La possibilità di rendere completamente indipendente un impianto fotovoltaico domestico (o di altra fonte rinnovabile) è un'idea suggestiva ma potrebbe non essere la soluzione migliore e in questa scelta gioca un ruolo importante anche la capacità produttiva dell'impianto, che è legata alle condizioni metereologiche e climatiche del sito di installazione.

Nel caso di cattivo tempo e quindi di scarsa ricarica delle batterie, potrebbe essere necessario prevedere un generatore di riserva. La vita delle batterie si può accorciare se queste restano lunghi periodi senza ricarica.

Un numero di batterie adeguato a garantire energia per almeno 3/5 giorni di condizioni meteo avverse e la presenza di un generatore di riserva per le emergenze potrebbero avere costi troppo alti.

Sul mercato si stanno diffondendo sempre di più soluzioni per impianti totalmente sconnessi dalla rete o che facciano convivere entrambe le soluzioni, in modo che la rete funzioni da generatore di emergenza e come soggetto al quale, all'occorrenza, rivendere l'elettricità in eccesso.

Le più importanti case di produzione hanno fra i loro prodotti inverter ibridi, che riescono a gestire la presenza di un sistema di accumulo a batterie in un impianto ad energia rinnovabile.

La gestione intelligente dei flussi di energia consente di adattare l'impianto alla richiesta di consumo da parte dell'utilizzatore.

Ad esempio, se durante una giornata soleggiata si ha una elevata produzione di un impianto fotovoltaico e allo stesso momento un elevato utilizzo di elettrodomestici, la gestione intelligente del sistema farà sì che l'energia pulita prodotta dall'impianto verrà tutta indirizzata verso gli apparecchi funzionanti.

Nei momenti in cui si avrà un eccesso di produzione che non verrà utilizzata istantaneamente, allora il sistema di gestione provvederà a stivare l'energia in eccesso nelle batterie. Allo stesso modo, quando non si avrà energia sufficiente rispetto alla domanda e non basterà quella presente nelle batterie, l'impianto si collegherà alla rete per avere la quantità di energia necessaria. La diffusione di questi impianti sta andando di pari passo con il calo di prezzi dovuto alle economie di scala del settore.

Nei seguenti grafici possiamo vedere alcune statistiche sull'andamento dei costi dei sistemi di accumulo.

La figura 5.4 considera diverse tecnologie di stoccaggio e ne mostra il calo dei prezzi (in USD) collegato all'aumento della capacità installata.

LE RETI DI DISTRIBUZIONE E LORO POSSIBILI EVOLUZIONI

Abbiamo visto come le reti elettriche del futuro saranno sempre più flessibili e mirate all'integrazione di differenti fonti di energia.

6.1. Il ruolo di aggregatori e "prosumer"

Con l'aumento degli impianti FER domestici, gli utenti avranno un ruolo attivo come produttori di energia. Basti pensare ai numerosi impianti fotovoltaici di piccole dimensioni. I consumatori e produttori di energia sono definiti *prosumer* (dall'inglese "*producer*" e "*consumer*"). Il ruolo del *prosumer* sarà centrale nella attività degli aggregatori, dei quali abbiamo parlato precedentemente.

All'interno di una rete flessibile ci possono essere numerosi punti di generazione e di stoccaggio di energia. Ognuno di questi può avere differenti dimensioni e gestire potenze anche molto piccole.

Gli aggregatori potranno essere fornitori di energia, compagnie di telecomunicazioni, compagnie specializzate e dedicate per l'attività di gestione di tutti i singoli piccoli elementi di una rete flessibile e gestiranno reti composte da punti di generazione diffusi.

6.2. Le caratteristiche di una rete flessibile

Sviluppare la rete assecondando un output di energia meno controllabile e prevedibile porta alla diffusione di nuove tecnologie e metodologie di gestione. Un altro fattore importante per avere una rete energetica flessibile è avere una buona infrastruttura di telecomunicazione. Ad esempio, contatori intelligenti consentono l'adozione di tariffe di energia dinamiche basate sulle variazioni quotidiane di produzione e disponibilità di energia.

I sistemi energetici possono essere immaginati come composti da due elementi:

- 1) fonti o sorgenti che generano energia e rappresentano l'offerta
- 2) pozzi in cui l'energia confluisce che rappresentano la domanda.

Entrambe le categorie sono fisicamente disposte in diversi punti di un territorio e sono connesse attraverso la rete elettrica. Il loro funzionamento è basato su una serie di norme e regolazioni che mirano ad assicurare un equilibrio fra generazione e consumo di energia sia nello spazio che nel tempo.

I servizi che garantiscono flessibilità ad una moderna rete elettrica includono una regolazione cosiddetta verso l'alto o *"up regulation"* che implica la capacità di fornire potenza in aggiunta quando richiesta per garantire la stabilità del sistema e regolazioni verso il basso o *"down regulation"* che comportano la riduzione della potenza disponibile nel sistema. Un'altra qualità di una rete flessibile è la capacità di rampa, cioè la capacità delle risorse che forniscono energia alla rete di cambiare più o meno velocemente la quantità di potenza fornita.

6.3. Fonti di energia distribuite

Le fonti di energia distribuite sono su scala medio piccola e quasi sempre connesse alla rete a bassa tensione e vicino agli utilizzatori finali.

Esse possono essere elencate secondo alcune categorie principali:

- 1) punti di generazione distribuiti, come ad esempio impianti a cogenerazione o biogas e fonti rinnovabili come il solare e l'eolico;
- 2) dispositivi di stoccaggio, come le batterie.

Nei sistemi tradizionali la generazione di energia è connessa a reti di trasmissione ad alta tensione, con grandi centrali di generazione su larga scala e controllate centralmente. Le reti di distribuzione sono progettate come reti passive, contenenti principalmente carichi elettrici. In questi sistemi, i flussi di energia sono unidirezionali, dalle reti ad alta tensione sino ai carichi nelle reti a bassa tensione.

L'aumento delle fonti di energia distribuita sta trasformando le reti elettriche in sistemi attivi, che non contengono più soltanto carichi, ma anche generatori di energia distribuiti sul territorio e sistemi di stoccaggio di energia.

Questa nuova struttura richiede flussi di energia bidirezionali, che non andranno più solo dai punti di alta a quelli di bassa tensione e viaggeranno in entrambi i versi su sistemi di trasmissione e di distribuzione locale. Questi ultimi esporteranno energia quando essa sarà sovrabbondante rispetto ai consumi vicini ai punti di generazione locale.

Questa evoluzione porta con sé una gestione delle reti complessa, dovuta al fatto che le fonti di energia distribuita diventano parte attiva del sistema energetico di distribuzione. In questa transizione, le fonti di energia rinnovabile sono presenti sia come grandi impianti centralizzati che come fonti di energia più piccole e distribuite.

6.4. Esempi di interazione fra fonti distribuite e reti

Nella figura 6.1 (vedere pagina seguente) sono illustrate le curve di domanda di elettricità in Svezia nel 2014.

Le statistiche Eurostat del 2014 riportano che la Svezia aveva una percentuale di fonti di energia rinnovabile pari a circa l'8% del fabbisogno nazionale. Di questa frazione, il 50% era fornito dall'idroelettrico.

L'eolico forniva circa il 7,7% e il fotovoltaico lo 0,3%.

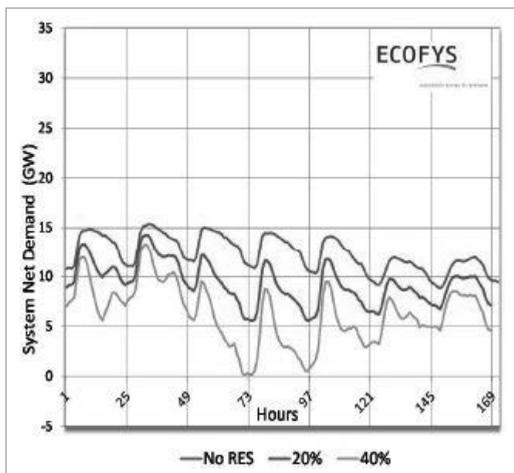


Figura 6.1. Esempio di variazione della domanda di energia con e senza FER nella rete svedese

Una più alta percentuale di fonti rinnovabili (curva verde) aumenta la variabilità della domanda e abbassa la curva del carico di rete. Si nota anche che, all'aumentare delle percentuali di fonti rinnovabili, cresce la velocità di variazione della domanda, con delle pendenze e dei picchi più accentuati (77). Emerge così la necessità di avere una rete ben bilanciata pronta a reagire a queste oscillazioni repentine.

La presenza elevata di FER nella rete può generare delle situazioni che in passato non si verificavano. Un esempio è nella figura 6.2, in cui è illustrato un picco di produzione di energia eolica durato una settimana nel febbraio del 2011, in Germania.

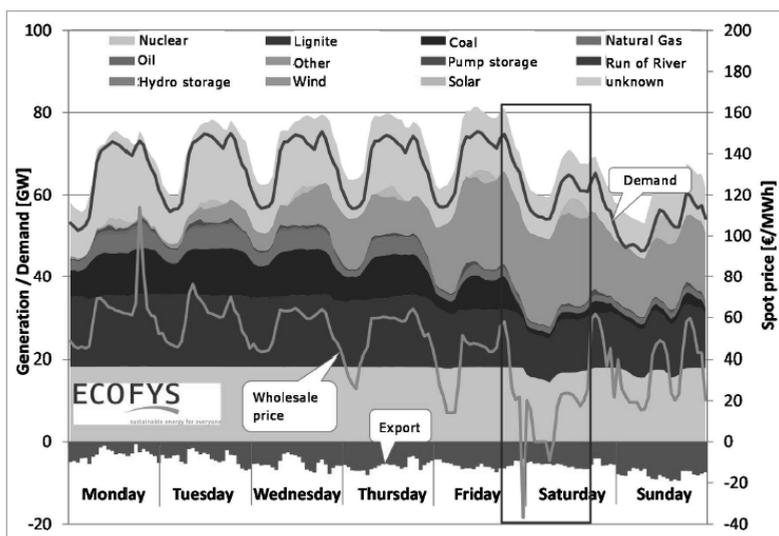


Figura 6.2. Impatto delle fonti rinnovabili sulla flessibilità di una rete (78)

POTENZIALITÀ DELLE TECNOLOGIE DISPONIBILI E POSSIBILI SVILUPPI NEL FUTURO

Le tecnologie oggi disponibili sono già tecnicamente pronte per essere integrate nelle reti flessibili del futuro. La loro diffusione è limitata da barriere di tipo economico, normativo e legislativo.

7.1. La accessibilità dei mercati elettrici

Uno degli ostacoli è la mancanza di mercati evoluti pronti a dare accesso alle fonti di energia integrate nelle reti e a ricevere i servizi che queste possono offrire, quali ad esempio l'arbitraggio energetico, i servizi ausiliari, le applicazioni per utenti finali. Questo avviene per mancanza di liquidità, barriere legislative o limitazioni normative di tipo tecnico. Un esempio è quello degli aggregatori che consentono anche a piccoli produttori di energia di accedere al mercato energetico.

Non in tutti i paesi è consentita l'attività di aggregatore o la possibilità della attività correlata di *demand-response* (D-R). In alcuni casi le normative sono giustificate dalla necessità di rispettare dei vincoli e limiti di tipo tecnico. In altri casi le regole vigenti potrebbero essere modificate ed aggiornate, perché sono state disegnate in un periodo in cui le fonti di generazione tradizionali erano le uniche presenti. Si potrebbe ad esempio consentire di utilizzare periodi di consegna dell'energia su intervalli di tempo della durata di alcune ore, più brevi rispetto a quelli usati di solito (funzionali ad esempio al servizio di *demand-response*).

La figura 7.1 illustra la presenza in diversi paesi europei di aggregatori e meccanismi di *demand-response* per l'anno 2014:

- in rosso i paesi in cui aggregatori e D-R sono illegali o non sono accettati come risorsa di rete;
- in arancione i paesi in cui questi soggetti sono legali ma di fatto, a causa di barriere economiche e di mercato, come ad esempio una non chiara definizione dei rapporti tra fornitori e utenti, non sono commercialmente praticabili;
- in verde i paesi in cui aggregatori e D-R sono legali, le relazioni fra utenza e fornitori hanno ancora delle carenze a livello di definizione dei ruoli, ma di fatto il mercato è accessibile a tali risorse;
- in blu i paesi in cui tali meccanismi funzionano senza particolari ostacoli.

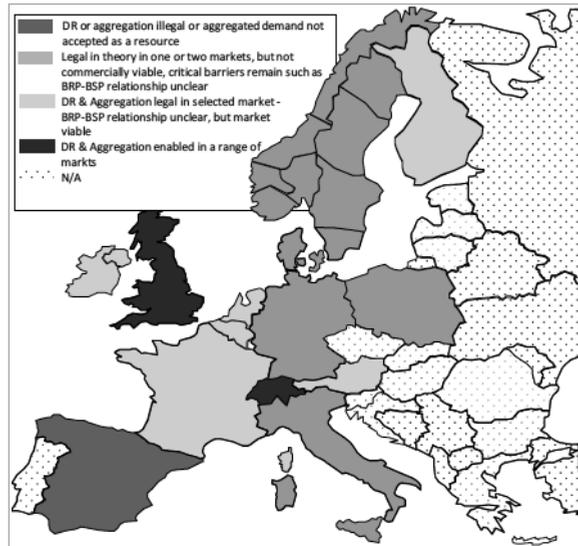


Figura 7.1. Stato della presenza di aggregatori e demand-response in Europa nel 2014 (77)

La diffusione di sistemi energetici integrati può essere sviluppata grazie anche a politiche incentivanti. Alcune iniziative che prevedono incentivi sono già state usate in alcuni settori e fra quelle più efficaci si possono elencare le seguenti:

- **Tariffe incentivanti (FITs):** l'elettricità generata da un sistema combinato di stoccaggio e produzione di energia rinnovabile può essere pagata a un prezzo fissato e ricompensata con incentivi aggiuntivi.
- **Feed in premiums (FIPs):** l'energia generata da un sistema combinato di energia rinnovabile e stoccaggio è venduta sul mercato e ai produttori è offerto un premio superiore a quello che è il prezzo di mercato.
- **Capacity payments:** pagamenti periodici e regolari ai proprietari di sistemi a fonte rinnovabile e stoccaggio, per il loro contributo alla flessibilità della rete.
- **Incentivi per la riduzione dei picchi di domanda:** gli impianti di stoccaggio possono essere utilizzati per ridurre i picchi di domanda in determinati periodi. I proprietari dei sistemi possono essere pagati per questo servizio in base al contributo che danno per ridurre il picco di domanda.

7.2. Le barriere tecnologiche

7.2.1. Le dimensioni degli impianti diffusi

Molti impianti FER connessi alla rete sono di dimensioni ridotte se paragonati alle centrali elettriche tradizionali. Per partecipare ai mercati elettrici, tutte le piccole fonti di energia disperse su un territorio devono essere aggregate per operare come un soggetto

unico. Per poter aggregare e coordinare FER piccole e diffuse diventano necessari sistemi di infrastrutture di controllo e comunicazione condivisi.

7.2.2. Coordinamento fra attività ad alto consumo e produzione

Un'altra barriera tecnica per l'integrazione delle FER in una rete di distribuzione è la dipendenza dal tempo del rapporto fra richiesta e disponibilità di energia. La domanda di energia elettrica è collegata a diverse attività ad alto consumo che vanno dai processi industriali alle attività domestiche. A queste attività corrisponde una domanda variabile di energia.

La generazione di fonti di energia rinnovabile è per sua natura incostante e spesso non può essere differita nel tempo. Anche le strutture di stoccaggio hanno dei limiti temporali di funzionamento. Esse possono fornire energia solo se sono state prima caricate. Inoltre la loro capacità di stoccaggio è comunque limitata. In alcuni casi domanda ed offerta potrebbero quindi non essere compatibili a livello temporale.

7.2.3. Le barriere di sostenibilità

Qualsiasi soluzione tecnica che vorrà essere implementata in futuro, dovrà essere sostenibile da un punto di vista economico, energetico ed ambientale.

Molte tecnologie già esistenti non sono oggi diffuse in quanto non hanno raggiunto costi di produzione e installazione legati ad economie di scala. Fino ad allora, resteranno soluzioni tecnicamente valide ma di nicchia. La convenienza economica delle tecnologie utilizzate è strettamente correlata alla loro sostenibilità energetica.

Un sistema di approvvigionamento energetico, come un impianto di produzione o di stoccaggio, può essere più o meno efficiente. Il rapporto tra l'energia che il sistema rilascia alla società e l'energia che il sistema ha richiesto per essere costruito, funzionare e essere smantellato alla fine del suo ciclo di vita ne misura la qualità e l'efficienza. Tale rapporto viene definito come EROI, acronimo generato dall'inglese *Energy Returned On Energy Invested*, definito nel seguente modo:

$$EROI = \frac{\text{Energia distribuita alla società}}{\text{Energia spesa per ottenere questa energia}}$$

Un processo di produzione di energia deve avere un EROI superiore ad 1 per essere conveniente. Descriviamo l'EROI nella seguente tabella 7.1:

Tabella 7.1. Valori dell'EROI

Valore dell'EROI	Significato
$EROI = \frac{\text{Energia ricavata}}{\text{Energia spesa}} < 1$	L'energia ottenuta è minore di quella che abbiamo impiegato per ottenerla. La fonte di energia o l'impianto non è conveniente.

[segue]

INTRODUZIONE ALLA PROGETTAZIONE E ALLA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA ENERGETICO INTEGRATO A LIVELLO DI UTENZA FINALE DA COLLEGARE A UNA RETE ELETTRICA INTELLIGENTE

A.1. Introduzione

Come visto nei capitoli precedenti, un sistema integrato di energia è un insieme di elementi di differente natura, come ad esempio sistemi di produzione di energia elettrica, a gas naturale o termici. Grazie alla modularità ed eterogeneità di un sistema integrato, l'energia viene prodotta, trasformata, accumulata e consumata per soddisfare le esigenze legate ai suoi differenti impieghi da parte della società.

Un sistema integrato di energia si può suddividere in vari livelli di estensione: un livello transregionale, un livello regionale e un livello locale delle utenze finali. Il livello delle utenze finali è composto da abitazioni domestiche, attività commerciali e industriali, servizi e attività pubbliche. La struttura suddivisa in livelli è assimilabile a uno schema frattale che si ripete su scale di grandezza differenti, suddivisibili in cinque livelli a seconda della tensione utilizzata e del tipo di elementi connessi. Il livello 4 rappresenta i carichi elettrici e gli elettrodomestici degli utilizzatori finali collegati in rete e il livello 5 rappresenta i piccoli dispositivi elettrici delle utenze.

Nella figura A.1 vediamo un esempio di questa suddivisione in livelli (ILO, 2019).

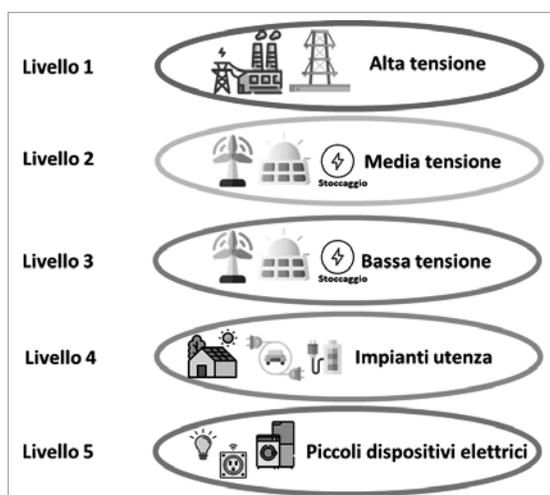


Figura A.1. Livelli che compongono una rete intelligente in base alla entità della tensione

L'unità alla base del sistema frattale può essere rappresentata secondo lo schema della seguente figura A.2:

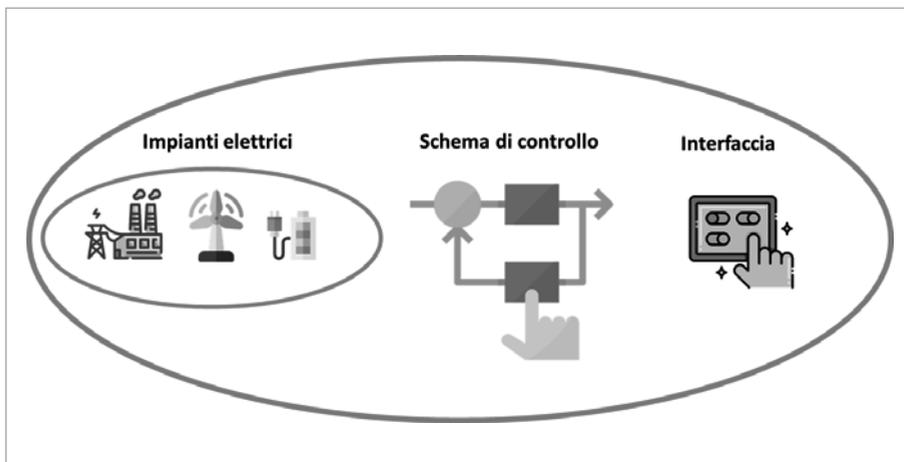


Figura A.2. *Struttura degli elementi che compongono una rete intelligente indipendentemente dal livello di tensione*

In modo indipendente dal livello di tensione, per ogni impianto che si collega alla rete, che sia una grande centrale di produzione o un piccolo impianto solare domestico, sono presenti uno schema di controllo per gestirne il funzionamento e una interfaccia che permetta la comunicazione con l'esterno.

Una *smart grid* è quindi composta da un insieme di strutture come quella in figura A.2 che si ripetono per valori di tensione differenti, come nella figura A.3.

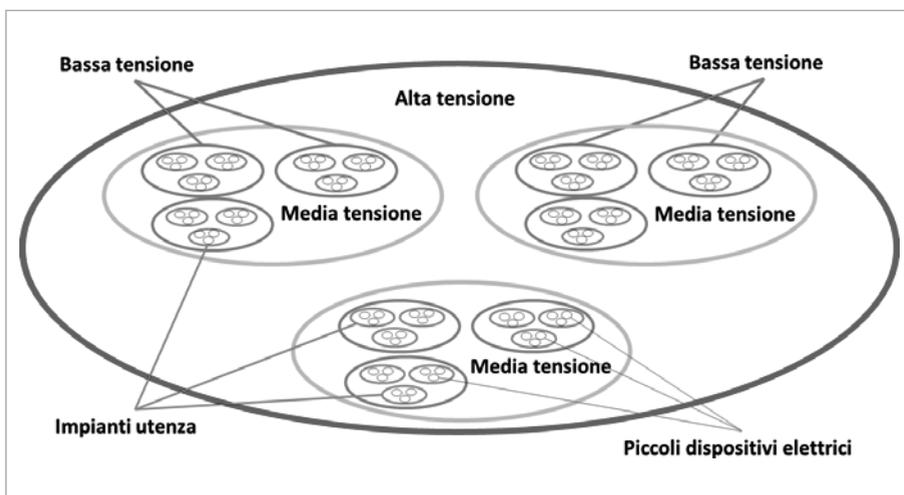


Figura A.3. *Struttura frattale di una smart grid*

L'unità al livello di utenza finale (livelli 4 e 5 della figura A.1) è un sistema con una determinata capacità di produzione e di consumo di energia ed è progettata per adattarsi ai bisogni energetici differenziati degli utenti. Essa comprende sistemi di produzione, conversione, distribuzione, ripristino e accumulo gestiti in modo intelligente (come ad esempio impianti fotovoltaici, veicoli elettrici, batterie ...).

Questa appendice del testo descrive quali sono le attività da eseguire per progettare e realizzare un sistema energetico integrato, concentrando l'attenzione sul livello dell'utenza finale.

La porzione di territorio che corrisponde fisicamente al microsistema energetico integrato può essere una abitazione domestica, una attività commerciale o un sito industriale. In ognuno di questi casi si possono elencare una serie di passaggi che porteranno a definire gli interventi e le installazioni necessarie per realizzare il sistema che diventerà parte di una rete energetica intelligente.

A.1.1. Metodo di approccio

Per realizzare un sistema energetico da collegare a una *smart grid* si parte dall'analisi del sito in cui lo si vuole realizzare e ne si analizzano i consumi energetici, la struttura e la conformazione.

Uno degli strumenti già in uso in Italia per questo scopo è la diagnosi energetica. Essa è redatta da un professionista abilitato e nel D.Lgs. n. 141/2016, di integrazione del D.Lgs. n. 102/2014, all'articolo 2, lettera *b-bis*), essa viene così definita:

«Procedura sistematica finalizzata ad ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi benefici e a riferire in merito ai risultati.»¹.

La diagnosi energetica ha scopi differenti rispetto a un Attestato di Prestazione Energetica (APE) perché è un tipo di valutazione adattata all'utenza.

Sebbene l'APE contenga alcuni dati che sono alla base della Diagnosi Energetica, esse sono due processi distinti, che danno informazioni differenziate sull'immobile. Infatti, l'APE si basa su un calcolo standard, mentre nella Diagnosi Energetica il calcolo viene adattato all'utenza secondo dati reali e non standard.

¹ Le Normative/Documenti di riferimento in materia di Diagnosi Energetica sono:

- Direttiva 2012/27/UE (Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica);
- D.Lgs. n. 102/2014 (Recepimento italiano della Direttiva 2012/27/UE);
- UNI CEI EN 16247, Punti 1, 2, 3, 4 e 5 (Norma Tecnica di supporto).

