

Persone, Energie, Futuro

Infinityhub: la guida interstellare per una nuova dimensione dell'energia

a cura di Massimiliano Braghin

Le fonti energetiche rinnovabili

Francesco Moda

Academy Infinityhub

Sommario 1 Introduzione e analisi. – 1.1 Popolazione. – 1.2 Reddito. – 1.3 Emissioni di CO₂. – 1.4 Principali fonti energetiche rinnovabili. – 2 Aspetti economici. – 3 Considerazioni e conclusione.

1 Introduzione e analisi

Non ereditiamo la terra dai nostri antenati,
la prendiamo in prestito dai nostri figli.

Proverbio nativo americano

La comparsa del genere umano nella storia ha avuto un impatto determinante sul nostro pianeta, in particolare, vivendo a contatto con la natura e l'ambiente circostante, si è da sempre relazionato con il paesaggio e con altre specie animali e vegetali. Da essi, infatti, ha ricavato beni e servizi come cibo, acqua, pellame per la fabbricazione di vestiti, materiali per la costruzione di utensili e molto altro. In estrema sintesi l'uomo ha usufruito di 'servizi ecosistemici', rappresentati da tutti quei servizi che, offerti in modo spontaneo dalla natura, contribuiscono al benessere umano.

In dettaglio, i servizi ecosistemici possono essere suddivisi in due categorie: i servizi diretti e i servizi mediati. I servizi diretti sono quelli che vengono prodotti direttamente dagli ecosistemi e che possono essere fruiti senza dispendio di energia. Un esempio di servizio ecosistemico diretto è la purificazione e la rigenerazione dell'acqua: l'acqua è un elemento che viene purificato e rigenerato, nel suo ciclo naturale, in modo costante e automatico. Anche senza l'intervento umano, infatti, l'acqua, che è di vitale importanza, viene fornita in modo continuativo ed è pronta per essere consumata. I servizi



Edizioni
Ca' Foscari

I libri di Ca' Foscari 22

e-ISSN 2610-9506 | ISSN 2610-8917

ISBN [ebook] 978-88-6969-699-2 | ISBN [print] 978-88-6969-700-5

Open access

Submitted 2023-01-25 | Published 2023-07-05

© 2023 Moda | © 4.0

DOI 10.30687/978-88-6969-699-2/006

mediati, invece, sono quelli che vengono prodotti dagli ecosistemi, ma che per poter essere utilizzati necessitano di una certa quantità di energia per trasformare un servizio da potenziale a fruibile. Un esempio di servizio mediato è la pesca. La risorsa ittica, infatti, viene rinnovata ciclicamente in modo automatico e naturale, ma per essere utilizzata come fonte di cibo, è necessario un dispendio di energia per la cattura del pesce fatta dall'uomo, che deve ottimizzare il processo per minimizzare lo sforzo di pesca e, quindi, la spesa energetica.

Tra i servizi ecosistemici forniti dalla natura, vi sono anche le fonti di energia che fanno funzionare tutta una serie di macchine e apparecchiature indispensabili. Con queste fonti di energia è possibile ottenere calore o forza lavoro, sono in grado di generare elettricità (per l'illuminazione o per il funzionamento degli elettrodomestici) oppure, tramite la combustione, attivano il funzionamento dei mezzi di trasporto, infrastrutture o dei macchinari per la produzione di materiali da costruzione, trasformazione di alimenti, produzione di beni, ecc.

Tradizionalmente le fonti energetiche vengono suddivise in due macrocategorie, in base all'esauribilità e ai tempi di rinnovo della fonte:

- fonti energetiche non rinnovabili;
- fonti energetiche rinnovabili.

Le fonti energetiche non rinnovabili sono tutte quelle fonti di energia che si basano su riserve di energia limitate e finite o, comunque, con un ciclo di rinnovo su scala temporale molto ampia. Tra queste rientrano, ad esempio, i combustibili fossili come il petrolio o il gas naturale. Le fonti energetiche rinnovabili invece sono le fonti che presentano delle riserve di energia illimitate o rinnovabili su scala temporale molto breve. Tra queste rientrano per esempio l'energia solare o eolica.

Situazione globale: se si osservano i vari trend in atto e le previsioni stimate per il futuro, possiamo osservare come siano variati gli andamenti di alcune categorie collegate alle fonti energetiche, nel corso del tempo.

1.1 Popolazione

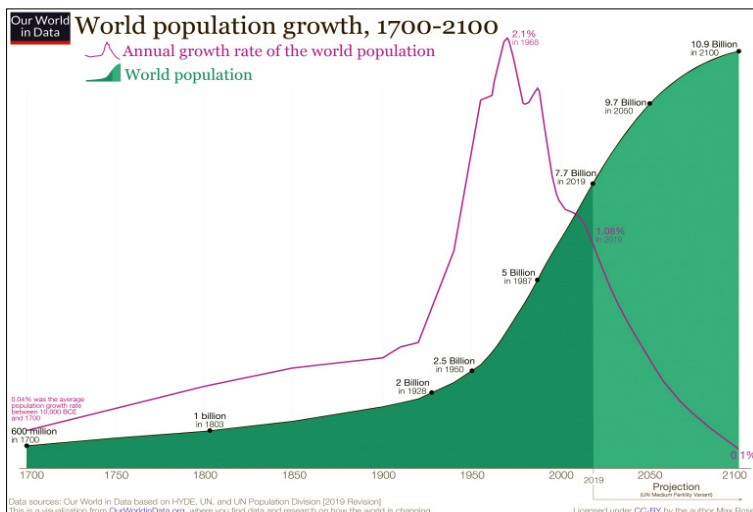


Grafico 1 Trend della popolazione globale fino al 2019 e proiezione al 2100, con variazione del tasso di crescita. Grafico realizzato da OurWorldInData.org sulla base dei dati ricavati da <https://population.un.org/>

Come si può osservare dal grafico 1, la popolazione mondiale è in continua crescita e si prevede che passerà dagli attuali 7,8 miliardi di persone a quasi 11 miliardi nel 2100 [graf. 1]. L'andamento non è stato costante e si ipotizza che non lo sarà neppure in futuro, come rappresentato dalla linea del tasso di crescita della popolazione. Si può osservare infatti come fino al 1900 il tasso di crescita sia aumentato gradualmente (dato riferibile a una crescita della popolazione moderata). Dal 1900 in poi, con gli effetti della rivoluzione industriale, il tasso di crescita aumenta sensibilmente, con un picco massimo tra gli anni Cinquanta e Sessanta, per iniziare poi un lento, ma marcato declino, previsto anche per il futuro. Si osserva un aumento della popolazione, anche se con un incremento minore rispetto al passato, rimanendo entro un tasso positivo. Questo trend pone il problema dell'utilizzo sostenibile delle risorse del pianeta, con un riflesso importante anche rispetto la problematica dei cambiamenti climatici, collegate alle emissioni di gas serra, causate principalmente dall'utilizzo di fonti non rinnovabili (vedi § 1.3).

1.2 Reddito

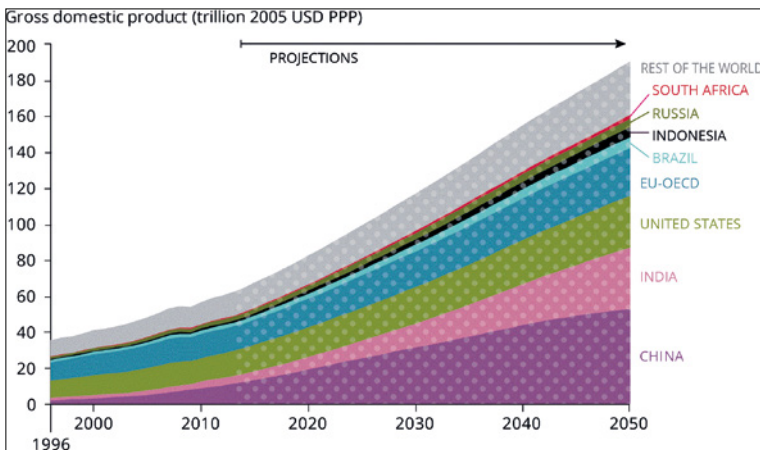


Grafico 2 GDP (Prodotto Interno Lordo) globale con proiezioni al 2050, espresso in trilioni di dollari.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/past-and-projected-global-economic-output-1>

Come si può notare dal grafico 2, il reddito a livello globale mostra un trend in aumento, sia per i paesi sviluppati, che per i paesi in via di sviluppo [graf. 2]. All'aumentare della popolazione e del reddito, una percentuale sempre crescente di persone avrà accesso all'energia e a beni e servizi che prevedono l'utilizzo di energia per il loro funzionamento. Basti pensare, per esempio, alla necessità di nuove costruzioni a uso residenziale e a uso lavorativo che richiederanno un approvvigionamento energetico, oppure al crescente numero di mezzi di trasporto che dovranno essere alimentati.

Il tema del trasporto è fortemente legato all'uso sostenibile delle risorse e ai cambiamenti climatici. La domanda di energia sarà destinata ad aumentare per fornire beni e servizi a una popolazione crescente e con maggiori disponibilità economiche. Si dovrà quindi far fronte all'aumento della domanda energetica, cercando di preservare le risorse e il pianeta per le generazioni future.

1.3 Emissioni di CO₂

La sfida più importante che l'umanità si trova ad affrontare è sicuramente il cambiamento climatico. Questo termine, che all'apparenza sembra astratto, puramente teorico e spesso inflazionato, è invece una realtà oggetto di numerosissime ricerche scientifiche realizzate da scienziati di tutto il mondo. Il più delle volte gli effetti del cambia-

mento climatico non vengono percepiti immediatamente, perché hanno una reazione con una scala temporale diversa da quella umana. Alcuni fenomeni però sono già ben visibili: basti pensare, per esempio, all'aumento del tasso di estinzione, paragonabile solamente al tasso delle grandi estinzioni storiche di massa. Oppure basti pensare all'aumento della frequenza dei fenomeni meteorologici estremi, come bombe d'acqua, inondazioni e alluvioni eccezionali, cicloni, periodi di siccità e caldo estremo. Una delle maggiori componenti del cambiamento climatico è l'innalzamento della temperatura, sia terrestre che oceanica. Questa sta provocando gravi conseguenze, come lo scioglimento dei ghiacciai che si traducono in un innalzamento del livello del mare. Si stima che, con le attuali politiche, l'innalzamento del livello medio del mare nel 2100, sarà compreso tra 0,60 e 1,30 metri, sufficiente per sommergere molte zone costiere in tutto il mondo.

Un contributo significativo a questi fenomeni è dato dal cosiddetto effetto serra, processo naturale per il quale l'atmosfera terrestre, costituita da una miscela di gas, trattiene parte del calore proveniente dalla radiazione solare riflessa dalla Terra. Questo processo naturale però è stato alterato a causa dell'immissione in atmosfera di gas climalteranti (o gas serra) e in particolar modo di diossido di carbonio (CO₂). La CO₂ è il gas serra più considerato, perché viene emesso in maggior quantità rispetto agli altri gas ed è il risultato della combustione. La combustione, infatti, è il processo indispensabile per la trasformazione dell'energia chimica delle fonti fossili. Di conseguenza, alla crescente domanda energetica si è fatto fronte in maniera preponderante (quando non esclusiva) con fonti fossili, portando a delle emissioni di CO₂ senza precedenti.

Come si può vedere dal grafico 3, le emissioni di CO₂ sono aumentate sempre più nel tempo, fino a superare le 36 Gt di CO₂ nel 2019 [graf. 3]. Se si volessero però rispettare gli obiettivi prefissati dalle ultime conferenze delle parti e, in particolar modo, l'accordo di Parigi del 2015 che prevede l'impegno degli stati aderenti a contenere l'aumento della temperatura media globale entro i 2 °C (e possibilmente entro 1,5 °C) rispetto alla temperatura pre-industriale, attuando politiche di mitigazione e adattamento, si dovrebbero ridurre le emissioni di CO₂ di circa il 7,6% ogni anno fino al 2030, per ridurre le emissioni del 55%. Di questo passo però, senza politiche concrete mirate al raggiungimento di questi obiettivi e senza la sensibilizzazione e l'educazione alle tematiche della sostenibilità, sarà una sfida davvero difficile.

Considerato quindi che l'aumento di popolazione e del reddito procapite faranno aumentare la domanda di energia e che questa è correlata - viste le fonti energetiche tradizionalmente usate - a un aumento delle emissioni di CO₂, analizziamo quali sono le principali fonti energetiche (rinnovabili e non) per capire come si possa intraprendere una transizione ecologica sostenibile, capace di ridurre le emissioni di gas serra e l'aumento della temperatura media nei limiti considerati.

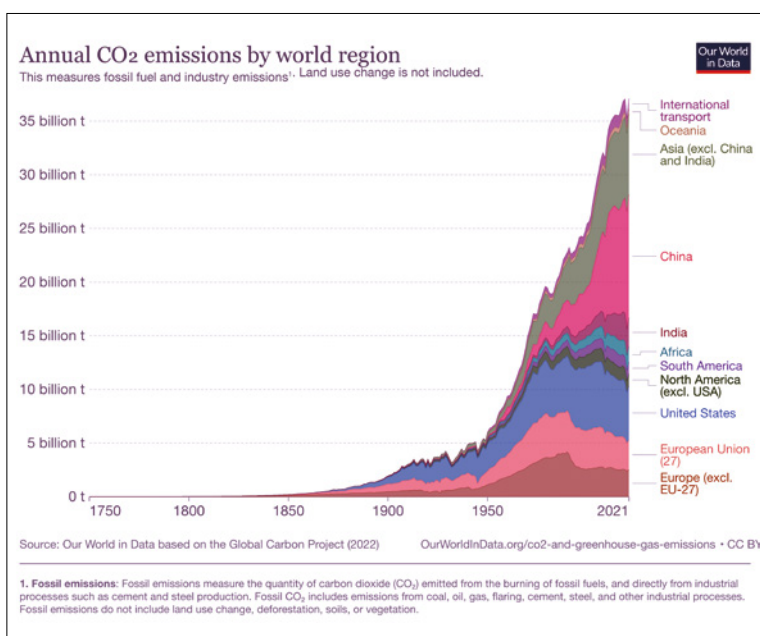


Grafico 3 Emissioni annuali di anidride carbonica (CO₂), misurate in tonnellate all'anno.
Fonte: Friedlingstein et al. 2020

Le principali forme di energia non rinnovabile prevedono l'utilizzo di combustibili fossili e uranio. I combustibili - definiti fossili - sono tutti quei combustibili che si formano grazie a processi biogeochimici nell'arco di milioni di anni. Sono costituiti dall'accumulo e dalla trasformazione della sostanza organica ricca di carbonio, derivata da processi biologici. Un esempio? La fotosintesi. Tra i combustibili fossili troviamo il carbone, gli idrocarburi e il gas naturale. Il carbone è uno dei combustibili fossili usati per la maggiore, a partire dalla rivoluzione industriale. Ad oggi, anche se il ruolo del carbone sta diminuendo in termini di domanda energetica totale (trend limitato ai soli ultimi due anni), rappresenta ancora la prima fonte di produzione di energia elettrica a livello globale (soprattutto a causa dell'utilizzo da parte dei paesi in via di sviluppo) (IEA 2019). La domanda di idrocarburi, rappresentata dal petrolio, rimane consistente soprattutto nei paesi industrializzati e con economie solide (IEA 2019). Questo vale anche per il gas naturale che negli ultimi anni ha visto un incremento molto importante delle importazioni da parte dei paesi in crescita, come per esempio la Cina (IEA 2019), ed è stato utilizzato come principale sostituto nelle riconversioni delle centrali a carbone. L'utilizzo di queste risorse comporta l'accumulo e l'emissione di sostanze inquinanti e pericolose che peggioreranno la qualità del-

la vita nel nostro pianeta, con la possibilità di compromettere la sopravvivenza di numerose forme di vita, compresa quella umana. Sarà quindi essenziale potenziare il processo di transizione verso le fonti energetiche rinnovabili, per scongiurare futuri scenari catastrofici.

Le fonti energetiche rinnovabili sono di vario tipo e sfruttano alcuni processi che avvengono naturalmente. In particolare, possiamo ricondurre buona parte di questi processi all'energia solare. Per esempio, l'energia ottenuta dalle biomasse deriva dalla formazione di nuova biomassa, grazie a processi fotosintetici ottenuti attraverso l'irraggiamento solare o l'energia idrica che deriva dal trasporto verso monte di acqua e avviene grazie all'azione del sole che, durante il ciclo dell'acqua, la fa evaporare a valle.

1.4 Principali fonti energetiche rinnovabili

1.4.1 Energia solare

L'energia solare è l'energia derivata dal Sole sotto forma di irraggiamento. Questa fonte di energia può essere usata principalmente per produrre calore ed elettricità. Non tutta l'energia irradiata dal Sole arriva alla superficie terrestre. Una parte della radiazione solare viene infatti riflessa dall'atmosfera terrestre, mentre un'altra parte viene assorbita da essa. La radiazione solare in un determinato punto della Terra non è costante, ma varia sia giornalmente che stagionalmente.

A livello del suolo (generalmente considerato come quota del livello del mare e con il sole perpendicolare alla superficie), questo irraggiamento è attenuato dall'atmosfera a circa 1.000 W/m^2 (in condizioni di cielo sereno a mezzogiorno viene definita di 'pieno sole'). Il potenziale di energia solare, cioè la quantità di irraggiamento che arriva alla superficie terrestre (Terra e oceano) teoricamente disponibile a fini energetici, è stato stimato in $3,9 \times 10^6 \text{ EJ/anno}$. Questo numero, puramente teorico, richiederebbe il pieno utilizzo di tutta l'area terrestre e marittima disponibile con un'efficienza di conversione del 100%. Una metrica più utile è il potenziale tecnico che considera una percentuale di terreno verosimilmente utilizzabile per la produzione di energia, oltre che dati sull'efficienza più realistici. Le stime per il potenziale tecnico dell'energia solare variano da 1.575 a 49.837 EJ/anno, ovvero da 3 a 100 circa volte il consumo mondiale di energia (Arvizu et al. 2011).

In questo momento ci sono diverse metodologie che permettono l'utilizzo di energia solare in modo attivo o passivo. Principalmente gli usi di queste tecnologie sono destinati a fornire elettricità e riscaldamento sia in contesti residenziali che non residenziali.

Vediamo ora le principali tecnologie:

1. pannello solare termico o collettore solare: questo dispositivo consente la conversione di energia solare in energia termica per la produzione di acqua calda, il riscaldamento o il raffrescamento degli ambienti, tramite pompa di calore e *solar cooling* (cicli di assorbimento). L'idea di convogliare l'energia solare per scaldare l'acqua o gli ambienti domestici, risale al passato, ma oggi questo può essere fatto con un'efficienza molto maggiore. Il collettore solare è composto da un pannello tipicamente piano che riceve l'energia solare (può essere di diverso tipo in base agli usi: coperto, scoperto, ad aria, sotto-vuoto), uno scambiatore dove circola un fluido che permette lo scambio di energia e un serbatoio che consente l'accumulo dell'energia raccolta. A seconda del modo in cui circola il fluido, ci sarà una circolazione naturale o forzata. L'efficienza di un pannello solare termico nel picco di radiazione solare varia dal 40% al 70%.
2. Pannello fotovoltaico: è un dispositivo costituito da moduli di celle fotovoltaiche che convertono l'energia solare in energia elettrica tramite l'effetto fotovoltaico. In particolare, ogni cella fotovoltaica è tradizionalmente costituita di silicio mono o policristallino e rivestita da strati protettivi. In un impianto classico, il pannello fotovoltaico non è quasi mai applicato da solo, ma viene integrato in sistemi più ampi costituiti da più pannelli fotovoltaici che includono anche un *inverter* (necessario per convertire l'energia elettrica da corrente continua DC a corrente alternata AC, quella utilizzata dagli elettrodomestici). Alcuni sistemi sono dotati di accumulatori come batterie di varia capacità, in base all'uso. La discontinuità temporale della risorsa solare pone il problema o la necessità di avere un accumulatore per sopperire ai cali produttivi. L'efficienza di conversione dei pannelli fotovoltaici dipende dal tipo di celle utilizzate e consiste in efficienze di più del 40%, per le celle a base di arseniuro di gallio (GaAs, scarsamente utilizzate per il loro costo elevato), di circa il 25% per le celle a base di silicio monocristallino, di circa il 20% per quelle a silicio policristallino e di circa il 17% per quelle a base di Tellururo di cadmio (Arvizu et al. 2011). Oggi la maggior parte degli studi si concentra su nuove generazioni di celle fotovoltaiche dotate di una maggior efficienza rispetto a quelle attuali o di celle fotovoltaiche dotate di un'efficienza simile a quella delle celle attuali, ma molto più economiche e con metodi di accumulo più efficaci.
3. Impianto solare a concentrazione (o di potenza): questo tipo di impianto sfrutta la radiazione solare accumulandola sotto forma di calore, per convertirla tramite una turbina a vapore in energia elettrica. Il calore viene accumulato grazie a parabole che seguono il movimento solare e concentrano la radia-

zione su un collettore posto in un punto focale. Questo tipo di impianto può riscaldare il fluido maggiormente rispetto agli impianti a collettore solare, rendendolo più adatto a un uso industriale o di grande produzione. Tuttavia, questa tecnologia è ancora scarsamente utilizzata a livello globale se comparata alle altre forme di produzione di energia.

1.4.2 Energia idroelettrica

L'energia idroelettrica è un tipo di energia rinnovabile che deriva dalla trasformazione di energia potenziale, posseduta da una massa d'acqua in energia cinetica, in fase di superamento di un dislivello. L'energia cinetica dovuta alla caduta dell'acqua viene trasformata in energia elettrica grazie a una turbina, accoppiata ad altri meccanismi, come l'alternatore o il trasformatore. Lo sfruttamento della caduta dell'acqua per ricavare energia e servizi è una pratica molto antica e risale al tempo dei Greci, più di 2000 anni fa (Arvizu et al. 2011). Il potenziale teorico di produzione idroelettrica sarebbe di 52 PWh/anno, se venissero sfruttati gli oltre 11,8 milioni di siti potenziali. Questa quota di energia rappresenta circa il 33% della domanda energetica globale. Attualmente però, gli impianti idroelettrici esistenti riescono a produrre solo il 3% circa dell'energia richiesta annualmente (Hoes et al. 2017). Il potenziale non ancora sfruttato si distribuisce in tutti i continenti, con le percentuali più alte in Asia, Africa e America Latina.

L'energia idroelettrica viene ricavata da fiumi o laghi tramite la creazione di bacini, dighe o condotte forzate. L'acqua, che si trova a monte, viene convogliata a valle e l'energia potenziale viene trasformata in cinetica. Successivamente, tramite il passaggio dell'acqua in turbine, viene generata energia elettrica attraverso il generatore che sfrutta il fenomeno dell'induzione magnetica. Per evitare che l'energia prodotta in eccesso vada dispersa, esistono delle centrali idroelettriche di pompaggio che sfruttano l'energia prodotta in surplus per pompare l'acqua nuovamente a monte, riutilizzando una massa maggiore, quando richiesto.

Gli impianti idroelettrici non sono standardizzati ma sono sito-specifici; infatti, vengono costruiti appositamente tenendo in considerazione le caratteristiche geomorfologiche dell'area. In base al tipo di centrale possono essere di vario tipo. Le più comuni sono le centrali a bacino, le centrali ad accumulo e le centrali ad acqua fluente. Normalmente un impianto idroelettrico ha una durata che va da 40 a 80 anni, mentre le parti elettriche o meccaniche durano dai 30 ai 40 anni prima di dover essere rinnovate. Un problema comune agli impianti idroelettrici è il progressivo e inevitabile interrimento dei bacini di accumulo, che richiede periodici interventi di manutenzione e pulizia degli stessi.

1.4.3 Energia eolica

L'energia eolica è l'energia del vento, usata per molteplici scopi. Questa fonte di energia è impiegata da migliaia di anni: basti pensare alla navigazione con le imbarcazioni a vela oppure allo sfruttamento del vento tramite mulini, che permettevano la movimentazione di masse d'acqua o di macigni per macinare cereali a scopo alimentare. Tuttavia, l'uso dell'energia eolica, per generare elettricità su scala commerciale, risale agli anni Settanta. Da quel momento sono state sperimentate e collaudate varie forme di aerogeneratori. La forma più utilizzata è quella della turbina eolica, una struttura costruita da una o più pale che, sfruttando l'energia del vento per ruotare e tramite una turbina, crea energia elettrica. Esistono impianti di piccole dimensioni, chiamati minieolico o microeolico, usati principalmente per garantire energia ad abitazioni o piccole aziende. Tuttavia, visto l'alto costo di costruzione dell'impianto e la discontinuità di presenza del vento, questi impianti sono poco diffusi. Molto più diffusi, per la produzione di elettricità su larga scala, sono i parchi eolici, costituiti da un gruppo di turbine eoliche adiacenti. L'energia elettrica prodotta dai parchi eolici viene poi immessa nella rete di distribuzione. Per la produzione tramite parchi eolici, sono possibili tre alternative di installazione:

1. *on-shore*: parchi eolici costruiti sulla terraferma, generalmente su colline o alture, in zone aperte e ventose;
2. *near-shore*: impianti costruiti sulla costa o nelle sue vicinanze;
3. *off-shore*: impianti costruiti ad alcune miglia di distanza dalla costa di mari o laghi, per sfruttare la piena esposizione al vento.

Globalmente solo il 2% dell'energia totale e il 5% dell'energia elettrica vengono prodotti con l'energia eolica, anche se il potenziale sarebbe di gran lunga maggiore (Arvizu et al. 2011).

1.4.4 Energia geotermica

L'energia geotermica è una tipologia di energia rinnovabile che viene generata all'interno del pianeta e può essere utilizzata direttamente come fonte di riscaldamento oppure può essere trasformata in energia elettrica. L'energia si basa sul gradiente termico che si sviluppa dalla superficie terrestre verso il nucleo. Un vantaggio di questa fonte energetica è che l'energia è disponibile tutto l'anno, in modo costante (a differenza dell'energia eolica o solare che variano giornalmente o stagionalmente), oltre che essere presente in tutte le zone del mondo. Per la produzione di energia elettrica però sono necessarie risorse che si trovano generalmente vicino a fonti vulcanicamente attive (IRENA 2017). Lo sfruttamento dell'energia geotermica per

la produzione di energia elettrica avviene grazie alle centrali geotermiche: dopo aver perforato il sottosuolo, il flusso di vapore che ne deriva viene convogliato alla centrale e mette in moto alcune turbine che generano corrente elettrica tramite un alternatore. Se dalla perforazione, invece, fuoriesce acqua calda, questa può essere convogliata per la produzione di energia elettrica, oppure può essere usata direttamente per il riscaldamento. In base alla profondità e al tipo di elemento, che si trova in profondità, possiamo suddividere le sorgenti geotermiche in tre tipi:

- sorgenti idrotermiche: la sorgente si trova a una profondità di 1000-2000 m sotto la superficie terrestre e può essere una sorgente a vapore o ad acqua dominante, in base allo stato dell'acqua;
- sorgenti geo pressurizzate: la sorgente si trova a una profondità variabile tra i 3000 e i 10000 m sotto il suolo, dove l'acqua si trova a pressioni e temperature elevate;
- sorgenti petro termiche: la sorgente si trova a profondità maggiori rispetto alle precedenti e la differenza consiste nel fatto che, in queste sorgenti, non c'è acqua, ma solamente rocce a elevate temperature.

Il potenziale dell'energia geotermica è molto elevato. Basti considerare che l'energia contenuta all'interno della Terra è $12,6 \times 10^{24}$ MJ di cui $5,4 \times 10^{21}$ MJ nella crosta terrestre. Quest'energia è nettamente superiore al consumo energetico globale che ammonta a quasi 8×10^{13} MJ, ma solo una parte di questa può essere usata (Bertani 2009).

1.4.5 Altri tipi di energia

Oltre ai metodi di produzione dell'energia precedentemente descritti, esistono anche altri metodi di produzione più o meno collaudati e utilizzati. Un metodo di produzione di energia, sfruttato solamente in determinati settori, è quello a biomasse. Per biomassa si intende qualsiasi materia di natura organica, come per esempio resti di piante, che possono essere utilizzati per produrre energia. L'energia può essere estratta con la combustione. In tal caso la CO_2 emessa non impatta sulle emissioni di CO_2 perché deriva dalla CO_2 assorbita dalle piante durante il ciclo vitale. Quindi il bilancio netto di emissioni è nullo. I vantaggi dell'utilizzo delle centrali a biomasse sono diversi: a differenza di altre forme di energia rinnovabile un vantaggio è la possibilità di stoccare l'energia. La produzione di biocombustibili permette lo stoccaggio nella stessa modalità dei combustibili fossili. Un altro vantaggio è la continuità di erogazione. La tecnologia utilizzata poi è una tecnologia semplice e permette di ridurre i costi di produzione, oltre che risolvere alcuni problemi legati ai rifiu-

ti. L'efficienza delle centrali a biomasse risulta essere molto elevata.

Altre tecnologie che permettono la produzione di energia da fonti rinnovabili sono quelle riferite all'energia marina. L'energia marina è tutta quell'energia che troviamo in varie forme negli oceani e nei mari come le correnti, le maree, le onde o i gradienti salini. Questo tipo di energia non è ancora sfruttata su larga scala, ma ci sono dei progetti che mettono in evidenza il potenziale di questo serbatoio di energia rinnovabile.

2 Aspetti economici

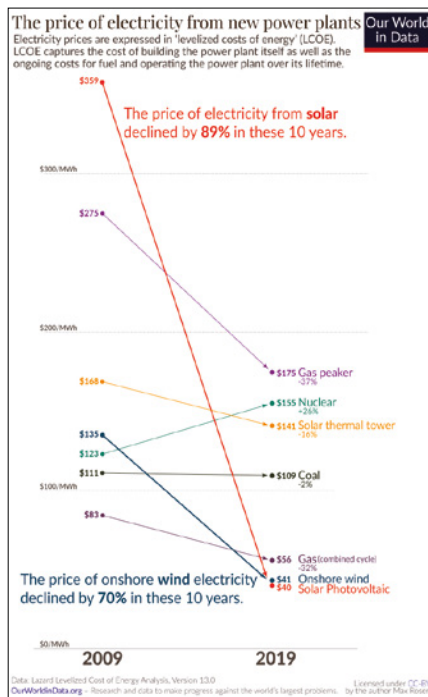
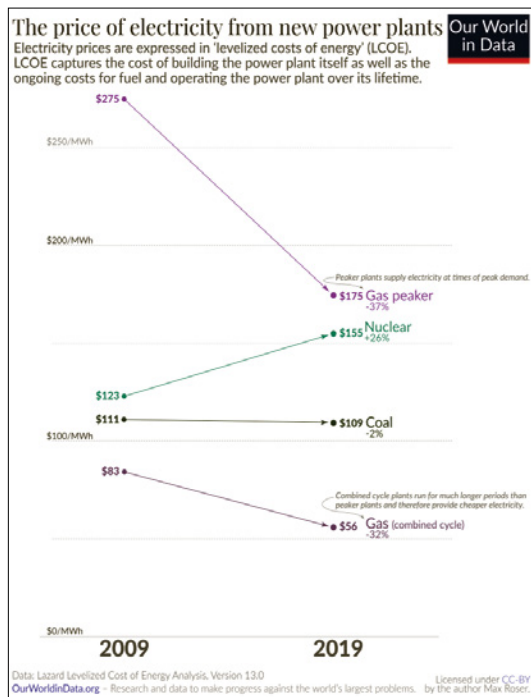
Io sono me più il mio ambiente
e se non preservo quest'ultimo
non preservò me stesso.

José Ortega y Gasset¹

Vista la crescente importanza dei temi ambientali e della sostenibilità, sempre più persone sono propense a utilizzare le fonti di energia rinnovabile per sopprimere alle richieste di energia necessarie per il funzionamento di auto, case, uffici, negozi e infrastrutture. Uno degli aspetti fondamentali per lo sviluppo e la diffusione delle fonti rinnovabili è l'aspetto economico. Per la transizione energetica globale, verso la produzione di elettricità a basse emissioni di carbonio, l'energia elettrica prodotta dalle fonti rinnovabili dovrà quindi essere più conveniente di quella prodotta con i combustibili fossili. Come si è visto, i combustibili fossili hanno sempre dominato il panorama della produzione di energia globale e la produzione di energia elettrica da queste fonti è stata sempre la più conveniente dal punto di vista economico. Tuttavia, negli ultimi anni questo trend è cambiato. In molti luoghi della Terra attualmente la produzione di energia, tramite fonti energetiche rinnovabili, è più economica rispetto all'energia ricavata dai combustibili fossili.

Come si può vedere dal grafico 4a, negli ultimi dieci anni il prezzo dell'elettricità prodotto dalle centrali nucleari è aumentato. Il prezzo della produzione mediante gas, invece, è diminuito, mentre quello a carbone è rimasto pressoché uguale. Il prezzo dell'elettricità è espresso come LCOE (Levelized Costs of Energy), includendo i costi della costruzione delle centrali o impianti di produzione e i costi di mantenimento delle centrali. Guardando il grafico 4b invece, che comprende anche la produzione elettrica mediante fonti energetiche rinnovabili, si può vedere come il prezzo di queste ultime sia cambiato drasticamente negli ultimi dieci anni. Solo dieci anni fa, infat-

¹ <https://www.artapartofculture.net/2017/08/21/jose-ortega-y-gasset-2/>.



Grafici 4a-b Il grafico 4a mostra come siano variati negli ultimi 10 anni i prezzi per la produzione di un MWh con diverse fonti di energia. Nel grafico 4b vengono aggiunte le fonti di energia rinnovabile

ti, il prezzo non era paragonabile a quello delle fonti tradizionali, ed era più economico costruire una nuova centrale elettrica, che funzionasse a combustibili fossili, piuttosto che costruire un nuovo impianto solare fotovoltaico o eolico. L'eolico e il fotovoltaico costavano rispettivamente il 22% e il 223% in più del carbone [graf. 4a-b].

L'elettricità prodotta tramite centrali fotovoltaiche su larga scala nel 2009 costava 359 \$ per MWh, ora invece il costo è di circa 40 \$ per MWh con una riduzione in 10 anni dell'89% (*Lazard's Levelized Cost of Energy 2019 Report*).

Per decidere quali tipi di impianti costruire è necessario fare riferimento al prezzo in termini relativi e non assoluti. Secondo la IRENA (International Renewable Energy Agency) nel 2019 il 72% di tutta la nuova capacità installata per la produzione di energia è data da impianti fotovoltaici ed eolici, il che conferma l'importanza del trend relativo alla diminuzione del prezzo (IRENA 2020).

I motivi per cui l'energia rinnovabile sta avendo una diminuzione di prezzo così marcata, mentre non si assiste allo stesso fenomeno per le fonti di energia non rinnovabile, come il nucleare e il carbone, so-

no molteplici. In primis perché i costi dei combustibili fossili e dell'energia nucleare dipendono in gran parte dal prezzo del combustibile usato e dai costi di esercizio e di manutenzione della centrale. Gli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili invece hanno costi di esercizio relativamente bassi e non dipendono da alcun combustibile, perché l'energia deriva direttamente dalla fonte, senza dover essere estratta o incanalata. Ciò che determina il costo dell'energia rinnovabile, quindi, è il costo della centrale e della tecnologia stessa. Per capire quindi come l'energia sia diventata economica occorre capire come la tecnologia sia diventata più economica. Se si prende, ad esempio, la tecnologia solare si nota che nel 1956 il costo di una cella fotovoltaica capace di produrre un solo W era di 1.865 \$. Oggi invece i pannelli fotovoltaici di un edificio producono una potenza che arriva a 320 W. Ciò significa che, se il costo della tecnologia fosse rimasto lo stesso, un impianto domestico di oggi costerebbe oltre 590.000 \$. Il prezzo elevato per la produzione di energia però non ha fatto sì che questa fonte venisse abbandonata, ma ha trovato, pur a un prezzo elevato, altri impieghi. Inizialmente, infatti, questa tecnologia era utilizzata per fornire energia ai satelliti in orbita. Il vantaggio è derivato dall'uso del silicio come materiale primario. Essendo questo il componente principale dei chip, vista la forte diffusione dei processori, il fotovoltaico ha tratto beneficio dall'avanzamento della filiera informatica, utilizzando anche per un lungo periodo il silicio di scarto dalla produzione dei processori. Questo ha portato a un calo dei prezzi, il che ha reso la tecnologia utilizzabile anche per nuove applicazioni, causando un aumento della domanda e, di conseguenza, un maggiore sviluppo tecnologico collegato all'abbassamento successivo dei prezzi. In questo circolo vizioso continuo, a feedback positivo, la tecnologia solare ha continuato a svilupparsi e a essere sempre più accessibile.

Come si può vedere dal grafico 5, il prezzo dei moduli solari è cambiato seguendo il cosiddetto effetto o curva di apprendimento **[graf. 5]**. Questo effetto si nota perché, mentre la capacità installata è aumentata in modo esponenziale (asse delle ascisse in scala logaritmica), il prezzo dei moduli solari è diminuito in modo esponenziale (asse delle ordinate in scala logaritmica). In un grafico logaritmico, infatti, un andamento esponenziale segue una retta. Questo rappresenta il circolo vizioso in atto: più viene utilizzata la tecnologia più i prezzi diminuiscono e questo porta a nuove implementazioni. Per quanto riguarda l'energia solare, l'abbassamento di prezzo si deve anche alle moltissime forme di sussidi e finanziamenti che sono state date a livello nazionale o internazionale. Osservando la curva di apprendimento si nota che il tasso di apprendimento dei moduli fotovoltaici solari è del 20,2%. A ogni raddoppio della capacità installata il prezzo dei moduli fotovoltaici diminuisce quindi del 20,2%. Questo ha fatto sì che il prezzo dei moduli solari scendesse da 106 \$ a 0,38 \$ per W (-99,6%) (De La Tour, Glachant, Ménière 2013).

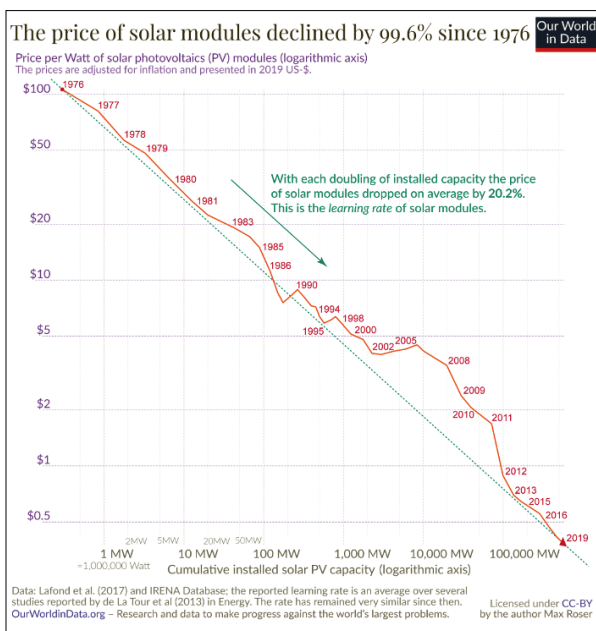


Grafico 5
Variazione di prezzo per W dei moduli fotovoltaici all'aumentare della capacità fotovoltaica cumulativa (Perlin 1999)

Tutto ciò vale anche per il costo dell'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici. Il tasso di apprendimento del prezzo dell'energia elettrica è in realtà ancor maggiore: a ogni raddoppio della capacità solare installata il prezzo dell'elettricità diminuisce del 36% (rispetto al 20% del costo dei moduli solari).

Anche le altre tecnologie per la produzione di energia rinnovabile seguono questo modello e ciò si riflette nei rispettivi costi di produzione di energia. L'energia eolica, ad esempio, segue la curva di apprendimento, ma con tassi diversi. Per quanto riguarda gli impianti *on-shore*, il tasso risulta essere del 23% (quindi a ogni raddoppio della capacità produttiva cumulativa degli impianti, il prezzo diminuisce di quasi un quarto). Per gli impianti eolici *off-shore* invece il tasso di apprendimento è del 10% (De La Tour, Glachant, Ménière 2013), ma si prevede che migliorerà in futuro (Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2020).

Se consideriamo invece le fonti energetiche non rinnovabili osserviamo un fenomeno diverso. Prendendo, ad esempio, come fonte di produzione di energia elettrica il carbone notiamo che il prezzo per ogni W prodotto è diminuito solo del 2% in dieci anni. Questo dato si discosta totalmente rispetto alle variazioni osservate per le fonti energetiche rinnovabili. A differenza di queste, infatti, né il prezzo del carbone né il prezzo delle centrali di produzione di energia elettrica basate sul carbone, hanno seguito una curva di apprendimento.

In passato il costo dell'energia prodotta con l'utilizzo del carbone era considerato molto economico e, in parte, lo è ancorad oggi. Tuttavia, il prezzo non sta diminuendo nel tempo in modo significativo e possiamo aspettarci che questo trend non cambi molto in futuro. In primo luogo, non ci sono molti margini di miglioramento dell'efficienza delle centrali a carbone. Gli impianti più datati in genere hanno un'efficienza intorno al 33%, mentre quelli più efficienti oggi raggiungono il 47% (Santojanni 2015). Se anche ci fosse un miglioramento straordinario e senza precedenti di efficienza, tale da arrivare al 66% dall'attuale 33% (da un terzo a due terzi), questo corrisponderebbe solo ai progressi che i moduli fotovoltaici fanno in media ogni 7,5 anni (Farmer, Lafond 2016). In secondo luogo, il prezzo dell'elettricità per le fonti energetiche non rinnovabili non è determinato solamente dal costo della tecnologia, ma in misura significativa dal costo del combustibile stesso. Prendendo in considerazione sempre l'esempio della centrale a carbone per la produzione di energia elettrica, si stima che il costo del carbone che alimenta la centrale costituisca circa il 40% dei costi totali (McNerney, Farmer, Trancik 2011). Questo significa che, se anche il prezzo della tecnologia dovesse continuare a diminuire, il prezzo del carburante determinerà sempre una quota importante del prezzo dell'elettricità prodotta e ci sarà quindi un prezzo minimo al di sotto del quale il prezzo dell'elettricità non potrà andare. Per questi motivi quindi si nota come l'energia ottenuta dal carbone non segua una curva di apprendimento. Se si considera invece la produzione di elettricità tramite il gas, che rappresenta la seconda più grande fonte di combustibili fossili, si rileva come questa sia diventata più economica nell'ultimo decennio. Dal grafico 4 infatti si evidenzia come l'elettricità, proveniente da impianti a gas a ciclo combinato, sia diminuita del 32% negli ultimi dieci anni. I motivi della diminuzione del costo sono principalmente la diminuzione dei costi di costruzione di un impianto a gas e la diminuzione del prezzo del gas stesso (Rubin et al. 2015). Dopo un picco nel 2008, il prezzo del gas è sceso principalmente grazie all'aumento dell'offerta. Questo calo dei prezzi però non fa parte di uno sviluppo a lungo termine e, come per la questione del carbone, similmente si pensa che l'elettricità prodotta tramite gas non avrà una curva di apprendimento simile a quella che stanno avendo le fonti rinnovabili.

Uno dei problemi che affligge le fonti energetiche rinnovabili è il loro ciclo di fornitura intermittente, se consideriamo ad esempio la produzione di energia elettrica tramite energia solare. Per massimizzare l'utilizzo dell'energia prodotta allora sono indispensabili metodi e sistemi di accumulo e di stoccaggio dell'energia, come le batterie e gli accumulatori. Fortunatamente anche le tecnologie di stoccaggio dell'energia stanno attualmente seguendo curve di apprendimento in forte calo, il che consentirà di avere sistemi di accumulo efficienti e accessibili in un futuro non troppo remoto (Schmidt et al. 2017).

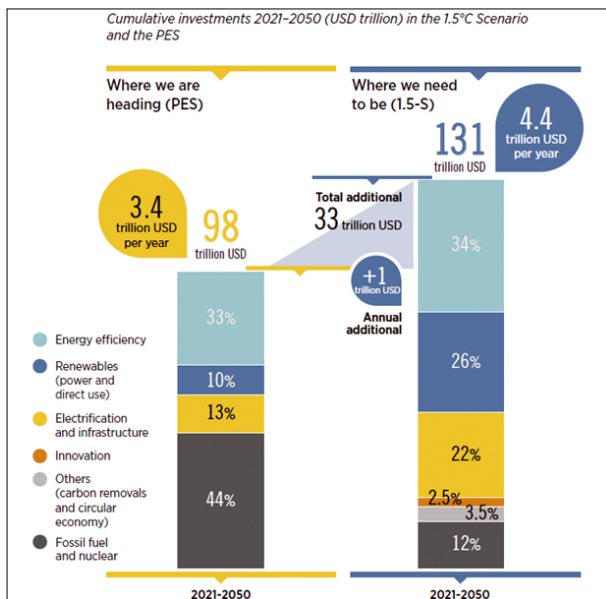
Ormai è dimostrato che la transizione energetica, per raggiungere uno scenario di sostenibilità, è una strada possibile e quanto mai essenziale per il futuro del pianeta. Ciò non significa però che sia facile da raggiungere.

Gli investimenti in energia rinnovabile sono aumentati, passando da circa 50 miliardi di dollari nel 2004 a oltre 300 miliardi di dollari nel 2018. Tuttavia, questi investimenti rimangono al di sotto del loro potenziale (IRENA 2019). In termini economici, se vogliamo raggiungere gli obiettivi concordati con l'accordo di Parigi, sottoscritto nel 2015, di limitare l'innalzamento della temperatura del pianeta a 2 °C (e possibilmente contenere l'innalzamento a 1,5 °C) entro la fine del secolo rispetto ai livelli preindustriali, gli investimenti dovranno aumentare in modo consistente. In particolare, solo per quanto riguarda le fonti energetiche rinnovabili, gli investimenti cumulativi, fino al 2050, dovranno essere di 27 trilioni di dollari. Per affrontare i rischi e gli ostacoli finanziari e per attrarre nuovi investitori sono essenziali politiche economiche e finanziamenti pubblici (IRENA 2019). Nel complesso per affrontare la transizione energetica e raggiungere gli obiettivi prefissati, gli investimenti devono essere mirati e indirizzati a specifici target e devono essere oculatamente destinati ad alcuni settori piuttosto che ad altri. Come si può vedere dal grafico 6, i piani governativi attuali prevedono l'investimento di almeno 98 trilioni di dollari nei sistemi energetici entro il 2050. Lo scenario, che prevede di rimanere entro gli 1,5 °C di temperatura in più rispetto ai livelli preindustriali, potrebbe essere raggiunto con investimenti pari a ulteriori 33 trilioni di dollari rispetto a quelli attualmente previsti, per un investimento stimato necessario di 131 trilioni di dollari fino al 2050 (IRENA 2021). Oltre l'80% (116 trilioni di dollari) dovrà essere investito nella transizione energetica per migliorare le tecnologie e l'efficienza energetica. Quindi, rispetto agli attuali 3,4 trilioni di dollari investiti ogni anno in questo settore, si dovrà aggiungere un ulteriore trilione di dollari all'anno (IRENA 2021).

Come si può notare [graf. 6], uno dei punti chiave dovrà essere il reindirizzamento dei fondi, attualmente previsti per finanziare i combustibili fossili e il nucleare, verso le energie rinnovabili e l'elettrificazione. Si dovrà passare quindi dall'attuale 44% al 12% di investimenti in energie non rinnovabili, reindirizzando ben 24 trilioni di dollari in energia pulita. Oltre che una sfida economica dovrà essere una sfida concettuale e coraggiosa, per contrastare la potenza delle grandi compagnie petrolifere.

Attualmente, il capitale si sta già muovendo per sfruttare le opportunità di investimento più interessanti. I mercati finanziari prevedono un crollo della domanda di combustibili fossili a fronte di un aumento di quella derivata dalle tecnologie energetiche rinnovabili. Il declassamento dei settori a combustibili fossili sta già avvenendo da tempo. Anche nel 2020, anno caratterizzato dall'epide-

Grafico 6
Piano di investimenti attuale (PES) e piano di investimenti necessario per raggiungere lo scenario di rimanere entro 1,5 °C



mia di COVID-19, con conseguenti stravolgimenti a livello economico per moltissimi settori, si è registrato un aumento dell'indice S&P di energia pulita e una diminuzione di quello per i combustibili fossili.

Come si può osservare dal grafico 7, l'indice S&P per l'energia pulita è aumentato del 138% dal mese di gennaio al mese di dicembre. L'indice S&P 500 invece è diminuito del 37% nei dodici mesi del 2020 [graf. 7].

I mercati finanziari hanno quindi un ruolo cruciale per il cambiamento, perché possono togliere capitale dai settori in declino e destinarlo ai settori in crescita. Le aziende che guidano la transizione energetica troveranno maggiori investitori pronti a finanziare i loro progetti e potranno espandersi rapidamente, accelerando il processo di cambiamento. Nel 2015 ad esempio esistevano solamente tre grandi fabbriche specializzate nella produzione di batterie per i veicoli elettrici. Oggi invece ce ne sono oltre 150.

Come già anticipato, sono essenziali strumenti finanziari pubblici per mobilitare investimenti legati alla transizione energetica.

Servono quadri politici chiari e azioni di governo che includano:

- fornitura di strumenti di attenuazione del rischio, per attrarre e ridurre il rischio di investimenti con capitali privati (ad esempio garanzie, strumenti di copertura valutaria, linee guida di liquidità);
- creazione di una rete di progetti rinnovabili bancabili;

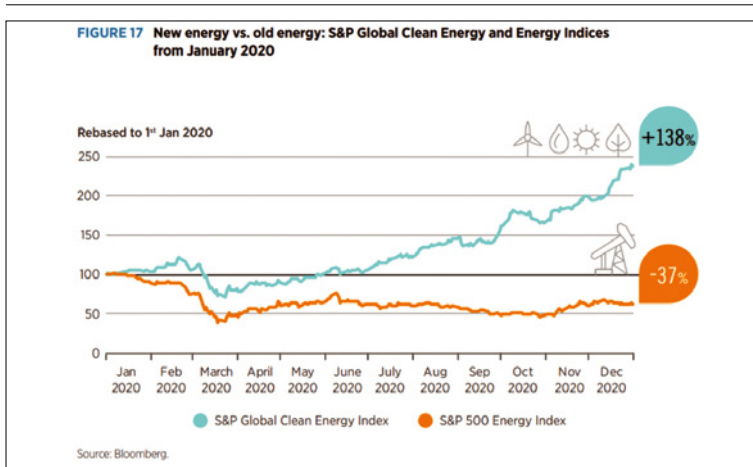


Grafico 7 Variazione dell'Indice S&P per l'energia pulita e per l'energia a combustibili fossili nell'anno 2020

- definizione dei requisiti di sostenibilità per gli investitori (come, per esempio, l'analisi e la divulgazione di impatti e rischi del cambiamento climatico);
- adozione di standard per i *green bond* in linea con le normative globali.

Inoltre, ove possibile, dovrebbe essere controllato il prezzo del petrolio per evitare fluttuazioni e distorsioni. Chiaramente gli aspetti economici vanno accompagnati con considerazioni sugli aspetti sociali e di equità, soprattutto per le popolazioni a basso reddito, dove l'energia costituisce una quota sostanziosa delle spese familiari.

Per favorire la transizione energetica e attrarre gli investimenti necessari a breve e lungo termine, sono essenziali obiettivi ambiziosi in materia di clima ed energia pulita su larga scala: a livello internazionale, nazionale, regionale e locale. Oltre alle leggi approvate o proposte per raggiungere le zero emissioni in molte giurisdizioni servono contributi che vadano oltre il settore energetico, comprendendo tutti gli usi finali che l'energia dovrà alimentare.

Gli obiettivi infatti sono efficaci solamente se contestualizzati all'interno di un quadro politico olistico, dove le politiche di distribuzione e produzione si combinano con incentivi finanziari e fiscali, per garantire l'affidabilità della tecnologia e delle politiche di integrazione dei sistemi in oggetto. L'attuale struttura organizzativa, progettata principalmente per l'energia convenzionale centralizzata, richiederà dei cambiamenti sostanziali per accogliere quote sempre più crescenti di fonti rinnovabili all'interno della struttura stessa, con un aumento di produzione di energia decentralizzata.

Per includere altri aspetti legati alla sostenibilità è indispensabile favorire un'integrazione finanziaria anche con i temi di lavoro, sviluppo di competenze, istruzione e misure di tutela e protezione sociale. Non esiste una politica unica per raggiungere la traiettoria dello scenario 1,5 °C che sia quanto più sostenibile. Occorre una serie di politiche che si rafforzino a vicenda, adattate a contesti e obiettivi specifici (IRENA 2021).

Lo sviluppo sempre maggiore del settore delle fonti energetiche rinnovabili legato alla transizione energetica consente la creazione di un numero consistente di nuovi posti di lavoro. Rispetto alle proiezioni e stime attuali, l'occupazione a livello globale, generata dallo sviluppo energetico necessario per raggiungere lo scenario di 1,5 °C, seguirà un percorso di crescita più marcato e deciso. I vantaggi complessivi sono più elevati rispetto alla crescita prevista con le attuali politiche di sviluppo: saranno compresi anche benefici come un miglioramento delle condizioni di salute, minor inquinamento e stipendi più elevati. Per poter sfruttare appieno questi benefici potenziali, l'azione politica dovrà affrontare fin da subito gli aspetti della distribuzione dei finanziamenti e delle risorse. Chiaramente, con la transizione energetica, gli effetti occupazionali saranno positivi da un lato e negativi dall'altro. Positivi perché lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili creerà nuovi posti di lavoro, negativi perché questo comporterà l'eliminazione graduale dei combustibili fossili, con conseguente perdita di occupazione in questo settore. A livello globale però il saldo netto sarà positivo, perché si stima che il settore delle rinnovabili genererà quasi tre volte più posti di lavoro rispetto ai posti offerti dai combustibili fossili [graf. 8] (IRENA 2021).

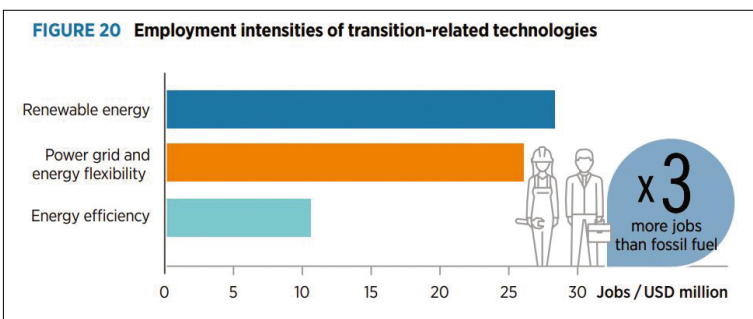


Grafico 8 Numero di impiegati per milione di dollari investiti nei settori principali relativi alla transizione energetica

Tra i nuovi posti di lavoro, gli ambiti di occupazione principali saranno: la ricerca e l'attività accademica, lo sviluppo, il collaudo, la produzione, l'installazione, il funzionamento e il mantenimento delle tecnologie e delle fonti energetiche rinnovabili. Altre dinamiche relative all'ambito socio-economico poi porteranno, probabilmente, a lavori attualmente non esistenti (IRENA 2021).

Per quanto riguarda la situazione italiana, la crescita del settore energetico segue gli stessi trend visti precedentemente. In particolare, nonostante il 2019 sia stato un anno anomalo, il sistema elettrico italiano ha saputo mantenersi e le fonti energetiche rinnovabili sono aumentate in termini percentuali sul totale del mix energetico. Gli investimenti sono cresciuti significativamente rispetto all'anno precedente, raggiungendo complessivamente 9,1 miliardi di euro (pari a 10,9 GW di produzione: + 7%). In particolare, gli investimenti si sono concentrati soprattutto su fotovoltaico, eolico, biomasse e biocarburanti come il biometano. Nonostante la diminuzione dei prezzi dell'energia rinnovabile, dovuta principalmente a una diminuzione del costo delle tecnologie, l'apprezzamento degli investitori per le rinnovabili è stato considerevole. Ciò è dimostrato dall'indice Irex che ha rilevato un aumento del 62,2% a fronte di un calo del 6,8% del FTSE All Share e del 31,8% del FTSE Oil&Gas.² La transizione verde, che è stata messa al centro del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), è stata dunque avviata, ma gli obiettivi da raggiungere sono molto ambiziosi. Si dovranno infatti raggiungere necessariamente i 42 GW di produzione energetica tramite le fonti energetiche rinnovabili. Per farlo c'è bisogno di una visione a lungo termine, di uno snellimento burocratico negli iter di autorizzazione e di riduzione dei costi.

Si deve poi puntare sull'innovazione con le nuove tecnologie e la mobilità come protagoniste. Considerando quindi l'uscita di scena del carbone, per lasciar posto alle fonti energetiche rinnovabili, queste ultime saranno sempre più il perno del mercato a una condizione: che il sistema elettrico italiano si dimostri adeguato e ci sia sufficiente disponibilità in termini di capacità, sistemi di accumulo e infrastrutture.

Tra le tecnologie che cresceranno in Italia, oggi più utilizzate o sviluppate all'estero, c'è l'eolico *offshore*. In Italia non ci sono le potenzialità presenti in altri paesi europei, principalmente a causa della morfologia e della posizione delle coste. Le coste italiane sono bagnate da mari relativamente stretti e chiusi rispetto ai paesi del Nord Europa, con mari più aperti e con l'Oceano Atlantico. Ciononostante, i progetti previsti per l'eolico *offshore* in Italia, riguardano la costru-

² [https://www.infobuildenergia.it/pandemia-crescono-investimenti-rinnovabili/#:~:text=Si%20conferma%20che%20nell%E2%80%99anno,%20GW%20\(%2B7%25\)](https://www.infobuildenergia.it/pandemia-crescono-investimenti-rinnovabili/#:~:text=Si%20conferma%20che%20nell%E2%80%99anno,%20GW%20(%2B7%25).). Articolo basato sul rapporto annuale Irex 202.

zione di sistemi e parchi eolici in grado di produrre 3,5 GW al largo delle coste. Altre tecnologie in crescita sono ad esempio i pannelli bifacciali e i *tracker* applicati a piccola scala. I pannelli bifacciali sono pannelli fotovoltaici che presentano celle fotovoltaiche in entrambe le facce del pannello. Questo permette un aumento considerevole della resa, perché sfrutta la cattura dell'energia solare diretta, ma anche di quella indiretta (cioè quella riflessa dalle superfici, dalle strade, dalle nuvole ecc...). I pannelli a inseguimento solare, invece, sono altre tipologie di pannelli fotovoltaici, progettati e costruiti per auto-orientarsi, seguendo la traiettoria del sole durante il ciclo giornaliero.

Un'altra tecnologia che vedrà nuovi progetti e trend di crescita sarà l'idrogeno verde. Questo tipo di energia, infatti, può essere utilizzato in molti tipi di attività energivore, dove l'elettrificazione non sarebbe adeguata o sufficiente, come il trasporto aereo, marittimo, nella siderurgia o nell'industria chimica. Si parla di idrogeno verde perché è l'unica forma di idrogeno utilizzabile, sostenibile al 100%, perché prodotto tramite l'elettrolisi dell'acqua, mediante speciali celle elettrochimiche, alimentate da fonti energetiche rinnovabili. Questo si differenzia dall'idrogeno attualmente utilizzato in alcuni settori, ricavato da combustibili fossili (idrogeno grigio e idrogeno blu). Perché l'idrogeno verde abbia senso, dobbiamo arrivare a uno scenario di eccesso di produzione elettrica da rinnovabili, in caso contrario rimane più conveniente utilizzare l'energia prodotta piuttosto che passare per efficienze di conversione (da elettrico a idrogeno e viceversa). Infine, tra le tecnologie in crescita in termini di investimenti, abbiamo i sistemi di accumulo e le batterie per lo stoccaggio dell'energia. Viste le peculiarità del nostro Paese, un aspetto chiave sarà sicuramente quello di effettuare investimenti destinati al *repowering* degli impianti attualmente esistenti. In questo modo, recuperando gli edifici e le centrali ad oggi dismesse, sarà possibile aumentare (e persino triplicare) la produzione di energia tramite fonti energetiche rinnovabili, senza consumare nuovo suolo, ma utilizzando quello già occupato, contribuendo quindi a contenere il degrado ambientale.³

3 Vedi *supra*.

3 Considerazioni e conclusione

Una prospettiva, quella della green economy, vera in tutto il mondo, ma che in Italia è già realtà.

Che incrocia la sfida della qualità, si nutre dei talenti dei territori e dà forza alla missione del nostro Paese. Un'economia diversa e innovativa, che propone un modello di sviluppo circolare anziché lineare e punta su ricerca, conoscenza, cultura e bellezza.

Ermete Realacci⁴

Sulla base delle considerazioni dei capitoli precedenti, concludiamo sostenendo che occorre un cambio di rotta repentino, per sfruttare appieno queste opportunità e nel contempo riuscire a raggiungere gli obiettivi prefissati in ambito internazionale, con lo scopo di contenere i cambiamenti climatici in atto e una conseguente crisi globale. A livello pratico si sta facendo ancora troppo poco, nonostante siano passati sei anni dalla pubblicazione di due documenti importantissimi e centrali per la sensibilizzazione sul tema, seppur provenienti da due ambienti completamente diversi: l'enciclica *Laudato Si'* e Agenda 2030. Il primo documento, infatti, si rivolge a tutti gli abitanti della Terra (credenti e non), risvegliando le coscienze della gente comune e propone un cambiamento individuale nella sensibilità rispetto ai temi ambientali e sociali, per produrre un cambiamento globale (approccio *bottom up* o dal basso verso l'alto); con Agenda 2030, l'ONU, grazie alla definizione dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, vuole innescare un cambiamento dall'alto verso il basso (approccio *top down*), cercando di dare obiettivi concreti cui mirare nella definizione di politiche a livello governativo e istituzionale. L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è un tema sostenuto da entrambi i documenti e viene visto come centrale per il raggiungimento di un futuro più sostenibile. Le recenti emergenze hanno evidenziato con forza l'impossibilità di «vivere sani in un pianeta malato», come sostenuto da Papa Francesco (Pranovi 2020).

Inoltre, come ribadito dall'enciclica *Fratelli Tutti*, «non possiamo lasciare nessuno indietro e dobbiamo impegnarci tutti, ciascuno secondo le proprie possibilità, a costruire un mondo più giusto, equo e sostenibile, superando i muri». ⁵ Anche questa enciclica, come la *Laudato Si'*, deve essere fonte d'ispirazione e invito alla riflessione per le aziende e per i loro responsabili. Le aziende, infatti, hanno un ruolo cruciale nella società e possono contribuire ad affrontare e risolvere due problemi: le disuguaglianze e la crisi climatica.

⁴ <https://www.greenme.it/ambiente/eventi-e-iniziative/earth-day-2014-oggi/>.

⁵ <https://www.osservatoreromano.va/it/news/2020-11/quo-263/una-responsabilita-anche-per-le-aziende.html>.

A tal proposito, esistono già realtà affermate in tal senso che coniugano in modo completo questi concetti. Infinityhub fa di questi temi i propri valori di riferimento. È la prima Energy Social Company che ha come missione la conversione energetica sostenibile sviluppando, investendo e finanziando, anche attraverso l'*equity crowdfunding*, progetti condivisi di efficientamento energetico e di produzione di energia da rinnovabili. Questo integra perfettamente i tre pilastri classici della sostenibilità. Per raggiungere la sostenibilità, infatti, occorre integrare l'ambito ambientale con quello economico e quello sociale. Se manca anche una sola delle tre componenti ci sarà sempre uno sbilanciamento che porterà all'insuccesso di una politica o di un'azione. Un valore essenziale dell'azienda, che sposa perfettamente il concetto espresso nell'enciclica di Papa Francesco, è quello dell'educazione e della sensibilizzazione alla sostenibilità. Ecco, quindi, che l'azienda non è più un luogo votato puramente al lucro, ma assume un ruolo sociale e ambientale che si integrano perfettamente con la realtà economica.

Un altro concetto da tenere in considerazione, legato alle energie rinnovabili e di forte impatto per una realtà come l'Italia, è il concetto paesaggistico ed estetico.

A livello nazionale e internazionale si sta cercando di incentivare sempre più la transizione energetica, in modo particolare la transizione da energie non rinnovabili a energie rinnovabili negli edifici pubblici e privati. Durante il difficile periodo della pandemia, la casa ha svolto un ruolo primario nella vita di tutti e si è rivelato l'ambiente dove le persone hanno trascorso la maggior parte del tempo: utilizzata come ufficio grazie allo smart working, come scuola per i bambini e i ragazzi, come università per studenti universitari e come spazio di riposo, di lettura, di gioco e di shopping online. Per raggiungere gli obiettivi di transizione una delle sfide dell'Unione Europea è coinvolgere gli immobili antecedenti all'anno 2000, che ammontano all'85% dell'intero patrimonio edilizio europeo e sono ancora lontani dalla fine del loro ciclo di vita (si prevede infatti che l'85-95% di questi edifici sarà ancora utilizzato nel 2050) (Trovato, Nocera, Giuffrida 2020). Per questo si rende indispensabile migliorare e incrementare l'efficienza energetica, integrando i sistemi con risorse energetiche rinnovabili. Tra gli aspetti chiave che andranno quindi considerati, c'è sicuramente quello del rispetto per la qualità architettonica ed estetica degli edifici in uso. La diversità del patrimonio immobiliare è considerata un aspetto fondamentale per la storia e la cultura di un popolo e di uno stato. Occorre quindi preservarla, facendo coincidere innovazione e tradizione, nel rispetto della storia degli edifici. Il patrimonio culturale, incluso il paesaggio, è il risultato di un processo che dura secoli. L'Italia possiede un patrimonio paesaggistico e culturale straordinario, anche se non sempre valorizzato dalla popolazione. Il patrimonio immobiliare in Italia è caratterizzato da approssimativamente 2.147.400

edifici residenziali costruiti prima del 1919.⁶ La qualità costruttiva di questo patrimonio è importante quanto il suo aspetto esteriore e richiede un'attenta conoscenza per comprenderne il significato e quindi il suo valore (Nocera et al. 2018). Solitamente gli interventi principali di miglioramento degli impianti esistenti riguardano l'installazione di pannelli solari per l'utilizzo di energia solare, per produrre elettricità e calore. I pannelli per essere produttivi devono essere posizionati sul tetto oppure in aree attigue alla costruzione, come in giardini o in lotti di terreno. Oltre alla cura estetica dell'edificio, occorre quindi prestare attenzione all'integrazione delle risorse rinnovabili con l'ambiente naturale. Un'altra sfida è quella di mettere assieme più fonti energetiche rinnovabili in uno stesso progetto. I principali problemi di compresenza, di sistemi diversi di fonti energetiche rinnovabili con il patrimonio paesaggistico e architettonico, sono dovuti agli impatti sull'immagine dell'edificio o del paesaggio, sulla sua conservazione e sulla sua identità. Questi impatti sugli edifici riguardano l'alterazione di volumi, di forme, di materiali e di caratteristiche delle superfici (colore, tipologia ecc.). In edifici costruiti generalmente con mattoni, pietra e legno, l'introduzione di sistemi che utilizzano materiali diversi e che vengono posti in vista possono creare contrasti. Aumentare l'efficienza energetica, mediante l'uso di energie rinnovabili, può incrementare la promozione della conservazione e l'usabilità degli edifici. Chiaramente, data la particolarità e l'unicità delle abitazioni storiche, non esiste una soluzione unica e ideale, ma occorre studiare ad hoc una soluzione che tenga conto delle caratteristiche di ogni abitazione. I progetti di restauro o ristrutturazione dovrebbero quindi aumentare la produzione di energia rinnovabile e preservare l'identità del patrimonio architettonico, oltre che controllare l'impatto sul paesaggio. Questo vale non solo per gli edifici, ma anche per i paesaggi.

L'abbandono delle costruzioni storiche aumenta il processo di degrado, con una perdita di valore immobiliare e una ricaduta sul contesto urbano circostante. Viene a crearsi una sorta di reazione a catena che porta a percepire in modo diverso la sicurezza di un'area, la gamma di servizi e attività locali, ecc.

Durante i restauri o le ristrutturazioni va considerato che, al di là del valore simbolico derivante dall'originalità, gli edifici non sono riproducibili per fattori tecnici, come la difficoltà nel reperire materiali un tempo ampiamente diffusi o la perdita di competenze dei lavoratori nelle tecniche di costruzione tradizionali. Identificare il valore culturale di un edificio è essenziale nella progettazione della ristrutturazione. Quando le persone percepiscono il valore culturale di un edificio o di un sito sono più restie ad accettarne la trasfor-

⁶ https://www.istat.it/it/files/2014/06/09_Paesaggio-patrimonio-culturale-Bes2014.pdf.

mazione, perché qualsiasi alterazione dello status quo è considerata una minaccia alla sua integrità. Approcci efficaci alla riabilitazione degli edifici sono passi fondamentali per il progresso della sostenibilità economica, culturale, sociale e ambientale di una risorsa non rinnovabile, come il patrimonio culturale. Lo sviluppo del patrimonio culturale va ben oltre il tradizionale quadro economico di produzione e consumo di un determinato bene. La molteplicità dei valori e la mutua interazione di molti elementi diversi ci portano a identificare il sistema dei beni culturali come un ecosistema vero e proprio con relazioni tra edifici, paesaggio, risorse energetiche, professionalità, cittadini, ecc. Al di là delle motivazioni economiche, la scelta di riqualificare l'ingente patrimonio edilizio e storico risponde alle esigenze di sostenibilità, in termini di riduzione del consumo di suolo, di riutilizzo di materie prime, di protezione e di valorizzazione del patrimonio architettonico e di riduzione delle emissioni di gas serra.

La riqualificazione edilizia è coerente con un approccio sostenibile alla gestione urbana e paesaggistica, secondo un modello di economia circolare, che trasformerebbe i materiali, alla fine del loro ciclo di vita, in risorse per altri scopi, chiudendo i cicli nell'ecosistema dell'industria e minimizzando gli sprechi. Il riutilizzo è una pratica antica. Oggi abbiamo una più profonda comprensione della sua importanza strategica. Considerare l'ambiente costruito come una risorsa significa estendere il suo valore oltre il valore come frutto del lavoro umano o come manufatto. Il patrimonio costruito è prezioso anche per la sua capacità di trasmissione culturale, in quanto luogo di eventi, di tradizioni, di saperi condivisi e di religioni. In altre parole, in quanto valore culturale. Nel quadro europeo gli edifici italiani comprendono il più grande patrimonio preindustriale, con il 30% degli edifici italiani risalenti a prima della Seconda guerra mondiale. Da alcuni dati del CRESME si rileva che in Italia gli investimenti per il recupero edilizio - inclusa la manutenzione - sono passati dal 56% al 67% tra il 2006 e il 2013. Gli investimenti per nuove costruzioni sono invece diminuiti dal 44% al 33%.⁷ Una delle cause primarie di questa tendenza è sicuramente la diminuzione della popolazione.

In Italia quindi la sfida è incanalare gli investimenti e gli incentivi finanziati nella transizione energetica e nella riqualificazione piuttosto che su nuove costruzioni, cercando di conciliare nuove tecnologie e patrimonio edilizio storico. I problemi principali per il patrimonio italiano sono le trasformazioni dell'involucro edilizio necessarie per l'installazione di tecnologie solari sul tetto, oppure la trasformazione di aree naturali o semi-naturali per la costruzione di impianti.

⁷ CRESME RI.U.SO 03. «Ristrutturazione Edilizia, Riqualificazione Energetica, Rigenerazione Urbana». http://www.old.awn.it/AWN/Engine/RAServeFile.php/f/RAP-PORTO_riuso03.pdf.

Si deve quindi conciliare la necessità di produrre elettricità e calore in loco, con la salvaguardia del patrimonio edilizio e del paesaggio circostante.

Allo stato attuale esistono linee guida da seguire per l'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti di edifici. Alcune raccomandazioni, tratte da diverse linee guida (Lucchi, Polo López, Franco 2020; Lucchi et al. 2016), sono:

- adattare i moduli fotovoltaici all'inclinazione e alla struttura del tetto;
- il raggruppamento dei pannelli;
- l'adattamento dei moduli fotovoltaici alle linee del tetto, di colmo e di gronda;
- l'adattamento dei moduli fotovoltaici alle dimensioni della falda;
- la copertura di tubi, di canaline porta cavi ed elementi di ancoraggio;
- la progettazione accurata dei giunti;
- la scelta di colori e tessiture superficiali conformi alla vecchia copertura.

Se l'orientamento o l'inclinazione dei pannelli in fase di installazione non vengono rispettati, l'impianto risulta essere meno efficiente. Inoltre, l'installazione sul tetto comporta una significativa alterazione dell'immagine dell'edificio e del paesaggio. Questo problema porta spesso a preferire la delocalizzazione dei sistemi di produzione dell'energia, una scelta che non risolve il problema degli impatti negativi sul paesaggio. Le principali criticità rilevate, quindi, nell'installazione di impianti solari riguardano l'alterazione della superficie e dei colori, come l'impatto sul suolo e la sua permeabilità, dovute all'installazione di pannelli a terra.

Le linee guida per l'installazione di pannelli sui tetti di edifici di pregio o storici sono le seguenti:

- ove possibile, posizionare dei pannelli sulle coperture degli annessi (es. pergolati o parcheggi);
- utilizzare soluzioni integrate per la sostituzione delle coperture;
- studiare la disposizione dei pannelli a fascia continua, sopra la linea di gronda, per tutta la lunghezza del tetto o coprendo l'intera falda con una migliore esposizione alla radiazione solare;
- scegliere i colori dei pannelli, coerenti con il colore della copertura.

Linee guida analoghe si possono trovare anche per l'installazione di tecnologie rinnovabili in un contesto paesaggistico naturale o seminaturale, per integrarle in zone collinari, mantenendo i colori tipici delle coltivazioni circostanti.

Esistono già delle soluzioni che risolvono il problema dell'integrazione delle tecnologie rinnovabili con l'ecosistema urbano o natura-

le. Tra le varie opzioni presenti sul mercato, un'azienda partner di Infinityhub che produce soluzioni innovative e altamente integrabili con il patrimonio italiano è il GruppoSTG. GruppoSTG è una realtà italiana specializzata nella progettazione e produzione di soluzioni fotovoltaiche e strutturali. L'azienda si ispira ai principi dello sviluppo sostenibile ed è coinvolta nello studio e nell'applicazione di nuove tecnologie d'avanguardia finalizzate al risparmio energetico.⁸

GruppoSTG si presenta sul mercato con quattro diversi brand, ognuno con caratteristiche ben definite e strategiche. In particolare, per quanto riguarda il fotovoltaico, VGS e ENERGYGLASS propongono soluzioni innovative grazie alla customizzazione dei pannelli, studiando le soluzioni migliori per ogni progetto. La personalizzazione va dalla realizzazione di parapetti formati da pannelli fotovoltaici, alla realizzazione di moduli fotovoltaici colorati (ad esempio, con lo stesso colore della copertura dell'edificio), fino all'integrazione di celle fotovoltaiche nel vetro destinato alla costruzione di strutture resistenti, integrate negli edifici o nei contesti urbani. Altre soluzioni innovative, che permettono l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili con i sistemi urbani, provengono dalla società partner di Infinityhub, e-concept.

E-concept è una startup innovativa nel settore della *green economy* che coniuga gli aspetti ambientali con le necessità umane. Lo scopo dell'azienda si realizza mettendo al centro l'innovazione, ottimizzando i processi produttivi, migliorando la qualità della vita nel rispetto del pianeta, attraverso la progettazione di prodotti e con l'offerta di servizi tecnologici per l'innovazione sostenibile, con un focus importante sul fronte dell'elettrificazione del sistema in ambito nautico. Soluzione significativa che consente la rivoluzione di un settore molto antico, in realtà uniche nel loro genere, come Venezia.

Il *core business* dell'azienda è *e-dock*, un'infrastruttura di ricarica per il settore dello yachting nautico. Integrando la tecnologia di ricarica elettrica posizionata nella tipica palina di ormeggio nautico veneziana, l'azienda ha cercato di rispettare le limitazioni estetiche e funzionali imposte dal delicato e prezioso contesto ambientale, architettonico e paesaggistico, con l'obiettivo di realizzare la prima rete infrastrutturale pubblica e privata dedicata alla nautica elettrica, sia essa da diporto, da lavoro, che per il trasporto passeggeri.⁹

Un'altra innovazione sul fronte delle tecnologie, che permettono di sfruttare le fonti energetiche rinnovabili integrabili con il contesto paesaggistico, arriva sicuramente dalla società BYS Italia. L'acronimo sta per *Bicy Solar Street* e nasce per sviluppare e realizzare progetti di piste ciclo-pedonali, integrate con impianti di produzione di energia fotovoltaica, con il beneficio economico di tutti i cittadi-

⁸ <https://www.gruppостg.com/pdf/Brochure-GruppoSTG.pdf>.

⁹ <http://e-concept.it/>.

ni.¹⁰ La costruzione di piste o tratti ciclo-pedonali solari coniuga la mobilità dolce alla green energy. Questa tecnologia ha un potenziale davvero molto elevato. Permetterebbe la riqualificazione di molti centri urbani e molte periferie, collegando vari servizi con tratti fotovoltaici, molto promettenti, grazie all'alto livello di sicurezza con la quale vengono realizzati i moduli fotovoltaici. Il cristallo superficiale, infatti, è progettato in modo da poter supportare carichi elevati (540 kg/mq). È dotato di un trattamento serigrafato superficiale che lo rende antiscivolo.¹¹ Dopo le fasi iniziali, BYS è stata ulteriormente implementata, attraverso la sinergia e la collaborazione con altre aziende come SGC, GruppoSTG, Global Solar e Senini Srl. Si è giunti così a BYS 3.0: la tecnologia è stata perfezionata, migliorando la potenza del modulo del 16% rispetto alla BYS 2.0, il tutto a parità di costi. Con BYS 2.0, un km per due metri di larghezza produceva una potenza di 329 kWp, oggi con BYS 3.0 si possono superare i 381,99 kWp, con certificazioni a norma di legge.¹²

Un progetto che mira a unire a 360° queste tecnologie, che non si limita a utilizzare fonti energetiche rinnovabili solamente in un piccolo contesto (come un edificio), è la riqualificazione dell'Isola di San Servolo a Venezia.

L'isola di San Servolo è un'isola della laguna di Venezia vicina al centro storico con diverse viste su San Marco, l'isola di San Giorgio, il Lido, San Lazzaro degli Armeni e la laguna. L'ex sede del manicomio di Venezia è importante per tanti fattori e ospita strutture ricettive a uso turistico. È la sede di Venice International University, di una sezione dell'Accademia di Belle Arti, del Collegio Internazionale di Ca' Foscari, della Fondazione Franca e Franco Basaglia, del Centro di Formazione in Europrogettazione Aicre e del Neuroscience School of Advanced Studies. Vista la sua importanza a livello internazionale, con un richiamo significativo da parte di studenti, di congressisti e di ricercatori da tutto il mondo è iniziato un processo di trasformazione dell'isola all'insegna della sostenibilità ambientale. A tale scopo è stata costituita la società partecipata di Infinityhub, Venice Light(Y)ear S.r.l. Benefit, che si occuperà dell'efficientamento energetico dell'isola. Questo processo è innovativo nel suo genere, perché coniuga storia, arte, ambiente e innovazione tecnologica in un unico progetto, andando a riqualificare un'intera isola, con una collaborazione stretta tra pubblico e privato. L'innovazione tipica di questa proposta è che Venice Light(Y)ear S.r.l. Benefit è la pri-

¹⁰ <https://www.infinityhub.it/startup-innovative-controllate/>.

¹¹ <https://www.crowdfundme.it/projects/bys-italia/>.

¹² <https://www.infinityhub.it/2020/12/08/percorsi-ciclopdonali-solari-bys-3-0-ottimizzazione-continua-e-prime-location-definitive/>.

ma opera pubblica *green* italiana con capitale aperto ai cittadini.¹³ La riqualificazione avverrà attraverso azioni ben precise: il *lighting*, da cui Venice Light(Y)ear S.r.l. Benefit, convertendo 1.934 punti luce in tecnologia a LED, otterrà un risparmio del 60% della spesa energetica; sei gazebo fotovoltaici, per la prima volta a Venezia con il placet della Soprintendenza per i Beni Archeologici, che si integreranno nella natura e arte dell'isola; dei tratti di pista pedonale-solare BYS 3.0; e-dock, la prima bricola pubblica per la ricarica delle barche elettriche in collaborazione con la startup innovativa veneziana e-concept e molto altro.¹⁴

Mettendo in atto azioni orientate al raggiungimento degli obiettivi e dei valori di Agenda 2030 e dell'*Enciclica Laudato Si'*, percorriamo la strada per rendere il futuro più sostenibile, agendo sia a livello di singolo individuo che di comunità. Ogni singolo individuo infatti può fare la differenza, con le proprie scelte di vita, diventando determinante, anche nel proprio piccolo, nel processo di cambiamento di mentalità, quanto mai necessario per raggiungere gli obiettivi prefissati. In tutto questo, un ruolo fondamentale viene dalle fonti energetiche rinnovabili che, come analizzato, hanno delle potenzialità davvero enormi. Non si tratta solo di potenzialità, ma di vere e proprie opportunità. Come già visto, infatti, le tecnologie attuali sono più che sufficienti per contribuire, sin da ora, in modo significativo, a ridurre le emissioni di gas serra e rappresentano ottimi strumenti per incentivare veramente l'uso di queste tecnologie. Seguendo l'esempio di aziende come Infinityhub, sarà possibile cambiare la società, grazie all'unione di valori sociali, ambientali ed economici, e proponendo soluzioni innovative e all'avanguardia, ma pienamente attuabili anche su larga scala.

¹³ <https://www.crowdfundme.it/projects/venice-lightyear/>.

¹⁴ <https://www.Infinityhub.it/startup-innovative-controllate>.

Bibliografia

- Arvizu, D. et al. (2011). «Technical Summary». Edenhofer, O. et al., *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Technical-Summary-1.pdf>.
- Bertani, R. (2009). *Geothermal Energy: An Overview On Resources And Potential = Proceedings of the International Conference on National Development Of Geothermal Energy Use*. <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGASstandard/ISS/2009Slovakia/I.1.Bertani.pdf>.
- De La Tour, A.; Glachant, M.; Ménière, Y. (2013). «Predicting the Costs of Photovoltaic Solar Modules in 2020 Using Experience Curve Models». *Energy*, 62, 341-8. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.037>.
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2020). «BEIS Electricity Generation Cost Report». https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/911817/electricity-generation-cost-report-2020.pdf.
- Farmer, D.; Lafond, F. (2016). «How Predictable Is Technological Progress?». *Research Policy*, 45(3), 2016, 647-65. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.11.001>.
- Friedlingstein, P. et al. (2020). «Global Carbon Budget 2020». *Earth System Science Data*, 12, 3269-340. <https://doi.org/10.5194/esd-12-3269-2020>.
- Hoes, O.A.C.; Meijer, L.J.J.; van der Ent, R.J.; van de Giesen, N.C. (2017). «Systematic High-Resolution Assessment of Global Hydropower Potential». *PLoS ONE*, 12(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171844>.
- IEA (2019). *Global Energy & CO2 Status Report 2019*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2017). *Geothermal Power: Technology Brief, International Renewable Energy Agency*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf.
- IRENA (2019). *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf?rev=6ea97044a1274c6c8ffe4a116ab17b8f.
- IRENA (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf?rev=77ebbae10ca34ef98909a59e39470906.
- IRENA (2021). *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf?rev=71105a4b8682418297cd220c007da1b9.
- Lucchi, E.; Polo López, C.S.; Franco, G. (2020). «A Conceptual Framework on the Integration of Solar Energy Systems in Heritage Sites and Buildings». *International Conference Florence Heri-tech: The Future of Heritage Science and Technologies = Conference Proceedings* (Florence, 13-15 May 2020).
- Lucchi, E.; Tabak, M.; Carì, V.; Perna, M. (2016). «BiPV Ed Edifici Storici: L'integrazione è Possibile?». *34° Convegno Nazionale Bologna - Soluzioni Impiantisti*.

- che per Edifici a Basso Consumo di Energia: Indirizzi Normativi, Tecnologie e Strategie di Gestione = Conference Proceedings* (Bologna, 20 October 2016).
- McNerney, J.; Farmer, J.D.; Trancik, J.E. (2011). «Historical Costs of Coal-fired Electricity and Implications for the Future». *Energy Policy*, 39(6), 3042-54. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.037>.
- Nocera, F.; Lo Faro, A.; Costanzo, V.; Raciti, C. (2018). «Daylight Performance of Classrooms in a Mediterranean School Heritage Building». *Sustainability*, 10(10), 3705. <https://doi.org/10.3390/su10103705>.
- Lazard's Levelized Cost of Energy 2019 Report*. <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2019/>.
- Perlin, J. (1999). *From space to earth: the story of solar electricity*. Ann Arbor, MI: aatech publications.
- Pranovi, F. (2020). *Insostenibili*. Venezia: Marcianum Press.
- Rubin, E.S.; Azevedo, I.M.L.; Jaramillo, P.; Yeh, S. (2015). «A Review of Learning Rates for Electricity Supply Technologies». *Energy Policy*, 86, 198-218. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.011>.
- Santoanni, D. (2015). *Setting the Benchmark: The World's Most Efficient Coal-Fired Power Plants in Worldcoal*. <https://www.nicenergy.com/dtywyyw/djs/201911/779c47945e3b42549e38d0c94efa7abb/files/06f5d7dcfccf4f098e06707354ea2578.pdf>.
- Schmidt, O.; Hawkes, A.; Gambhir, A.; Staffell, I. (2017). «The Future Cost of Electrical Energy Storage Based on Experience Rates». *Nature Energy*, 2. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110>.
- Trovato, M.R.; Nocera, F.; Giuffrida, S. (2020). «Life-Cycle Assessment and Monetary Measurements for the Carbon Footprint Reduction of Public Buildings». *Sustainability*, 12(8), 3460. <https://doi.org/10.3390/su12083460>.