



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

"L'economia dell'energia rinnovabile"

RELATORE:

CH.MO PROF. Fabio Manenti

LAUREANDO/A: Giorgio Guarenti

MATRICOLA N. 1088840

ANNO ACCADEMICO 2016 – 2017

Indice

Introduzione	4
1) Elettricità ed esternalità.....	6
1.1 Esternalità.....	6
1.2 Come risolvere il problema delle esternalità	7
1.2.1 Misure di comando e controllo.....	7
1.2.2 Strumenti basati sul mercato	8
2) Il costo livellato dell'energia	14
2.1 Affermazione storica e definizione di costo livellato dell'energia.....	14
2.2 Capacità produttiva della centrale	16
2.3 Spese capitali.....	16
2.4 Costi di funzionamento e di manutenzione	17
2.5 Costo del combustibile	18
2.6 Bilanciamento di costi e ricavi e calcolo del Costo livellato dell'energia.....	18
2.7 Valori calcolati del costo livellato dell'elettricità	19
3) Energia rinnovabile: un insieme eterogeneo.....	27
3.1 Caratteristiche comuni tra le fonti rinnovabili	27
3.2 Energie rinnovabili, caratteristiche specifiche	30
3.2.1 Biomasse e biocombustibili	30
3.2.2 Acqua	32
3.2.3 Vento	33
3.2.4 Sole.....	34
3.2.5 Energia geotermica.....	35
4) Gli impatti economici della transizione all'energia rinnovabile	37
4.1 Crescita economica e conservazione dell'ambiente: nessun trade off	37
4.2 Energia rinnovabile e PIL	38
4.3 Energia rinnovabile e benessere	40
4.4 Raddoppiando la quota di rinnovabili si crea più lavoro.....	42
4.5 Una maggior quota di rinnovabili sposta le rotte del commercio globale.....	43
Conclusione.....	45
Riferimenti bibliografici.....	47

Introduzione

L'energia elettrica è un input fondamentale per il sistema economico. Attualmente l'attività economica dipende principalmente dai combustibili fossili che includono petrolio, carbone e gas naturale. Tutti questi combustibili sono non rinnovabili. L'energia rinnovabile, che deriva da fonti inesauribili, nel 2014 forniva meno del 18% dell'energia globalmente consumata considerando tutte le principali fonti sostenibili quali l'energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica e l'energia ricavata dalla combustione di biomasse.

Nonostante questo apporto limitato al mix di energia prodotta, l'energia rinnovabile è l'energia du jour dall'inizio del nuovo millennio in quanto è un argomento strettamente legato alla lotta al cambiamento climatico.

Sebbene resistano alcuni scettici, tra i quali purtroppo anche dei personaggi di un certo rilievo e con una certa influenza, la comunità scientifica internazionale concorda quasi all'unanimità sul fatto che l'inquinamento emesso da attività umane stia contribuendo significativamente al riscaldamento globale. Più specificamente, il settore che in assoluto produce più emissioni è proprio quello energetico.

Il bisogno di agire sul cambiamento climatico, abbinato alla consapevolezza che non esistono assi nella manica come la fusione nucleare, ha costretto i policy maker a prendere seriamente in considerazione le energie alternative (non solo le rinnovabili, ma anche l'energia nucleare) per una graduale transizione ad un mondo alimentato da energia carbon-free entro qualche decennio.

La società alla fine si convertirà totalmente all'energia rinnovabile, dato che la fornitura di combustibili fossili è finita e si ricrea solo nell'arco di ere geologiche. Perciò la domanda non è tanto se questa transizione avverrà, ma piuttosto quando essa avverrà.

La durata delle riserve di combustibili fossili potrebbe essere estesa da nuove tecnologie di estrazione, ma il bisogno di minimizzare gli effetti dannosi del cambiamento climatico è un problema più incombente ed immediato rispetto all'esaurimento dei combustibili fossili. Se i peggiori impatti dell'innalzamento della temperatura globale devono essere evitati, la società dovrà passare alle fonti di energia rinnovabile mentre molte delle fonti tradizionali sono ancora seppellite sotto la crosta terrestre.

Questo lavoro è dedicato ad esplorare l'economia dell'energia rinnovabile, i motivi per cui non è ancora la tipologia predominante e gli effetti socio-economici di una parziale transizione ad essa.

Nel primo capitolo verrà affrontato il tema delle esternalità negative legate alla generazione di energia; esse, non venendo considerate dalle società produttrici di elettricità, rappresentano il maggior fattore che ostacola la transizione in questione. Si vedrà inoltre attraverso quali approcci politici ed economisti abbiano cercato di risolvere questo problema.

Si passerà nel secondo capitolo a studiare l'indicatore dei costi di produzione dell'energia e si vedrà quantitativamente se le fonti rinnovabili siano economicamente competitive o meno con le fonti tradizionali.

Nel terzo capitolo si passeranno in rassegna le principali tecnologie per la produzione di elettricità da risorse rinnovabili e si vedranno le caratteristiche in comune tra di loro e le peculiarità di ognuna.

Per concludere, nel quarto e ultimo capitolo, verranno analizzati gli effetti socio-economici di una accelerata transizione alle rinnovabili, giungendo alla conclusione che essa offre un'unica opportunità per combattere il cambiamento climatico e contemporaneamente alimentare la crescita economica e incrementare il benessere sociale.

1) Elettricità ed esternalità

1.1 Esternalità

“Il maggior fattore che sta attualmente ostacolando una transizione verso l’energia rinnovabile è il fallimento nel tenere conto delle esternalità” (Timmons 2014, p. 30).

Un’esternalità è un fenomeno economico che si presenta ogni volta che l’attività di produzione o di consumo di un soggetto influenza, negativamente o positivamente, il benessere di un altro soggetto, senza che questo riceva una compensazione (nel caso di impatto negativo) o paghi un prezzo (nel caso di impatto positivo).

Quando l’attività di un agente crea un beneficio ad un altro siamo di fronte ad un’esternalità positiva, quando crea invece un danno siamo in presenza di un’esternalità negativa.

Qualora esistano delle esternalità si va incontro ad un fallimento di mercato. Non vale più infatti il Primo teorema fondamentale del benessere secondo il quale un mercato libero, in cui gli individui perseguono egoisticamente i propri interessi, conduce ad un equilibrio socialmente efficiente.

In presenza di esternalità negative gli agenti non tengono in considerazione il costo del danno creato ad altri individui, cosicché viene prodotta una quantità superiore alla quantità socialmente efficiente di quel bene o servizio.

D’altra parte, in presenza di esternalità positive, gli agenti che creano l’esternalità non tengono conto dei ricavi provenienti dal beneficio goduto dagli altri individui, cosicché viene prodotta una quantità inferiore alla quantità socialmente efficiente di quel bene o servizio.

Durante la generazione di elettricità, le centrali termoelettriche tradizionali producono una grande quantità di emissioni di agenti inquinanti come gas serra, anidride solforosa, ossido di azoto e particolato; queste causano una grande quantità di esternalità negative legate ai danni ambientali e sanitari dell’inquinamento.

Secondo uno studio di Borenstein del 2012 circa il 33% delle emissioni di gas serra antropogeniche negli Stati Uniti provengono dal settore energetico, il 27% dai trasporti, il 20% dall’industria e il rimanente 20% da attività commerciali, agricole e residenziali.

Le esternalità negative innalzano i costi sociali della produzione di un determinato bene, quale l’energia elettrica e con essa le unità di sostanze nocive emesse, ma ne mantengono invariati i costi privati. In altre parole i costi esterni non sono incorporati nella funzione di produzione e gli agenti prendono le loro decisioni sulla base di un prezzo che non riflette pienamente i costi

della produzione, come conseguenza viene prodotta una quantità eccessiva di un bene dannoso.

La causa di queste esternalità negative “ambientali” è da ricondursi alla mancanza o all’incompletezza dei diritti di proprietà su beni pubblici quali la qualità dell’aria e dell’acqua. Ciò fa venire meno uno dei fondamentali requisiti del Primo teorema dell’economia del benessere, ovvero l’esistenza di un mercato per ogni bene.

Ecco allora che, per perseguire l’efficienza sociale, trova spazio l’azione del policy maker: quando gli agenti sono incapaci (o non hanno la volontà) di raggiungere una soluzione cooperativa, la prescrizione da parte della teoria economica è che i Governi dovrebbero intervenire stabilendo dei meccanismi per applicare una soluzione efficiente.

1.2 Come risolvere il problema delle esternalità

Gli strumenti di cui i Governi dispongono per rendere effettive le loro politiche ambientali e combattere le esternalità si dividono in misure di comando e controllo (C&C), o regolazione diretta, e misure basate sul mercato, o strumenti economici, o, ancora, regolazione indiretta.

1.2.1 Misure di comando e controllo

A partire dagli anni ‘60 e ‘70 la regolazione diretta fu la prima ad essere implementata nei Paesi più industrializzati e rimane al giorno d’oggi la più utilizzata, anche se con il passare del tempo è stata sempre più frequentemente affiancata dagli strumenti economici.

In breve, le misure di comando e controllo consistono in un primo momento nell’emanazione di leggi e regolazioni che prescrivono standard che gli inquinatori devono rispettare, e in un secondo momento nell’esecuzione di questi standard, attraverso il controllo delle effettive performance dei soggetti inquinanti e la sanzione dei comportamenti che si discostano dai suddetti standard.

Gli standard prescritti possono riguardare la performance, o il risultato finale. In questo caso possiamo avere standard relativi alla qualità dell’ambiente, in cui vengono specificate le caratteristiche che deve avere il mezzo ambientale di ricezione degli elementi inquinanti; o possiamo avere standard relativi all’emissione in cui si specifica la fuoriuscita massima consentita di molecole inquinanti nell’ambiente.

In via alternativa possono essere prescritti standard tecnologici riguardanti i processi o i prodotti.

I primi specificano i processi o l'attrezzatura di abbattimento delle sostanze inquinanti che le imprese devono adottare. Quando il legislatore non possiede abbastanza informazioni relative ad un processo specifico, può prescrivere "la miglior tecnologia disponibile" o "la miglior tecnologia economicamente ragionevole", anche se queste disposizioni possono risultare molto vaghe e libere ad interpretazione soggettiva.

Gli standard sui prodotti sono al contrario molto più specifici ed indicano le caratteristiche chimico-fisiche che devono possedere i prodotti finali o gli input utilizzati per realizzarli.

Le regolamentazioni imposte dalle misure di comando e controllo non risolvono tuttavia, se non in maniera parziale, il peccato originale delle esternalità ambientali negative. Esse infatti non internalizzano il costo esterno delle emissioni prodotte, sebbene includano nella funzione di produzione il costo per l'installazione e il mantenimento delle attrezzature da utilizzarsi per rispettare gli standard.

1.2.2 Strumenti basati sul mercato

Se le misure di C&C impongono gli standard da perseguire, gli strumenti basati sul mercato cercano di raggiungere l'abbattimento dell'inquinamento attraverso incentivi economici. È proprio questo il motivo per cui possono risultare più efficaci delle prime, in quanto possono incorporare in un modo migliore i costi generati esternamente.

Esistono sostanzialmente due approcci teorici differenti nell'affrontare il problema delle esternalità con approcci economici.

Uno è stato portato avanti dal noto economista inglese Arthur Cecil Pigou e propone l'introduzione di un'accisa per ogni tonnellata di anidride carbonica emessa (o equivalentemente per ogni kilowatt ora di elettricità prodotta). In questo modo le imprese inquinanti (come appunto le centrali termoelettriche) sono costrette a incorporare nella propria funzione di produzione il costo causato dai gas serra emessi. Inoltre, se la tassa è dell'ammontare corretto il livello di emissioni finali ottenuto sarà pari a quello socialmente efficiente. Per ricavare il livello appropriato di questa accisa il legislatore deve tuttavia essere a conoscenza delle funzioni dei benefici e dei costi privati delle imprese oltre alla funzione dei danni ambientali causati da quel tipo di inquinamento. L'ammontare appropriato della tassa pigouviana è infatti pari al costo marginale esterno nella quantità di emissione considerata socialmente efficiente.

Il policy maker non è onnisciente e, anche qualora lo fosse, potrebbe non volere fissare una tassa per emissione prodotta pari esattamente alla tassa pigouviana, perché non è detto che il livello di inquinamento politicamente desiderato coincida con quello socialmente efficiente.

Queste ragioni politiche e tecniche rendono difficilmente applicabile la teoria di Pigou nella realtà. Essa è stata tuttavia utilizzata come benchmark per l'introduzione di molte tasse ambientali come la Carbon tax. Come spiegato in precedenza, in tutti questi casi la quantità target non è la quantità socialmente efficiente, ma una quantità che è considerata politicamente accettabile dal mercato politico. Al giorno d'oggi tale quantità è ancora troppo elevata e, come conseguenza, il valore dell'accisa troppo basso.

Il secondo approccio per risolvere il problema delle esternalità venne invece avanzato da un altro economista inglese, Ronald Coase, il quale propose l'omonimo teorema che nel 1960 gli valse il premio Nobel per l'economia. Tale approccio è più radicale perché va dritto alla causa del problema, cioè la mancanza di diritti di proprietà pienamente definiti.

Il teorema di Coase afferma che una volta assegnati agli individui interessati dei diritti di proprietà che godano della caratteristica dell'escludibilità e che siano perfettamente trasferibili senza costi di transazione, i soggetti rivelando le proprie preferenze fanno scaturire una contrattazione e un processo di scambio che porta ad una soluzione Pareto efficiente, che elimina il problema delle esternalità a prescindere dall'allocazione iniziale dei diritti.

Come nel caso della tassa pigouviana, nemmeno questo teorema può essere direttamente applicato alla realtà per quanto riguarda ad esempio le esternalità negative prodotte dalla produzione di energia delle centrali termiche. La qualità dell'aria è infatti un bene pubblico, cioè non escludibile, al quale non può essere applicato il diritto di proprietà.

Gli studi di Coase sono però serviti da ispirazione e stimolo per soluzioni simili. I permessi scambiabili per l'inquinamento ne sono un esempio. Sotto un tradizionale sistema "cap-and-trade" il regolatore stabilisce un limite alle emissioni (cap), poi vende o distribuisce gratuitamente alle imprese inquinanti un determinato numero di permessi di inquinare scambiabili. I permessi possono essere venduti o acquistati in un apposito mercato: le imprese che mantengono le loro emissioni sotto il livello che gli era stato inizialmente allocato possono vendere i permessi ad altre imprese.

La differenza con il teorema di Coase originale è che in questo caso non sono assegnati dei diritti di proprietà sulla qualità dell'aria, ma dei diritti ad inquinare fino ad un certo limite qualora se ne posseggano le autorizzazioni necessarie.

Il grosso problema di questo tipo di sistema riguarda questioni distributive. L'allocazione iniziale dei permessi è il punto critico. La consegna deve avvenire presso i soggetti inquinati o presso quelli inquinanti? Devono essere elargiti gratuitamente o venduti? Ciascuna risposta a queste domande conduce a risultati finali completamente diversi in termini di distribuzione della ricchezza, o più in generale del benessere.

È probabilmente questa criticità, di tipo distributivo e quindi politico, che ha ostacolato una vasta diffusione di sistemi con permessi di inquinamento negoziabili.

Un altro tipo di soluzione di mercato può essere adottata per combattere il problema delle esternalità negative. Esso riguarda l'ampio gruppo dei sussidi e può essere considerato come un rimedio indiretto dato dallo scarso appeal delle prime due opzioni. Se per ragioni politiche una tassa sulle emissioni prodotte dalle centrali termoelettriche è difficile da applicare, non altrettanto ostacolata dall'opinione pubblica è l'introduzione di sussidi a favore dei produttori di energia rinnovabile. I sussidi all'energia green sono degli stretti parenti delle tasse sull'energia sporca e funzionano in maniera diametralmente opposta. Imponendo i sussidi lo Stato "abbassa il prezzo dell'energia pagata dai consumatori, alza il prezzo ricevuto dai produttori o abbassa i costi di produzione" (Timmons 2014, p. 28); così facendo l'equilibrio di mercato si sposta artificialmente verso una maggior quantità prodotta e consumata di energia rinnovabile.

I sussidi all'energia possono assumere varie forme, tra le quali le più usate sono le cinque seguenti.

1. I pagamenti diretti, con i quali un governo paga ad un'azienda un certo ammontare per unità prodotta.
2. I prestiti favorevoli, forniti dalla finanza pubblica ad un tasso di interesse inferiore al tasso di mercato a favore di aziende che soddisfano determinati requisiti.
3. Le deduzioni e detrazioni fiscali, garantite a imprese che acquistano determinate attrezzature, macchinari o equipaggiamenti.
4. Il sostegno dei prezzi, tramite il quale viene garantito ai produttori di energia rinnovabile che il prezzo che riceveranno sarà superiore ad un determinato ammontare.
5. L'acquisto obbligatorio di quote, con il quale lo Stato si obbliga a comprare una certa percentuale di energia da fonti rinnovabili.

Per certi versi l'energia sostenibile può essere considerata come generatrice di esternalità positive, se non altro perché non produce le esternalità negative che sembrano così difficili da estirpare dalle fonti tradizionali.

Nonostante questo concetto appaia scontato, per via delle pressioni politiche delle compagnie petrolifere, la maggior parte dei sussidi elargiti dai governi favorisce pesantemente i combustibili fossili che generano invece esternalità negative.

"Secondo un'analisi condotta da Bloomberg New Energy Finance, i sussidi globali per i combustibili fossili sono circa 20 volte superiori rispetto ai sussidi concessi all'energia

rinnovabile. Nel 2009, i sussidi mondiali per le rinnovabili erano tra i 43 e i 46 milioni di dollari, principalmente sotto forma di crediti tributari e sostegno dei prezzi. D'altra parte, l'International Energy Agency ha stimato che i governi hanno speso circa 550 milioni di dollari per sussidiare i combustibili fossili" (Timmons 2014, p. 29).

La realtà dei fatti è quindi al momento lontana da quanto suggerito dalla dottrina economica e dal buon senso. L'indirizzamento dei sussidi statali verso i soggetti effettivamente meritevoli è il primo passo verso una transizione ad un'economia sostenibile.

Per il conseguimento dell'efficienza sociale, la teoria economica prescrive l'utilizzo di sussidi in presenza di esternalità positive, ma non essendoci vere e proprie esternalità positive (come detto in precedenza le esternalità positive dell'energia rinnovabile sono da ricondursi piuttosto all'assenza di costi esterni), anche i sussidi indirizzati a fonti energetiche rinnovabili, sebbene utilizzati come approccio indiretto per limitare le esternalità negative delle fonti tradizionali, hanno degli effetti collaterali.

Il principale aspetto negativo è legato proprio alla differenza teorica tra i due tipi di esternalità e agli effetti opposti a cui conducono i relativi rimedi. Per Borenstein (2012) il fallimento di mercato nel settore dell'energetico è legato all'underpricing dell'energia sporca, non all'overpricing dell'energia green, cosicché sussidiare l'energia green con i fondi del governo deprime il prezzo dell'energia e ne scoraggia l'uso efficiente, ovvero il risparmio nel consumo di elettricità.

Concludendo, le politiche che il legislatore deve assumere per favorire una transizione all'energia rinnovabile possono prendere inizio dai i sussidi e dalle misure di comando e controllo, ma non devono fermarsi ad esse perché non internalizzano le esternalità.

Per dare un'idea dell'ammontare di esternalità negative prodotte dalle varie tecnologie, la figura sottostante (da Timmons 2014, p. 30) fornisce un sommario dei range di costi esterni associati a differenti fonti di elettricità nell'Unione europea. I valori sono stimati in centesimi di euro per Kilowatt-ora da uno studio di Owen del 2006.

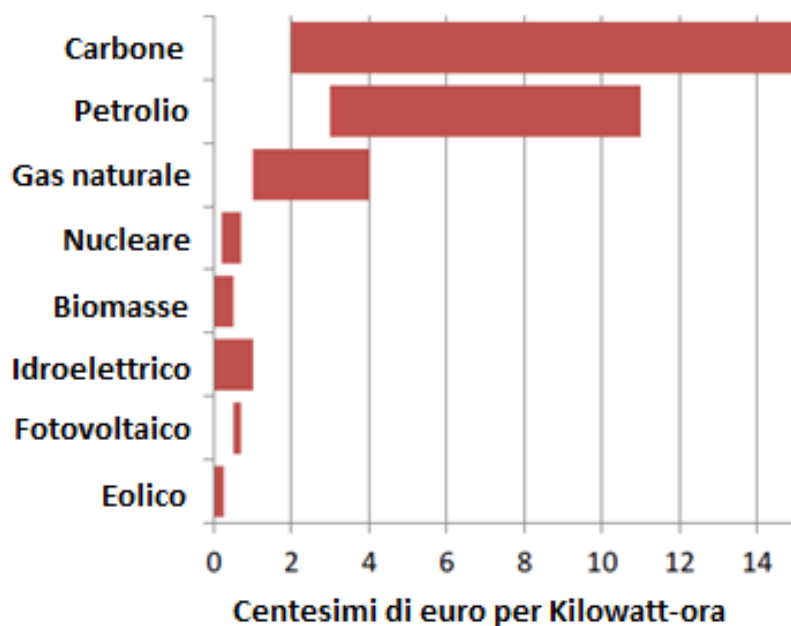


Figura 1. Costi esterni delle varie fonti di elettricità, Unione Europea. (Owen 2006)

Come già detto, le esternalità negative generate dalle fonti rinnovabili sono prossime a zero, mentre tra i combustibili fossili, quello che danneggia di più la società è il carbone con costi esterni tra i 2 e i 15 centesimi per Kilowatt-ora.

Se si riuscisse a includere questi costi esterni nelle funzioni di produzione delle varie centrali elettriche, il risultato stimato al 2020 da Jacobson e Delucchi nel 2011 sui costi totali dell'energia prodotta sarebbe quello del grafico seguente (Timmons 2014, p. 31)

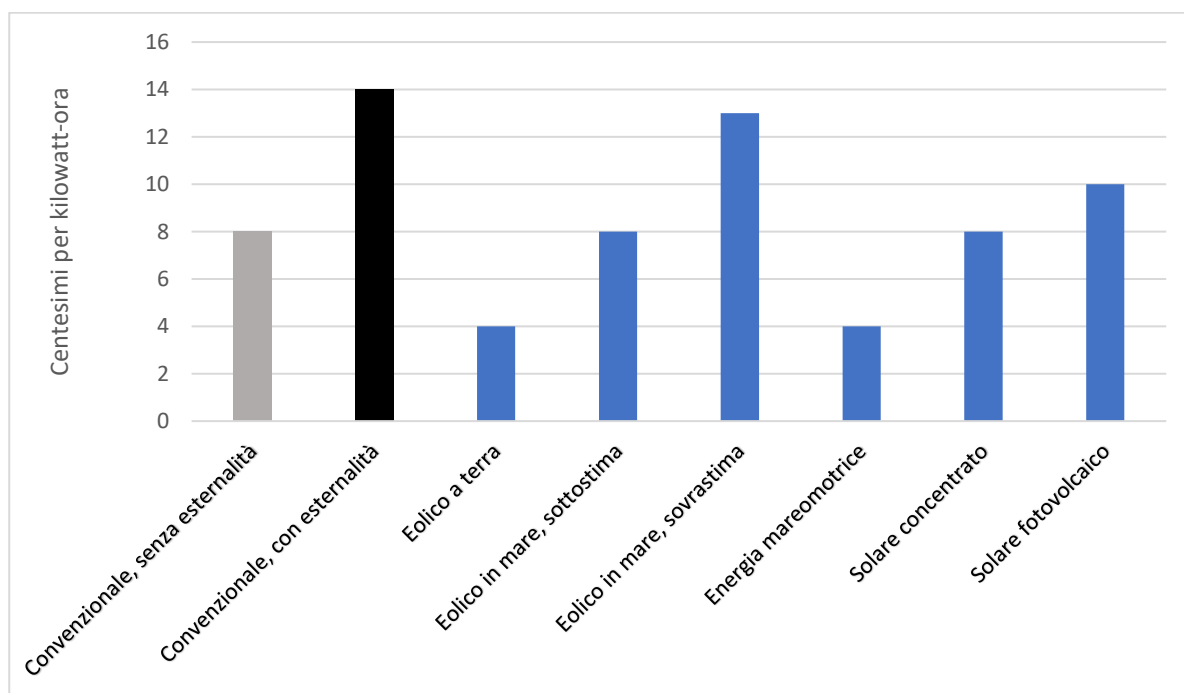


Figura 2. Costi dell'energia prodotta al 2020 (Jacobson e Delucchi 2011b)

Quando gli impatti delle esternalità sono inclusi, tutte le fonti rinnovabili diventano meno costose dei combustibili fossili. Questi risultati offrono due spunti interessanti. Il primo è che ci sono buoni ragioni economiche per promuovere una transizione verso le risorse rinnovabili. Il secondo è che se si riuscisse a far riflettere nei prezzi il costo sociale anziché quello privato, si potrebbe favorire una transizione molto più veloce verso le rinnovabili.

In questo capitolo si è visto come le esternalità negative siano la complicazione principale dell'economia dell'energia, e con quali approcci economisti e politici abbiano cercato di porre un rimedio a questo problema.

Per far capire come una inclusione dei costi esterni nelle variabili di scelta delle imprese possa indurre ad un maggior impiego delle rinnovabili, si è concluso con una rappresentazione dei costi di produzione di elettricità da diverse fonti di energia. Nel prossimo capitolo si spiegherà come tali stime dei costi di produzione dell'elettricità siano state ottenute.

2) Il costo livellato dell'energia

Nella figura 2 del Capitolo 1 vengono confrontati in termini economici, ossia in termini di costi di produzione, diversi tipi di fonti di energia. La metodologia utilizzata per il calcolo di tali valori è quella del “costo livellato dell'energia” che verrà approfondita nel seguente capitolo.

Ritengo importante anticipare fin da subito l'aspetto critico di tale argomento: qualora si intendano misurare i costi sociali e non solo quelli privati, la quantificazione dei costi esterni diventa un elemento critico. Come si vedrà al paragrafo 2.7, la stima di tali costi è molto variabile, specialmente per quanto riguarda determinate sostanze inquinanti come i gas serra; l'applicazione di un valore anziché di un altro ai danni causati dalle varie tipologie di emissioni può risultare determinante nella scelta delle tecnologie energetiche su cui puntare.

2.1 Affermazione storica e definizione di costo livellato dell'energia

A partire dagli anni '70 le innovazioni tecnologiche incentivate dalla crisi economica hanno portato allo sviluppo e alla prima commercializzazione di elettricità generata da nuove fonti quali il sole, il vento, il mare ed anche il nucleare. Si necessitava allora di una metodologia per poter confrontare questi diversi tipi di tecnologia, in modo tale da capire quali fonti fosse opportuno scoraggiare e quali invece supportare attraverso le politiche statali.

La soluzione a tale problema venne trovata nel costo livellato dell'energia, o in inglese Levelized Cost of Energy (LCOE): una misura studiata da Paul Jeynes nel suo trattato *Profitability and Economic Choice* pubblicato nel 1968. Il costo livellato dell'energia si è ormai affermato come lo standard nel settore energetico ed è proprio per la sua ampia diffusione che è opportuno comprendere a fondo come si definisce questa misura dei costi.

Questo capitolo è, appunto, dedicato ad analizzare questo argomento; nel farlo si seguirà lo studio di Carson del 2012: *The economics of Renewable Energy*.

Ci sono molti costi nella generazione di elettricità. Essi includono, nominandone solo alcuni, la costruzione, il funzionamento, la manutenzione, gli interessi, il combustibile, le assicurazioni e le tasse. Questi costi sono sostenuti periodicamente. Le spese capitali avvengono nella fase di vita iniziale della centrale elettrica, mentre le spese di funzionamento, di manutenzione e del combustibile sono dovute continuamente.

Per semplificare il confronto tra progetti in competizione, il metodo del costo livellato riduce tutti i costi al loro valore attuale equivalente, indipendentemente da quando essi sorgono. Il

costo attualizzato dei progetti è usato come termine di paragone e verrà preferito il progetto con il più basso requisito di ricavo.

In altre parole si prendono tutti i costi di un progetto per trovare una tariffa unitaria costante sull'energia prodotta.

Questa intuizione funziona meglio per i settori elettrici gestiti da un regolatore dove il costo unitario di produzione e il prezzo unitario sono identici e qualsiasi profitto ulteriore a questo "fair return" è vietato. In questo caso quindi il LCOE ci dà non solo il costo unitario, ma anche un prezzo chiamato "prezzo costo del servizio" (Carson 2012, p. 13).

Questa equivalenza tra prezzo e costo unitario non è altrettanto vera nei liberi mercati dove la competizione, la tecnologia, l'esaurimento delle risorse, le fluttuazioni nei prezzi degli input e le barriere all'entrata permettono che il prezzo diverga, a volte anche di molto, dai costi di produzione.

Il metodo dei costi livellati non è altro che una versione elaborata di un metodo di fondamentale importanza nel mondo della finanza: l'attualizzazione.

La più grande differenza è che non vengono attualizzati i cash flow, ma i soli costi, escludendo quindi i ricavi dai flussi futuri da scontare.

Come in qualsiasi modello di attualizzazione, il problema probabilmente maggiore consiste nello scegliere il tasso di sconto. Esso in linea teorica dovrebbe tenere conto della rischiosità specifica del progetto: progetti più rischiosi avranno un tasso di interesse a denominatore maggiore rispetto a quello di progetti meno rischiosi. Nella pratica è tuttavia molto difficile calcolare il rischio specifico di ogni separato progetto, per cui come prima approssimazione viene utilizzato il costo del capitale dell'intera impresa come denominatore nel tasso di sconto. In particolare il costo del capitale è il weighted average cost of capital, o r_{wacc} , cioè una media ponderata del costo del debito con relativi benefici fiscali e del costo del capitale sociale.

"Il costo livellato del capitale, ribadendone la definizione, è il valore attuale dei costi di costruzione e funzionamento di una centrale elettrica nell'arco della sua vita economica, convertito in una eguale quantità per watt-ora di elettricità generata dalla centrale. O ancora, il costo livellato è quel prezzo che eguaglia il valore attualizzato netto dei ricavi della centrale con il valore attualizzato netto dei costi. È l'equivalente del costo medio in microeconomia" (Carson 2012, p. 32).

Come queste definizioni suggeriscono, i costi totali dell'intera vita della centrale sono una condizione imprescindibile per il calcolo del nostro indicatore. Una volta stabiliti questi il passo per arrivare al LCOE è breve.

Si tratteranno dunque separatamente i principali elementi che compongono il costo totale dell'intera vita di una centrale: la capacità produttiva della stessa, le spese capitali, i costi di funzionamento e manutenzione, e i costi per il combustibile (nelle centrali termoelettriche).

2.2 Capacità produttiva della centrale

La capacità produttiva, o utilizzo della centrale, è un elemento fondamentale dei costi variabili operativi, del combustibile e anche, non meno importante, dei ricavi.

Per sapere quanta elettricità una centrale produrrà nel corso della sua vita è necessario conoscere tre dati: la capacità nominale della centrale, la percentuale del tempo in cui essa è attiva e la sua durata vitale. La moltiplicazione di questi tre valori fornirà la quantità totale di elettricità prodotta dalla centrale nella sua intera vita.

Le centrali rinnovabili hanno valori inferiori sia per quanto riguarda la capacità produttiva sia per quanto riguarda la durata di vita. Questa combinazione dà alle fonti tradizionali un grande vantaggio in termini di costi livellati poiché la ridotta produzione delle rinnovabili riduce sia i ricavi che la quantità su cui i costi fissi possono essere spalmati, per cui il LCOE è maggiore.

2.3 Spese capitali

Le spese capitali sono costituite per la maggior parte dai costi di costruzione e sono espressi come costi capitali overnight, cioè i costi sono calcolati come se la centrale dovesse essere costruita in un solo giorno.

Nei costi di costruzione sono da includere non solo le strutture materiali, le attrezzature meccaniche e le rispettive installazioni, ma anche le commissioni agli ingegneri e agli appaltatori, nonché i vari costi che per la proprietà sono i costi cosiddetti “affondati”, come i costi del progetto, le tasse e le tariffe legali e assicurative.

Per definizione, se la centrale venisse costruita interamente oggi, i costi capitali totale della centrale sarebbero uguali al costo overnight:

$$TLKC_{PV} = O_k \quad Eq. (1)$$

dove “TLKC_{pV} = present value of the total lifetime capital costs of the plant” ovvero il valore attualizzato del costo capitale totale della vita della centrale,

O_k = costo overnight.

Se la costruzione, come realisticamente accade, avvenisse in più anni e in porzioni di lavoro uguali di anno in anno, il valore attualizzato diventerebbe:

$$TLKC_{PV} = \frac{O_k}{t} * \sum_{n=0}^{t-1} \left[\frac{1+i}{1+r} \right]^n \quad Eq. (2)$$

Dove t = numero di periodi per la costruzione,

i = tasso di inflazione per periodo,

r = tasso nominale di sconto per periodo.

Utilizzando le proprietà della sommatoria di una serie geometrica¹, l'Eq. (2) può essere riscritta come:

$$TLKC_{PV} = \frac{O_k}{t} * \frac{1 - R^t}{1 - R} \quad Eq. (3)$$

Con $R = (1+i)/(1+r)$.

Occorre tuttavia ricordare che i costi di costruzione non coprono per intero le spese capitali dell'intero ciclo vitale della centrale; alle prime dovranno infatti aggiungersi i costi di eventuali sostituzioni delle macchine e delle attrezzature, ma soprattutto le spese di costruzione così come specificate sopra non tengono conto del costo del finanziamento che comprende gli interessi passivi per il debito e il costo opportunità per i versamenti in conto capitale sociale.

Le energie prodotte da fonti rinnovabili richiedono investimenti iniziali (e quindi costi di finanziamento) di molto maggiori rispetto alle fonti tradizionali; di conseguenza se il metodo dei costi livellati tenesse conto anche di tali costi, fatto che non accade nello studio di Carson, il LCOE delle varie energie rinnovabili sarebbe significativamente più elevato.

2.4 Costi di funzionamento e di manutenzione

I costi di funzionamento e manutenzione, in inglese operating and maintenance (O&M) costs, possono essere divisi nelle due categorie dei costi variabili e fissi.

Il lavoro diretto e le spese generali sono i maggiori componenti dei costi fissi; i costi dell'acqua, del trattamento di questa e dei beni di consumo compongono invece i costi variabili.

La metodologia per il calcolo del costo totale è simile a quella delle spese capitali, con le due differenze che i costi di funzionamento e manutenzione sono annuali e ricorreranno per tutta la vita produttiva della centrale, e che gli O&M costs non si presenteranno fintantoché la centrale non sarà operativa.

Similmente, quindi, all'Eq. (2), la formula per il calcolo dei costi di funzionamento e manutenzione sarà:

$$TLOMC_{pv} = OM_0 * \left[\frac{1+i}{1+r} \right]^t * \sum_{n=0}^{p-1} \left[\frac{1+i}{1+r} \right]^n \quad Eq. (4)$$

¹ La somma di una serie di N numeri con un rapporto comune di R e il primo numero uguale a X è:

$$\sum_{t=0}^{N-1} XR^t = X * \frac{1-R^N}{1-R}$$

Dove “ $TLOMC_{pv}$ = present value of total lifetime operating and maintenance costs”, cioè il valore attualizzato dei costi di funzionamento e manutenzione,

OM_0 = costi di funzionamento e manutenzione per periodo, come conosciuti oggi,

t = numero dei periodi di costruzione,

p = numero di periodi di vita della centrale.

Il secondo termine a destra del segno di uguale serve per tenere conto dell’incremento dei costi di O&M durante il periodo di costruzione.

Usando nuovamente le proprietà delle serie geometriche otteniamo:

$$TLOMC_{PV} = OM_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} \quad Eq. (5)$$

2.5 Costo del combustibile

I costi del combustibile sono un importante componente delle centrali termoelettriche, come quelle alimentate da gas, petrolio, carbone, ma anche di quelle alimentate dalla fissione nucleare e dalle biomasse. Eccetto che per quest’ultima tipologia, per tutte le rinnovabili il costo del combustibile è prossimo a 0.

Per determinare il costo del combustibile nella vita di una centrale è necessario avere informazioni relative alla capacità produttiva e al livello di calore (l’efficienza nel convertire l’energia chimica del carburante in energia elettrica) della centrale, alla densità energetica del combustibile e al prezzo dello stesso.

Con la disponibilità di tutti questi dati è possibile calcolare il costo annuale del combustibile, con il quale è a sua volta possibile calcolare il costo totale per il combustibile dell’intera vita produttiva di una centrale termoelettrica in un modo molto simile ai costi di funzionamento e manutenzione:

$$TLFC_{PV} = FC_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} \quad Eq. (6)$$

Dove “ $TLFC_{pv}$ = present value of total lifetime fuel costs”, ovvero il valore attuale del costo per il combustibile totale della vita della centrale,

“ FC_0 = fuel costs”, cioè le spese per il combustibile per periodo, come conosciuti oggi.

2.6 Bilanciamento di costi e ricavi e calcolo del Costo livellato dell’energia.

Il costo livellato è quel prezzo che mette perfettamente in equilibrio i ricavi della vita produttiva della centrale con i costi della vita produttiva della centrale.

Come accade per i costi O&M e i costi per il combustibile, i ricavi non si verificheranno fino a quando la centrale non sarà funzionante, per cui come nel caso dei due tipi di costo appena citati, l’equazione per i ricavi sarà:

$$TLR_{pv} = D_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} \quad Eq. (7)$$

Dove “TLR_{pv} = present value of lifetime revenues”, cioè il valore attualizzato dei ricavi totali della vita della centrale provenienti dalla vendita dell’elettricità prodotta,

D_0 = ricavi per periodo, come conosciuti oggi.

L’equilibrio tra costi e ricavi si ottiene dalla seguente equazione:

$$TLR_{pv} = TLKC_{pv} + TLOMC_{pv} + TLFC_{pv} \quad Eq. (8)$$

Sostituendo i membri dell’Eq. (8) con le equazioni (7), (3), (5) e (6) otteniamo:

$$D_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} = \frac{O_k}{t} * \frac{1 - R^t}{1 - R} + OM_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} + FC_0 * R^t * \frac{1 - R^p}{1 - R} \quad Eq. (9)$$

Semplificando i moltiplicatori comuni ai vari membri dell’Eq. (9) e dividendo per R^t si ricava quanto segue:

$$D_0 = \frac{O_k}{t} * \frac{1 - R^t}{1 - R^p} * \frac{1}{R^t} + OM_0 + FC_0 \quad Eq. (10)$$

D_0 è il prodotto del ricavo medio per unità di elettricità moltiplicato per il numero di unità prodotte in un periodo:

$$D_0 = COE_l * G_t \quad Eq. (11)$$

Dove “COE_L = levelized cost of energy per unit”, cioè il costo livellato dell’energia per unità, G_t = output della centrale nel periodo t .

Sostituendo l’Eq. (11) nell’Eq. (10) e dividendo per G_t si ottiene la formula per calcolare il costo livellato reale dell’elettricità:

$$COE_l = \frac{1}{G_t} * \left[\frac{O_k}{t} * \frac{1 - R^t}{1 - R^p} * \frac{1}{R^t} + OM_0 + FC_0 \right] \quad Eq. (12)$$

COE_L sarà denominato nella stessa valuta in cui sono espressi i vari costi nella parte a destra dell’uguale e l’unità di misura dell’elettricità sarà espressa nella stessa unità di misura di G_t .

Quindi se G_t è espresso in MWh, allora COE_L sarà N \$ per MWh.

2.7 Valori calcolati del costo livellato dell’elettricità

Una volta formulata l’Eq. (12), sostituendo ogni elemento con dei valori numerici, diventa possibile trovare i costi livellati dell’energia prodotta da centrali che utilizzano diversi tipi di fonti.

Lo studio di Carson del 2012, su cui si basa questo capitolo, ha utilizzato per ogni variabile dell’equazione i valori stimati dalla U.S. Energy Information Administration.

Prima di mostrare i risultati ottenuti è molto importante sottolineare che l’Eq. (12), nonostante comprenda molti elementi, ignora una serie di fattori che, se presi in considerazione, possono far variare di molto il costo livellato effettivo.

Queste variabili che l'equazione omette sono: il costo dei finanziamenti, come già accennato nel paragrafo 2.3; i costi reali del combustibile, che potrebbero aumentare con l'aumento della loro scarsità; le tasse sul reddito e soprattutto quelle ambientali, come la carbon tax; e, per finire, i sussidi, che spesso le centrali elettriche, rinnovabili e non, ricevono.

Per quanto riguarda gli ultimi due aspetti, è possibile in maniera più generale affermare che il LCOE tiene conto dei soli costi privati delle varie tecnologie produttrici di energia e non tiene invece conto delle varie esternalità negative che esse producono e che fanno sì che il costo sociale sia maggiore di quello privato, come spiegato nel primo capitolo.

I valori del LCOE e della sua composizione nel caso di riferimento sono dunque quelli presentati nella prossima tabella e nella prossima figura.

Tabella 1. Divisione dei componenti del costo livellato reale dell'energia al 2011 (Carson 2012)

Technology	Tecnologia	Costo capitale/kWh	Costi di O&M/kWh	Costi per il combustibile/kWh	LCOE totale/kWh
Supercritical Coal	Carbone supercritico	\$0,029	\$0,008	\$0,025	\$0,062
Advanced Nuclear	Nucleare avanzato	\$0,047	\$0,009	\$0,008	\$0,065
CCGT	CCGT	\$0,011	\$0,004	\$0,036	\$0,051
OCGT	OCGT	\$0,017	\$0,007	\$0,044	\$0,068
Solar PV (Utility Scale)	FV solare (utenza)	\$0,306	\$0,020	\$0,000	\$0,326
Solar PV (Commercial)	FV solare (commerciale.)	\$0,295	\$0,022	\$0,000	\$0,317
Solar PV (Residential)	FV solare (residenziale)	\$0,589	\$0,027	\$0,000	\$0,616
Solar CSP (without storage)	Solare concentrato (senza immagazzinamento)	\$0,168	\$0,028	\$0,000	\$0,196
Solar CSP (with storage)	Solare concentrato (con immagazzinamento)	\$0,121	\$0,025	\$0,000	\$0,147
Onshore Wind	Eolico a terra	\$0,061	\$0,011	\$0,000	\$0,073
Offshore Wind	Eolico in mare	\$0,123	\$0,029	\$0,000	\$0,152
Geothermal	Geotermico	\$0,046	\$0,022	\$0,000	\$0,068
Hydropower	Idroelettrico	\$0,067	\$0,015	\$0,000	\$0,083
Wave	Moto ondoso	\$0,319	\$0,090	\$0,000	\$0,409
Tidal	Energia mareomotrice	\$0,117	\$0,069	\$0,000	\$0,187
Ocean Thermal	Termica oceanica	\$0,139	\$0,081	\$0,000	\$0,220
Biomass	Biomasse	\$0,059	\$0,021	\$0,000	\$0,080

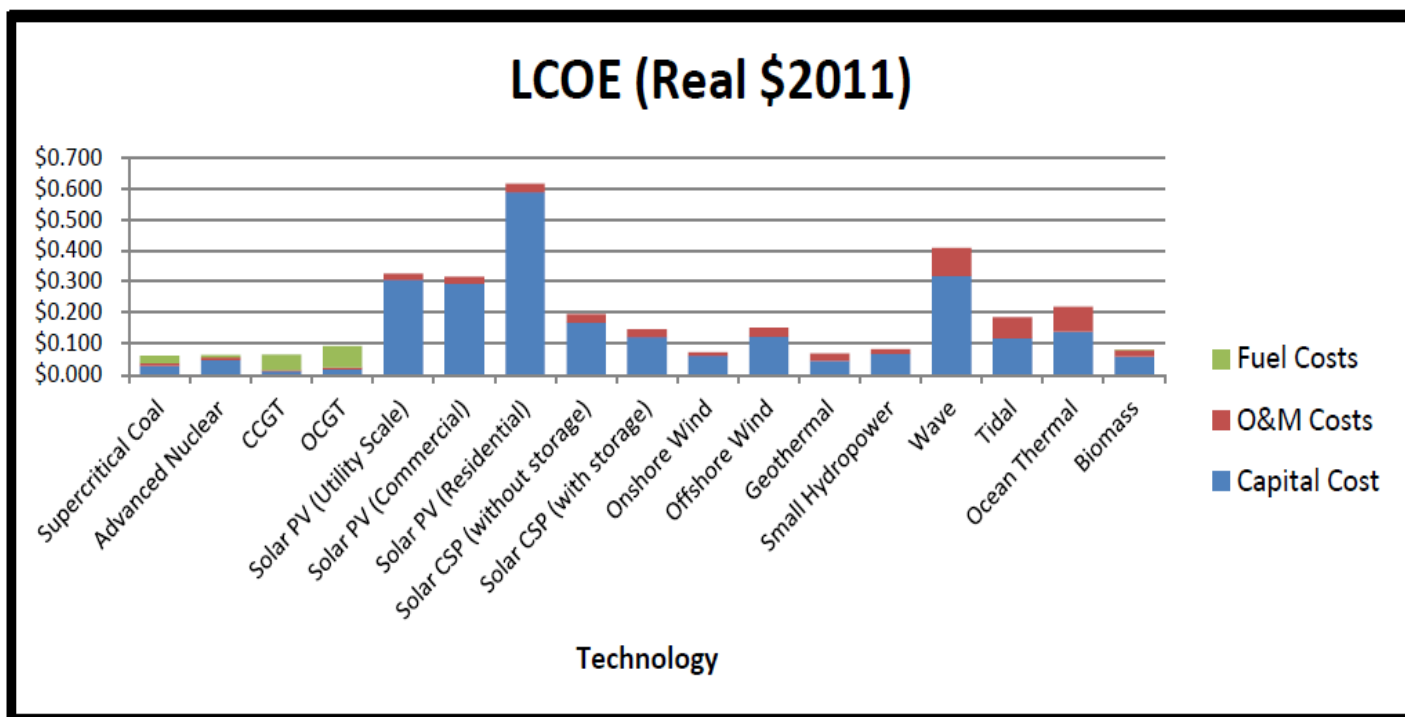


Figura 3. Costo livellato reale dell'energia (Carson 2012)

Analizzando il grafico e la tabella si osserva come le tecnologie tradizionali con un LCOE minore siano il CCGT, cioè il gas naturale a ciclo combinato (\$0.051/kWh) e il carbone supercritico (\$0.062/kWh). Dal lato delle tecnologie carbon-free la più economica è nucleare avanzato (\$0.065/kWh), ma tra le rinnovabili vere e proprie le uniche tecnologie che si avvicinano a competere con quelle sopra citate sono il geotermico (\$0.068/kWh) e l'eolico su terra ferma (\$0.073/kWh).

L'altro elemento che si nota immediatamente è la differente composizione del costo livellato totale tra le tecnologie tradizionali e quelle rinnovabili. Nelle prime la somma tra costi di funzionamento e manutenzione e costi per il combustibile supera sempre i costi capitali, mentre nelle ultime le spese capitali superano ovunque nettamente i costi O&M, con le spese per il combustibile sempre pari a 0.

Se proviamo ad inserire alcune tra le variabili omesse nel calcolo di riferimento, come un aumento dei costi dei combustibili, una tassa sul carbonio, o una più completa inclusione delle externalità negative (tra cui anche quelle prodotte dalle emissioni di gas serra), i risultati possono variare considerevolmente.

Un aumento annuale dei prezzi reali del carburante, per esempio del 2%, avrebbe un grande impatto sui costi delle centrali termoelettriche. In una centrale funzionante a carbone supercritico i costi livellati per il combustibile si alzerebbero del 39% e il costo livellato totale

del 15%. Effetti ancora maggiori si avrebbero in centrali a ciclo combinato di gas naturale con un incremento nei costi del carburante del 79% e nel LCOE del 56%.

L'introduzione di una carbon-tax, cioè di un determinato ammontare di denaro per ogni tonnellata di carbonio emessa nell'atmosfera (o alternativamente di un proporzionale ammontare di denaro per tonnellata di anidride carbonica), incrementerebbe il costo livellato dell'elettricità proveniente da carbone, gas naturale e petrolio.

Secondo Carson (2012) ci sono parecchi metodi usati per calcolare quale dovrebbe essere un'appropriata tassa sul carbonio. Il primo guarda al costo marginale della riduzione delle emissioni; il secondo cerca di calcolare il costo sociale del carbone tramite un'analisi di tipo top-down; altri ancora argomentano a favore di una carbon tax di ammontare tale che permetta di non superare un determinato livello di emissioni prefissato. Per riassumere i risultati principali, la maggior parte delle stime del danno delle emissioni di carbonio prodotte dall'uomo varia da \$5/tonnellata a \$35/tonnellata come tassa iniziale da aumentare progressivamente entro determinate deadline.

Data la variabilità di queste stime, sotto sono riportate tre figure rappresentanti i costi livellati conseguenti a carbon tax rispettivamente di \$30, \$100 e \$200 per tonnellata di carbonio emessa. Gli effetti relativi all'incremento dei costi dei combustibili e del costo livellato totale sono visibili nelle descrizioni delle figure in oggetto. Naturalmente con l'aumentare della carbon tax aumentano solo i costi delle tecnologie che sfruttano i combustibili fossili, rendendo maggiormente competitive le fonti rinnovabili.

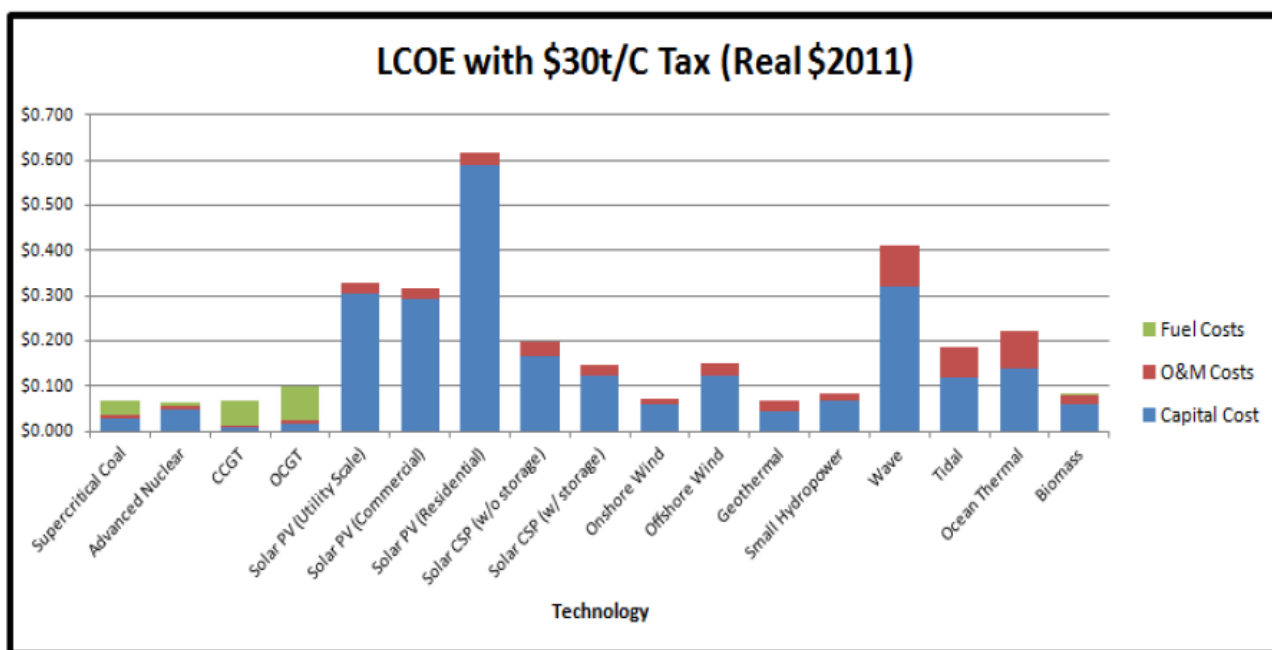


Figura 4. Costo livellato reale con carbon tax di \$30/ton. Una tassa di \$30/t sul carbonio aumenta il costo livellato del carburante delle centrali a carbone supercritico del 31% e il costo totale livellato del 12%. Le centrali a gas a ciclo combinato vedono un aumento del costo livellato del combustibile del 7% e un aumento del 5% del costo livellato totale. (Carson 2012)

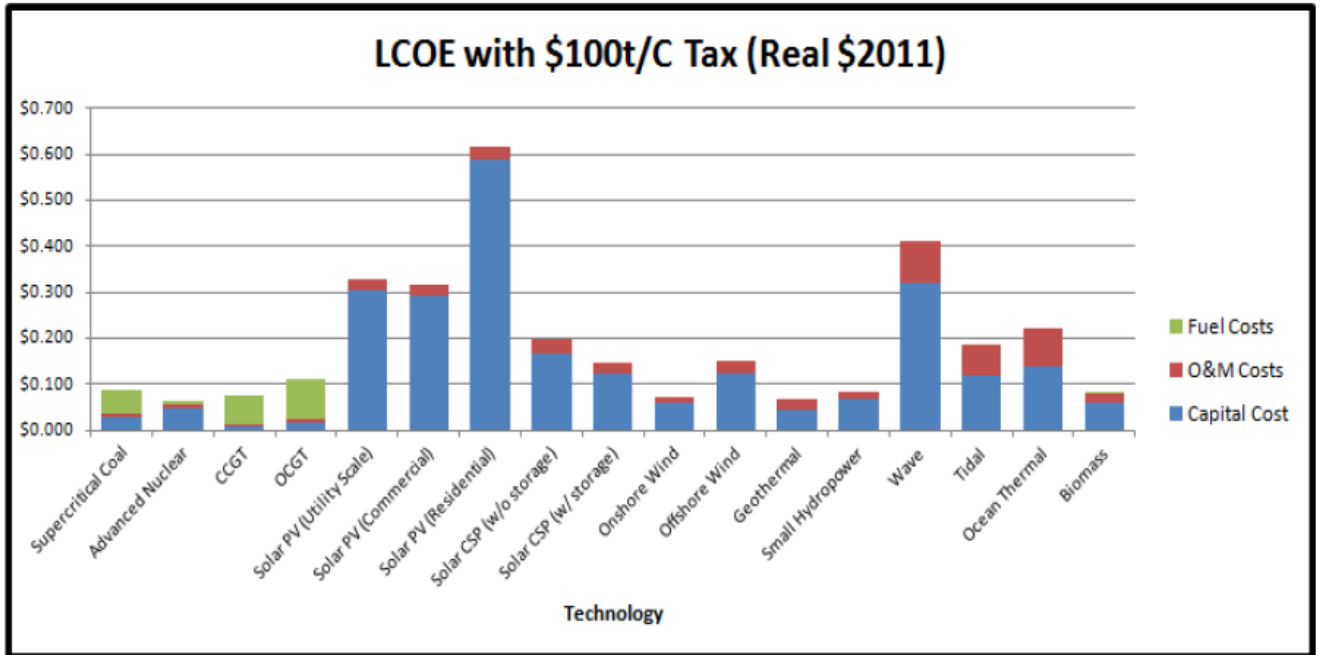


Figura 5. Costo livellato reale con carbon tax di \$100/ton. Una tassa di \$100/t sul carbonio aumenta il costo livellato del carburante delle centrali a carbone supercritico del 104% e il costo globale livellato del 41%. Le centrali a gas a ciclo combinato vedono un aumento del costo livellato del combustibile del 23% e un aumento del costo globale livellato del 18%. (Carson 2012)

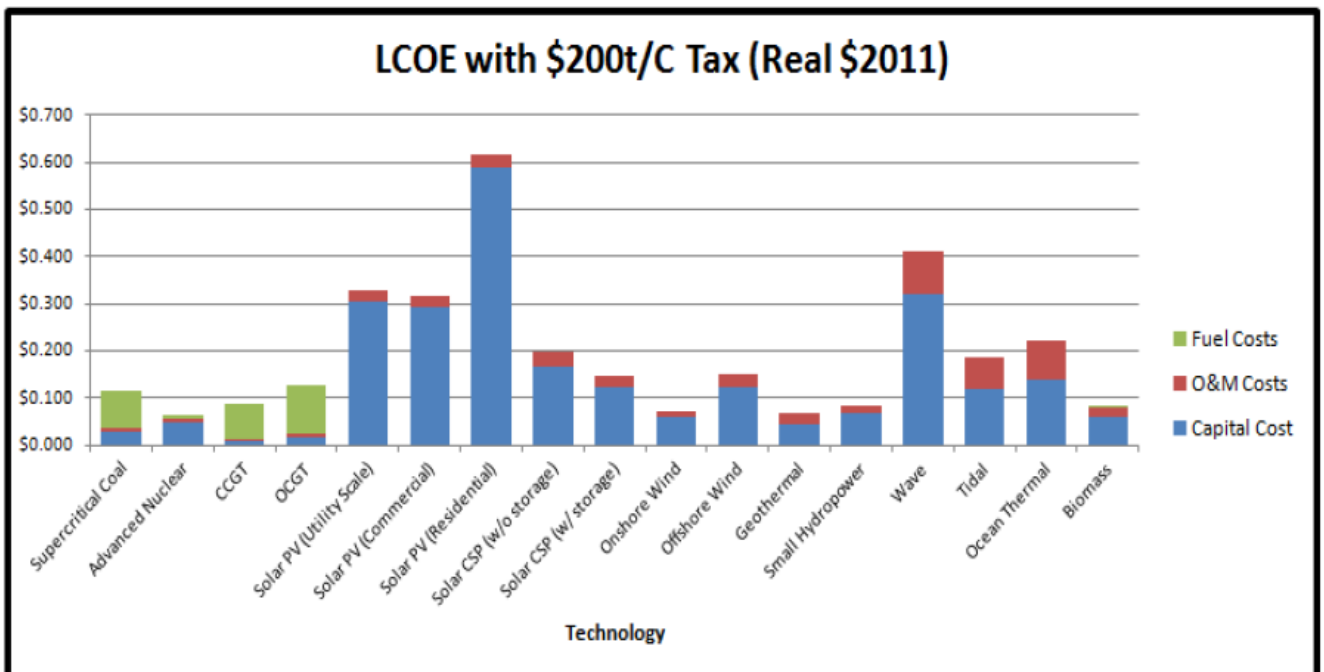


Figura 6. Costo livellato reale con carbon tax di \$200/ton. Una tassa di \$200/t sul carbonio aumenta il costo livellato del carburante delle centrali a carbone supercritico del 208% e il costo globale livellato del 83%. Le centrali a gas a ciclo combinato vedono un aumento del costo livellato del combustibile del 46% e un aumento del costo totale livellato del 35%. (Carson 2012)

La sottostante tabella affronta lo stesso tema da un altro punto di vista. Essa mostra la tassa nominale sul carbonio richiesta affinché il LCOE di una centrale a carbone supercritico eguagli il LCOE delle varie tecnologie rinnovabili.

Tecnologia	Tassa carbonio (\$/ton)
FV solare (utenza)	\$1457,82
FV solare (commerciale.)	\$986,86
FV solare (residenziale)	\$2146,25
Solare concentrato (senza immagazzinamento)	\$1457,82
Solare concentrato (con immagazzinamento)	\$326,51
Eolico a terra	\$40,53
Eolico in mare	\$346,86
Geotermico	\$21,46
Idroelettrico	\$78,26
Moto ondoso	\$1345,58
Energia mareomotrice	\$481,40
Termica oceanica	\$611,38
Biomasse	\$69,49

Tabella 2. Tassa sul carbonio necessaria per eguagliare il LCOE delle rinnovabili a quello del carbone supercritico (Carson 2012)

Dalla tabella si capisce come le fonti sostenibili effettivamente competitive, al 2011, con una centrale termoelettrica a carbone, applicando una carbon-tax realistica (sotto i 200\$), si contino sulle dita di una mano; esse sono l'eolico su terraferma, il geotermico, l'idroelettrico e le biomasse.

È importante però ricordare che i gas serra non sono le uniche sostanze emesse dalle centrali termoelettriche che generano esternalità negative. Le più importanti tra le altre sostanze sono il particolato, l'ossido di azoto e il diossido di zolfo. Il rilascio di queste molecole produce degli effetti negativi sulla salute, sull'ecosistema, sui raccolti agricoli e sull'attività ricreazionale e la quantificazione di questi danni è molto meno controversa rispetto ai danni provocati dalla CO₂ poiché a tal riguardo sono già stati fatti molti più studi.

La figura seguente ricalcola il costo livellato dell'energia considerando le esternalità negative più significative. Nello studio di Carson del 2012 il costo del diossido di zolfo è assunto pari a \$1000/tonnellata, così come quello l'ossido di azoto; quello del particolato è assunto di \$4000/tonnellata e quello del carbonio è considerato essere uguale al caso intermedio delle tre figure soprastanti riferite alla carbon-tax, ovvero di \$100/tonnellata.

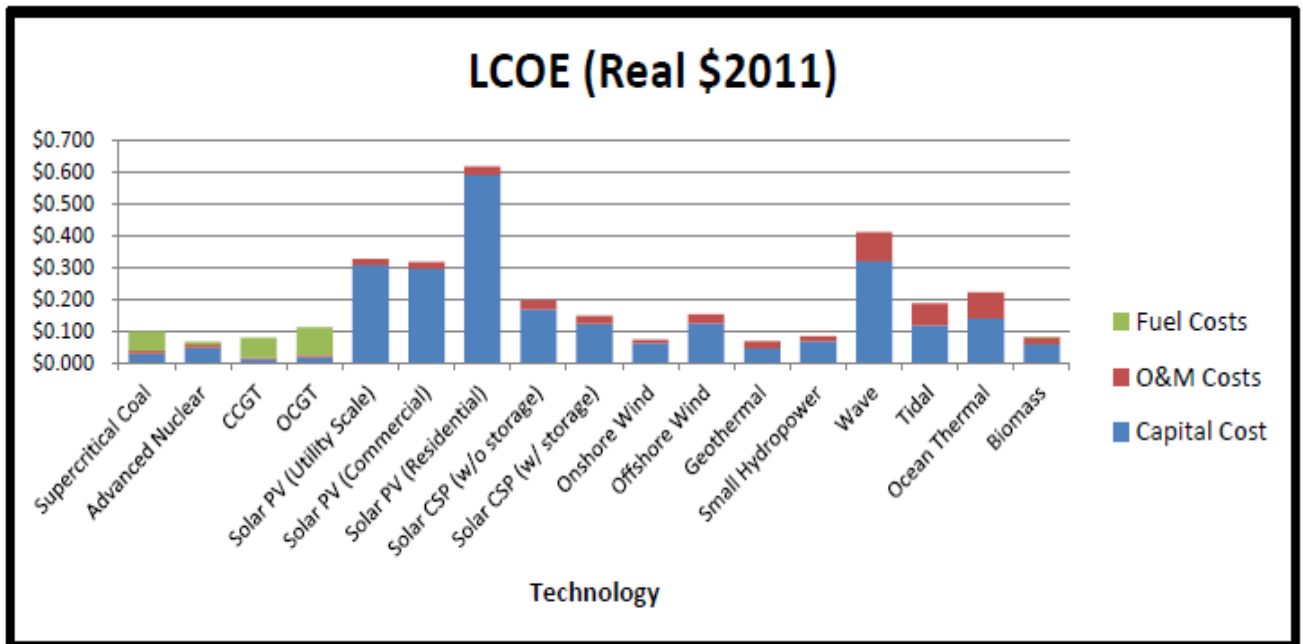


Figura 7. Costo livellato reale dell'elettricità con espresse le esternalità chiave. (Carson 2012)

Includendo anche queste ultime esternalità oltre al carbonio, il LCOE delle fonti tradizionali cresce ancora, ma non abbastanza da rendere competitive altre fonti rinnovabili come il solare.

Un lettore attento sicuramente noterà che il Capitolo 1 si era chiuso giungendo a delle conclusioni più ottimistiche: dall'ultimo grafico (Timmons 2014, p. 31) si poteva dedurre come, una volta incluse le esternalità nel costo dell'energia da centrali termoelettriche, tutte le rinnovabili in quel caso considerate (tra le quali anche il solare, l'eolico in mare aperto e le onde) avessero un costo livellato inferiore alle fonti tradizionali.

La figura del capitolo 1 faceva però riferimento ad una proiezione dei costi al 2020, mentre le figure di questo capitolo (da Carson 2012) fanno riferimento al 2011. Le energie rinnovabili sono tecnologie relativamente recenti e i loro costi si stanno abbassando rapidamente in seguito a continue innovazioni. I risultati dei due capitoli non sono quindi opposti tra loro, ma sono semplicemente presi in due momenti temporali diversi, con una differenza di quasi 10 anni nei quali i LCOE potrebbero verosimilmente abbassarsi di un simile importo, anche se non è detto che ciò accadrà necessariamente.

Oltre allo sviluppo tecnologico, che è di competenza di scienziati ed ingegneri, l'altra variabile chiave resta sempre la quantificazione dei danni esterni. Qui entrano in gioco gli economisti che hanno il compito di calcolare delle stime dei costi legati alle esternalità negative che siano il più accurate possibile, poiché ad oggi, soprattutto per quanto riguarda i gas serra, i risultati di ricerche diverse portano a stime troppo distanti le une dalle altre, impedendo così di trovare un univoco ed effettivo costo livellato sociale per ogni fonte di energia.

Dopo aver approfondito la tecnica per il calcolo del costo livellato dell'energia, nel Capitolo 3 si cercherà di comprendere i motivi per i quali le fonti rinnovabili siano ancora più costose di quelle tradizionali e quindi non ancora competitive con queste ultime.

3) Energia rinnovabile: un insieme eterogeneo

Secondo Heal (2009) per portare avanti una transizione verso l'energia rinnovabile ci sono due domande alle quali i policy-maker devono trovare risposta: è l'energia rinnovabile più costosa dell'energia fossile, e può essa essere resa disponibile ad una scala grande abbastanza da rimpiazzare completamente (o almeno in parte rilevante) l'utilizzo dei combustibili fossili? Rispondendo alla seconda domanda, Timmons (2014) sostiene che “un recente studio ha concluso che le fonti di energia rinnovabili basate su luce solare, acqua e vento (non includendo le biomasse) potrebbero fornire tutta la nuova energia a livello globale entro il 2030 e rimpiazzare tutta l'attuale energia proveniente da risorse non rinnovabili entro il 2050”.

Per quanto riguarda invece la prima domanda, dal capitolo precedente si è visto come attualmente l'energia rinnovabile abbia costi privati (e talvolta anche sociali) superiori all'energia generata con metodi tradizionali.

Questo non è tuttavia l'unico motivo che ne ha impedito un'ampia diffusione.

In questo capitolo si cercherà di fornire delle informazioni relative alle maggiori fonti di energia rinnovabile, i punti in comune tra esse e le specificità tipiche di ognuna, che aiuteranno a comprendere i motivi del loro ancora limitato utilizzo.

3.1 Caratteristiche comuni tra le fonti rinnovabili

Le risorse rinnovabili sono risorse naturali che, per caratteristiche proprie o per effetto della coltivazione dell'uomo, si rinnovano nel tempo e possono essere considerate inesauribili, ovvero possono risultare disponibili per l'utilizzo da parte dell'uomo pressoché indefinitamente.

La definizione comprende svariate forme che certamente includono il solare, l'idroelettrico, l'eolico, il geotermico e le biomasse, ma potrebbero ben non limitarsi a queste fonti.

Prima di illustrare alcune particolarità tipiche di ogni tecnologia, è opportuno vedere le caratteristiche economiche che esse hanno in comune.

La prima caratteristica valida per tutte le rinnovabili riguarda gli alti costi capitali, come già accennato nel capitolo sul costo livellato dell'energia (cap. 2). Le centrali generatrici di energia sostenibile necessitano di grossi investimenti iniziali, ma non affrontano costi per il combustibile, eccezion fatta per le centrali che utilizzano la combustione di biomasse.

Il fatto che le energie rinnovabili siano intensive di capitale e abbiano bassi costi operativi ha un'implicazione importante. Se oggi costruiamo una centrale eolica (o qualsiasi altra che utilizza risorse rinnovabili), stiamo fornendo elettricità gratuitamente ai suoi utilizzatori per i prossimi 40 anni. Se oggi costruiamo una centrale alimentata a carbone, stiamo incontrando oggi i costi capitali, ma stiamo lasciando ai nostri successori dei prossimi 40 anni l'onere dei costi per il carburante e le esternalità negative causate dall'inquinamento dell'aria. Quando costruiamo una centrale di energia rinnovabile noi stiamo effettivamente pagando in anticipo l'elettricità generata da essa nei prossimi 40 anni. Questo ha implicazioni sul tipo di finanziamento più appropriato – in particolare rende secondo Heal (2009) il debito di lungo periodo il finanziamento più giusto.

Questa peculiarità delle rinnovabili ne rende il costo sensibile ai tassi di interesse, in quanto delle variazioni di questi provocano aumenti o diminuzioni sul costo del finanziamento: un alto tasso di interesse fa sì che queste fonti di energia siano ben poco attrattive, mentre un basso tasso di interesse le rende attrattive.

La seconda caratteristica in comune a molte rinnovabili (in particolare il solare e l'eolico) è l'intermittenza, vale a dire il fenomeno per cui la generazione di elettricità dipende dalle condizioni atmosferiche locali. Affermando un'ovvietà, il solare produce energia se il sole splende e l'eolico se il vento soffia. Ciò non accade 24 ore al giorno, 365 giorni all'anno e non è nemmeno prevedibile quando accadrà.

L'intermittenza è una caratteristica che impedisce alle fonti rinnovabili che ne sono affette di eguagliare l'energia prodotta con quella domandata. Il bilanciamento di domanda e offerta è la più grossa sfida nel mercato dell'elettricità, dove l'offerta deve uguagliare la domanda in ogni momento. Fino ad un certo punto la domanda è prevedibile e le centrali termoelettriche possono essere impostate in modo tale da avviarsi e disattivarsi nei periodi di variazioni anticipate nella domanda.

L'energia solare e quella eolica invece non possiedono affatto questa qualità, la quantità prodotta non può essere decisa e controllata dall'uomo; è proprio questa mancanza che ne limita il grado in cui queste due fonti possono penetrare il mercato dell'energia elettrica ed è ancora a causa dell'intermittenza che esse hanno una bassa capacità produttiva, elemento che ne aumenta il LCOE².

Secondo Heal (2009) un altro modo di pensare l'intermittenza è dire che c'è un costo sociale associato all'uso di una fonte di energia intermittente: questo è il costo associato alla

² Ricordo che il LCOE, o costo livellato, è quel prezzo che eguaglia il valore attualizzato netto dei ricavi della centrale con il valore attualizzato netto dei costi. Esso è lo standard che misura i costi di produzione dell'elettricità

generazione di altra energia per rimpiazzarla quando la centrale eolica o solare non sta operando, o, alternativamente, il costo legato al lasciare la domanda insoddisfatta in tali periodi.

È stata trovata più di una soluzione al problema dell'intermittenza, ma, come appena detto sopra, ad ogni soluzione corrisponde un incremento dei costi che deve andare a sommarsi al costo livellato privato della produzione di energia dalle fonti rinnovabili in questione.

Il primo rimedio consiste nell'utilizzo di centrali di riserva che siano attivabili e disattivabili in tempi celeri solo in situazioni di necessità (fintanto che i combustibili fossili continueranno ad essere utilizzati le turbine a gas naturale e a petrolio sono le più adatte a questo scopo). In questo caso si deve aggiungere il LCOE di queste centrali addizionali.

Il secondo rimedio è l'immagazzinamento di energia; case isolate con i pannelli fotovoltaici per esempio possono accumulare in batterie l'energia in eccesso prodotta di giorno, affinché ci sia elettricità a disposizione di notte o quando non splende il sole. Il costo del processo di accumulazione di energia nelle batterie deve essere aggiunto a quello di produzione della stessa.

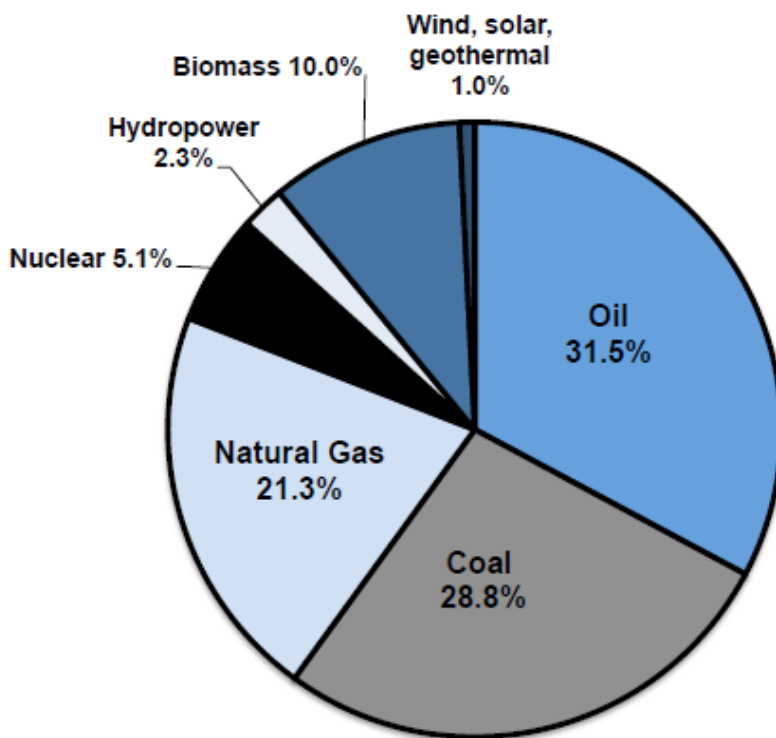
A livello di rete elettrica, l'immagazzinamento di elettricità è più frequentemente realizzato tramite un deposito di acqua pompata. Quando nella rete c'è un eccesso di disponibilità di energia generata, l'acqua è pompata da una riserva più bassa ad una più alta. Quando si necessita elettricità l'acqua si fa scorrere verso il basso generando energia elettrica. Con questa soluzione si devono aggiungere i costi per funzionamento della pompa.

Un ulteriore approccio al problema dell'intermittenza è possibile con una robusta rete elettrica nazionale (e possibilmente internazionale). Sebbene il vento possa per dei periodi non soffiare in alcuna direzione, è probabile che in quel momento esso stia soffiando in qualche altro luogo. La rete elettrica può essere utilizzata per spostare l'elettricità da dove è prodotta fino al punto in cui è richiesta. In questo ultimo caso si devono aggiungere ai costi di produzione dell'energia quelli di costruzione e manutenzione della rete.

Viste queste due importanti caratteristiche in comune tra le energie rinnovabili è giunto il momento di addentrarsi più specificatamente in ognuna di esse.

Per cominciare il grafico seguente aiuta a capire come fosse composto il mix di energia consumata a livello globale nel 2011 e quali fossero le risorse sostenibili più utilizzate.

Limitando l'analisi alle rinnovabili, si osserva come la fonte più utilizzata siano le biomasse (combustibili derivati da sostanze organiche) con il 10% dell'energia totale consumata a livello globale, seguita a distanza dall'energia idroelettrica con il 2.3% e da tutte le altre che complessivamente soddisfacevano un solo punto percentuale del fabbisogno mondiale.



Consumo globale di energia per fonte, 2011.
(International Energy Agency 2013)

3.2 Energie rinnovabili, caratteristiche specifiche

3.2.1 Biomasse e biocombustibili

Le biomasse sono qualsiasi combustibile derivato da sostanza organica nel passato recente. Essa include il legno, i raccolti agricoli, i relativi residui, i rifiuti organici prodotti dall'uomo e lo sterco animale; non comprende invece i combustibili fossili che sono stati a loro volta biomasse, ma molto tempo fa.

Dai tempi della scoperta del fuoco la biomassa è la fonte di energia originaria dell'umanità e ancora oggi fornisce il 10% dell'energia mondiale. Questo non deve stupire poiché una buona fetta di popolazione mondiale usa ancora legna, carbonella, paglia e sterco animale come combustibile per la cucina e per il riscaldamento degli ambienti.

La combustione delle biomasse può essere usata per produrre calore, ma anche per generare elettricità in una centrale elettrica come avviene per i combustibili fossili.

Attraverso dei processi chimici è possibile trasformare certe biomasse come il grano, il mais, la bietola e la canna da zucchero in biocombustibili come l'etanolo e il metanolo. Proprio l'etanolo da canna da zucchero fornisce circa il 50% del gasolio consumato in Brasile.

Un altro biocombustibile è il biodiesel, che viene prodotto utilizzando olii vegetali ed è un perfetto sostituto del diesel convenzionale per quanto riguarda l'utilizzo del motore.

È da sottolineare come i biocombustibili non siano immaginati come una fonte di energia elettrica, ma piuttosto come un sostituto per rimpiazzare il gasolio.

Quando vengono bruciate le biomasse producono emissioni di gas serra come i combustibili fossili, ma non emettono altre sostanze inquinanti e, nell'arco del ciclo vitale, hanno impatto zero in termini di emissioni di anidride carbonica, dato che i vegetali convertono anidride carbonica in ossigeno.

I principali aspetti negativi delle biomasse come fonte di energia rinnovabile sono sotto riportati.

Il primo è che la fotosintesi delle piante che crea le biomasse, economicamente parlando, è un modo relativamente inefficiente di raccogliere energia solare, perché la maggior parte di energia che cade sulle piante è persa. La generazione di energia dalle biomasse richiede un notevole ammontare di terreno; ricoprendo la stessa superficie con pannelli fotovoltaici si produrrebbe molta più energia: “per ogni unità di elettricità generata, la foresta di biomassa richiede un'area 71 volte maggiore di quella richiesta da pannelli fotovoltaici” (Timmons 2014, p. 7).

L'utilizzo della terra per la produzione di biomasse usate per generare energia ha dunque un elevato costo opportunità, che può essere misurato sia in termini di energia prodotta da un'equivalente superficie con altre tecnologie, come visto sopra, sia in termini di produzione di altre materie prime come cibo o fibre.

Il secondo aspetto negativo, legato al primo, è che la quantità totale di energia producibile dalle biomasse è finito (per la limitata disponibilità di terreno) e piccolo in relazione all'attuale consumo di energia.

3.2.2 Acqua

Ci sono tre tecnologie rinnovabili legate all'acqua: l'energia idroelettrica, l'energia mareomotrice e l'energia del moto ondoso.

L'energia idroelettrica può essere una fonte rinnovabile molto economica dove le condizioni sono favorevoli, spesso meno costosa di quella prodotta dai combustibili fossili; per questo l'idroelettrica è già stata ampiamente utilizzata in molte parti del mondo. Questa tecnologia richiede precipitazioni e cambio di altezza per produrre elettricità: l'energia totale prodotta dipende dal volume di acqua disponibile (il flusso) e dalla caduta verticale (l'altezza) che sono sostituiti tra loro. I migliori siti idroelettrici hanno sia un alto flusso che una elevata altezza (come le cascate del Niagara), questi luoghi forniscono grandi quantità di elettricità ad un costo relativamente basso, ma come con le biomasse la potenziale energia prodotta da tali siti è finita.

Dove questo tipo di tecnologia ha radici storiche, molti dei siti migliori sono già stati sfruttati; la costruzione di altre centrali in luoghi meno adatti avrebbe costi troppo alti, ma in un mondo con sole energie rinnovabili il prezzo dell'elettricità potrebbe alzarsi, rendendo di conseguenza più siti idonei allo sviluppo di energia idroelettrica.

Per quanto riguarda le esternalità negative, la produzione di energia idroelettrica non genera emissioni di alcun tipo, ma ciò non significa che non produca altri tipi di costi esterni.

La costruzione delle dighe per esempio può generare l'allagamento di vaste superfici che altera radicalmente l'ecosistema fluviale e gli ecosistemi limitrofi. Le dighe vengono innalzate perché svolgono due importanti funzioni: creano la caduta verticale in uno spazio orizzontale molto ridotto e creano una riserva d'acqua che permette maggiori flussi nei momenti in cui la domanda di elettricità è alta.

Questi tipi di esternalità negative possono essere mitigati, ma ad un costo. Si può per esempio evitare di costruire la diga e sostituirla con delle tubature; l'acqua è semplicemente lasciata cadere all'interno dei tubi da un punto più elevato ad un punto più basso. Ciò vuol però dire rinunciare alla riserva d'acqua che è un asset di grande valore quando si tratta di far coincidere l'offerta di elettricità con la domanda.

L'energia mareomotrice, come l'energia idroelettrica, sfrutta il movimento dei flussi d'acqua e le differenze di altezza, sebbene piccole, prodotti dalle maree per generare elettricità attraverso l'uso delle turbine che ruotano col passare dell'acqua. Un metodo per sfruttare questa fonte consiste nel costruire una diga nell'imbocco di una baia. Le variazioni all'ecosistema marino causate dalle costruzioni di dighe di questo tipo possono tuttavia provocare costi sociali esterni persino maggiori di quelli provocati da mutamenti nell'ecosistema fluviale.

L'energia del moto ondoso, per concludere le rinnovabili legate all'acqua, cerca di sfruttare l'energia cinetica provocata dalle onde attraverso dei dispositivi galleggianti che si alzano e si abbassano con le onde, generando energia meccanica che viene alla fine convertita in elettricità.

Le ultime due tecnologie sono ancora in fase sperimentale e non esistono applicazioni commerciali operative. Il problema per ambedue riguarda i costi che sono ben al di sopra dei prezzi di mercato. C'è però l'aspettativa che essi possano calare in futuro con l'esperienza acquisita e con delle eventuali altre innovazioni.

3.2.3 Vento

Nei siti più favorevoli l'energia eolica, che sfrutta il movimento dell'aria, è competitiva con l'energia prodotta dai combustibili fossili e dal nucleare.

Esiste, tuttavia, una grande differenza tra i costi dell'eolica nei siti migliori e nei siti meno adatti, poiché la quantità di energia prodotta è proporzionale al cubo della velocità del vento. Di conseguenza l'elettricità generata non solo varia di sito in sito in base all'intensità media del vento, ma varia anche nello stesso sito di momento in momento in relazione alla velocità del vento.

Si capisce quindi come l'intermittenza sia un problema per l'energia eolica più che per altre fonti rinnovabili. Questo è dimostrato anche dal fattore di utilizzo che è pari al solo 30% nelle centrali costruite nelle migliori località e di molto inferiori negli altri luoghi.

Il secondo maggior problema dell'energia prodotta dal vento è che i migliori siti (che solitamente si trovano nelle grandi pianure, in mare aperto, lungo la costa e in aree montane) si trovano in zone a centinaia se non migliaia di chilometri da dove si necessita l'elettricità e il trasporto della corrente elettrica per distanze così elevate richiede grandi investimenti nella rete elettrica che ad oggi sono troppo costosi.

Come tutte le tecnologie, anche l'eolico ha le sue esternalità. La principale riguarda l'impatto estetico delle turbine eoliche, che sono in genere molto alte ed ingombranti; anche il rumore prodotto dal movimento delle pale può essere fastidioso in prossimità di questi impianti, soprattutto per gli abitanti di queste aree; e, infine, possono causare la morte di molti uccelli.

Tutte queste esternalità possono essere ridotte se il parco eolico viene costruito in mare aperto. L'altro vantaggio dell'eolico sviluppato al largo è che il vento è mediamente più forte e costante, perciò con una intermittenza di livello inferiore rispetto agli impianti su terra ferma. Inoltre le turbine offshore possono essere più grandi in quanto componenti ingombranti possono essere trasportati con maggior facilità in mare.

Tuttavia, tutti questi aspetti positivi sono purtroppo più che compensati dai maggiori costi dovuti all'installazione, che in mare aperto è più complessa che su terra ferma, e soprattutto all'estensione della rete elettrica sott'acqua.

Ad oggi il potenziale di energia generata dal settore eolico in molte regioni è limitato e vincolato ai siti dove la produzione e il trasporto di energia può avvenire a costi ragionevoli. Ma se l'elettricità potesse essere trasportata per lunghe distanze economicamente, secondo lo studio di Timmons del 2014 una regione come le Grandi pianure degli Stati Uniti potrebbe in linea teorica soddisfare una grossa parte del fabbisogno energetico degli USA.

3.2.4 Sole

L'energia solare può pervenirci in tre diverse modalità: l'energia solare termica a basse temperature, l'energia fotovoltaica e l'energia solare termica ad alte temperature o energia solare concentrata. Solo le ultime due però producono elettricità.

Le applicazioni relative all'energia solare a basse temperature includono il riscaldamento dell'aria e dello spazio: i raggi solari colpiscono una superficie di un materiale adatto, che ne assorbe il calore trasferendolo ad ambienti interne o a cisterne d'acqua. Il problema, specialmente per il riscaldamento degli ambienti, è che la domanda e l'offerta di riscaldamento avviene in periodi opposti dell'anno: in inverno c'è molta domanda e poca offerta e in estate c'è molta offerta e poca domanda. Questo vuol dire che durante i periodi freddi dell'anno il riscaldamento ottenuto tramite queste semplici tecnologie richiede sempre una fonte di energia supplementare il cui costo deve essere tenuto in considerazione.

L'energia solare fotovoltaica è ottenuta da delle celle fotovoltaiche che utilizzano dei semiconduttori per produrre elettricità quando vengono colpite dai raggi solari.

Nonostante questa tecnologia sia molto sviluppata ed affidabile, è molto costosa relativamente alle altre fonti. I suoi costi sono scesi molto negli anni e sono destinati a scendere ancora in avvenire, ma ad un tasso ridotto rispetto al passato. Ad oggi tuttavia l'energia fotovoltaica non è competitiva con l'energia tradizionale dove esistono delle connessioni con la rete elettrica. Può tuttavia esserlo nei casi in cui manca la rete: in questi casi è più conveniente installare una serie di pannelli solari piuttosto che costruire una centrale a combustibili fossili con rete elettrica annessa.

A differenza delle altre fonti rinnovabili, l'energia ricavata da pannelli fotovoltaici può essere disponibile in quantità infinite, quasi in ogni punto geografico. Un esempio significativo a tal riguardo è il caso della Germania, essa è la maggior produttrice del settore al mondo e non è di certo il Paese più soleggiato che esista sul globo.

I problemi di questa tecnologia sono naturalmente l'intermittenza e lo spazio richiesto per l'installazione dei pannelli fotovoltaici, anche se, per quanto riguarda quest'ultimo, la superficie occupata è di gran lunga più efficiente in termini energetici rispetto per esempio alla coltivazione di biomassa, come già detto al paragrafo 3.2.1.

L'energia solare termica concentrata, o ad alta temperatura, è un altro modo per ottenere elettricità per applicazioni industriali. I raggi solari sono concentrati in un fuoco da degli specchi e producono una grande quantità di calore che viene assorbita da una soluzione la quale evapora mettendo in moto delle turbine che producono corrente elettrica. Se installata negli ambienti adatti, questa tecnologia è meno costosa rispetto ai pannelli solari e, se complementata da un particolare processo, può inoltre immagazzinare energia per ridurre il problema dell'intermittenza. Il calore prodotto dopo che la domanda di elettricità è già stata soddisfatta può essere concentrato e trasferito sul cloruro di sodio che una volta liquido può conservare il calore fino a sette ore, permettendo così alla centrale di produrre energia per sette ore dopo il tramonto.

3.2.5 Energia geotermica

Il termine geotermico si riferisce a più tecnologie differenti, distinte principalmente dalla temperatura della risorsa geotermica.

Le caratteristiche fondamentali, comuni a tutte, sono che sfruttano il fatto che la temperatura della Terra aumenta muovendosi verso il centro e che la temperatura sotto la crosta terrestre è costante e indipendente dalle variazioni stagionali. A differenza dall'eolico e dal solare non esiste dunque il problema dell'intermittenza.

Per l'utilizzo dell'energia geotermica, le domande chiave sono quanto è alta la temperatura, a quale profondità e quanto è facile estrarre il calore.

Nella forma di sfruttamento dell'energia geotermica più pura e più economica, le temperature elevate abbastanza da far evaporare l'acqua si trovano vicino alla superficie della terra. Questo avviene in posti come l'Islanda, le Filippine e altri Paesi situati vicino ai confini delle placche tettoniche. In questi siti dei pozzi relativamente poco profondi possono produrre vapore con una pressione e una temperatura sufficienti da generare elettricità attraverso l'impiego di turbine.

Al livello successivo, sulla scala del gradiente termico, certe aree hanno acqua non abbastanza calda da generare elettricità, ma calda abbastanza per il riscaldamento degli ambienti interni. Di nuovo, questo è molto comune in Islanda dove il 90% del riscaldamento degli edifici è scaldato dall'acqua geotermica.

L'acqua calda naturalmente potrebbe essere trovata in qualsiasi luogo terrestre scavando abbastanza a fondo, ma nella maggior parte dei siti la profondità dei pozzi dovrebbe essere estrema e, di conseguenza, i costi dell'energia eventualmente ricavata sarebbero troppo elevati.

È così comprensibile come l'ammontare massimo di elettricità prodotta da fonti geotermiche sia estremamente limitato per la scarsità di siti adatti.

Scorrendo le caratteristiche delle fonti rinnovabili una ad una si sono potute osservare le criticità di ciascuna, che devono essere tenute in considerazione quando si parla di transizione all'energia rinnovabile. A tal proposito, il prossimo capitolo sarà dedicato agli effetti che questa transizione, seppur parziale, potrebbe avere sull'economia a livello globale.

4) Gli impatti economici della transizione all'energia rinnovabile

4.1 Crescita economica e conservazione dell'ambiente: nessun trade off

Gli individui più scettici riguardo un maggior utilizzo delle energie rinnovabili, largamente intese in tutte le forme spiegate nel capitolo precedente, spesso argomentano a favore della propria tesi asserendo che una riduzione delle attività che producono gas serra, tra le quali la generazione di elettricità da fonti tradizionali, comporterebbe una diminuzione del tasso di crescita economica.

A tal proposito in questo capitolo verranno esposti i risultati di una ricerca dell'IRENA (International Renewable Energy Agency, un'organizzazione intergovernativa che supporta i Paesi nella transizione all'energia rinnovabile), che fornisce un'evidenza empirica del fatto che “questa convinzione sia erronea e superata” e di come invece “la crescita economica e la conservazione dell'ambiente siano pienamente compatibili” (IRENA 2016, p. 9).

In questo studio (*Renewable energy benefits: measuring the economics*) vengono analizzati all'interno di un modello quantitativo i collegamenti tra l'economia e il sistema energetico a livello globale.

Più specificamente questo report studia gli effetti macroeconomici di un raddoppio della quota di energia rinnovabile nel mix energetico globale entro il 2030.

I ricercatori hanno preso in considerazione due diversi scenari. Nel primo caso, chiamato nei grafici sottostanti REmap Case, è richiesto che la quota di rinnovabili raddoppi entro il 2030 rispetto alla quota del 2010, il che significa raggiungere il 36% del totale dell'energia consumata. Nel secondo caso, chiamato nei grafici REmapE case, l'obiettivo è lo stesso, ma è data maggiore enfasi all'elettrificazione di trasporto e riscaldamento. Ciò per esempio vuol dire che il trasporto elettrico dovrà essere maggiormente utilizzato, con un minore consumo sia carburanti tradizionali che di biocarburanti. Questa seconda ipotesi richiede una produzione maggiore di energia in termini assoluti, di conseguenza anche una maggior produzione di energia da fonti rinnovabili sebbene la quota relativa di questi ultimi rispetto al totale debba sempre essere del 36%.

I risultati dello studio sono sorprendenti. Gli effetti di un tale incremento dello sfruttamento delle energie rinnovabili sono significativi in quanto a crescita del PIL, miglioramento del benessere, crescita del numero di occupati nel settore energetico e cambiamento nel commercio di settore.

Purtroppo, gli autori non indicano con precisione che modelli economici hanno utilizzato, come hanno ottenuto le stime e quali sono le ipotesi di partenza. Senza queste informazioni è quindi difficile verificare la robustezza della loro analisi.

4.2 Energia rinnovabile e PIL

I risultati mostrano che raddoppiando la quota di energia rinnovabile nel mix di energia totale prodotta a livello mondiale entro il 2030 il PIL aumenterebbe dallo 0.6% all'1.1% rispetto allo scenario di riferimento, o “business as usual case”, cioè il caso in cui le varie nazioni decidono di rispettare gli obiettivi di utilizzo delle rinnovabili che avevano nel momento in cui lo studio è stato realizzato.

La dimensione degli effetti sul PIL varia di Paese in Paese come si può osservare nel sottostante grafico.

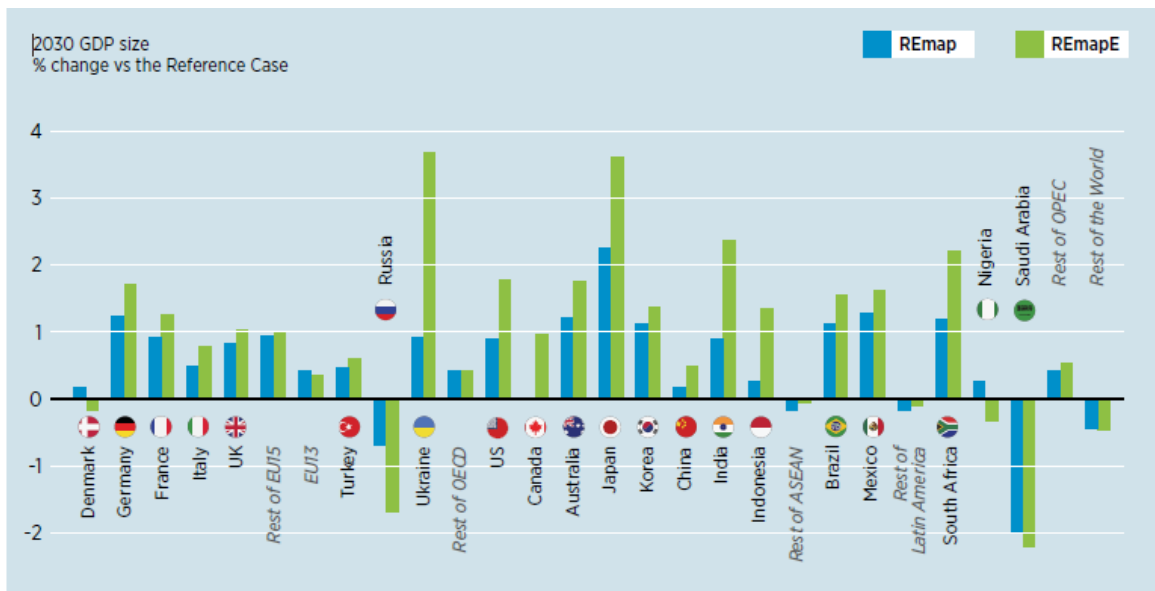


Figura 9. Impatti sul PIL (differenza % nella misura del PIL nel 2030 % rispetto allo scenario di riferimento) (IRENA 2016)

Tre elementi saltano subito all'occhio.

1) Quasi tutti i Paesi subiscono variazioni positive in tutti e due gli scenari.

Ciò si verifica principalmente per due ragioni.

La prima è che la maggioranza dei Paesi è importatrice netta di combustibili fossili, che nel mondo attuale significa che sono importatori netti di energia. Un maggior utilizzo delle fonti di energia rinnovabili (soprattutto solare ed eolico) renderebbe i Paesi

importatori maggiormente autosufficienti aumentando di conseguenza il PIL data la diminuzione delle importazioni.

La seconda ragione è riconducibile ad una caratteristica economica che accomuna quasi tutte le fonti di energia rinnovabile, cioè il fatto che richiedono tecnologie capital intensive e quindi grandi investimenti iniziali. Questo aumento degli investimenti che va dall'1.8% (REmap case) al 3.1% (REmapE case) ha un effetto simile a quello del moltiplicatore keynesiano sul PIL.

- 2) I Paesi con variazioni negative del PIL sono tutti Paesi esportatori netti di combustibili fossili. Arabia Saudita, Russia, Nigeria sono tutte Nazioni con un'economia fortemente dipendente dall'esportazione di combustibili fossili (la cui vendita incide rispettivamente per il 25%, 15% e 15% del Pil totale) e un aumento dell'utilizzo di energia sostenibile non può che ridurre l'utilizzo e quindi l'esportazione di questi combustibili.

È inoltre da notare come i Paesi esportatori di carbone come Australia e Sud Africa siano meno influenzati negativamente da questa transizione del sistema energetico rispetto a quelli nominati sopra che esportano petrolio e gas. Questo perché l'economia dei Paesi esportatori di carbone è maggiormente diversificata ed è quindi maggiormente in grado di sfruttare le opportunità di crescita offerte dall'energia rinnovabili. Non a caso nel grafico Sud Africa e Australia vedono una crescita economica di molto superiore alla media.

- 3) Nel caso REmapE le variazioni sono quasi ovunque più accentuate, sia in positivo che in negativo.

È possibile ricondurre questi gap a due fattori. Il primo è di natura metodologica e consiste nell'omissione nella misurazione del PIL del valore creato dalla produzione e dal commercio dei biocombustibili. Nel caso REmap, dove i biocarburanti danno un contributo rilevante ai trasporti e al riscaldamento, questa omissione comporta una stima molto prudente della variazione del PIL, soprattutto in Paesi come la Russia che potrebbero diventare esportatori di bioenergia.

Il secondo e più importante fattore è che nel REmapE case, cioè lo scenario che richiede l'elettrificazione di trasporto e riscaldamento, è necessario produrre più energia, di conseguenza servono maggiori investimenti che comportano una crescita maggiore del PIL.

Per concludere criticamente ci sono un paio di temi che è necessario affrontare.

Per primo c'è da osservare che gli investimenti fatti nel settore dell'energia rinnovabile potrebbero sottrarre risorse finanziarie ad altri settori. Questo fenomeno detto "crowding out" può assumere diverse intensità, ma solo nel caso in cui esso sia totale (cioè gli investimenti

utilizzati nel settore energetico comportano una diminuzione degli investimenti in altri settori di pari importo) l'impatto sul Prodotto interno lordo diventa leggermente negativo, in tutti gli altri casi la transizione all'energia rinnovabile ha un effetto positivo.

“In fine una domanda potrebbe sorgere, se gli investimenti nell'energia rinnovabile abbiano un rendimento maggiore per la società rispetto a investimento in un altro settore. Ma questa analisi comparata esula dallo scopo del presente studio” (IRENA 2016, p. 28).

In altre parole i ricercatori ci tengono a sottolineare che l'obiettivo del loro report non è quello di stabilire se l'investimento nel settore delle energie rinnovabili sia il più fruttuoso tra tutti gli investimenti possibili, bensì quello di capire se, ceteris paribus, un maggior impiego delle rinnovabili migliori la produzione e il reddito a livello mondiale; e abbiamo visto come la risposta a questo quesito sia affermativa.

4.3 Energia rinnovabile e benessere

Oltre agli impatti sul PIL, gli effetti sulla società di un aumento dell'impiego di energia prodotta da tecnologie rinnovabili possono essere valutati in riferimento al loro impatto sul benessere.

Misurare tutto in termini di PIL, peraltro, presenta il grosso limite di non tener conto di fattori quali l'esaurimento delle risorse naturali e i costi addizionali dell'inquinamento causati dai danni alla salute e all'ambiente.

Quindi, per offrire un'analisi completa, la ricerca dell'IRENA utilizza anche un indicatore di benessere umano che comprende, oltre alla dimensione economica, anche quella sociale ed ambientale.

La dimensione economica include consumo ed investimento; quella sociale è formata dall'occupazione e da una misurazione della spesa in educazione e sanità (escluse le spese per malattie causate dall'inquinamento locale dell'aria); e la dimensione ambientale comprende una quantificazione dell'emissione di anidride carbonica e del consumo di risorse materiali.

Nella tabella presentata alla pagina successiva è possibile osservare le variazioni nelle varie dimensioni, che pesate e sommate tra loro danno la variazione totale di benessere nei vari scenari di interesse.

	Peso	REmap (caso principale)	REmap (crowding out)	REmapE (casoprincipale)	REmapE (crowding out)
Dimensione economica					
Consumo+ Investimento	1/3	0,7	0,0	1,2	-0,2
Dimensione sociale					
Occupazione	1/6	0,1	-0,1	0,2	-0,2
Salute ed educazione	1/6	1,8	1,5	2,1	1,4
Dimensione ambientale					
Emissioni gas serra	(-)/1/6	-11,2	-11,2	-15,7	-15,7
Consumo di materiale	(-)/1/6	-1,6	-1,7	-1,9	-2,2
Impatto totale sul benessere		2,7	2,4	3,7	3,1

Tabella 3. Impatto sul benessere nei casi principali ed esplicitando la sensibilità con crowding out (differenza % dal caso di riferimento)
(IRENA 2016)

Nell'aggregazione dei singoli effetti nell'impatto totale sul benessere è stato scelto di sommare semplicemente le variazioni percentuali delle tre diverse dimensioni, sebbene non abbiano una unità di misura in comune tra loro. In economia, quando si vuole dare una stessa unità di misura a fenomeni misurati in modi diversi, solitamente si utilizza la moneta. La monetizzazione è quel processo nel quale un bene o un fenomeno viene valutato in termini monetari. In certe circostanze, come la valutazione dei danni causati dai gas serra alla salute e all'ambiente, la monetizzazione è molto difficile da applicare per via dell'incertezza che ancora esiste relativamente al tipo di danni e alla valutazione degli stessi (a titolo esemplificativo si pensi al decesso causato dall'inquinamento: che valore monetario bisogna dare alla vita umana?). Per evitare queste incertezze l'IRENA ha quindi deciso di non monetizzare le dimensioni che non fossero già espresse in termini monetari, ma di tenere ognuna nella propria unità di misura originale e sommare le variazioni percentuali di ogni dimensione rispetto al caso di riferimento.

Come si può osservare dalla tabella, i benefici dell'energia rinnovabile misurati in termini di benessere sono molto maggiori di quelli misurati nel paragrafo precedente in soli termini economici. L'aumento del benessere globale è infatti pari al 2.7% (comparato al miglioramento del Pil dello 0.6%) qualora la quota di rinnovabili raddoppiasse ed esso raggiunge addirittura il 3.7% nel caso della più alta elettrificazione di trasporto e riscaldamento.

Il maggior contributo all'aumento della misura del benessere è dato dalla significativa riduzione di emissioni di gas serra entro il 2030, seguita dall'incremento nella spesa per educazione e sanità e il diminuito consumo di risorse materiali.

Se il primo e l'ultimo fattore sono piuttosto comprensibili senza ulteriormente addentrarsi nell'argomento, i motivi che stanno dietro all'incremento nella spesa per educazione e sanità meritano un focus. Essi si verificano per il generale miglioramento del PIL, che aumenta la raccolta di tasse e il reddito disponibile, i quali in parte si traducono in maggiori spese per sanità ed educazione. Oltre a questo bisogna anche tenere presente che la riduzione dell'emissione di gas serra riduce le malattie ad essi legate e quindi migliora le condizioni di salute.

Un altro aspetto da osservare è che il crowding out non ha effetto sulla dimensione ambientale e ha un effetto ridotto sulla dimensione sociale. In generale l'incremento di benessere, a differenza dell'incremento del Pil, resiste anche in caso di pieno crowding out; "si può quindi affermare che i benefici a livello di benessere umano di un maggior utilizzo delle rinnovabili sono piuttosto indipendenti dalle misure di crescita economica" (IRENA 2016, p. 35).

4.4 Raddoppiando la quota di rinnovabili si crea più lavoro

Globalmente il settore energetico gioca un doppio ruolo: da una parte alimenta lo sviluppo economico e dall'altra supporta un gran numero di posti di lavoro; l'IRENA stima che nel 2014 le sole energie rinnovabili davano lavoro direttamente o indirettamente a 9.2 milioni di persone.

Il settore che offre più posti di lavoro è quello solare fotovoltaico, seguito da quello dei biocombustibili.

Secondo lo studio dell'IRENA nel caso di riferimento l'occupazione nel settore delle rinnovabili continuerà a crescere in linea con gli obiettivi globali e nazionali di mitigare i cambiamenti climatici fino ad arrivare nel 2030 a 13.5 milioni di occupati, ma nei due casi in cui si raddoppia la quota di rinnovabili questo numero sale a 24.4 milioni e a 22.9 nello scenario di maggiore elettrificazione di riscaldamento e trasporto. Questo è il primo caso in cui l'effetto di un maggior utilizzo di rinnovabili nel caso dell'elettrificazione di riscaldamento e trasporto causa un effetto meno positivo dello scenario senza elettrificazione. Ciò è riconducibile al minor utilizzo di bioenergia nel REmapE case. I biocarburanti sono infatti un prodotto labour intensive, nonostante la sempre maggiore meccanizzazione dei processi che sta avendo luogo nel settore da qualche anno a questa parte.

I lavori saranno distribuiti in differenti segmenti della catena del valore. Questa include la produzione dell'attrezzatura, la costruzione e l'installazione, il funzionamento e la manutenzione, e la fornitura di carburante nel caso della bioenergia. In ambedue gli scenari in

tutti questi segmenti e in tutti i settori di energia rinnovabile i posti di lavoro aumentano rispetto allo scenario “business as usual”.

Guardando oltre l’energia rinnovabile, l’occupazione nell’intero settore energetico aumenterà in entrambi gli scenari rispetto al caso di riferimento. In particolare essa diminuirà come è logico aspettarsi nel settore dei combustibili fossili, ma sarà più che compensata dall’aumento che si verificherà nel settore dell’energia rinnovabile. Questo accade perché il settore dell’energia green è relativamente più labour-intensive di quello dell’energia tradizionale. Per esempio il settore dei pannelli solari fotovoltaici crea almeno il doppio dei posti di lavoro rispetto a quello del carbone o del gas naturale, di conseguenza una transizione alle rinnovabili induce ad un aumento di posti di lavoro in termini assoluti.

Per sfruttare questa grande opportunità saranno però richieste alla forza lavoro delle adeguate competenze e skills. Una migliore istruzione ed un miglior addestramento saranno necessari per non ostruire la transizione all’energia rinnovabile e giocheranno dunque un ruolo cruciale.

4.5 Una maggior quota di rinnovabili sposta le rotte del commercio globale

Nel 2014 il commercio di carburanti rappresentava il 17% del totale delle esportazioni mondiali. Molte grandi economie come Cina, India, Giappone e Unione Europea spendono fino al 7% del proprio Pil per importare energia, un ammontare nello stesso ordine di grandezza della spesa in sanità ed educazione. Per questi Paesi un maggior sfruttamento delle tecnologie rinnovabili può ridurre le importazioni e portare a benefici economici significativi quali un miglioramento della bilancia commerciale e del Pil.

Non bisogna però dimenticare che dalla parte opposta i Paesi esportatori di combustibili fossili vanno incontro ad una grossa riduzione delle esportazioni e quindi ad una riduzione delle proprie attività economiche e un peggioramento della bilancia commerciale.

È altresì necessario far presente che il commercio del settore energetico non è composto solo dal segmento dei combustibili, ma anche da quello di beni e servizi legati agli investimenti: in quest’ultimo ramo tutte le economie hanno l’opportunità di specializzarsi per incontrare la crescente domanda di beni e servizi legati agli investimenti nell’energia rinnovabile.

Considerando tutti questi aspetti si comprende come una transizione verso una maggior quota di rinnovabili nel mix di energia globale comporti degli spostamenti nelle rotte del commercio internazionale e abbia impatti a livello globale e nazionale.

Il commercio di petrolio e gas naturale potrebbe ridursi del 7% e le importazioni di carbone potrebbero addirittura più che dimezzarsi, ma le economie esportatrici di questi beni non

saranno ugualmente influenzati da queste riduzioni: dove le diminuzioni della produzione di combustibili fossili avranno luogo dipenderà dai relativi costi di estrazione.

Occorre ricordare nuovamente che questo studio non tiene in considerazione gli impatti sul commercio della bioenergia, che potrebbe fornire opportunità per molti Paesi, anche esportatori di petrolio e gas come la Russia. Inoltre nemmeno le variazioni dei prezzi dei carburanti sono considerate; se l'accelerazione dell'impiego di rinnovabili abbassasse il prezzo dei combustibili tradizionali, gli impatti sul valore del commercio aumenterebbero in magnitudine sia per gli importatori che per gli esportatori.

Per quanto riguarda invece il commercio di beni e servizi legati agli investimenti, si attende un aumento della domanda in quasi tutte le nazioni data la naturale capital-intensive del settore dell'energia rinnovabile. Nasceranno quindi nuovi mercati che creeranno nuovi flussi commerciali dando l'opportunità ad ogni nazione di localizzare nella propria economia uno o più segmenti della catena del valore dell'energia rinnovabile. I Paesi che già esportano attrezzatura per le rinnovabili hanno chiaramente un vantaggio comparato: con l'espandersi del mercato le economie di scala e di esperienza permettono a questi produttori di ridurre i costi e di potenziare le barriere all'entrata, rendendo i propri prodotti sempre più competitivi.

Al contrario, i Paesi che esportano attrezzatura per l'industria dell'energia tradizionale vedrebbero la domanda ridursi, anche se esiste una potenziale trasferibilità di competenze e tecnologie verso dei rami dell'ampio settore dell'energia rinnovabile, come il geotermico.

L'aumento del commercio dei beni e servizi legati alle rinnovabili non sarà comunque sufficiente a compensare la diminuzione dei flussi di commercio legati ai combustibili tradizionali. Il flusso di commercio mondiale è quindi destinato a ridursi nei due casi in cui si raddoppi la quota di energia rinnovabile rispetto al caso "business as usual".

Per concludere, in questo capitolo si sono visti gli effetti aggregati su PIL, benessere, occupazione e commercio. Nei primi tre ambiti si è osservato un maggior impiego delle energie rinnovabili porterebbe naturalmente ad un impoverimento di Paesi esportatori di combustibili fossili e dei settori legati all'energia tradizionale, ma l'economia, l'occupazione e il benessere vedrebbero un miglioramento a livello globale.

I flussi di commercio mondiale andrebbe invece in direzione opposta, vedendo una riduzione, ma questo dato che può sembrare a prima vista negativo non deve essere considerato come tale perché ciò che in fin dei conti è veramente importante è l'indicatore del benessere umano che si è visto essere a livello mondiale sostanzialmente più alto in caso di un maggior impiego dell'energia rinnovabile.

Conclusione

Con la lettura di questo lavoro si sono potuti comprendere i motivi per cui l'energia derivante da risorse rinnovabili non è ancora predominante nella società odierna.

Per riassumere, si è visto come la generazione del carico di base di elettricità da centrali termoelettriche tradizionali offra molti vantaggi agli operatori di sistema: essa è affidabile, prevedibile e storicamente abbastanza economica. Nonostante l'urgenza richiesta nel combattere i cambiamenti climatici, l'energia rinnovabile non si diffonderà a meno che non sia in grado di offrire agli operatori di sistema dei simili vantaggi. Oggi l'elettricità generabile da risorse rinnovabili (in particolare il sole e il vento) è intermittente, la sua disponibilità non può essere predetta con precisione, e, anche qualora fosse disponibile, produce quantità variabili di elettricità. Inoltre l'energia rinnovabile è spesso dipendente dal sito di installazione della centrale e spesso è generata distante dai centri abitati dove è maggiormente richiesta.

Tuttavia, l'ostacolo più grande da superare per le energie rinnovabili sono i costi più alti di quelli delle energie tradizionali.

Le tecnologie per sfruttare le risorse rinnovabili esistono già e la quantità di energia green potenzialmente producibile è sufficiente per soddisfare il consumo mondiale; quello dei costi è quindi il problema centrale e che attualmente impedisce di sapere quanto rapidamente avverrà la transizione alle energie rinnovabili.

Sono tuttavia in essere delle dinamiche che stanno favorendo questa transizione.

Come prima cosa bisogna notare che il prezzo dei combustibili fossili è destinato ad aumentare nel tempo per via della scarsità di queste risorse non rinnovabili.

Parallelamente, la ricerca sulle fonti rinnovabili ha portato e continuerà a portare a innovazioni tecnologiche che ridurranno ulteriormente il costo privato di produzione di energia green, anche se questa riduzione avverrà ad un tasso decrescente.

Ciò che attualmente non sembra ancora sufficiente per velocizzare il passaggio dalle fonti sporche a quelle green è la volontà politica di far internalizzare i costi esterni ai soggetti che li producono. Se le aziende tenessero conto del costo sociale anziché di quello privato, i costi di generazione di elettricità da combustibili fossili si alzerebbero notevolmente, favorendo di conseguenza la transizione.

Fintantoché le rinnovabili non saranno meno costose delle tecnologie tradizionali e fintantoché non riusciranno a immagazzinare l'elettricità prodotta (quando non c'è immediata domanda di essa) per sopperire al problema dell'intermittenza, continueranno ad essere

necessarie le centrali termoelettriche o quelle nucleari per garantire il carico di elettricità di base.³

³ Numero parole: 13.520

Riferimenti bibliografici

- Borenstein, S., 2012. The Private and Public Economics of Renewable Electricity Generation [online]. Nashville: American Economic Association. Disponibile su: <<http://faculty.haas.berkeley.edu/borenste/download/JEP12Renewables.pdf>> [Data di accesso 08/05/2017];
- Carson, B., 2012. The Economics of Renewable Energy [online]. Tulsa: The University of Tulsa. Disponibile su: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2014773>> [Data di accesso 08/05/2017];
- Heal, G., 2009. The Economics of Renewable [online]. Massachusetts: NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. Disponibile su: <<http://www.nber.org/papers/w15081.pdf>> [Data di accesso 08/05/2017];
- IRENA, 2016. Renewable Energy Benefits: Measuring The Economics [online]. Abu Dhabi: IRENA. Disponibile su: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Measuring-the-Economics_2016.pdf> [Data di accesso 08/05/2017];
- Timmons, D., Harris J.H. and Roach, B., 2014. The Economics of Renewable Energy [online]. Medford: Global Development And Environment Institute, Tufts University. Disponibile su: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.648.183&rep=rep1&type=pdf>>