



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Università degli Studi di Roma La Sapienza

FACOLTÀ DI SCIENZE POLITICHE, SOCIOLOGIA, COMUNICAZIONE

**DOTTORATO IN ANALISI ECONOMICA, MATEMATICA E
STATISTICA DEI FENOMENI SOCIALI**

(XXV CICLO)

Tesi di dottorato

**NUOVI SCENARI ENERGETICI NEI PAESI DEL
GULF COOPERATION COUNCIL (GCC):
IL CASO DEL QATAR**

Coordinatore

Chiar.mo Prof. Domenico Da Empoli

Direttore di ricerca

Chiar.mo Prof. Gianfranco Lizza

Dottorando

Stefano Valente

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

INDICE

INTRODUZIONE	p.4
CAP. I – LE COMPONENTI DELL’ENERGIA PRIMARIA	p.7
1.1 Fonti energetiche convenzionali: petrolio, gas, carbone e l’opzione nucleare	p.7
1.2 Nuove fonti: le energie rinnovabili	p.32
1.2.1 Biomasse	p.34
1.2.2 Idroelettrico	p.45
1.2.3 Energia eolica	p.46
1.2.4 Energia geotermica	p.52
1.2.5 Solare termostatico	p.55
1.3 Il solare “elettrico”: fotovoltaico, termodinamico e nuove tecnologie	p.61
1.3.1 L’energia fotovoltaica, funzionamento ed applicazione	p.61
1.3.2 Il solare termodinamico	p.74
CAP. II - PROSPETTIVE SULL’ANDAMENTO DEL MERCATO ENERGETICO MONDIALE: PROPOSTE DI ANALISI	p.79
2.1 Analisi del futuro mercato energetico: <i>Current Policy scenario, New Policy scenario e 450 scenario.</i>	p.79
2.2 Proiezioni sullo sviluppo delle energie rinnovabili: focus sul Medio Oriente e previsioni fino al 2035.	p.98

CAP. III – PRODUZIONE E CONSUMO ENERGETICO NEI PAESI DEL

GCC: IL CASO DEL QATAR p.101

3.1 Qatar: quadro politico nazionale ed economico p.101

3.2 Aspetti geopolitici: l'integrazione regionale dei Paesi del Golfo Persico
p.119

3.3 Qatar National Vision 2030 p.133

CAP IV - IPOTESI PIANO DI SVILUPPO ENERGETICO NAZIONALE DEL QATAR (2015-2040) p.145

4.1 Quadro generale dei consumi elettrici e prospettive sull'utilizzo di
tecnologie solari p.145

4.2 Variabili dell'energia fotovoltaica policristallina applicabili in Qatar p.148

4.3 Valutazioni economiche sulla costruzione di un impianto fotovoltaico
policristallino da 100 MW p.157

4.4 Ipotesi di collocazione degli impianti p.171

CONCLUSIONI p.175

BIBLIOGRAFIA p.178

SITOGRAFIA p.186

INTRODUZIONE

La sicurezza energetica è un tema che ha assunto grande centralità nell'agenda politica di molti Stati nel panorama internazionale. L'approvvigionamento energetico rappresenta, infatti, una variabile decisiva per la competitività economica di un Paese: di fronte all'incremento demografico mondiale, ai profondi mutamenti, alle incertezze e alle fluttuazioni del mercato globale dell'energia, ogni Stato tende a portare avanti politiche volte a garantire la propria sicurezza energetica. Le riserve disponibili, il prezzo, le potenziali disponibilità nei prossimi decenni delle fonti tradizionali e di quelle rinnovabili, sono tutti aspetti centrali.

Qualsiasi previsione sul futuro scenario energetico è poco attendibile perché legata a meccanismi molto complessi. Oltre alle innovazioni tecnologiche, ciò che inciderà sul mercato energetico sarà, in primo luogo, il prezzo finale della singola risorsa, che finirà per influenzare le scelte e le politiche relative al suo utilizzo. Le previsioni riguardanti l'uso di petrolio, gas, carbone vanno rapportate alla loro comune caratteristica di incostanza di andamento del loro prezzo. Valide alternative potrebbero essere il nucleare e le fonti rinnovabili. Tuttavia, oltre alle problematiche sorte in seguito all'incidente ai reattori di Fukushima, l'utilizzo su vasta scala del nucleare mostra numerose criticità: se ci si sofferma sul contesto mediorientale, ad esempio, occorre porre l'accento anche su fattori di tipo politico, vista la possibile applicazione di tale tecnologia anche nell'ambito militare.

Alcuni Paesi membri del GCC (*Gulf Cooperation Council*), come Arabia Saudita, Qatar e Emirati Arabi Uniti (EAU), potendo contare su ingenti riserve di petrolio e gas, apparentemente non avrebbero necessità di diversificare il proprio approvvigionamento energetico. Eppure, questi Stati stanno compiendo concreti passi nella direzione dello sviluppo delle energie rinnovabili. È ragionevole supporre che lo sviluppo dell'energia solare nei Paesi del Golfo Persico, così ricchi di risorse di tipo convenzionale, abbia alla base motivazioni di tipo economico oltretutto di immagine? Per gli Stati del Golfo il tentativo di emancipazione dalla volatilità dei prezzi del mercato dell'energia e le previsioni sulla rapida crescita dei

consumi elettrici interni tendono a “stimolare” questo nuovo indirizzo; proprio la crescita del fabbisogno interno potrebbe compromettere la quota di risorse esportabili, intaccando i bilanci statali.

Il Qatar rappresenta un caso emblematico. Questo piccolo Emirato, collocato geograficamente al centro del Golfo Persico, è venuto alla ribalta a causa del suo dinamismo politico-diplomatico e le sue prestazioni economiche. È soprattutto l'attività estrattiva di gas, in particolare attraverso lo sfruttamento del grande giacimento offshore North Field, a rappresentare la principale fortuna per gli Al Thani, Famiglia Reale al potere. Recentemente, tuttavia, è emerso l'intento di svincolarsi dalla dipendenza dell'attività estrattiva: in tale contesto l'energia solare, nello specifico quella fotovoltaica policristallina, potrebbe assumere un ruolo trainante. L'obiettivo di tale ricerca è di verificare e avvalorare, attraverso lo studio realistico di costi e investimenti, gli eventuali presupposti economici che giustificano tali progetti.

Il lavoro è strutturato in quattro capitoli. Il primo si basa sull'analisi delle risorse di tipo convenzionale e sulla descrizione delle principali fonti rinnovabili attualmente mature, capaci di garantire un certo livello di efficienza. In particolare, sono stati analizzati il fenomeno della radiazione solare, la sua incidenza su un modulo fotovoltaico e il processo di generazione di energia elettrica. La scelta di utilizzare in Qatar un tipo specifico di tecnologia, quella fotovoltaica policristallina, deriva da prestazioni, vantaggi, economicità ed affidabilità che essa garantisce alla luce delle caratteristiche climatiche dell'Emirato. L'analisi del funzionamento di un pannello fotovoltaico policristallino e lo studio del suo potenziale rendimento sono importanti parametri per la comparazione tra fotovoltaico e solare termodinamico. Il secondo capitolo è dedicato alla descrizione dei futuri scenari energetici, dove la centralità delle fonti convenzionali verrà, in un certo senso, condizionata dalla crescita della domanda proveniente dalle economie in via di sviluppo. Il Medio Oriente rimarrà il più grande produttore di petrolio e gas a livello mondiale, mantenendo la propria leadership; ciononostante, si è ritenuto opportuno porre l'accento sulle potenzialità dell'intera regione rispetto all'approvvigionamento e alla valorizzazione di fonti rinnovabili. Infatti, le oscillazioni del prezzo delle fonti

convenzionali hanno ripercussioni rilevanti e definiscono un panorama energetico in cui le rinnovabili potranno svolgere un ruolo inedito quanto molto significativo. Il terzo capitolo è dedicato all'analisi dello specifico caso del Qatar e, in generale, di alcuni Paesi del *Gulf Cooperation Council* (GCC), delineando i passi compiuti nella direzione dello sviluppo del settore delle energie rinnovabili nella regione. Le peculiarità del Qatar, i suoi complessi rapporti con gli altri Stati del Golfo Persico, finiscono per influenzare anche la sfera economica e le scelte di politica energetica. Nell'ultimo capitolo viene elaborato un piano energetico nazionale del Qatar (2015-2040); utilizzando dati reali, viene ipotizzata la costruzione, in Qatar, di tre impianti fotovoltaici policristallini di grandi dimensioni (100 MW di potenza nominale, per un totale di 300 MW). Servendosi di variabili riguardanti lo sviluppo del mercato elettrico nell'Emirato, vengono analizzati produzione elettrica (in kWh), costi e relativi introiti economici. In Qatar, l'assenza di incentivi statali diretti e le basse tariffe di vendita dell'energia elettrica non favoriscono l'inserimento di aziende private specializzate nel settore solare: tuttavia, vi è un cambio di prospettiva se si analizzano tali progetti prendendo lo Stato del Qatar come attore protagonista diretto. La quota di gas "risparmiata" e fruibile per l'esportazione, visto l'ipotetico apporto di energia elettrica ottenuta da impianti fotovoltaici, è una variabile che verrà posta al centro della pianificazione energetica ipotizzata.

Il lavoro è stato impostato seguendo una duplice direttiva metodologica. Ad un approccio più descrittivo, teso ad introdurre le peculiarità politico-economiche caratteristiche dell'area geografica presa in considerazione, sarà associato uno più analitico che, mediante calcoli e grafici, proverà a dar ragione dei risultati ottenuti o potenzialmente verificabili, soprattutto per quel che concerne l'oggetto principale di questo studio.

CAP. I

LE COMPONENTI DELL'ENERGIA PRIMARIA

1.1 Fonti energetiche convenzionali: petrolio, gas, carbone e l'opzione nucleare

Gli utilizzi e le applicazioni del petrolio¹ derivano dal suo crescente impiego a livello industriale e dall'evoluzione delle tecnologie riguardanti ricerca ed estrazione del greggio. Materia prima per eccellenza, è caratterizzata da numerosi modelli teorici riguardanti la sua genesi. Secondo la maggior parte delle teorie, il petrolio è un composto che deriva dalla trasformazione di sostanze organiche che possono essere, a seconda dei casi, di origine animale e vegetale, contenute in grandi ammassi di sapropel² a seguito di un processo di fermentazione di natura anaerobica. A seguito della fermentazione, il liquido oleoso migra dalla roccia madre, insinuandosi nelle porosità delle rocce adiacenti, fino a trovare uno sbocco, in superficie o all'interno di sacche rocciose impermeabilizzate, chiamate trappole di petrolio, in cui questa sostanza si riversa e accumula. Gli studi geologici che si sono susseguiti nei decenni hanno evidenziato la prevalenza di un'elevata percentuale di trappole per il petrolio ai margini di bacini sedimentari, i quali al contempo presentano condizioni favorevoli per l'instaurarsi dei processi naftogenetici.

¹ Si può definire petrolio grezzo quel “liquido di aspetto oleoso, più o meno viscoso, di colore da giallastro a bruno-nero, dotato di odore caratteristico e di fluorescenza verde-azzurra: è costituito da una miscela complessa di idrocarburi liquidi della serie paraffinica, naftenica e, in piccola misura, aromatica (per cui si parla, a seconda della prevalenza, di petroli paraffinici, naftenici, ecc.), nei quali sono disciolti altri idrocarburi, solidi o gassosi, e contiene anche piccole quantità di composti ossigenati, solforati, azotati, e misti (resinosi, asphaltici, ecc.)” tratto dal Vocabolario on-line, Treccani.it.

² Sapropèl. In geologia, forma accorciata, e più frequente nell'uso, di sapropelite. Sapropelite [comp. di sapro- e gr. Πηλός «fango», col suff. -ite]. In geologia, denominazione generica (per lo più accorciata in sapropel) di una fanghiglia pastosa, di colore nerastro, originatasi per il depositarsi in acque stagnanti di organismi planctogeni, gusci calcarei o silicei di microrganismi, sostanze argillose e, talvolta, avanzi di animali superiori. È detta anche melma fetida. Tratto da “Sapropel”, Treccani, Vocabolario online consultato in data 11.02.2014.

Le trappole portano alla formazione di giacimenti di petrolio, che si distinguono in base alla loro localizzazione in giacimenti di superficie o sotterranei. Quelli di superficie sono di facile individuazione e si manifestano con formazioni spontanee, che variano dalle sorgenti di petrolio ai vulcani di fango e si differenziano in relazione al tipo di deposito: depositi di asfalto, di pece, di bitumi, ecc. L'interesse economico per questo tipo di giacimenti è piuttosto limitato, a causa della bassa qualità del petrolio che se ne può ricavare.

I giacimenti sotterranei sono quelli di maggiore interesse, e si configurano a) come serbatoi naturali contenenti il prezioso liquido oleoso, suddivisi e classificati in due tipologie: giacimenti singoli, unico e grande serbatoio; b) come campi, un insieme di giacimenti di medie dimensioni con la medesima struttura geologica.

Dopo aver individuato un'area dove si presuppone la presenza di giacimenti petroliferi, si passa all'analisi morfologica del terreno tramite la prospezione³ e il carotaggio⁴, da cui si ricavano, in prima istanza, informazioni utili, quali la presenza o meno di giacimenti e la tipologia di idrocarburi contenuti nel giacimento stesso. Solo a seguito dell'espletamento di questa fase è possibile installare i pozzi per l'estrazione⁵.

Le modalità di trivellazione dei pozzi petroliferi hanno sperimentato una propulsiva evoluzione tecnologica, con pozzi che vantano, nel XXI secolo, trivellazioni fin oltre gli 8000 metri di profondità. L'installazione dei pozzi estrattivi avviene a seguito di una approfondita analisi della tipologia del giacimento: la viscosità del greggio presente al suo interno, la spontanea capacità di risalita degli idrocarburi e

³ Esplorazione del sottosuolo volta a riconoscere la struttura geologica; si ha prospezione diretta, studiando i campioni cilindrici di terreno (vedi nota "carotaggio") estratti mediante sonde verticali rotative, e la prospezione geofisica, indiretta, effettuata studiando l'andamento sul terreno di determinate grandezze geofisiche dipendenti dalla struttura e dalle proprietà fisiche del sottosuolo (resistività elettrica, campo magnetico, parametri sismici ecc.). Tratto da "Prospezione", *Enciclopedia delle scienze fisiche, Dizionario*, vol. VII, Treccani, Roma, 1996, p. 696.

⁴ Nella geologia, il prelevamento di campioni di roccia (detti carote) dal sottosuolo e, per estensione, il rilievo diretto di caratteristiche fisiche o chimiche del sottosuolo. In partic., *c. meccanico*, eseguito con speciali strumenti, detti carotieri, applicati al posto dello scalpello su macchine perforatrici, che operano intagliando, isolando e distaccando un cilindro di roccia. Tratto da "Carotaggio", *Enciclopedia delle scienze fisiche, Dizionario*, vol. VII, Treccani, Roma, 1996, p. 119.

⁵ I pozzi petroliferi si distinguono principalmente in due tipologie, di mare e di terra: i pozzi di mare sono posizionati su piattaforme petrolifere o navi ancorate al fondale marino, mentre i pozzi di terra vengono installati direttamente nell'area sovrastante il giacimento. La tipologia e le tecnologie applicate ai differenti pozzi sono volte al raggiungimento del medesimo risultato, estrarre gli idrocarburi presenti nei giacimenti e portarli in superficie.

la previsione di durata di questo meccanismo, prima che si rendano necessarie tecnologie specifiche per il sollevamento.

La prima analisi da effettuare è la valutazione della percentuale di quantità di petrolio direttamente recuperabile, data la previsione del comportamento della pressione interna. La pressione interna è detta pressione di strato o pressione di giacimento, “che risulta essenzialmente dal concorso di tre fattori, la pressione idrostatica, dovuta al peso della colonna d'acqua che impregna la roccia serbatoio, la quantità di gas in soluzione nel petrolio e la presenza, o meno, di una cappa gassifera (gas-cap), ossia di un accumulo di gas libero nella parte sommitale del giacimento⁶”. La fase della perforazione è estremamente delicata: la fuoriuscita non prevista, e in alcuni casi non controllabile, della pressione presente all'interno del giacimento può provocare seri danni, oltre alla perdita di parte del petrolio contenuto all'interno del giacimento stesso. Il livello della pressione è di grande importanza. Sulla base di questa variabile si possono individuare due casi limite, che racchiudono una serie potenzialmente infinita di casi intermedi⁷:

- giacimento sottosaturo: la pressione diminuisce progressivamente e ad un certo punto si arresta il flusso di idrocarburi;
- giacimento soprassaturo: la pressione si mantiene per lo più costante durante tutta la produzione, ma al diminuire della quantità estraibile di petrolio aumenta la presenza di acqua e la coltivazione procede fino a che il pozzo non produce solo acqua.

Conoscere la tipologia dei giacimenti in coltivazione favorisce l'utilizzo di tecnologie appropriate e specifiche ed aumenta la percentuale di petrolio estraibile per risalita spontanea, con picchi che possono raggiungere l'80% del greggio contenuto in un pozzo, prima di ricorrere a sistemi di pompaggio e risalita secondari.

La fase intermedia, tra l'estrazione e il trasporto del greggio nelle raffinerie, è definita fase di “decantazione”. Durante questo processo il greggio viene raccolto

⁶ Tratto da “Petrolio. Tecnologia: coltivazione”, Enciclopedia di Sapere.it, consultato in data 11.02.2014

⁷ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 561 – 570.

in grandi vasche per una prima separazione dall'acqua e dai sedimenti argillosi presenti nel liquido oleoso⁸.

Dal petrolio lavorato, e al termine di specifici e accurati procedimenti e distillazioni, si ottengono una gamma di prodotti destinati ad impieghi con diverse finalità.

Questo tipo di procedimento è detto di "raffinazione". La raffinazione del petrolio si è strutturata su un elaborato processo tecnologico, con differenti fasi e temperature, grazie ai quali il greggio viene trasformato in prodotti quali carburanti, solventi, bitumi, lubrificanti, o in prodotti intermedi per l'industria petrolchimica, ad esempio olefine, idrocarburi aromatici. La tecnologia e i costi vivi del processo di lavorazione del greggio sono inversamente proporzionali alla qualità del greggio estratto. Per stabilire il prezzo spot del barile si fa riferimento a due tipologie di "petrolio", l'IPE Brent e il WTI.

L'IPE (*International Petroleum Exchange*) Brent è stato creato per l'utilizzo sul mercato finanziario e di natura borsistica. A seguito dell'introduzione di questo tipo di petrolio immateriale nel 1988, si è creata una frattura tra il mercato del petrolio come materia prima e il mercato petrolifero di natura finanziaria e speculativa, scollando in questo modo il tradizionale legame tra domanda e offerta. Le reali conseguenze di questo fenomeno non sono state comprese immediatamente, in parte anche a causa della complessità di comprensione dei mercati borsistici⁹.

Secondo Carollo, ad esempio, "dai documenti dell'epoca e dalle dichiarazioni dei principali protagonisti si evince chiaramente che la volontà dell'OPEC era quella di agganciare i loro greggi a quello del greggio Brent fisico prodotto nell'off-shore del Regno Unito come azione di pressione sul governo di quel paese per obbligarlo a scendere a patti sul livello di produzione. Si era pensato a una diversa edizione della guerra dei prezzi lanciata [nel 1986] dallo sceicco Yamani"¹⁰.

Il WTI, invece, acronimo di *West Texas Intermediate*, chiamato anche Texas Light Sweet, è un greggio usato come benchmark nell'area americana. Il contratto

⁸ Il greggio, diverso da un giacimento all'altro, raggiunge le apposite raffinerie dove può essere lavorato, attraverso canali terrestri o marittimi: oleodotti, autocisterne, cisterne ferroviarie o navi cisterne.

⁹ Carollo S., "*C'era una volta il prezzo del petrolio*", International Alumni Association of Scuola Mattei (IAASM), Libri Scheiwiller, Milano, 2009, pp. 158 – 160

¹⁰ Idem, p. 160.

derivato WTI è scambiato sulla borsa del NYMEX¹¹. Per stabilire il prezzo spot del barile si fa riferimento a queste due tipologie di “petrolio”, che hanno come soglie minime 40 dollari/barile per il Brent e 45 dollari/barile per il WTI. L'esistenza e la perduranza di questi minimi sono alimentati da due fattori: il primo è l'aumento dei costi per l'estrazione del greggio dai giacimenti, sempre più difficoltosa; il secondo rispecchia la domanda internazionale di idrocarburi, sebbene nei Paesi OCSE si registri una decrescita, essa è controbilanciata da Paesi caratterizzati da un incremento dei consumi come Cina, India, Arabia Saudita e Venezuela¹².

Per comprendere la profonda complessità del mercato petrolifero è interessante analizzare il modello delle interdipendenze, che mette in luce le numerose relazioni che intercorrono tra i vari attori. Questo modello, lontano dal tradizionale modello di domanda e offerta, rappresenta un punto di riferimento quando si affrontano tematiche che presuppongono la circolazione di beni e/o servizi.

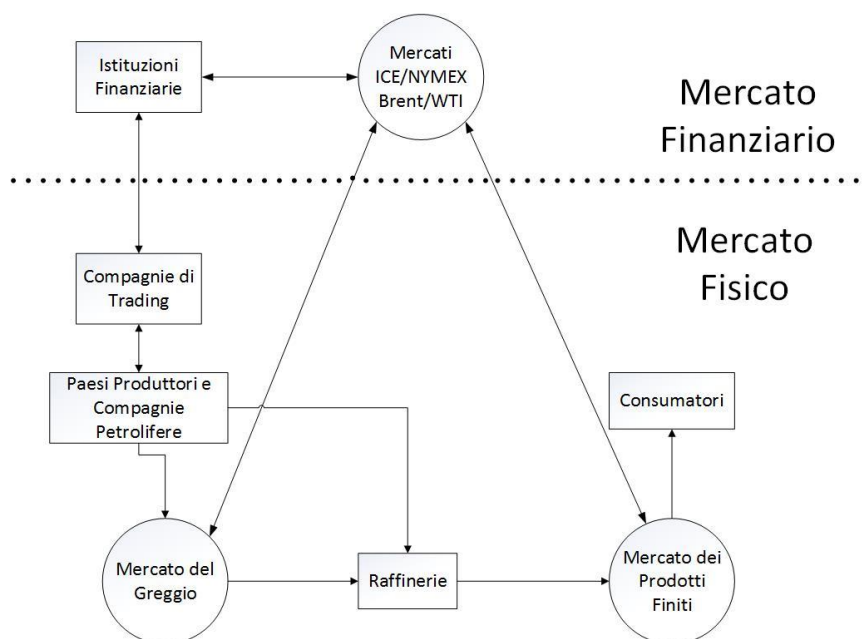


Grafico delle interdipendenze. Elaborazione dell'autore

¹¹ NYMEX è l'acronimo di New York Mercantile Exchange, uno dei più grandi mercati di commodities. Fondata nel 1872 per il trading di uova, burro e formaggio, ora è la borsa di riferimento per il petrolio. Quando si fa riferimento al NYMEX si intende il contratto *futures* del WTI. Carollo S., "C'era una volta il prezzo del petrolio", International Alumni Association of Scuola Mattei (IAASM), Libri Scheiwiller, Milano, 2009, pp. 21 – 23.

¹² Rubin, J., "Why your world is about to get a whole lot smaller. Oil and the end of globalization", Random House of Canada, Toronto, 2009, titolo tradotto "Che fine ha fatto il petrolio? Energia e futuro dell'economia", di Cavalli Cristina, Elliot Ed., Roma, 2010, pp. 30 – 31.

Il grafico delle interdipendenze teorizza ed esplica il mercato petrolifero introducendo e collegando le multiple interrelazioni tra il mercato del petrolio greggio (materia prima), il mercato dei prodotti finiti (benzina, gasolio, *jet fuel*, olio combustibile, *feedstock* per la chimica, lubrificanti), il mercato finanziario del petrolio e dei prodotti finiti (*futures*). Questi mercati rispondono a comportamenti diversi fra loro e sono gestiti da attori diversi per interessi, cultura e finalità di affari¹³. Da anni ormai il prezzo del petrolio è fuori controllo, con andamenti imprevisi e apparentemente incomprensibili. Nessuno dei soggetti storici dell'industria, del ciclo produttivo e del mercato petrolifero è in grado di intervenire per determinare o indirizzare l'evoluzione dei prezzi.

Il modello economico [Prezzo = f(domanda, offerta)] non è funzionale o meglio non è possibile utilizzare questo tipo di modello per il mercato petrolifero, la cui complessità tecnologica non consente di essere modellizzata, tenendo conto soltanto del semplice rapporto tra domanda e offerta a livello globale. Le dinamiche interne di questo particolare mercato richiedono un modello estremamente complesso, in grado di descrivere alcune dinamiche fondamentali del sistema.

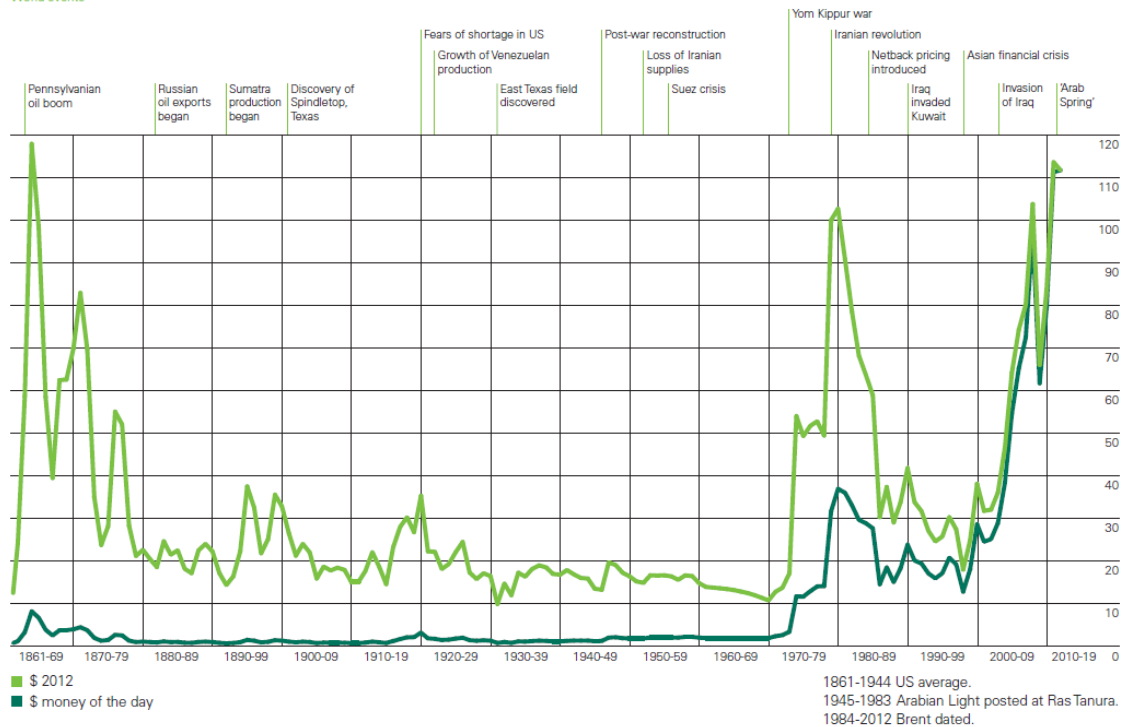
Quello che viene definito mercato petrolifero è in realtà, un insieme di diversi mercati che operano in modo separato e indipendente, con alcune complesse forme di correlazione. Per una visione più ampia ed analitica del mercato del petrolio è interessante l'analisi di una serie di grafici, di seguito riportati.

¹³ Carollo S., “*C'era una volta il prezzo del petrolio*”, International Alumni Association of Scuola Mattei (IAASM), Libri Scheiwiller, Milano, 2009, pp. 25 – 31.

Crude oil prices 1861-2012

US dollars per barrel

World events

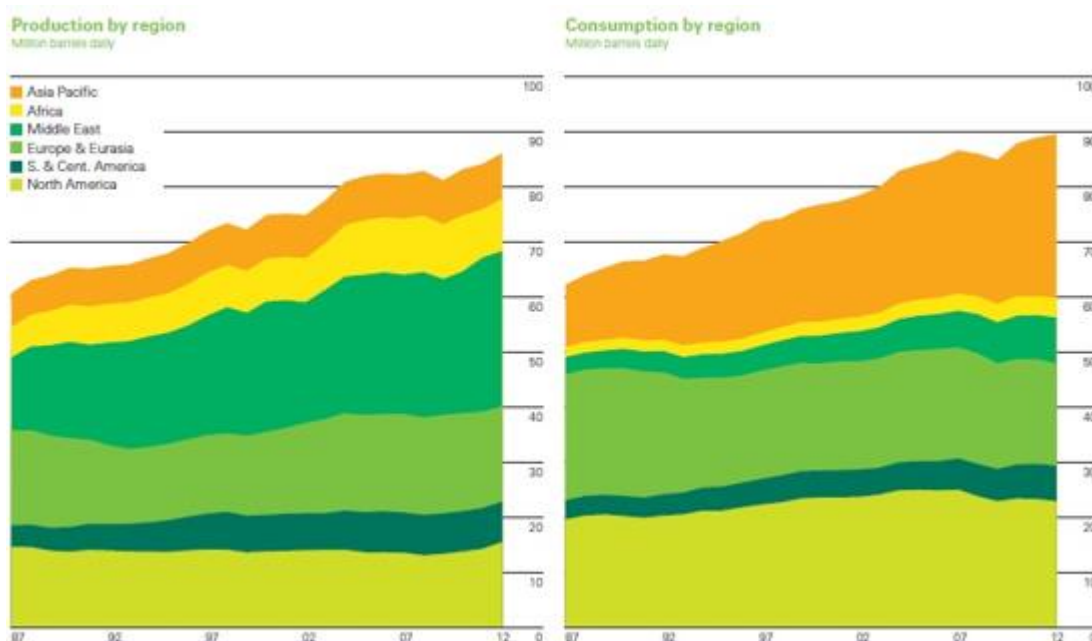


“Crude Oil Prices 1861 – 2012” Fonte: BP Statistical Review of World Energy June 2013 p.15.

Il grafico *Crude Oil Prices 1861 – 2012*, analizza la volatilità del prezzo spot del petrolio correlandolo agli eventi internazionali, sovrapponendo il costo del barile alla valuta corrente in quel determinato periodo con l'andamento dei prezzi relativo allo stesso arco temporale, con valuta rivalutata al 2012. Il marcato scostamento del secondo andamento ricomprende non solo gli andamenti del tasso di cambio, ma anche le percentuali di inflazione che si sono alternate con il susseguirsi degli eventi. Come si può notare molti dei picchi si posizionano esattamente in corrispondenza ad eventi che hanno aumentato l'incertezza nell'eventuale reperibilità e nell'approvvigionamento di idrocarburi a livello internazionale. Si registrano, ad esempio, in corrispondenza della guerra del Kippur del 1973, in quanto i Paesi OPEC avevano minacciato e ridotto l'esportazione di petrolio verso tutti i Paesi alleati di Israele, provocando il primo *shock* petrolifero, seguito da un secondo rialzo, pochi anni più tardi, causato dall'incertezza produttiva di greggio a seguito della rivoluzione iraniana (1979).

Si sono poi verificati altre due importanti variazioni, la prima in concomitanza dell'invasione dell'Iraq con la chiusura di alcuni pozzi e la notevole riduzione di produzione globale di greggio e il secondo a seguito dell'inizio della Primavera Araba che, nei paesi produttori di petrolio, ha generato violente rivolte e la sospensione della produzione e dell'esportazione di idrocarburi verso i Paesi occidentali, mettendo a rischio non solo le capacità produttive dei paesi interessati, come, nel caso dell'Italia, a causa della sospensione della produzione in Libia, ma la richiesta globale di idrocarburi.

I parametri da prendere in considerazione non si limitano solo alla determinazione del prezzo di mercato, ma sono composti anche dai tassi di produzione, dalla tipologia di consumo mondiale e dalla tipologia di distribuzione di questi fattori. Questa analisi può effettuarsi prendendo in esame i relativi grafici che mettono a confronto gli andamenti relativi la produzione e il consumo di idrocarburi raggruppandoli per regione.



“Production by region” e “Consumption by region”

Fonte: BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 12.

L'intervallo temporale preso in considerazione (1987 – 2012) mostra, con un grafico stratigrafico, un costante aumento della quantità di barili prodotti giornalmente.

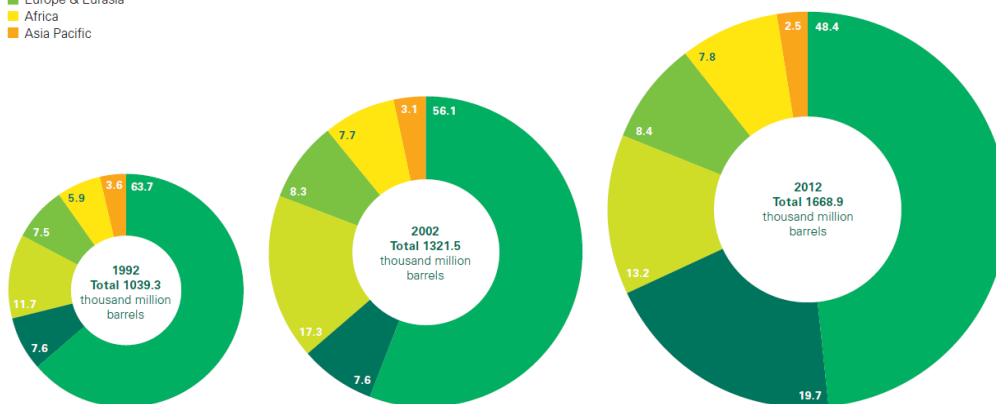
Sovrapponendo le quantità a livello regionale esso descrive l'andamento internazionale. La produzione globale di greggio nel 2012 è cresciuta di 1,900 milioni di barili al giorno, un incremento significativo rispetto al consumo globale. Nello stesso anno, ad esempio, si è registrato un aumento della produzione degli Stati Uniti di 1000 milioni di barili al giorno. Il consumo globale di idrocarburi, al contrario, è cresciuto in maniera modesta, raggiungendo quota 890,000 milioni di barili al giorno, a seguito della flessione dei consumi registrata nel Nord America e in Europa solo in parte assorbita da una crescita della domanda nel resto del mondo. Il crescente fabbisogno di petrolio all'interno dei Paesi dell'OPEC risulta penalizzante per i consumatori occidentali. La loro forte crescita ha come effetto diretto la scarsità mondiale di risorse. I principali Paesi produttori potrebbero decidere di sacrificare parte della quota di esportazione per sopperire alla costante crescita della domanda interna, con forti ripercussioni sull'approvvigionamento mondiale.

Il problema delle esportazioni è già evidente e potrebbe concretizzarsi e incidere sulla redistribuzione mondiale delle risorse, anche se la produzione dei Paesi esportatori non dovesse subire flessioni. Un altro elemento di criticità potrebbe essere l'esaurimento dei giacimenti già in coltivazione da anni, come ad esempio quelli del Medio Oriente che hanno trainato la produzione mondiale per quasi un secolo. In questo caso la scarsità sarà ancora più evidente ed importante¹⁴. Per suffragare questa tesi è opportuno analizzare il grafico relativo agli andamenti della disponibilità internazionale di petrolio.

¹⁴ Rubin, J., *“Why your world is about to get a whole lot smaller. Oil and the end of globalization”*, Random House of Canada, Toronto, 2009, titolo tradotto *“Che fine ha fatto il petrolio? Energia e futuro dell'economia”*, di Cavalli Cristina, Elliot Ed., Roma, 2010, pp. 94 – 95.

Distribution of proved reserves in 1992, 2002 and 2012
Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific



“Distribution of proved reserves in 1992, 2002 and 2012”. Confronto dei quantitativi di riserve effettive e sfruttabili, tramite le tecnologie presenti, in un arco temporale di 20 anni.

Fonte: BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p.7.

Come si evince dal grafico il confronto viene effettuato su un arco temporale di vent'anni. L'esponenziale aumento delle riserve accertate, favorite dallo sviluppo tecnologico, ha reso possibile la ricerca di nuovi giacimenti e un migliore procedimento di utilizzazione degli stessi. Le riserve conosciute di petrolio a livello mondiale, secondo i dati riportati a margine del grafico in questione e relativi alla fine del 2012, si attestano a 1668,9 miliardi di barili. Secondo l'analisi del BP Statistical Review of World Energy (2013) la proporzione tra le riserve totali e l'attuale andamento di utilizzo a livello internazionale stima una durata media di 52,9 anni, nella capacità dei giacimenti di soddisfare la domanda mondiale.

Nelle ultime decadi si è registrato un incremento del 26% del totale delle riserve mondiali di petrolio, pari a circa 350 miliardi di barili. Questo forte incremento è trainato dalla crescita dell'estrazione in Centro e Sud America, passata dal 7,6% del 1992-2002 al 19,7% del 2012, con un aumento netto del 12,1%. I Paesi OPEC, tuttavia, continuano a detenere una posizione di dominanza del mercato detenendo il 72,6% delle riserve mondiali¹⁵.

¹⁵“BP Statistical Review of World Energy June 2013”,BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 7.

La genesi del gas naturale estratto dai giacimenti sotterranei, segue un iter simile a quello del petrolio: esso è un gas presente all'interno dei giacimenti derivante dalla degradazione termocatalitica (*cracking*) della materia organica in esso contenuta. Terza fonte d'energia, dopo petrolio e carbone, il gas naturale¹⁶ copre circa il 23,5% del fabbisogno energetico mondiale, con una produzione annua nel 2012 di circa 3364 miliardi di metri cubi. Il 48,1% della produzione mondiale di gas naturale è detenuta da cinque Paesi: gli Stati Uniti con una quota del 20,4%, la Federazione Russa con il 17,6%, l'Iran con il 4,8%, il Qatar con il 4,7% e il Canada con il 4,6%¹⁷. Quanto più alte sono la pressione e la temperatura presenti all'interno di queste formazioni e l'esposizione alle stesse, tanto più veloce è il processo di degradazione. La materia “si trasforma, in una prima fase, in bitume e, successivamente, in petrolio pesante, in petrolio progressivamente più leggero, quindi in gas ad alto contenuto di idrocarburi pesanti (il cosiddetto *gas a condensato*) e, infine, in gas secco, costituito quasi esclusivamente da metano. Va sottolineato che, in parallelo con il processo di *cracking*, può verificarsi, già dal momento della deposizione della roccia-madre, la distruzione della materia organica ad opera di batteri, con produzione diretta di gas naturale (*gas biogenico*)”¹⁸, la cosiddetta naftogenesi. Come nel caso della formazione dei giacimenti di petrolio, all'interno di essi può essere presente, o meno, il gas-cap, cioè zona mineralizzata a gas a contatto e in perfetto equilibrio con la zona mineralizzata a petrolio, oppure riscontrare l'esclusiva presenza di gas¹⁹.

Durante le fasi di perforazione ed estrazione è fondamentale prestare attenzione alla composizione del gas erogato a testa pozzo, solitamente saturo di vapore acqueo, nonché componenti fortemente corrosivi quali idrogeno solforato e anidride carbonica. Già a temperature superiori a 0° C, l'acqua ad alta pressione e il gas naturale possono addensarsi e formare ostruzioni all'interno delle condotte di campo

¹⁶Il gas naturale è una miscela formata da diverse composizioni di idrocarburi, il cui elemento fondamentale è il metano, associato in varia misura ad altri gas, come propano, butano, pentano ecc.
¹⁷“BP Statistical Review of World Energy June 2013”, BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 24.

¹⁸ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, p. 536.

¹⁹ Idem, pp. 533 – 538.

e i gasdotti²⁰. Il mercato petrolifero ha, al suo interno, alcune criticità legate in primo luogo alla sua dipendenza verso un numero ristretto di Paesi produttori. La domanda di tale risorsa, che registra un trend di crescita, si contraddistingue per delle profonde differenze da regione a regione. Ciò che potrebbe, tuttavia, condizionare tale mercato è la necessità di dover continuare ad investire per la crescita della produzione al fine di soddisfare i consumi attesi, elemento che potrebbe comprometterne la competitività nei prossimi decenni.

Il gas naturale, essendo di difficile trasporto, tendenzialmente è stato commercializzato nelle vicinanze dei giacimenti. Avendo poco mercato ed essendo considerato una variabile di disturbo, tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, a seguito delle trivellazioni veniva bruciato per poter estrarre il petrolio, oppure veniva, e viene tuttora utilizzato, per mantenere alta la pressione all'interno dei giacimenti. L'apertura del mercato alla commercializzazione del gas naturale, intorno agli anni Cinquanta del XX secolo, ha portato alla creazione di una vasta rete di gasdotti, per il trasferimento di questa risorsa da un'area all'altra. “Nelle sue fasi iniziali il commercio internazionale di gas nell'America Settentrionale e in Europa avveniva, di solito, via gasdotto fra i paesi vicini, come dal Canada agli Stati Uniti o dai Paesi Bassi alla Germania. Con la crescita dei mercati e con l'aumento delle tasse sui rifornimenti, il commercio a lungo raggio, come quello di GNL o di gas naturale via gasdotto dall'Africa del Nord all'Europa occidentale, ha acquisito un'importanza crescente”²¹.

I gasdotti si differenziano, in base alla composizione delle tubature, in gasdotti a bassa o alta pressione²². Le differenze tra queste due tipologie di tecnologie si

²⁰ La linea classica di attrezzature impiegate a questo scopo si compone di: un separatore a media pressione, che separa tutta l'acqua liquida, nonché gli eventuali idrocarburi liquidi trasportati dal gas; un impianto di lavaggio del gas con una soluzione alcalina o con etanolamina, che assorbono sia l'idrogeno solforato, sia l'anidride carbonica; un impianto di lavaggio del gas per mezzo di glicol di- o tri-etilenico, oppure un separatore criogenico, entrambi in grado di ridurre fortemente la quantità di vapor d'acqua nel gas. Tratto da “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 569 – 570.

²¹ “*Il commercio internazionale e l'industria del GNL*”, tratto da *Economia, Politica, Diritto degli idrocarburi*, Volume IV, Treccani, 2008, p. 157.

²² “Uno dei più importanti sviluppi tecnologici degli anni Novanta è stato l'impiego di leghe speciali d'acciaio, che hanno consentito la costruzione di gasdotti ad alta pressione” tratto da “*Il commercio internazionale e l'industria del GNL*”, tratto da *Economia, Politica, Diritto degli idrocarburi*, Volume IV, Treccani, 2008, p. 162.

riscontrano nella portanza delle condutture, nel diametro e nella necessità o meno di stazioni di risalita del gas per evitare perdite di pressione.

In località distanti almeno qualche migliaio di chilometri dalla zona di utilizzazione, può essere economicamente vantaggioso procedere alla liquefazione del gas con un impianto criogenico, per consentirne il trasporto su navi metaniere, e la successiva rigassificazione in vicinanza delle zone di utilizzazione.

Il GNL (o LNG in inglese) è l'acronimo di gas naturale liquefatto, una tipologia di gas composto per il 90% da metano. Dopo l'estrazione e l'eliminazione delle impurità viene raffreddato fino a -162°C e a questa temperatura si trasforma in liquido, con una riduzione di volume pari a 600 volte. Il GNL segue un percorso che può essere suddiviso in 4 fasi: produzione, liquefazione, trasporto, rigassificazione. Una volta estratto il gas, purificato e raffreddato, viene stoccato in serbatoi o su navi metaniere per raggiungere gli impianti di rigassificazione. In questi impianti il GNL ritrova il suo normale volume ed è pronto per essere inserito all'interno della rete di distribuzione. “Data la sua bassa densità, il gas naturale comporta maggiori costi di stoccaggio e trasporto rispetto al petrolio e al carbone. Prima dello sviluppo della tecnologia del GNL il trasporto via mare, che è alla base del commercio internazionale di petrolio, era precluso al gas, che restava essenzialmente un combustibile regionale. Lo sviluppo del GNL ha permesso il trasporto in metaniere e, a seguito dei miglioramenti tecnologici e dell'abbassamento dei costi, il gas si sta rapidamente affermando come merce di scambio internazionale”²³.

Le fonti di riferimento del gas sono, spesso, geograficamente distanti dai luoghi del consumo finale e il mercato nel quale questa risorsa è stata scambiata, fino ad ora, ha avuto una connotazione di forte rigidità perché ancorata a contratti ventennali, e in alcuni casi trentennali, per garantire al produttore una continuità economica funzionale al recupero degli investimenti effettuati. L'attuale mercato del gas è, infatti, caratterizzato da una significativa incidenza di compravendite spot, con prezzi soggetti a forte volatilità. Dato che molte decisioni di mercato implicano sfasamenti temporali tra gli obiettivi di profitto dei venditori e quelli dei compratori

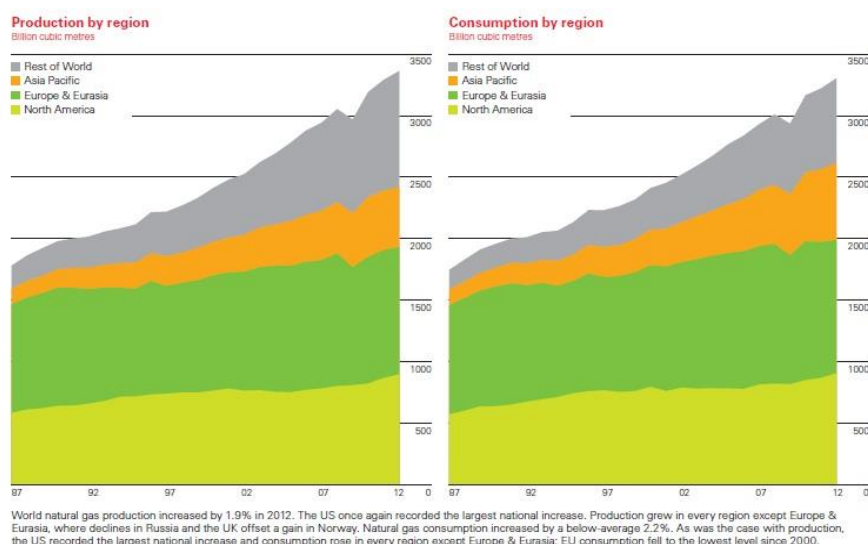
²³ “*Il commercio internazionale e l'industria del GNL*”, tratto da *Economia, Politica, Diritto degli idrocarburi*, Volume IV, Treccani, 2008, p. 171.

e, nel frattempo, si registra una volatilità dei prezzi, è anche previsto un sistema di “gestione del rischio di prezzo”, in virtù dello sviluppo di diversi tipi di derivati finanziari: contratti *future*, opzioni e swap²⁴.

La crescita generale della produzione mondiale di gas, fatta eccezione per la regione Europea ed Euroasiatica che registra una decrescita: l'incremento produttivo di gas della Norvegia, infatti, non ha controbilanciato la riduzione di produzione in Russia e Gran Bretagna. Anche il consumo di gas naturale al di sotto delle medie, attestandosi solo al 2,2%. Il consumo globale ha registrato, nel 2013, un incremento in tutte le regioni, eccezion fatta per la regione Europea ed Euroasiatica: va segnalata, la riduzione dei consumi di gas naturale all'interno dell'Unione Europea, che ha raggiunto volumi inferiori rispetto ai minimi storici registrati nel 2000²⁵.

Per quanto riguarda le riserve mondiali, l'incremento della ricerca e dell'impiego di nuove tecnologie hanno portato ad una notevole crescita nella scoperta di riserve disponibili. Dal 1992 al 2012, i livelli di distribuzione delle riserve non hanno registrato variazioni consistenti nel arco temporale di riferimento, esplicitando la positiva relazione tra produzione e maggiore produttività data dallo sviluppo della

²⁴ I grafici, “*Production by region*” e “*Consumption by region*” del BP Statistical Review of World Energy June 2013, mettono, invece, a confronto la produzione e il consumo di gas naturale a livello regionale, analizzandone anche l'andamento globale.



Nel 2012 la produzione mondiale di gas naturale è aumentata del 1,9%, e, come già evinto analizzando uno dei grafici relativi al petrolio, gli Stati Uniti anche in questo settore hanno fatto registrare un significativo incremento di produzione.

²⁵ “BP Statistical Review of World Energy June 2013”, BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 26.

tecnologia. Le riserve mondiali di gas naturale conosciute si attestano, alla fine del 2012, a 187,3 trilioni di metri cubi: le riserve di gas sono diminuite dello 0,3% rispetto ai dati relativi alla fine del 2011. Con l'attuale andamento di produzione e consumo, la proporzione tra le riserve esistenti e la produzione attesta la possibilità, delle riserve conosciute e di pronto utilizzo, di soddisfare la domanda per i prossimi 55,7 anni²⁶. L'andamento del prezzo del gas nell'arco degli ultimi decenni è una variabile che verrà presa in considerazione nella seconda parte della trattazione. La domanda di gas, infatti, mostra tassi di incremento molto sostenuti sia nei Paesi emergenti che in quelli industrializzati, orientati ad incrementarne l'utilizzo alla luce delle normative volte a limitare le emissioni del settore elettrico. Rimane, tuttavia, grande incertezza sull'andamento dei prezzi di tale risorsa.

Il carbone naturale o fossile può essere considerato una roccia sedimentaria che deriva dalla diagenesi di enormi volumi di residui vegetali terrestri²⁷. La trasformazione è quindi il risultato di numerosi cicli, ciascuno dei quali è caratterizzato da tre fasi principali: accumulo, decomposizione, subsidenza²⁸. Il primo stadio di questo processo di trasformazione, la torba, presenta ancora la struttura vegetale del legno. Nei casi in cui gli accumuli vegetali siano stati portati dalla subsidenza a notevoli profondità sono intervenuti fenomeni di diagenesi che hanno favorito la formazione dei carboni sub-bituminosi e bituminosi. Nei casi di significativi incrementi di pressione e temperatura si tendono a formare le antraciti, lo stadio più avanzato del processo di carbonificazione²⁹.

²⁶ “BP Statistical Review of World Energy June 2013”, BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 21.

²⁷ Il carbone fossile si sarebbe originato a partire da imponenti quantità di masse vegetali cresciute in ambienti umidi, quali paludi o delta fluviali, successivamente coperte da sedimenti. Gli accumuli vegetali hanno subito modificazioni di struttura e di composizione chimica (diagenesi) durante la subsidenza che porta ad un aumento di pressione e di temperatura. Sotto l'azione di batteri anaerobici, è stata dapprima distrutta la cellulosa del legno con conseguente trasformazione della lignina in acido umico. Tale acido è stato in seguito neutralizzato con un'azione che ha visto la forte presenza di biossido di carbonio (anidride carbonica), idrogeno e metano.

²⁸ Esso è costituito da materie organiche (provenienti dalla decomposizione della lignina, cellulosa e resina), inorganiche (materiali argillosi, calcite, zolfo sotto forma di pirite e altri minerali che formano le cosiddette ceneri) e acqua.

²⁹ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 494 – 495.

Il sistema internazionale di classificazione distingue due categorie di carbone³⁰:

- *brown-coal* (“carbone marrone”), a cui appartengono i carboni che hanno un potere calorifero del minerale essiccato e privato delle ceneri inferiore a 5700 kcal/kg. Si tratta di una classe di carboni intermedi tra la torba e carboni fossili veri e propri, con alto contenuto di materie volatili ed elevata umidità (fino al 75%), a questa classe appartengono le ligniti e i carboni sub-bituminosi;
- *hard-coal* (“carbone duro”), a cui appartengono i carboni che hanno un potere calorifero del minerale essiccato e privato delle ceneri superiore a 5700 kcal/kg. Sono compresi in questa classe tutti i carboni fossili veri e propri (carboni bituminosi), fino alle antraciti.

Affinché una formazione carbonifera sia di interesse economico³¹ o lo possa divenire in un futuro ragionevolmente prevedibile, occorre che non si trovi a una profondità eccessiva e che gli strati non siano troppo sottili³².

Quando gli strati di carbone si trovano a profondità relativamente superficiali, può essere vantaggiosa la tecnica della coltivazione a cielo aperto, recuperando il carbone dopo aver asportato i terreni di copertura e rocce sterili.

La tecnica della coltivazione a cielo aperto, a gradoni o a fossa, presenta, rispetto all'estrazione in sotterraneo, una serie di vantaggi che possono essere così riassunti: rendimento di estrazione elevato, che si approssima al 100% del carbone in situ; minor costo di produzione; condizioni di lavoro assai meno disagiati, con conseguenti standard di sicurezza più elevati; maggiore produttività, che arriva ad

³⁰ “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, p. 495.

³¹ Per valutare la consistenza delle risorse mondiali di carbone, la Conferenza Mondiale dell'Energia (CME) le classifica come risorse geologiche, che comprendono tutte le qualità di carbone identificate e, in un futuro più o meno lontano, potranno divenire di interesse economico; oppure riserve tecnicamente ed economicamente sfruttabili, che comprendono quelle risorse carbonifere che possono essere sfruttate con le attuali tecnologie e risultano essere economicamente appetibile, grazie alle favorevoli condizioni di mercato delle fonti di energia. Pertanto i quantitativi di queste risorse sono variabili nel tempo in più o meno. Tratto da “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 506 – 507.

³² “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 506 – 507.

oltre 30 tonnellate uomo/turno (contro una media di 10 tonnellate uomo/turno delle miniere estrattive scavate nel sottosuolo).

I principali metodi di coltivazione “in sotterraneo”, invece, sono di tipo “camere e pilastri”, nel caso di giacimenti sub-orizzontali o non molto inclinati, e a “sottolivelli con frana” (*sub level caving*)³³.

Prima di essere avviato al consumo, il carbone estratto passa attraverso un impianto³⁴ che ha lo scopo eliminare le impurezze e incrementare la capacità calorifera. Il prodotto che ne deriva è ecologicamente migliore e pronto per essere inviato al consumatore finale. Al termine di questo processo, il carbone viene scambiato sul mercato risentendo della variazione della domanda internazionale.

Prices

US dollars per tonne	Northwest Europe marker price†	US Central Appalachian coal spot price index†	Japan coking coal import cif price	Japan steam coal import cif price	Asian marker price†
1992	38.53	28.53	57.82	48.45	–
1993	33.68	29.85	55.26	45.71	–
1994	37.18	31.72	51.77	43.66	–
1995	44.50	27.01	54.47	47.58	–
1996	41.25	29.86	56.68	49.54	–
1997	38.92	29.76	55.51	45.53	–
1998	32.00	31.00	50.76	40.51	29.48
1999	28.79	31.29	42.83	35.74	27.82
2000	35.99	29.90	39.69	34.58	31.76
2001	39.03	50.15	41.33	37.96	36.89
2002	31.65	33.20	42.01	36.90	30.41
2003	43.60	38.52	41.57	34.74	36.53
2004	72.08	64.90	60.96	51.34	72.42
2005	60.54	70.12	89.33	62.91	61.84
2006	64.11	62.96	93.46	63.04	56.47
2007	88.79	51.16	88.24	69.86	84.57
2008	147.67	118.79	179.03	122.81	148.06
2009	70.66	68.08	167.82	110.11	78.81
2010	92.50	71.63	158.95	105.19	105.43
2011	121.52	87.38	229.12	136.21	125.74
2012	92.50	72.06	191.46	133.61	105.50

†Source: IHS McCloskey Northwest Europe prices for 1992-2000 are the average of the monthly marker, 2001-2012 the average of weekly prices. The Asian prices are the average of the monthly marker.

‡Source: Platts. Prices are for Central Appalachian 12,500Btu, 1.2 SO₂ coal, fob. Prices for 1992-2000 are by coal price publication date, 2001-2012 by coal price assessment date.

Note: cif = cost+insurance+freight (average prices); fob = free on board.

Prezzi del carbone (dollari per tonnellata 1988-2012).

Fonte: BP Statistical Review of World Energy

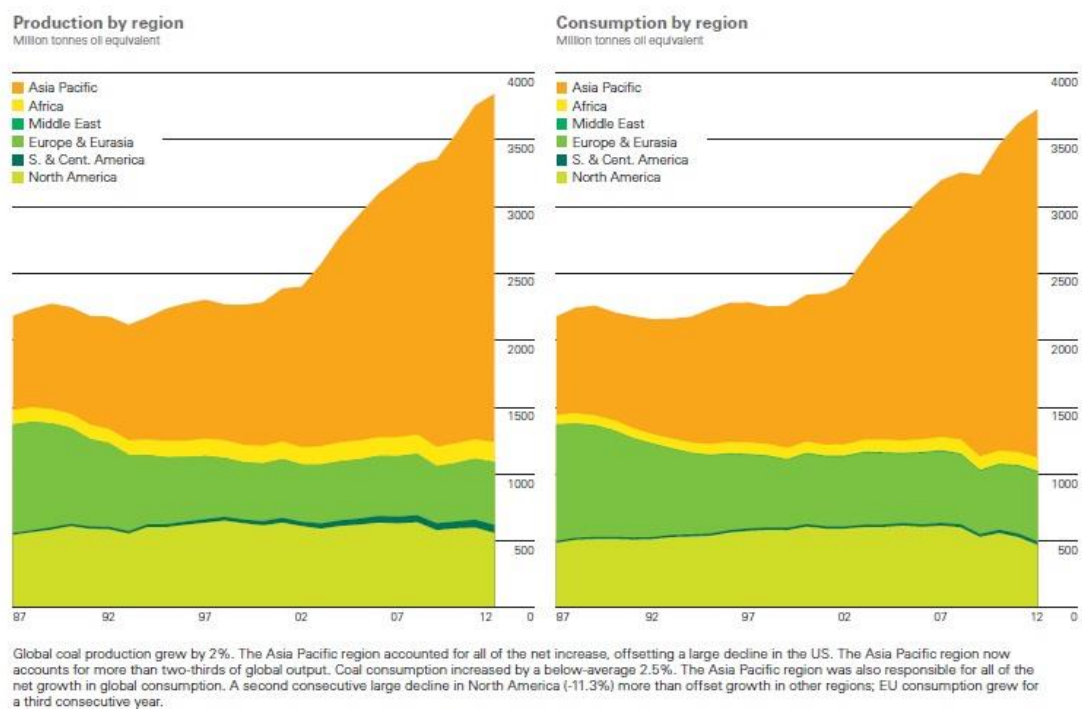
Come si evince dalla tabella “Prices” relativa ai prezzi del carbone (1988-2012) fino all'inizio degli anni '90 erano presenti solo tre indici, il Coal Market Price

³³ Idem, pp. 511 – 517.

³⁴ In un impianto di trattamento si effettuano alcune operazioni fondamentali. La prima è la frantumazione, che ha lo scopo di ridurre la dimensione dei pezzi di carbone e liberarlo dalle impurezze presenti. La seconda è la ripartizione mediante vagliatura del carbone frantumato in varie classi dimensionali. La terza è il lavaggio, per rimuovere le materie estranee liberate che accompagnano il filone di carbone. Per effettuare questa operazione generalmente si adoperano “crivelli” che attuano la separazione del carbone dalle impurezze per gravità. Per ridurre ulteriormente il tenore di zolfo sono impiegate tecniche di lavaggio più spinte; disidratazione con filtri o centrifughe di vario tipo. Talvolta si ricorre all'essiccazione con l'impiego di calore, ma questa tecnica relativamente costosa è in declino. L'acqua viene depurata con agenti flocculanti e depurata”.

relativo all'Europa nord orientale, il Japan Coking Coal Import Price e il Japan Stream Coal Import Price. In seguito si sono aggiunti lo US Central Appalachian Coal Spot Price Index e solo dal 1998 l'Asian Marker Price.

I prezzi hanno mantenuto un andamento costante e senza grandi variazioni tra gli indici fino al 2003, anno in cui si sono registrati i primi incrementi di prezzo, arrivando ad un picco nel 2008: in particolare il Japan Coking Coal Import Price dal 2008 in poi ha riportato prezzi nettamente maggiori rispetto a tutti gli altri indicatori, ancorati su intervalli abbastanza omogenei, tra i 70 e i 130 dollari a tonnellata. Vi è un nesso tra l'aumento del prezzo di un bene e l'incremento della domanda, a cui si correla per il suo soddisfacimento un aumento della produzione. I grafici “*Production by region*” e “*Consumption by region*”³⁵ evidenziano proprio questo andamento: la produzione globale di carbone è cresciuta del 2%.



Produzione e Consumi (Mtoe divisi per regione).

Fonte: BP Statistical Review of World Energy June 2013

³⁵ “BP Statistical Review of World Energy June 2013”, BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 34.

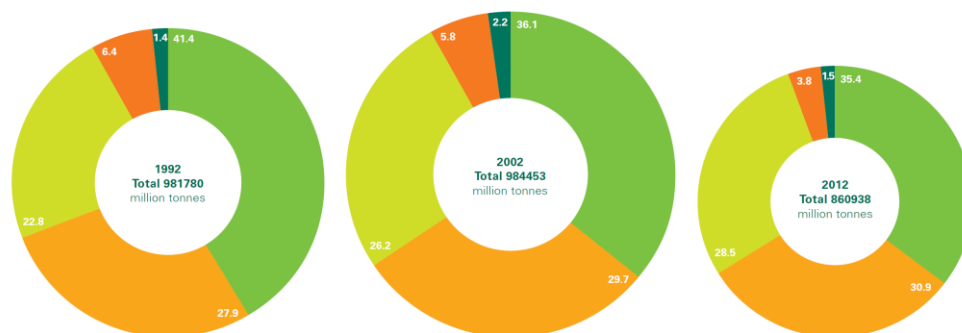
Tale incremento è stato completamente assorbito dalla regione dell'Asia Pacifico, attestandosi ad oltre i due terzi della produzione complessiva globale, anche a fronte di una forte riduzione di *output* sperimentata dagli Stati Uniti.

Nel 2012 il consumo di carbone è cresciuto del 2,5%, tasso al di sotto della media annuale che si aggira intorno al 4%. Come già analizzato per la produzione, anche nell'ambito dei consumi la regione dell'Asia Pacifico traina la crescita dei consumi globali: la Cina da sola consuma il 50% dei quantitativi mondiali di carbone. La motivazione che spiega riduzione nel consumo del carbone è fornita dai dati che registrano una seconda forte decrescita nella regione del Nord America, l'11,3% a livello mondiale, percentuale di gran lunga superiore alla quella registrata nelle altre regioni (mentre in Europa, invece, si è avuto per il terzo anno consecutivo una crescita nei consumi di carbone).

Quanto fino ad ora esposto ha conseguenze dirette sulle riserve. È importante però sottolineare che secondo le stime effettuate dal BP Statistical Review of World Energy le riserve conosciute di carbone, relativamente al 2012, sarebbero sufficienti a soddisfare, in base alla proporzione tra i livelli attuali di produzione e consumo, la domanda mondiale per i prossimi 109 anni. Fino ad ora e con le attuali tecnologie, il carbone è il combustibile fossile più abbondante rispetto a petrolio e gas naturale.

Distribution of proved reserves in 1992, 2002 and 2012
Percentage

- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- North America
- Middle East & Africa
- S. & Cent. America



Source: Survey of Energy Resources 2010, World Energy Council.

Distribuzione delle riserve di carbone 1992, 2002 e 2012.

Fonte: BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 31

Come si evince dal grafico “*Distribution of proved reserves 1992, 2002 and 2012*”, che analizza un intervallo temporale ventennale, 1992 – 2012, si può facilmente desumere un incremento complessivo del totale delle riserve mondiali di carbone tra il 1992 e il 2002, passando da 981.780 milioni di tonnellate del 1992, alle 984.453 milioni di tonnellate del 2002, un aumento pari a 2.673 milioni di tonnellate. Una crescita che ha registrato, nel medesimo arco temporale, un aumento delle riserve scoperte nel Nord America di circa il 3,6% e di quelle presenti nell'Asia del Pacifico del 2,8%, andando ad incidere sulla percentuale detenuta dalle riserve dell'area di Europa ed Eurasia, decresciuta del 5,3% nello stesso periodo.

I grafici relativi agli anni 1992 e 2002 registrano una crescita positiva delle riserve mondiali di tale risorsa, ma comparando questi dati con quelli relativi al 2012, le variazioni riscontrabili sono notevoli. Sebbene la crescita percentuale delle risorse sia positiva nelle aree del Nord America e dell'Asia del Pacifico, il emerge una profonda flessione nel quantitativo esistente: comparandolo con i dati del 1992 la flessione è pari a 120.842 milioni di tonnellate e rispetto al 2002 addirittura di 123.515 milioni di tonnellate. Questi dati “allarmanti” potrebbero essere legati all’aumento di richiesta di carbone da parte della Cina, favorita dalla politica energetica messa in atto per sostenere la rampante crescita industriale iniziata nella seconda metà degli anni '90 e, di conseguenza, un crescente fabbisogno energetico. L'energia nucleare, annoverata tra le fonti non rinnovabili, è entrata nel mercato di produzione energetica internazionale solo “recentemente”, in particolare a seguito della crisi petrolifera del 1973. Attualmente a livello mondiale esistono 584 reattori nucleari di differenti tipi e livelli di tecnologia, di cui 435 installati e attivi e 149 spenti in modo permanente, a cui si dovrebbero aggiungere i 72 reattori in costruzione³⁶. Dal 2005 ad oggi si è registrata una diminuzione dell'utilizzo dell'energia nucleare per cause diverse: i lunghi tempi di approvazione per la costruzione di un reattore, che si attestano su una media di 3/4 anni, il reperimento di capitali, iter burocratici per l'aggiudicazione delle gare e, infine, i tempi di costruzione (circa 5 anni). Tale decrescita potrebbe aver anche risentito dei

³⁶ IAEA – PRIS, World Statistic, Reactors Status report. Fonte consultabile all'indirizzo <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

problemi verificatisi in Giappone a seguito del terremoto del 2009, con la chiusura a titolo precauzionale di 7 reattori.

È importante sottolineare che i costi di costruzione e di esercizio rappresentano l'85% del totale, mentre il costo del combustibile incide solo marginalmente, per il 15%. Il costo medio attuale di una centrale è di circa 2500-3000 Euro/kW elettrico installato. Ciò significa che il costo in conto capitale di una centrale da 1000 MWe elettrico è di circa 3 miliardi di Euro³⁷.

Rispetto alle percentuali sopra indicate, è possibile desumere che un incremento del costo della materia prima inciderebbe sul prezzo finale solo con un'oscillazione tra il 10% e il 15%. Inoltre, il prezzo dell'uranio ha un valore limite di 400\$/kg in quanto oltre tale soglia di riferimento l'uranio può essere estratto dai giacimenti oceanici, la cui presenza è stimata in quattro miliardi di tonnellate³⁸.

L'uranio, appositamente arricchito, è il combustibile utilizzato all'interno dei reattori nucleari. Il funzionamento di un reattore nucleare risulta strutturato su macro caratteristiche simili ad una centrale termoelettrica tradizionale. La differenza sostanziale è data dal procedimento di generazione del vapore. In una centrale il vapore viene prodotto bruciando combustibile fossile: carbone, olio combustibile o metano. In un reattore, invece, viene utilizzato combustibile nucleare sfruttando il fenomeno della “fissione nucleare” che consiste nella frattura di un atomo pesante³⁹. L'energia liberata è elevatissima, circa 10 milioni di volte superiore a quella prodotta dall'ossidazione di un atomo di carbone: da un grammo di uranio U235, il combustibile nucleare più utilizzato, si ottengono circa 20 milioni di Kcalorie (circa 84000 kJoule), equivalenti alla combustione di 3 tonnellate di antracite⁴⁰.

³⁷ ENEA, “*Un focus sulle centrali nucleari: costi e tempi di produzione e smaltimento delle scorie*”, tratto da intervista a Stefano Monti.

³⁸ Moncada Lo Giudice G., Asdrubali F., “*Fattore N. Tutto quello che c'è da sapere sull'energia nucleare*”, Armando Editore, Roma, 2010, pp. 56 – 57.

³⁹ “La frattura o scissione è provocata dal bombardamento di un neutrone, che cedendo la propria energia al nucleo investito ne provoca la rottura. Poiché la massa totale dei due elementi più leggeri prodotti dalla fissione nucleare è inferiore a quella del nucleo di partenza, la massa “persa” si trasforma in energia secondo la ben nota equazione di Einstein dove compare il quadrato della velocità della luce”. Tratto da Moncada Lo Giudice G., Asdrubali F., “*Fattore N. Tutto quello che c'è da sapere sull'energia nucleare*”, Armando Editore, Roma, 2010, p. 67.

⁴⁰ “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005.

A partire dagli anni Sessanta si sono succedute almeno tre generazioni di reattori nucleari. Pur nella diversità degli schemi e delle soluzioni tecnologiche, possiamo individuare in tutti gli impianti nucleari degli elementi comuni.

Le tipologie di reattori in funzionamento nel mondo in tal senso si possono suddividere in quattro tipologie⁴¹:

- reattori a gas-grafite;
- reattori LWR (Light Water Reactor) che si suddividono in reattori BWR (Boiled Water Reactor, ad acqua bollente) e reattori PWR (Pressurized Water Reactor, ad acqua pressurizzata);
- reattori HWR (Heavy Water Reactor, ad acqua pesante) di tipo CANDU (Canadian Deuterium-Uranium);
- reattori di Generazione III+.

Oltre alle numerose differenze presenti nella costruzione dei reattori, il nodo che accomuna le diverse generazioni è relativo al tema della sicurezza e dello stoccaggio del combustibile radioattivo esausto prodotto. La sicurezza può essere di tipo attivo o passivo, ma in ogni caso deve prevedere sistemi diversificati, separati nello spazio e tra loro indipendenti. Nei sistemi di sicurezza, durante la fase di progettazione dell'impianto, devono essere previste numerose variabili: sfruttare al meglio il combustibile può avere effetti sulla produzione di scorie, riducendone le quantità, e aumentare la vita produttiva media di ogni reattore. Un ulteriore tema importante quando si parla di energia nucleare è quello dello smaltimento e dell'allocazione del combustibile esausto. L'importanza di questa tematica non si fonda solamente su un principio di tipo ambientale ma ha un forte significato anche dal punto di vista economico in quanto i Paesi "nuclearizzati" devono sostenere spese rilevanti per la bonifica dei siti, per lo stoccaggio e per la continua manutenzione volta a preservare la struttura preposta nelle migliori condizioni, onde evitare la fuoriuscita accidentale di gas o liquidi radioattivi.

Gli investimenti variano anche a seconda del tipo di scorie da dover gestire. I rifiuti, o scorie nucleari, si distinguono tra bassa e media radioattività e alta radioattività e

⁴¹ Moncada Lo Giudice G., Asdrubali F., *"Fattore N. Tutto quello che c'è da sapere sull'energia nucleare"*, Armando Editore, Roma, 2010, pp. 52 – 94.

lunghissima durata. La prima tipologia rappresenta circa il 95% e ha vita breve, mentre il restante 5% è costituito da rifiuti a “vita lunghissima”.

Le scorie a basso livello di radioattività, dopo un periodo di raffreddamento di 30/40 anni e la loro eventuale cementificazione e/o vetrificazione, sono inglobate in appositi fusti e confinate in appositi depositi superficiali o sub-superficiali, a poche decine di metri di profondità. Queste scorie mantengono la loro radioattività per un periodo di trecento anni. I rifiuti ad alta radioattività pur avendo un volume venti volte minore, mantengono livelli elevati di radiazione per centinaia di migliaia di anni è necessario confinarli per periodi di tale lunghezza, per evitare contaminazioni dannose. Ne consegue che non è possibile fare affidamento su barriere costruite dall'uomo, perché non se ne potrebbe garantire l'efficienza per periodi così lunghi. I rifiuti ad alta attività, di norma, vengono condizionati in matrici solide di grande durabilità, come quelle vetrose (il vetro al borosilicato è in grado di resistere all'azione di lisciviazione dell'acqua per 10.000 anni). Per ovviare a questo aspetto, si prevede il deposito in formazioni geologiche profonde (centinaia o migliaia di metri), che soddisfino criteri di stabilità geologica, impermeabilità alle acque sotterranee e non sismicità, al fine di impedire che, a seguito, ad esempio, di un sisma, le strutture del deposito vengano fessurate e la radioattività risalga in superficie o vada a contaminare le falde acquifere circostanti. Le formazioni che rispondono a tali criteri sono di tipo granitico, salino (vecchie miniere di salgemma) o argilloso. I depositi in profondità sono ancora in fase di studio o di realizzazione pilota, nei casi più avanzati. Laboratori sperimentali sotterranei sono in costruzione o in esercizio in Francia, Germania, Svezia e Finlandia. Il primo deposito commerciale potrebbe essere operativo, secondo le alcune previsioni, verso il 2018 in Svezia, seguito da quello finlandese previsto più o meno nello stesso anno⁴².

Oltre al potenziale utilizzo dei depositi geologici per lo stoccaggio dei rifiuti, si stanno studiando tecnologie atte alla riduzione della radioattività delle scorie attraverso un processo di irraggiamento con particelle, processo definito trasmutazione, al fine di accelerarne artificialmente il decadimento radioattivo e

⁴² Moncada Lo Giudice G., Asdrubali F., *“Fattore N. Tutto quello che c'è da sapere sull'energia nucleare”*, Armando Editore, Roma, 2010, p. 92.

ridurre in modo considerevole la pericolosità. Si ritiene, però, che la trasmutazione richiederà ancora qualche decennio per poter essere realizzata a livello industriale con costi convenienti. Un'ulteriore possibilità per ridurre la produzione di scorie di combustibile esausto da smaltire è la scomposizione dei vari elementi che lo compongono:

- uranio 238 (95% del combustibile scaricato);
- uranio 235 non fissionato (1%);
- plutonio prodotto nel reattore (1%);
- residui ad alta attività (3%).

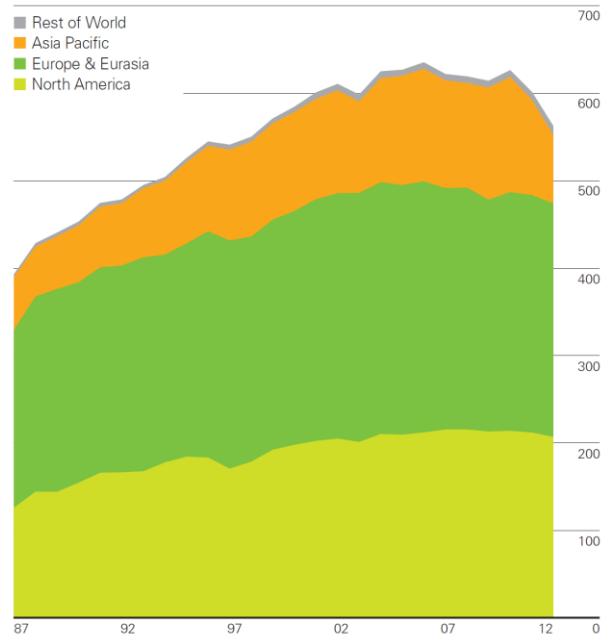
Uranio e plutonio (97% del combustibile nucleare esaurito) possono essere riciclati e utilizzati per la fabbricazione di combustibile fresco. Il prodotto che ne deriva viene definito “combustibile MOX”. Questo procedimento potrebbe essere impiegato anche per la distruzione degli stock di plutonio e uranio derivanti dallo smantellamento delle testate nucleari delle due potenze della Guerra Fredda, stimate in oltre 2000 tonnellate, e allungare la vita delle risorse minerarie di uranio di circa 300 anni⁴³.

Per valutare l'andamento dell'energia nucleare a livello sia globale che regionale, è opportuno analizzare il grafico “*Nuclear energy consumption by region*” che riproduce, su base stratigrafica suddivisa per regioni, l'andamento nell'utilizzo di energia nucleare, prendendo in esame un arco temporale che va dal 1987 al 2012.

⁴³ Idem pg.93.

Nuclear energy consumption by region

Million tonnes oil equivalent



Consumi di energia nucleare (Mtoe per regione).

Fonte: BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 37.

L'andamento è di tipo crescente con lievi flessioni, probabilmente relative al necessario e periodico spegnimento degli impianti per manutenzione e/o sostituzione e ricarica del combustibile. Secondo i dati riportati, le regioni dell'Europa ed Eurasia e del Nord America mantengono un incremento costante lungo l'intero arco temporale. Al contrario, nella regione della Asia Pacifico si registra una crescita interessante, anche se, a seguito dell'incidente del 2009, i dati relativi al consumo di energia nucleare nella regione segnalano una drastica decrescita. Petrolio, gas, carbone e nucleare, pur mantenendo una centralità nei futuri scenari energetici, potrebbero essere in parte sostituite da nuove fonti di tipo rinnovabile.

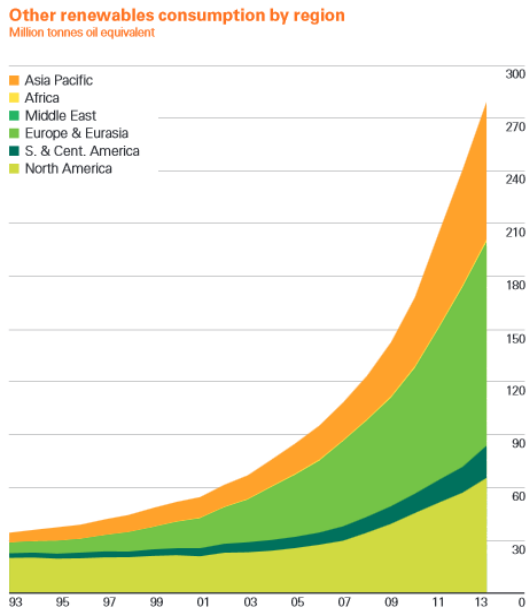
1.2 Nuove fonti: le energie rinnovabili

“Fonte energetica rinnovabile” è una locuzione che definisce una fonte virtualmente inesauribile ma con alternanza di periodi di disponibilità a periodi di indisponibilità, o meglio di “esaurimento apparente”, la cui durata non sia influenzata dalle modalità di estrazione dell'energia da quella stessa fonte. Le fonti energetiche rinnovabili disponibili sul nostro pianeta sono riconducibili a due sole fonti primarie esterne alla Terra: la Luna e il Sole⁴⁴.

Il BP Statistical Review database raccoglie e analizza i dati delle energie rinnovabili partendo dal 1965, ma è importante precisare che quelli precedenti al 1990 devono essere valutati con cautela in quanto sono presenti dei salti e delle lacune all'interno delle serie riportate, raccogliendo i dati relativi alla produzione di energia rinnovabile in TWh convertendoli in Mtoe esso fornisce una chiave di lettura e paragone immediatamente accessibile per il confronto tra le differenti tipologie di fonti energetiche. Sebbene si registrino tassi di crescita molto elevati, le energie rinnovabili rappresentano una piccola porzione nell'attuale consumo globale di energia, pur iniziando ad avere un ruolo molto significativo. Nel 2012 hanno, infatti, contribuito per il 31% alla crescita complessiva della produzione di energia elettrica a livello mondiale⁴⁵. Il rapido aumento nell'impiego delle rinnovabili nella produzione energetica è proseguita anche nel 2012. Europa e Giappone detengono il primato di leader nello sviluppo delle rinnovabili, grazie anche agli incentivi governativi per lo sviluppo di queste tecnologie: tuttavia gli Stati Uniti e la Cina stanno investendo in modo significativo nel settore, in particolar modo nell'energia eolica.

⁴⁴ La Luna interagisce con la Terra; l'effetto dell'attrazione gravitazionale lunare, comporta variazioni periodiche della gravità terrestre, che a sua volta provocano sollevamento e abbassamento dei livelli delle masse d'acqua planetarie: le cosiddette maree. Le reciproche variazioni di posizione della Luna e del Sole rispetto alla Terra danno origine, in modo quasi periodico, a due gruppi fondamentali di oscillazioni: le maree diurne e le maree semidiurne. *“L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”*, Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 436 - 440.

⁴⁵ Tratto da <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/renewable-power-.html>



Consumi di energia prodotta da fonti rinnovabili (Mtoe per regione).

Fonte: BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 37.

Nel grafico “*Other renewable consumption by region*” del BP Statistical Review of World Energy (giugno 2013) si può notare come la rapida crescita dei consumi di energia proveniente dalle rinnovabili sia in aumento anche nel 2012, con un incremento di settore pari al 15,2%, riuscendo a soddisfare il 4,7% del consumo globale di elettricità. La crescita nel 2012 risulta minore rispetto a quanto registrato nel 2011, ma continua a mantenere un trend decisamente superiore ai dati medi dell’ultimo decennio. Nel 2012, per il nono anno consecutivo, si registrano tassi di crescita a due cifre. L’energia rinnovabile ha contribuito per il 31% all’incremento di produzione di energia a livello mondiale, un dato che rappresenta il 12,7% della crescita energetica mondiale.

I dati riprodotti nel grafico mostrano una crescita nell’utilizzo delle risorse rinnovabili per la produzione di energia elettrica, in particolare a partire dal 2003-2004, con notevoli incrementi registrati, soprattutto, nella regione Europa ed Eurasia. L’utilizzo dell’energia rinnovabile è aumentato, registrando tassi decisamente al di sopra della media, nel 2012 il 15,2%. Dal grafico si nota, inoltre, la non propensione all’utilizzo di questo tipo di tecnologia nelle regioni dell’Africa e del Medio Oriente, dove si registrano rispettivamente quote di impiego dello 0,6%

e dello 0,1%. La quota di produzione mondiale di energia primaria dalle rinnovabili è passata dal 1,7% registrato nel 2002, al 4,7% del 2012, un aumento netto del 3% in un solo decennio⁴⁶.

1.2.1 Biomasse

L'uso delle biomasse si basa sullo sfruttamento della radiazione solare per la sintesi di composti chimici con elevato contenuto di energia libera, e pertanto adeguati alla produzione di combustibili. È il procedimento adottato dalla natura nella fotosintesi⁴⁷, attraverso l'interazione della luce con biomolecole di struttura proteica.

Dalle fonti naturali si possono ottenere carburanti liquidi sovrapponibili a quelli provenienti dal petrolio. I biocarburanti hanno il vantaggio di poter essere direttamente impiegati nei trasporti, senza modifiche essenziali dei motori endotermici a ciclo diesel.

Con il termine biomasse⁴⁸ si intende tutta quella materia che si può ricondurre in modo diretto o indiretto al processo riproduttivo dei vegetali⁴⁹.

Lo sfruttamento energetico delle biomasse va distinto in due opposte categorie:

- 1) la conversione di scarti residui, operazione che migliora il bilancio energetico e l'efficienza di attività economiche che già operano nel campo delle biomasse;
- 2) la coltivazione, con l'attivazione di apposite attività agricole che comportano una serie di investimenti non solo dal punto di vista economico,

⁴⁶ Tratto da <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/renewable-power-.html>

⁴⁷ In seguito all'assorbimento della luce, la clorofilla passa in uno stato energetico eccitato che la rende in grado di trasferire un elettrone in un'altra parte del complesso molecolare, fornendo così energia richiesta per l'insieme delle reazioni chimiche che conducono alla sintesi dei carboidrati, principali costituenti degli organismi vegetali. Tutta l'energia necessaria alla totalità delle forme di vita sulla terra corrisponde a un flusso di circa 90 TW. Tuttavia la fotosintesi, dal punto di vista energetico è un processo poco efficiente in quanto ha un rendimento globale di circa 0,3%.

⁴⁸ Le biomasse includono: specie arboree ed erbacee derivanti da coltivazioni agricole e forestali; residui agricoli e forestali come paglie, potature, ramaglie, cortecce, ecc.; residui agro-industriali come vinacce, sanse, scarti vegetali ecc.; residui zootecnici come pollina, deiezioni animali ecc.; la frazione organica dei residui solidi urbani, il cosiddetto COMPOST.

⁴⁹ *“L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”*, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 464-469.

anche in termini di risorse territoriali.

La risorsa energetica principale delle biomasse è il carbonio contenuto all'interno delle "masse", fissato tramite la fotosintesi. Ogni anno vengono prodotti miliardi di tonnellate di biomasse secche. L'energia derivabile dalle biomasse (bioenergia) potrebbe, quindi, svolgere un ruolo fondamentale nel soddisfacimento del fabbisogno energetico mondiale.

La biomassa viene utilizzata a fini energetici, trasformando materiali organici in combustibili, ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Altre forme di biomassa possono essere costituite dai residui di coltivazione destinati all'alimentazione umana, animale oppure da vegetali espressamente coltivati per scopi energetici⁵⁰.

I vantaggi universalmente riconosciuti alle biomasse e ai rifiuti sono: essere una fonte rinnovabile e rigenerabile il cui costo/prezzo si può considerare, in prima istanza, non correlato con il prezzo del petrolio; le basse emissioni di anidride carbonica, oltre ad avere un contenuto minimo di zolfo; il loro prelievo, specialmente dei rifiuti, dal sito in cui si trovano permettono di migliorare le condizioni del terreno e dell'ambiente, oltre a creare posti di lavoro.

Esistono diversi procedimenti di derivazione di biocombustibili, che favoriscono l'ottimizzazione delle specifiche composizioni chimico-fisiche delle biomasse utilizzate. Di conseguenza le biomasse composte da carbonati semplici sono le più indicate per la produzione di etanolo, mentre quelle con elevato contenuto di lignina sono più adatte per la combustione diretta. La digestione anaerobica delle biomasse è, infatti, basata sull'azione di microrganismi che utilizzano i loro enzimi come catalizzatori per convertire la materia organica in metano e biossido di carbonio.

Questo processo si può notare nei rifiuti depositati in discarica, che iniziano a fermentare e, a loro volta, producono metano e altri gas. Il biogas è costituito prevalentemente da metano (45 – 65%). A parte piccole tracce di azoto, di ossigeno

⁵⁰ Le più importanti tipologie di biomassa sono: residui forestali, scarti dell'industria di trasformazione del legno (trucioli, segatura, ecc), scarti delle aziende zootecniche, scarti mercatali, sterco. Gli scarti, non solo vegetali o animali, ma anche solidi come carta, plastica, vetro e minerali vari, sono classificati come rifiuti. Varvelli R., *"Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?"* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 140-141.

e di idrogeno, il completamento a cento della sostanza è dato dall'anidride carbonica⁵¹.

A differenza del biogas, i biocarburanti derivano da specifici procedimenti per la coltura di granaglie, cereali e barbabietole da zucchero da destinare ad uso energetico⁵². Il biogas, invece, è una miscela di metano e anidride carbonica prodotta dalla decomposizione naturale, in ambiente anaerobico, di materiale organico umido. Queste fonti sono considerate rinnovabili, in quanto hanno origine dal processo naturale di assorbimento di anidride carbonica attraverso la fotosintesi clorofilliana, la CO₂ generata dalla loro combustione ha un effetto a somma zero, quindi neutro sull'ambiente. I vantaggi per l'ambiente sono, ad esempio, la riduzione del metano proveniente dalle discariche, gas serra più potente dell'anidride carbonica⁵³.

Un altro utilizzo dei rifiuti a scopo energetico è la cosiddetta termovalorizzazione⁵⁴, che produce contemporaneamente energia elettrica e vapore. Questo procedimento è definito cogenerazione⁵⁵ e risulta particolarmente utile, ad esempio, in alcuni cementifici e altre centrali possono incenerire i rifiuti pretrattati e risparmiare sul costo dei combustibili tradizionali⁵⁶.

⁵¹ Idem, pp. 160-161.

⁵² Il metano prodotto nelle discariche ha le stesse caratteristiche del gas naturale. In futuro, potrebbe contribuire all'affermarsi di quella che alcuni studiosi immaginano come l'“era del gas naturale”.

⁵³ Piglia A., *“Petrolio, ieri e oggi. E domani? Dalla scoperta agli sviluppi, dalla nascita dell'ENI al declino delle “sette sorelle”, dalla globalizzazione ai contrasti geopolitici, dalla sfida dei cambiamenti climatici al Protocollo di Kyoto, dalle fonti tradizionali a quelle alternative”*, Quotidiano Energia, Fabiano Editore, Canelli (AT), 2006, pp. 233 – 234.

⁵⁴ In un impianto di cogenerazione si hanno minori emissioni di anidride carbonica, zolfo e azoto rispetto a centrali di tipo tradizionale. Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 159 – 160.

⁵⁵ Con il termine cogenerazione si indica la produzione ed il consumo contemporaneo di diverse forme di energia secondaria (energia elettrica, meccanica, energia termica) partendo da un'unica fonte (sia fossile che rinnovabile) attuata in un unico sistema integrato. La cogenerazione è una tecnologia che consente di incrementare l'efficienza energetica complessiva, attraverso un sistema di conversione di energia. La cogenerazione viene realizzata in particolari centrali termoelettriche, dove si recupera l'acqua calda, il vapore e/o i fumi prodotti da un motore primo alimentato a combustibile fossile (gas naturale, olio combustibile, ecc). Si ottiene così un significativo risparmio di energia rispetto alla produzione separata dell'energia elettrica (tramite centrale elettrica) e dell'energia termica (tramite centrale termica tradizionale). Tratto da enelsi.it.

⁵⁶ Piglia A., *“Petrolio, ieri e oggi. E domani? Dalla scoperta agli sviluppi, dalla nascita dell'ENI al declino delle “sette sorelle”, dalla globalizzazione ai contrasti geopolitici, dalla sfida dei cambiamenti climatici al Protocollo di Kyoto, dalle fonti tradizionali a quelle alternative”*, Quotidiano Energia, Fabiano Editore, Canelli (AT), 2006, pp. 233 – 234.

L'incenerimento è il processo di combustione controllata dei rifiuti nei termovalorizzatori; i rifiuti così trasformati vengono detti Combustibile Derivato da Rifiuti (CDR) e hanno mediamente potere calorifico pari a 4.000 kilocalorie per kilogrammo. I termovalorizzatori hanno un rendimento di poco superiore al 10%, contro il 25 – 30% del rendimento medio degli impianti di generazione elettrica⁵⁷. L'importanza di questi impianti non è data dal fatto che producano energia, ma dalla capacità che i combustibili utilizzati possano favorire un ambiente salubre, con una riduzione dei rifiuti presenti nelle discariche e, di conseguenza, diminuzione dei fattori di rischio che causano inquinamento e contaminazione delle falde acquifere⁵⁸.

Le materie prime per la produzione di energia dalle biomasse sono le più disparate, poiché possono essere utilizzati tutti gli oli vegetali disponibili. Le nuove tendenze prevedono il ricorso ad oli vegetali ricavati da alghe marine o lacustri, così da non dover utilizzare terreni destinati alla coltivazione di prodotti alimentari o quelli adibiti alla coltivazione dei semi oleosi impiegati nella produzione di biocarburanti. Le sostanze utilizzate come sostitutive del petrolio di origine fossile e dei suoi derivati (benzina, gasolio, cherosene), sono l'etanolo e il biodiesel, ma a loro volta questi liquidi, ottenuti tramite trattamenti chimico-fisici, derivano da materie prime che appartengono al mondo vegetale, soprattutto da sostanze zuccherine⁵⁹.

L'etanolo, anche noto come alcol etilico, è incolore, bolle a 78 °C e ha una densità inferiore a quella dell'acqua, nella quale è totalmente solubile. È estremamente infiammabile e molto volatile. Il biodiesel è trasparente e di colore ambrato, con una viscosità simile a quella del gasolio, col quale può essere mescolato in diverse proporzioni (normalmente non oltre il 30%) al fine di migliorare il potere lubrificante, ha un numero di cetano superiore a quello del gasolio e si incendia più facilmente, è biodegradabile e non è tossico. Questo carburante vegetale ha

⁵⁷ Malgrado questo basso rendimento, può essere utile sapere che un kilogrammo di rifiuto CDR produce energia elettrica per far funzionare un frigorifero per 3 ore e mezza e una lavatrice per mezz'ora, oppure produce energia termica per cucinare 12 pasti o scaldare acqua per una doccia da 30 minuti a 32 °C.

⁵⁸ Piglia A., *“Petrolio, ieri e oggi. E domani? Dalla scoperta agli sviluppi, dalla nascita dell'ENI al declino delle “sette sorelle”, dalla globalizzazione ai contrasti geopolitici, dalla sfida dei cambiamenti climatici al Protocollo di Kyoto, dalle fonti tradizionali a quelle alternative”*, Quotidiano Energia, Fabiano Editore, Canelli (AT), 2006, pp. 233 – 234.

⁵⁹ L'etanolo si può ricavare da: la canna da zucchero; mais o granturco; barbabietola e grano. Il biodiesel si produce partendo da: soia; colza; girasole; olio di palma e alghe marine.

emissioni di ossido di carbonio del 50% inferiori rispetto al gasolio e produzione di anidride carbonica dell'80% inferiore a quella del gasolio. Non contiene idrocarburi aromatici e zolfo ed è in grado di ridurre del 65% l'emissione delle polveri sottili, il cosiddetto “particolato”⁶⁰.

Per favorire l'impiego delle biomasse alcuni Stati hanno adottato piani di incentivazione a sostegno della produzione e degli alti costi industriali che rallentano lo sviluppo quantitativo e tecnologico e non li rendono competitivi con i derivati del petrolio. L'adozione dei biocarburanti è, per il momento, condizionata dall'esistenza di un regime fiscale agevolato.

La possibilità di utilizzo delle biomasse come combustibile alternativo rappresenta uno dei possibili vantaggi di questo tipo di energia, che si sommano alla facilità di trasporto e l'assenza di residui solidi nei prodotti di combustione. Il principale ostacolo economico al loro estensivo sfruttamento è potrebbe essere costituito dai costi di raccolta e trasporto⁶¹. I parziali limiti alla possibilità di utilizzo di tale risorsa, sono il vincolo dell'intero ciclo di produzione dell'energia, dal bacino di raccolta allo sfruttamento finale, ad un raggio d'azione esiguo per essere economicamente vantaggioso. La stessa potenza degli impianti di conversione in energia utile o in biocombustibili è condizionata dalla quantità di biomassa disponibile all'interno del raggio economico di raccolta.

La conversione delle biomasse in energia utile è quella che presenta le complessità tecniche, economiche e sociali⁶². Tuttavia, diverse motivazioni di carattere ambientale, economico e sociale costituiscono la base del recente impulso impresso alle attività di valorizzazione delle biomasse ai fini della produzione di energia. Le biomasse non soffrono dei problemi di aleatorietà e discontinuità nella produzione che invece penalizzano altri impianti alimentati con fonti rinnovabili. Possono essere impiegate per produrre una vasta gamma di combustibili solidi, liquidi e gassosi, utilizzabili come vettori energetici per produrre energia elettrica e/o

60 Varvelli R., “Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?” Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 153 – 154.

61 “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 464 – 468.

62 Varvelli R., “Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?” Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 152 – 156.

termica o come sostituti di combustibili fossili nel settore dei trasporti. I benefici derivanti da un aumento della produzione di energia dalle biomasse sono, innanzitutto, di carattere ambientale, grazie alla potenziale riduzione delle emissioni di gas serra e di inquinanti. In relazione all'incremento dei costi delle fonti fossili convenzionali, l'utilizzo delle biomasse potrebbe portare anche benefici sul fronte economico attraverso la riconversione di una parte del settore agricolo, la riduzione dei costi di approvvigionamento energetico dall'esterno e la valorizzazione dei residui, rifiuti e sottoprodotti⁶³.

È tuttavia opportuno analizzare le potenziali ripercussioni sociali di questo tipo di fonte energetica. La coltivazione di biomasse potrebbe rivelarsi il potenziale energetico più affidabile e interessante, ma attualmente quantificarne l'eventuale produzione non è possibile, poiché dipende strettamente dalle politiche economiche, agricole e sociali dei singoli Paesi. Il Nord America ha registrato un costante aumento produttivo dal 2002 al 2011, anno in cui si può notare una flessione di produzione. Gli Stati Uniti hanno registrato una diminuzione della produzione di biocarburanti pari al 4,3% con una perdita produttiva di 25000 b/doe⁶⁴, a causa soprattutto della debole domanda di benzina e dei regolamenti che determinano i massimali di miscela tra combustibili fossili e non, nel computo totale del carburante per i trasporti. La produzione in Sud e Centro America, nello stesso arco temporale, ha registrato una continua crescita, in particolare a partire dal 2011. Parte della decrescita del Nord America è stata assorbita dal Brasile, che ha registrato una crescita aumentando la sua produzione del 2,4%, pari a 6000 b/doe⁶⁵, grazie a studi che hanno favorito e migliorato il raccolto della canna da zucchero. La produzione di etanolo a livello mondiale è diminuita del 1,7%, sperimentando per il secondo anno consecutivo una decrescita, mentre, la produzione di biodiesel ha avuto un trend positivo, con un incremento pari al 2,7%, raddoppiando nel corso degli ultimi 5 anni, riuscendo a soddisfare il 31% della domanda mondiale di approvvigionamento di biocarburanti.

⁶³ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 153 – 154.

⁶⁴ Tratto da <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/biofuels.html>

⁶⁵ Tratto da <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/biofuels.html>

1.2.2 Idroelettrico

L'idroelettricità proviene essenzialmente dai dislivelli orografici, dalle maree e dalle correnti marine. L'energia generata tramite questi tre meccanismi soddisfa il 16% del consumo elettrico globale. Per avere un quadro chiaro è utile una breve analisi dei singoli meccanismi. L'idroelettricità che può essere prodotta tramite lo sfruttamento dei dislivelli orografici è correlata all'energia posseduta da un flusso d'acqua, definita energia idraulica, corrispondente all'energia meccanica di una corrente fluida⁶⁶.

Una fonte potenziale di energia idraulica è caratterizzata dalla portata, dal bacino idrico e dal salto utile disponibile di un corso d'acqua ed è quindi normalmente associata all'esistenza di singolarità nell'andamento idrologico, vale a dire cascate o rapite, che presentino dislivelli importanti insieme con elevate perdite di carico.

La modalità di sfruttamento di questa fonte ha lo svantaggio di essere soggetta, in termini di potenza, ad una aleatorietà legata alle caratteristiche del ciclo idrologico dello specifico corso d'acqua: il flusso d'acqua non è costante e spesso anche il flusso idrico di base può risultare temporaneamente nullo (torrenti stagionali).

La modalità più diffusa e storicamente più adottata per generare elettricità idrica è quella del salto d'acqua o da dislivello orografico. Per generare elettricità dallo sfruttamento dell'energia idraulica, in modo che la stessa sia economicamente vantaggiosa, sono necessari tre elementi⁶⁷:

1. un bacino di raccolta d'acqua, collegato a fonti di alimentazione perenni e sufficientemente costanti nel tempo. Per ovviare alla naturale variabilità della portata e per ottenere una potenza modulabile secondo esigenza, si ricorre di norma all'edificazione di sbarramenti (dighe), i quali consentono di accumulare masse d'acqua alla quota geodetica più elevata e, quindi, di

⁶⁶ *"L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili"*, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pg. 469 – 472.

⁶⁷ Varvelli R., *"Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?"* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pg. 153 – 154.

energia potenziale gravitazionale⁶⁸. Alcune dighe raggiungono i 200 metri di altezza. Nel mondo esistono 45.000 grandi dighe, ciascuna con un volume di raccolta superiore a 1 milione di metri cubi di acqua⁶⁹. In tal modo la possibilità di generare potenza meccanica utile in relazione al fabbisogno non dipende più, almeno in parte, dalla caratteristica di alternanza della disponibilità della fonte rinnovabile;

2. una tubazione a “condotta forzata” che permetta il salto d'acqua (anche fino a 1.000 metri di dislivello) fra il bacino di raccolta e la centrale idroelettrica;
3. una centrale idroelettrica munita di turbine che, ruotando intorno ad un perno, permettono la trasformazione dell'energia meccanica ricevuta dall'acqua in energia elettrica, grazie ad un generatore di corrente, un alternatore, e un trasformatore con il quale si può immettere corrente elettrica in rete. Il costo degli apparati idraulici, paratie, valvole, turbine ecc., e delle altre opere civili, dighe canali ecc., è in generale una funzione diretta della singola e specifica portata idrica. Siti caratterizzati, a pari potenza idraulica, da salti elevati hanno maggiore probabilità di essere economicamente più interessanti di quelli con salti utili inferiori, caratterizzati da portate superiori e quindi costi maggiori.

I vincoli tecnici ed economici, appena analizzati, limitano lo sfruttamento delle risorse disponibili perché in alcuni casi i costi da sostenere risulterebbero di difficile ammortamento. Il nodo, in questo caso, è legato più alla competitività tra le varie fonti di energia, che ad una carenza effettiva della fonte idraulica.

Oltre allo sfruttamento delle acque di torrenti, fiumi o bacini artificiali, è importante sottolineare il ruolo delle acque marine e dell'energia che può essere “estratta” dagli oceani. La principale fonte diretta, o in questo caso, indiretta nella produzione di energie rinnovabili è il Sole e la sua interazione con l'idrosfera.

⁶⁸ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 469 – 475.

⁶⁹ Varvelli R., “Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?” Etas, RCS Libri, Milano, 2008, p. 171.

Il 37,9 % della radiazione solare incidente, circa 65.000 TW, viene assorbito dalla idrosfera. L'energia solare incidente sulla superficie marina si estingue rapidamente, infatti, a 10 metri di profondità giunge meno dell'1% della radiazione. Questa zona di assorbimento si riscalda e scambia energia con l'aria sovrastante alimentando l'evaporazione con le acque profonde in cui si instaurano gradienti di temperatura maggiori rispetto alle zone soprastanti. L'instaurarsi di significative differenze di temperatura tra acque superficiali e acque profonde oceaniche è alla base di una fonte di energia potenziale, il cosiddetto “potenziale energetico dei gradienti termici marini”⁷⁰.

L'acqua come fonte energetica viene impiegata anche utilizzando l'energia presente nelle maree, nelle onde e nelle correnti marine⁷¹.

L'energia dissipata ogni anno dalle maree ammonta a 22.000 miliardi di kWh, più del consumo mondiale di elettricità⁷². Il contemporaneo innalzamento e abbassamento del livello delle acque in zone diverse di uno stesso bacino comporta lo spostamento, alterno, di ingenti masse d'acqua, fenomeno noto come “corrente di marea”. La potenzialità per la produzione di energia ricavabile dalle maree è valutata in circa 3 TW. Le maree più alte si hanno nel Golfo di San Lorenzo in

⁷⁰ Lo sfruttamento pratico dei gradienti di temperatura oceanici per la produzione di energia meccanica utile è alquanto difficoltoso. Il motore termico che deve operare tra due serbatoi, alle temperature di 27 °C e 7 °C, ha un rendimento massimo a livello teorico pari a 6,67%; inoltre, per effetto di tutti i fattori irreversibili presenti nel ciclo e nelle macchine reali, raramente è possibile superare il 2% di rendimento. Ciò comporta che per lo sfruttamento dei gradienti oceanici sarebbero necessarie dimensioni enormi degli impianti collocati in alto mare affinché si possa avere un sistema per la conversione per sviluppare potenze significative, ma queste ipotesi presentano una serie di problemi tecnici ed economici.

⁷¹ Le correnti marine e i relativi moti convettivi dell'aria sono indotti dai gradienti di temperatura provocati dal riscaldamento non uniforme del globo terrestre. Lo spostamento di masse d'acqua permette di ridistribuire il calore su tutta la superficie terrestre, contribuendo a mitigare le differenze di temperatura presenti fra le zone della Terra con diversa esposizione solare. Le correnti marine sono dei fiumi che scorrono all'interno dei mari e, come per i fiumi, il loro moto si può trasformare in energia. Un esempio di tale fenomeno è dato dalla ben nota Corrente del Golfo che consente di mantenere condizioni di clima temperato nelle regioni del Nord Europa grazie alle correnti marine provenienti dalle regioni tropicali del Golfo del Messico. Una corrente di 3 metri al secondo può generare una potenza di 100 kilowatt, utilizzando delle turbine ad asse orizzontale poste in profondità o posizionate sul fondo, anche se quest'ultima tecnica è ancora in fase di sperimentazione.

⁷² La marea è il ritmico alzarsi (flusso) e abbassarsi (reflusso) del livello del mare provocato dall'azione gravitazionale della Luna e del Sole. La forza di attrazione o gravità esercitata dal Sole sulla Terra è decisamente inferiore a quella della Luna, a causa della distanza che intercorre tra i due corpi celesti. Quando la Luna e il Sole sono allineati, durante le fasi di “Luna nuova” o “Luna piena”, si hanno le più grandi maree, dette “maree sigiziali”. La massima elevazione dell'acqua è detta “alta marea”, mentre lo stato estremo di abbassamento viene definito “bassa marea”; la loro differenza in altezza si definisce come “ampiezza o escursione di marea”. Normalmente nell'arco della giornata si hanno due momenti di alta marea e due di bassa, distanti tra loro di 6 ore e 12 minuti circa.

Canada (20 metri), sulle coste della Bretagna (16 metri), in Patagonia (18 metri) e in Alaska (12 metri). Il valore medio dell'escursione delle maree delle acque del globo è di circa 80 centimetri. L'energia mareomotrice è quella ricavata dagli spostamenti d'acqua generati dalle maree⁷³.

L'energia delle maree può essere convertita in energia secondaria utile solo tramite sbarramenti (dighe) posti a chiusura di baie e di estuari, in modo da intrappolare al loro interno le acque marine penetrate durante l'alta marea. Impedendone il libero riflusso in condizioni di bassa marea si genera un dislivello tra l'acqua intrappolata e il mare che rende disponibile energia potenziale di tipo gravitazionale, convertibile in energia secondaria di tipo meccanico e/o elettrico, come accade per l'energia idraulica. Il potenziale energetico di questa fonte è valutato in 3 TW, in termini di potenza associata alle maree e alle correnti di marea in tutto il mondo. Per sfruttare al meglio tale fonte occorre in primo luogo che le caratteristiche del sito (bacino e altezza, durata delle maree) siano tali da assicurare il completo riempimento e svuotamento del bacino di raccolta in tempi relativamente brevi; e in secondo luogo che la differenza di quota tra le due maree sia significativa.

La necessità del simultaneo verificarsi di queste condizioni limita le possibilità di sfruttamento delle maree come fonte di energia e quindi il loro potenziale effettivo è stato stimato in circa 64 GW (2,1% del potenziale teorico). Non è verosimilmente possibile convertire più del 10-25% di questo potenziale in energia elettrica (6-15 GW).

Uno degli impianti per lo sfruttamento delle maree è la centrale mareomotrice costruita nel 1966 sull'estuario del Rance sulle coste francesi della Bretagna. Questa centrale ha una capacità massima effettiva di 240 MWe e una potenza media di 160 MWe. Nelle ore di basso assorbimento di potenza da parte della rete elettrica francese le turbine vengono usate come pompe per riempire il bacino, mentre nelle ore di punta l'acqua viene fatta defluire generando energia elettrica. Nell'impianto sul Rance le turbine idrauliche sono di tipo reversibile, installate all'interno degli sbarramenti, in modo tale da sfruttare sia la marea montante, il flusso in entrata nel bacino, sia la marea calante, il flusso in uscita dal bacino. L'impianto francese del

⁷³ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 179 – 181.

Rance si avvale di un'escursione di marea che raggiunge i 13 metri con una potenza di 240.000 kilowatt e una produzione di 600 milioni di kWh all'anno⁷⁴. Oltre all'energia prodotta dalle maree, si annoverano quella generata dalle onde e dalle correnti marine.

Le onde sono originate dall'interazione dei venti con la superficie dei mari e rappresentano un trasferimento di energia dai venti ai mari. La qualità di energia trasferita dipende dalla velocità e dalla durata del vento, oltre che dall'estensione della superficie d'interazione sulla quale avviene questa sinergia di forze.

Studi condotti sul campo hanno dimostrato che la maggiore concentrazione di potenziale energia ondosa è localizzata tra le latitudini 40° e 60° nell'emisfero boreale e in quello australe, dove i venti oceanici hanno maggiore intensità. Per comprendere l'utilizzo delle onde come generatrici di corrente elettrica, è sufficiente ricordare che esse si generano per pressione e per attrito dell'aria che lambisce l'acqua. Il potenziale più elevato è sempre posto sulle coste che si trovano all'estremità di grandi spazi marini su cui soffiano per lunghe estensioni venti sostenuti, dato che l'energia delle onde è crescente con l'estensione della superficie di interazione tra vento e acqua. Per esempio, il Regno Unito è un sito favorevole, giacché si trova all'estremo orientale di un lungo corridoio attraverso l'atlantico e a 50° di latitudine. Altre aree favorevoli sono le coste orientali del Giappone e le coste occidentali di Scozia, Norvegia, Irlanda e Stati Uniti. L'energia delle onde viene convertita in energia meccanica tramite colonne d'aria o di acqua oscillanti, oppure mediante corpi solidi mobili e galleggianti. Ad esempio, collegando dei galleggianti in superficie con alcuni pistoni sommersi, a loro volta collegati a un generatore, si ha la possibilità di produrre corrente elettrica⁷⁵. L'energia meccanica può essere trasformata in energia elettrica. Allo stato dell'arte lo sviluppo di tale fonte energetica è in fase sperimentale, se si escludono applicazioni su boe segnaletiche d'alto mare (circa 3 kW installati). L'installazione più importante è l'impianto entrato in funzione in Norvegia nel 1986: utilizzando la tecnica di un canale chiudibile che

⁷⁴ "L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili", *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 472 – 478.

⁷⁵ Varvelli R., "Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?" Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 179 – 181.

sfrutta l'energia delle onde per pompare acqua in un bacino idrico di raccolta, essa produce energia idroelettrica in modo convenzionale. Questo impianto ha una potenza elettrica di 350 kW e utilizza onde con una potenzialità annua di 20 kW/m⁷⁶.

1.2.3 Energia eolica

L'esistenza dei venti dipende da vari fattori, il principale dei quali è la radiazione solare, che raggiunge la superficie terrestre in modo non uniforme, riscaldandola fortemente all'equatore e poco o nulla ai poli, e in modo alterno (notte-giorno). Questa disomogeneità associata alle variazioni nella capacità di assorbimento e riemissione della radiazione ricevuta da parte del terreno e delle acque, crea nell'atmosfera sovrastante (troposfera) gradienti orizzontali, oltre che verticali, di temperatura, densità e pressione, che generano i venti⁷⁷. La circolazione dell'aria a livello planetario viene completata dalla presenza di due celle per ciascun emisfero localizzate rispettivamente a 60° e 30° di latitudine. Nel complesso, pertanto, si individuano sia zone di bassa pressione, a 60° di latitudine nord e sud, nonché all'Equatore, sia a zone di alta pressione a 30° di latitudine nord e sud, che sono poi le zone dei due Tropici e ai Poli.

Per effetto della rotazione terrestre tali correnti d'aria subiscono una deviazione in direzione tangenziale, che alle medie latitudini determina la presenza di venti con direzione prevalentemente da ovest verso est. Passando dalla scala globale a quella locale, la direzione e l'intensità dei venti presenta molte peculiarità in funzione delle caratteristiche dell'area⁷⁸. I venti locali sono generati da due diversi meccanismi di inerzia termica o riscaldamento differenziale e riguardano, in un caso, l'interazione tra la terra e l'acqua e, nell'altro, la relazione che intercorre tra le superfici inclinate di colline e montagne e le pianure. Le masse d'aria a contatto con la terra si riscaldano maggiormente rispetto a quelle a contatto con l'acqua e si muovono verso

⁷⁶ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 472 – 478.

⁷⁷ Il vento può essere definito come una massa d'aria che si muove in direzione essenzialmente orizzontale per effetto del diverso riscaldamento della superficie terrestre.

⁷⁸ Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, pp. 38 – 40.

l'alto sostituite da queste ultime (brezze marine). Durante la notte questo meccanismo si inverte (brezze di terra), poiché la terra si raffredda più rapidamente dell'acqua. Durante il giorno, quindi, l'aria calda risale i pendii, mentre nel corso della notte effettua il percorso esattamente inverso. Il meccanismo descritto delinea non solo i vantaggi relativi al movimento del vento, ma ne sottolinea anche le aree di miglioramento, soprattutto per gli impianti *off-shore*. Queste non possono sfruttare le brezze di terra perché manca la possibilità di accumulare energia, che potrebbero essere immerse in rete nelle ore di maggiore consumo, sfruttando un sistema di pompaggio simile a quello dell'impianto mareomotrice di Rance⁷⁹. L'energia del vento, o energia eolica, corrisponde all'energia cinetica di una corrente fluida.

Le interazioni del vento con la superficie terrestre, associate al gradiente verticale di temperatura nell'atmosfera, causano una variazione della velocità in rapporto alla quota: i venti sono più forti alle quote maggiori; inoltre sono più forti e stabili in mare aperto, dove dominano i venti planetari⁸⁰. L'orografia rappresenta un elemento estremamente rilevante ai fini della valutazione delle potenzialità eoliche di un sito. A parità di vento geostrofico, un suolo liscio determina velocità maggiori al suolo. In presenza di rilievi, collinari o montuosi, si registra un aumento della velocità del vento, quindi sarebbe preferibile installare le turbine eoliche sulla cresta delle alture presenti nel sito, piuttosto che a valle. Rilevazioni sperimentali hanno evidenziato come la velocità misurata sulla cresta delle colline possa risultare superiore del 50-80% rispetto alla velocità del vento misurata a sufficiente distanza dai rilievi⁸¹.

Il fattore di sfruttamento dell'energia eolica disponibile nel sito rappresenta l'energia annualmente convertibile in energia meccanica utile rispetto a quella cinetica disponibile. Il potenziale annuo per un sito, a causa della forte variabilità dei venti, è ricavabile solo attraverso un rilevamento statistico della velocità e della

⁷⁹ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 115 – 117.

⁸⁰ *“L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”*, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 458 – 464.

⁸¹ Cocco D., Palomba C., Puddu P., *“Tecnologie delle energie rinnovabili”*, SGE Editoriali, Padova, 2008, p. 47.

densità di potenza, ma per motivi tecnologici ed economici legati alla natura delle macchine eoliche non viene mai completamente sfruttato.

Lo sfruttamento della fonte eolica di energia è sostanzialmente legato alla produzione di energia elettrica, tramite aeromotori direttamente collegati a generatori elettrici. Gli aerogeneratori sono progettati per iniziare a funzionare con un vento di 3-4 m/s e raggiungere la massima potenza ed efficienza al raggiungimento di una velocità di 10 -14 m/s. Ne consegue che un sito ottimale deve avere una velocità del vento che permane il più possibile nel campo 5-10 m/s. In media e approssimativamente si ha un fattore di sfruttamento eolico-elettrico effettivo pari a circa il 35% del potenziale eolico⁸².

Dal punto di vista delle tipologie di impiego, le turbine eoliche possono attualmente essere raggruppate in due grandi categorie: macchinari per la produzione di energia elettrica direttamente collegate con la rete di distribuzione e macchine per la produzione di energia per l'alimentazione di utenze isolate.

In relazione a tali tipologie, le turbine eoliche possono essere classificate in funzione di diversi parametri, come la disposizione dell'asse (orizzontale o verticale), la taglia di potenza, il numero di pale, il tipo di energia prodotta, ecc. In relazione a quest'ultimo aspetto, si parla più propriamente di aeromotori, quando la catena cinematica collegata al rotore eolico viene impiegata direttamente per azionare la macchina operatrice, come ad esempio una pompa per l'acqua. Le macchine che azionano invece un generatore elettrico sono più indicate come aerogeneratori e sono, attualmente, quelle più diffuse. La grande maggioranza delle turbine eoliche è costituita da macchine ad asse orizzontale. Tuttavia, esistono anche macchine, in genere di piccola taglia, ad asse verticale.

Un “generatore eolico” è costituito fondamentalmente da tre parti, ognuna delle quali con funzioni diverse, e precisamente:

1. una torre di sezione circolare appoggiata saldamente al terreno con spesse fondazioni, con “funzione di sostegno”; all'interno della torre corrono i cavi per il collegamento con le linee elettriche esterne;

⁸² “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore, Milano, 2005, p. 464.

2. una “gondola” o navicella che contiene all'interno l'albero di trasmissione, il moltiplicatore di giri e l'apparecchiatura elettrica con “funzione di generatore di corrente”;
3. un rotore costituito da due o tre eliche di metallo (raramente una)

La potenza di un generatore eolico è proporzionale all'area interessata dalle eliche del rotore; tanto più lunghe sono le eliche, tanto più si sviluppa energia. Per valutare la bontà di un sito sono necessarie accurate indagini, che, a volte, possono durare anni⁸³. Le variabili che condizionano la resa di un generatore eolico in rapporto al vento sono⁸⁴:

- le ore di vento all'anno;
- la densità dell'aria;
- la velocità del vento.

Quest'ultima viene misurata sulla base della scala di Beaufort. La velocità del vento, ideale per il buon funzionamento di un generatore eolico, deve essere di 7 – 8 metri al secondo, pari a 25 – 30 chilometri all'ora, che nella scala di Beaufort corrisponde al “vento moderato”. Esistono due soglie, una minima e una massima, affinché l'aerogeneratore produca energia elettrica. Al di sotto di una determinata velocità minima del vento, l'aerogeneratore non eroga energia elettrica e il rotore resta fermo. Questa soglia minima è generalmente posta ad una velocità del vento di 3 metri al secondo. Esiste anche una soglia massima, oltre la quale il rotore dell'aerogeneratore smette di girare per evitare danni alla turbina. La potenza del vento superiore a 35 metri al secondo è tipicamente un confine. Oltre questa velocità l'aerogeneratore non produce energia elettrica.

⁸³ I principali parametri sono gli indicatori biologici (grado di diffusione permanente di fogliame e dei tronchi degli alberi), geomorfologici (ostacoli naturali e antropici quali edifici, rugosità e orografia del terreno), socioculturali (tendenze politiche degli abitanti), nonché un attento esame dei vincoli esistenti (ambientali archeologici, demaniali). La selezione definitiva viene fatta dopo un periodo di misura della velocità e direzione del vento. Anche l'esistenza di strade adeguate e la vicinanza a linee elettriche devono essere tenute in considerazione, poiché hanno implicazioni dirette con la redditività di un parco eolico.

⁸⁴ Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, pp. 84 – 85.

Un altro fattore rilevante per la valutazione della produzione di energia è il cosiddetto “rendimento a schiera” del parco eolico. Se si prendono in considerazione due o più macchine, nel caso in cui la distanza tra le stesse non sia sufficientemente elevata, la turbina disposta sottovento avrà a disposizione un flusso d'aria impoverito, ovvero con maggiore turbolenza. Infatti, per effetto del disturbo aerodinamico indotto da ciascuna macchina sulle altre, la produzione di energia inserita in un gruppo di macchine è minore della produzione energetica della stessa macchina installata in posizione isolata. La diminuzione della velocità del vento determina una minore produzione di energia, mentre una maggiore turbolenza genera maggiori sollecitazioni che sottopongono le pale a stress meccanico, con possibile pericolo di rottura.

Al fine di evitare fenomeni di interferenza tra le macchine, la distanza fra le stesse dovrebbe essere superiore ad almeno 40 – 50 volte il diametro paleare, cosicché macchine con diametro di 50 metri dovrebbero essere installate a distanze maggiori di 2 – 3 chilometri l'una dall'altra⁸⁵. Ci sono, tuttavia, pareri divergenti riguardo la distanza del posizionamento dei generatori eolici. Per evitare mutue interferenze i mulini dovrebbero essere localizzati ad almeno 150 metri di distanza tra di loro e collocati in aree caratterizzate da un'adeguata ventosità, fermo restando l'inconveniente dell'intermittenza della fornitura elettrica dovuta ai salti di vento⁸⁶. Quanto appena esposto va a sommarsi ad ulteriori fattori che limitano le possibilità di creazione di parchi eolici, quali la disponibilità di aree estese ed idonee, e gli elevati costi legati alla realizzazione di strade e connessioni elettriche⁸⁷.

A completare il quadro relativo allo sfruttamento dell'energia eolica vi sono i costi fondamentali per l'impiego della tecnologia del vento, quali:

1. Il costo dell'investimento iniziale. Tale valore, per essere confrontato, ha bisogno di essere convertito in “ammontare annuo”. L'ammortamento è la ripartizione, su un arco temporale prestabilito, dell'investimento iniziale per la costruzione dell'impianto (centrale torre, pannelli) e sua messa in opera.

⁸⁵ Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, p. 80.

⁸⁶ Treccani, “*Tecnologie*”, in “*Scienza e tecnica*”, Istituto della Enciclopedia italiana, vol V, Roma, 2008, p. 239.

⁸⁷ Cocco D., Palomba C., Puddu P., op.cit., p. 81.

Normalmente, gli anni di ammortamento vanno da 20 a 30, ma in alcuni casi, come nelle centrali nucleari della Russia, della Francia e della Germania, possono superare questo arco temporale. Un impianto è ammortizzato quando alla fine del periodo di ammortamento tutto l'investimento iniziale è stato recuperato addebitandolo alla quantità prodotta, cioè all'energia prodotta;

2. il costo di gestione, considerando le ore delle persone addette direttamente e indirettamente nell'attività dell'impianto, ai costi di manutenzione e alle cosiddette spese generali dell'impianto stesso;
3. il costo della materia prima utilizzata per produrre energia.

Le varie fonti energetiche rispetto a queste tre voci hanno incidenze molto diverse. Nel caso del petrolio, il costo maggiore è quello della materia prima, e cioè del greggio (30 – 45%), seguito dal costo dell'investimento ammortizzato (30 – 40%) e dal costo della gestione (20 – 30%). Nel caso dell'energia nucleare, il costo maggiore è invece quello dell'investimento iniziale della centrale, tenuto conto dell'alta complessità tecnologica del processo e dei costi di smantellamento dell'impianto stesso (60 – 70%), seguito dal costo gestionale (20 – 30%) e da quello della materia prima (10 – 15%). Nell'eolico, la sequenza è simile a quella del nucleare, salvo un aumento maggiore della prima voce, l'investimento ammortizzato, che può raggiungere il 70 – 80%, essendo il costo di gestione pari al 20 – 30% e nullo il costo della materia prima. Da 20 anni nel computo delle voci di costo si sono inseriti i costi di impatto ambientale, estremamente difficili da quantificare a livello economico⁸⁸.

Per quanto riguarda la sostenibilità e le tempistiche per l'ammortamento dei costi e dei fattori di inquinamento che si producono durante il processo di costruzione dei generatori eolici è interessante valutare ulteriori parametri.

Per costruire una turbina eolica da 850 kW, trascurando gli altri materiali secondari, sono necessari circa 85 tonnellate di acciaio (per la struttura della navicella, l'albero, la torre, ecc.), circa 8 tonnellate di fibra di vetro (per le pale e la navicella), circa 3

⁸⁸ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 135 – 137.

tonnellate di rame (per il generatore elettrico e per i cavi) nonché circa 80 tonnellate di calcestruzzo (essenzialmente per le fondazioni). Considerando i consumi di energia primaria richiesti per la fabbricazione di ciascuno di questi materiali⁸⁹, la realizzazione della turbina sopraindicata richiede circa 1,6 GWh di energia primaria. Ipotizzando che la turbina produca circa 1,7 GWh/anno corrispondenti a 4,85 GWh in termini di energia primaria (assunto pari a 0,35 il rendimento medio del sistema di generazione e di trasmissione dell'energia elettrica in una nazione come l'Italia), si ottiene un tempo di recupero dell'energia pari a 4 mesi⁹⁰.

A partire dal 2007, si sia avuto un notevole e costante incremento di installazioni eoliche negli ultimi anni, in particolare in Cina e negli Stati Uniti.

La capacità di produzione di energia elettrica dall'eolico nel 2012 è aumentata del 18,9%, con nuove installazioni che hanno aggiunto un potenziale energetico pari a 45 GW, raggiungendo così i 284 GW prima della fine del 2012. L'andamento del tasso di crescita relativo all'ultima decade si attesta sul 25%. Ciò significa che ogni tre anni si ha un raddoppio della capacità energetica estraibile da questa fonte. L'energia eolica, al momento, genera 521 TWh di elettricità, pari al 2,3% del computo totale di produzione di energia mondiale. Per fornire una misura e un paragone concreto, è sufficiente dire che l'ammontare di energia prodotta è pari a quella necessaria a soddisfare il fabbisogno energetico complessivo della Corea del Sud.

A livello internazionale, la Cina detiene la maggiore capacità cumulativa di produzione energetica dall'eolico con installazioni pari a 75,4 GW. Nel 2012, tuttavia, gli Stati Uniti hanno registrato il maggiore aumento di nuove installazioni, aggiungendo 13,1 GW⁹¹. L'Europa, con Germania e Spagna in prima linea, mantiene il suo primato di maggior detentore di capacità energetica eolica installata, con 109,6 GW pari al 38,5% degli impianti presenti a livello globale: l'energia eolica sta acquisendo un ruolo importante nella produzione di energia elettrica nell'Unione Europea. In Danimarca, nel 2012, ad esempio, l'eolico ha fornito ben il

⁸⁹ Per produrre un chilo di acciaio servono in media 15 kWh, per un chilo di rame servono 25 kWh, per un chilo di fibra di vetro occorrono 28 kWh, mentre per un chilo di calcestruzzo 0,5 kWh.

⁹⁰ Cocco D., Palomba C., Puddu P., *“Tecnologie delle energie rinnovabili”*, SGE Editoriali, Padova, 2008, pg. 96.

⁹¹ Fonte: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/wind-energy.html>

34,1% dell'energia nazionale richiesta durante il 2012. Negli ultimi cinque anni sia la regione Asia Pacifico, trainata dalla Cina, sia quella del Nord America sono cresciute molto rapidamente, conquistando, la prima una quota di mercato pari a 35,6% e la seconda del 29,3%.

1.2.4 Energia geotermica

La struttura della Terra, come è noto, è composta da strati che formano sfere concentriche e hanno una temperatura che diminuisce all'aumentare della posizione del singolo strato rispetto al nucleo.

Lo sfruttamento dell'energia geotermica consiste nell'utilizzazione del calore contenuto nella crosta terrestre, che risale e si propaga dalle zone più profonde della Terra, fenomeno definito “gradiente termico”. Il gradiente termico terrestre è discontinuo. Nel tratto corrispondente alla crosta, il cui spessore va dai 6 chilometri nella zona sottostante le acque oceaniche ai 35 chilometri nella zona continentale, è sufficientemente uniforme e pari a 3 °C ogni 100 metri di profondità e quindi a 30 °C ogni mille metri di verticale⁹².

Il valore del flusso geotermico, originato dal decadimento radioattivo di alcuni elementi nella parte solida della Terra, è enorme, ma le risorse di calore tecnologicamente ed economicamente accessibili si limitano alla parte più superficiale della crosta, con una profondità non superiore ai 5 chilometri, e circoscritte alle fasce di discontinuità tra le diverse placche della litosfera.

“Si tratta, infatti, di zone tettoniche molto attive, come conseguenza del movimento delle placche continentali che creano situazioni favorevoli alla risalita del magma e alti valori di flusso termico. Tali zone sono: la fascia circumpacifica, la fascia in corrispondenza della catena sottomarina atlantica, la fascia della catena alpino-himalayana, l'Africa orientale e il settore occidentale della penisola arabica, il settore centrale dell'Asia continentale”⁹³.

⁹² Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, p. 47.

⁹³ “*L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili*”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, p. 582.

In un sistema geotermico, l'acqua penetra nel sottosuolo attraverso rocce permeabili, formando delle falde sotterranee e, per effetto del calore trasmesso alle rocce da una fonte, quale una massa magmatica, si riscalda fino a raggiungere temperature di alcune centinaia di gradi; il fluido (acqua e/o vapore) in queste condizioni risale lungo faglie o fratture dando luogo alle manifestazioni superficiali. Il vettore fluido (acqua o vapore), naturale o iniettato, deve poter defluire in gran quantità entro rocce porose e permeabili (rocce serbatoio). Queste, a loro volta, devono essere protette da rocce impermeabili (rocce di copertura), che impediscano o limitino la dispersione dei fluidi e del calore.

La risalita può anche essere indotta artificialmente tramite una perforazione meccanica (pozzo geotermico). Il fluido così captato, dopo alcuni trattamenti, è inviato agli impianti di utilizzazione per la produzione di energia elettrica o l'uso diretto⁹⁴.

I campi geotermici si distinguono nelle seguenti tipologie⁹⁵:

- sistema idrotermale, caratterizzato da una roccia serbatoio, incapsulata in rocce impermeabili, contenente fluido acquifero, reale vettore del calore geotermico. Può essere suddiviso in campi ad acqua dominante, a bassa (<150 °C) e ad alta temperatura (150 – 200 °C); e campi a vapore dominante (250 – 300 °C);
- sistema a rocce calde secche, caratterizzato da un'assenza di fluidi per mancanza di permeabilità. La generazione di energia da questo sistema potrebbe avvenire attraverso la fratturazione artificiale, pressione idraulica o tramite mezzi esplosivi, della roccia a cui seguirebbe l'immissione forzata di fluido vettore, nello specifico di acqua, per catturare e trasportare il calore in superficie;
- sistema magmatico, caratterizzato dalla possibilità di riscaldare il fluido vettore attraverso il contatto diretto con il magma;
- sistema geopressurizzato, non diffuso in quanto la pressione litostatica

⁹⁴ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pp. 181 – 182.

⁹⁵ *“L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”*, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 583 – 587.

dipende dalla formazione orogenetica del serbatoio. In questi casi oltre alla presenza di energia geotermica si può estrarre anche energia meccanica grazie alla presenza di combustibili quali idrogeno e metano;

- sistema a calore terrestre, basato sulla naturale temperatura di 30 °C/km della crosta terrestre per azionare le pompe di calore, utilizzando come vettore i depositi acquiferi relativamente superficiali.

La perforazione geotermica si avvale di una tecnologia simile a quella petrolifera, anche se in questo caso sono presenti variabili e difficoltà maggiori per la composizione dei terreni, le elevate temperature e la presenza di fluidi incrostanti e corrosivi. La perforazione, quando si sviluppa un progetto geotermico, corrisponde ad una percentuale elevata dell'intero ammontare dell'investimento, oscillando tra il 50% e il 70%. Per favorire l'efficienza e l'economicità della perforazione è importante la precisa analisi della tipologia del serbatoio e se si tratta di serbatoio dominante ad acqua o a vapore. Il liquido ideale per la perforazione dei campi geotermici è l'aria compressa, perché permette di valutare le caratteristiche del serbatoio senza dover interrompere la perforazione.

Il trasposto avviene attraverso delle condutture che si avvicinano per tipologia a quelle dei normali acquedotti, ma differiscono in base a ciò che vi scorre: vapore, fluido o entrambe. Il prodotto estratto viene inviato alle centrali geotermiche per la produzione di energia, strutturato in modo simile ad una normale centrale termoelettrica, con una capacità produttiva, al momento, decisamente inferiore, seppur con un impatto ambientale quasi nullo, in quanto i reflui che derivano dalla produzione vengono, per la maggior parte, inniettati nel serbatoio fungendo da ricarica naturale dello stesso⁹⁶. Sebbene questa fonte sia annoverata tra quelle rinnovabili, l'energia geotermica, intesa come energia trasmessa per conduzione termica dal nucleo centrale della Terra verso la sua superficie, non è rinnovabile. Infatti, a causa della sua bassa velocità di propagazione, e di disponibilità a profondità accessibili, è possibile provocare un “depauperamento” della fonte stessa.

⁹⁶ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 590 – 617.

Per garantire la “rinnovabilità” del sistema geotermico, ovvero la sostituzione del fluido sottratto durante l'utilizzazione, è necessaria l'esistenza di una zona di alimentazione esterna. Il fluido, in questo caso, proviene prevalentemente da acqua meteorica. Nel caso di serbatoi “confinati” l'eventuale ricarica è effettuata solo artificialmente mediante la reiniezione. L'energia prodotta con le attuali tecnologie, può essere sfruttata nelle zone limitrofe, come succedeva per il gas naturale agli inizi del XX secolo, quindi come già avvenuto, anche in questo ambito potrebbero verificarsi importanti sviluppi della tecnologia applicata.

Secondo quanto riportato all'interno della sezione online “*Geothermal capacity*” del BP, la capacità dell'energia geotermica di produrre elettricità nel 2012 è cresciuta del 2,6%, pari a 290 MW, raggiungendo un potenziale di 11,4 GW. La maggior parte di questo incremento di capacità produttiva è stato sviluppato e aggiunto alle installazioni presenti negli Stati Uniti con una quota di energia pari a 147 MW. L'energia geotermica, tuttavia, risulta concentrata in un numero limitato di Paesi. Gli Stati Uniti detengono un potenziale mondiale di produzione di energia da questa fonte di 3,4 GW, pari al 29,6% del totale mondiale, seguito dalle Filippine con 2 GW di potenza generata, l'Indonesia con 1,3 GW e il Messico con 0,8 GW⁹⁷.

1.2.5 Solare termostatico

La superficie terrestre è raggiunta dalla radiazione solare diretta, diffusa e riflessa: la loro somma rappresenta la radiazione solare totale, definita come la radiazione complessivamente incidente su una superficie. La radiazione diretta intercettata dalle formazioni nuvolose viene assorbita, riflessa e diffusa dall'acqua che le costituisce ed è quindi convertita in radiazione diffusa.

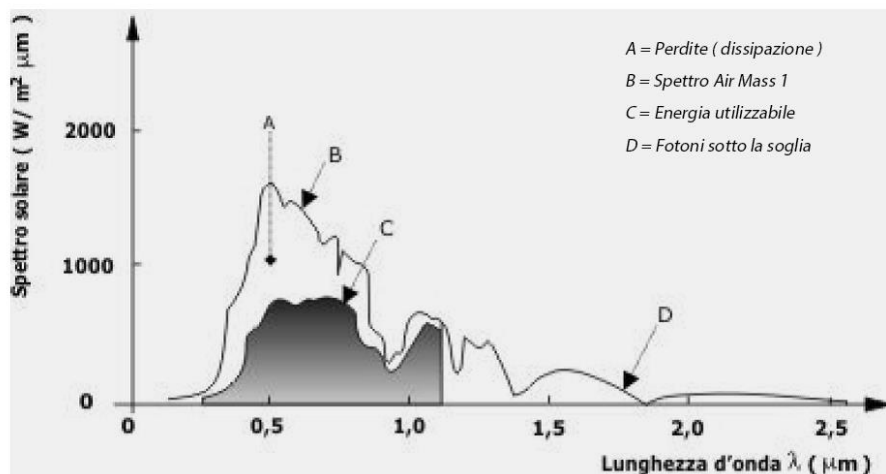
La radiazione può quindi essere suddivisa in:

$$I = I_{dir} + I_{diff} + I_{rif}$$

⁹⁷ Fonte: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/geothermal-capacity.html>.

Il Sole irradia potenza sotto forma di energia elettromagnetica emessa dalla superficie e sostenuta dalle reazioni nucleari che si svolgono al suo interno. Ciò che chiamiamo luce è lo spettro visibile della radiazione elettromagnetica incidente sulla Terra.

Non tutta la radiazione solare incidente viene assorbita dalla Terra: circa il 29% viene riflessa dall'atmosfera e dall'idrosfera⁹⁸ verso il Sole e lo spazio siderale, per una potenza complessiva di 50.000 TW. Di conseguenza l'energia mediamente fornita dal Sole alla Terra rappresenta all'incirca il 71% della potenza incidente e, secondo alcune stime, risulta possedere un potenziale di 122.500 TW, valore di gran lunga superiore al quantitativo di energia prodotta artificialmente, che si aggira intorno ai circa 15 TW⁹⁹.



Spettro Solare. Elaborazione dell'autore

Il diagramma che disciplina la relazione tra irradiazione (asse delle ordinate) e lunghezza d'onda (asse delle ascisse) mostra come circa il 25% dello spettro solare sia “inefficace”: la lettera D, infatti, indica quella porzione di fotoni sotto la soglia di sfruttamento.

⁹⁸ L'idrosfera è l'insieme di tutte le acque presenti sulla Terra. La maggior parte è rappresentata da mari e oceani, ma anche le acque dolci ne fanno parte. Fonte Enciclopedia Treccani.

⁹⁹ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 439 – 441.

L'energia solare disponibile sulla superficie terrestre per la conversione in altre forme di energia è influenzata da differenti fattori¹⁰⁰:

- la posizione relativa del Sole che varia giornalmente e stagionalmente;
- le condizioni atmosferiche, sia generali sia microclimatiche (includendo anche l'inquinamento), di origine naturale o di origine antropica;
- l'altitudine del luogo considerato sul livello del mare;
- le ore di soleggiamento.

Questi elementi si sommano alla variabilità che connota la potenzialità e lo sfruttamento dell'energia solare¹⁰¹. Per quantificare questa risorsa non sono, infatti, sufficienti i dati relativi all'irradianza totale e alla potenza della radiazione solare per unità di superficie incidente¹⁰². È fondamentale, quindi, disporre e prendere in considerazione anche dati che orientino alla corretta valutazione del sito considerato, quali¹⁰³:

- irradiazione solare totale giornaliera media mensile sul piano orizzontale;
- irradiazione solare totale giornaliera media mensile su superficie orientata e inclinata;
- irradiazione solare diretta normale giornaliera media mensile;
- irradiazione solare diretta giornaliera media mensile su superficie orientata e inclinata;
- irradiazione solare diffusa giornaliera media sul piano orizzontale.

¹⁰⁰ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 447 – 448.

¹⁰¹ Il contenuto energetico annuale della radiazione solare che incide sulla superficie terrestre è di 1.5×10^{21} Wh. L'energia solare mediamente disponibile sulla superficie terrestre, con sole allo Zenith e cielo sereno è di 1 kW/m^2 .

¹⁰² L'irradianza solare diretta per uno specifico sito terrestre è massima a mezzogiorno, minima all'alba e al tramonto, massima d'estate, minima di inverno, e decresce passando dall'equatore al polo.

¹⁰³ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, p. 448.

L'Air Mass è invece un indice che descrive la quantità di atmosfera che i raggi solari attraversano prima di arrivare sulla superficie terrestre. L'indice AM pari a 0, denota l'assenza di atmosfera e rappresenta dunque un parametro che può essere utilizzato per gli impianti solari presenti sulla superficie dei satelliti.

$$AM = \frac{1}{\cos \beta}$$

L'angolo β dipende dall'angolo di incidenza. Tale relazione risulta valida se l'angolo preso esame rientra in una variazione tra i 0 ed i 70 gradi visto che per angoli superiori va considerata la curvatura della Terra. Inevitabilmente maggiore è la porzione di atmosfera attraversata dai raggi, minore sarà di conseguenza la potenza ricevuta. Sul nostro pianeta l'irraggiamento medio è di circa 1000 W/m². Gli attuali sistemi di conversione dell'energia solare si basano sui cosiddetti collettori solari, che intercettano la radiazione su una superficie di collezione e la inviano a uno o più convertitori per la trasformazione in energia termica o elettrica. La qualità dell'energia ricavabile per la conversione è legata all'intensità della radiazione trasmessa al convertitore: maggiore è l'intensità migliore sarà la qualità dell'energia ricavabile.

I collettori solari si distinguono in relazione al tipo di conversione: i collettori termici convertono la radiazione solare in energia termica; i collettori fotovoltaici e quelli termodinamici, che verranno analizzati nel prossimo paragrafo, attraverso diversi processi, convertono la radiazione solare in energia elettrica.

I collettori termici sono relativamente indifferenti alla distribuzione spettrale della radiazione solare incidente, le prestazioni dei collettori fotovoltaici e, in particolare delle celle solari che costituiscono i convertitori, al contrario ne sono condizionati. Per ogni tipo di tecnologia solare adottata un parametro che va tenuto in considerazione è l'altezza solare, che risulta essere:

$$\sin \alpha = \sin L * \sin \delta + \cos L * \cos \delta * \cos h$$

Dove L è la latitudine, δ la declinazione (l'angolo formato tra i raggi solari a mezzogiorno nella specifica località con il piano equatoriale), mentre h è la distanza angolare tra il sole e la sua posizione a mezzogiorno.

La quantità di energia convertibile è direttamente proporzionale alla superficie di collezione, al suo orientamento e alle caratteristiche del convertitore.

In media, per quanto riguarda i “sistemi fissi” si raccoglie più radiazione rispetto alla superficie orizzontale se la superficie è rivolta a sud ed è inclinata di un angolo pari alla latitudine del sito nel quale vengono posti. Questo non avviene se i sistemi installati sono “sistemi mobili”, in quanto la loro superficie di raccolta tende a muoversi, mantenendosi sempre perpendicolare al raggio solare.

La conversione termica trova applicazione diretta per il riscaldamento e in modo indiretto per il rinfrescamento ambientale, per la produzione di acqua calda sanitaria e nei processi tecnologici a bassa temperatura (essiccazione, deumidificazione, dissalazione ecc.), tramite i sistemi solari attivi, oppure, per il riscaldamento ambientale, tramite i sistemi passivi (strutture edilizie che fungono da collettori e accumulatori dell'energia solare).

Il problema centrale per lo sfruttamento dell'energia solare, comune a gran parte dei sistemi di conversione, è la necessità di disporre di sistemi di accumulo dell'energia secondaria prodotta e non immediatamente utilizzata o utilizzabile¹⁰⁴.

Il solare termostatico non produce elettricità, ma soltanto calore. Il prodotto di questo tipo di impianto è acqua calda detta “sanitaria” o “di riscaldamento”. Il principio di produzione di calore si basa sul riscaldamento di un liquido, contenuto all'interno di tubi di rame uniti ad un collettore. Il liquido (solitamente glicol propilenico o glicol più acqua demineralizzata), esposto alle radiazioni solari, scaldandosi diviene più leggero e sale verso un serbatoio, detto “bollitore”. Il fluido così riscaldato, attraverso un'intercapedine, cede il calore all'acqua presente

¹⁰⁴ Il miglioramento dei sistemi di accumulo rappresenta una priorità per rendere competitiva l'opzione fotovoltaica. Sono diverse le soluzioni di accumulo attualmente considerate: batterie elettrochimiche, condensatori elettrochimici e sistemi con stoccaggio di idrogeno. La combinazione di questi tre tipi di tecnologie spesso risulta essere la soluzione migliore in termini di capacità ed efficienza. La combinazione di diversi sistemi di accumulo che siano in grado di compensare l'aleatorietà della corrente disponibile e l'integrazione di più componenti di un singolo sistema è subordinata all'armonizzazione delle tensioni di uscita. Un sistema di accumulo combinato rappresenta senza dubbio la soluzione più vantaggiosa attraverso l'integrazione di più dispositivi.

all'interno del serbatoio, che a sua volta entra nel circuito di utilizzazione. Un solo metro quadrato di collettore solare può scaldare fino a 45 – 60 gradi centigradi tra i 40 e i 300 litri d'acqua al giorno, a seconda delle condizioni climatiche e in funzione della tipologia del collettore¹⁰⁵.

I collettori solari possono essere di cinque tipi diversi.

1. Collettori piani (i più comuni): sono composti da una cella e da un'intelaiatura termicamente isolata, coperta da un vetro protettivo in grado di sopportare pioggia, grandine e temperature rigide¹⁰⁶.
2. Collettori sottovuoto (di forma cilindrica, più costosi ma più efficienti): sono composti da tubi di vetro speciale, ricoperti da uno strato altamente selettivo che trasforma la luce solare in calore. A differenza dei pannelli a piastra, questa tipologia di collettori sottovuoto disperde meno calore, essendo il vuoto il migliore isolante, per cui non si verificano perdite per convezione e conduzione e pertanto il loro rendimento è superiore a quello dei collettori piani. Inoltre, vista la loro maggiore resa, richiedono una minore superficie espositiva rispetto alle altre tipologie di pannelli e sono capaci di trattenere il calore accumulato anche in condizioni atmosferiche molto rigide, garantendo prestazioni elevate e costanti durante l'intero arco dell'anno. Per questi motivi possono essere utilizzati anche in zone con un'insolazione medio-bassa o con condizioni climatiche particolarmente rigide durante l'inverno, come in alta montagna e nei paesi nordici.
3. Collettori ad accumulo (oltre a riscaldare l'acqua hanno incorporato l'accumulo per l'acqua calda): detti anche “monoblocco”, di costruzione molto semplice rispetto alle precedenti categorie, sono prevalentemente composti da un serbatoio in acciaio inox che viene esposto direttamente al sole; solitamente sono asserviti a un collettore piano integrato.
4. Collettori scoperti: sono privi del vetro di copertura; l'acqua da riscaldare passa direttamente all'interno dei tubi dell'assorbitore. Hanno un costo

¹⁰⁵ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, p. 110.

¹⁰⁶ I collettori piani o pannelli a piastra, a loro volta, si possono suddividere in due tipologie: a superficie non selettiva, il vetro induttivo è semplicemente verniciato in nero per captare e trattenere meglio e più a lungo i raggi solari; a superficie selettiva, cioè l'assorbitore di calore, è potenziato da un prodotto a infrarosso che consente di trattenere maggiormente il calore del sole.

notevolmente più basso dei pannelli vetrati e l'installazione è molto semplice. Il loro rendimento è limitato e per poter funzionare, richiedono temperature esterne non inferiori ai 20 °C. Sono adatti per gli utilizzi nella stagione estiva (stabilimenti balneari, alberghi stagionali, campeggi, seconde case).

5. Collettori ad aria: sono collettori del tutto simili ai normali pannelli vetrati, ma in questo caso il fluido vettore è l'aria, anziché l'acqua. In genere l'assorbitore è alettato in un modo da rendere lento e tortuoso il percorso del flusso dell'aria, perché il calore viene scambiato con maggior difficoltà rispetto all'acqua¹⁰⁷.

1.3 L'energia solare: fotovoltaico, termodinamico e nuove tecnologie

1.3.1 L'energia fotovoltaica, funzionamento ed applicazione

Nei sistemi solari fotovoltaici la cattura della radiazione solare si attua sulla superficie di opportune celle di un materiale semiconduttore. Quello maggiormente impiegato nella costruzione delle celle è il silicio. Il recente incremento del costo del silicio puro, dovuto al suo impiego nel settore solare e nell'industria elettronica, ha stimolato la ricerca di soluzioni alternative, atte a ridurre al minimo l'utilizzo di questa risorsa. Attualmente, si tende ad usare il silicio policristallino con purezza molto elevata, anche se si sta diffondendo l'utilizzo di celle a film sottili che, grazie alla loro flessibilità, possono essere facilmente utilizzate per applicazioni non convenzionali e/o integrate nelle costruzioni.

In alternativa all'impiego del silicio, l'attenzione è rivolta alla preparazione di semiconduttori a base di composti policristallini, che sembrano offrire una valida opzione per ridurre i costi, perché ottenibili con processi relativamente semplici. In questo caso i materiali utilizzati sono il seleniuro di indio e rame (CIS) e il telluriuro di cadmio (CdTe). Un altro materiale è l'arseniuro di gallio (GaAs), che permette di

¹⁰⁷ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, pg. 110 – 113.

realizzare celle stabili con efficienza elevata, sia per i materiali impiegati, sia per il metodo di preparazione su larga scala¹⁰⁸.

La prima cella fotovoltaica fu realizzata all'inizio degli anni Cinquanta del secolo scorso presso i laboratori della Bell Telephon, sfruttando l'effetto scoperto da Alexandre-Edmond Becquerel nel 1839 e teorizzato da A.Einstein nel 1905, ma rimasto a lungo una pura curiosità scientifica. Le prime applicazioni riguardarono il settore spaziale, nel quale il costo dell'energia aveva un'incidenza molto modesta. Questi primi sforzi portarono a efficienze dal 6%, usando guarnizioni p-n di solfuro di cadmio e silicio. Il programma spaziale, con la necessità di alimentare i satelliti, diede un forte stimolo alla ricerca.

A seguito della crisi energetica del 1973 iniziarono le prime applicazioni terrestri di celle fotovoltaiche, con lo sviluppo di programmi di ricerca volti a diminuire il costo di produzione degli impianti fotovoltaici per rendere competitiva l'energia prodotta con questa tecnologia, con quella dei combustibili fossili.

“Da un punto di vista elettrico, una cella fotovoltaica è assimilabile all’insieme costituito da un generatore ideale di corrente continua e da un diodo, ovvero a un componente che permette alla corrente di scorrere in una sola direzione mentre blocca il flusso in quella opposta. L’effetto fotovoltaico rappresenta il generatore di corrente, la cui intensità è proporzionale all’efficienza di conversione η e alla radiazione totale incidente I_{irr} ”¹⁰⁹.

La seguente equazione disciplina la tensione ai capi di un diodo con la corrente che vi circola:

$$I_D = I_0 \left(e^{q \frac{V_d}{n \cdot K \cdot T}} - 1 \right)$$

Dove:

- I_0 è la corrente di saturazione inversa del diodo
- V_d è il voltaggio sui capi

¹⁰⁸ Treccani, "Tecnologie", in "Scienza e tecnica", Istituto dell'Enciclopedia italiana, Vol.V, Roma, 2008, pp. 236 - 238.

¹⁰⁹ Rubini L., Sangiorgio S., (a cura di), *Le energie rinnovabili*, Hoepli, Milano 2012, p. 97.

- T la temperatura
- K la costante di Boltzmann
- q la carica dell'elettrone
- n il fattore di idealità collegato alla ricombinazione elettrone-lacuna che si verifica nella giunzione¹¹⁰.

Un generatore fotovoltaico o cella fotovoltaica (detta anche cella solare) è costituito da sottili strati sovrapposti di semiconduttori in silicio, con uno spessore che varia fra 0,15 e 0,35 millimetri, differentemente drogati (per esempio, silicio di tipo “p”¹¹¹ e di tipo “n”), congiunti tra loro tramite giunzioni in metallo¹¹². Queste sfruttano il fenomeno prodotto dall'interazione tra luce incidente e le superfici della cella, che, grazie al movimento delle cariche elettriche negative, creano un flusso di corrente elettrica. Le celle fotovoltaiche vengono assemblate in moduli. Un “modulo” è una struttura rigida e maneggevole, che contiene normalmente 36 celle collegate fra loro. Poiché ognuna di esse è in grado di produrre, in condizioni ottimali, 1,5 watt di potenza, un modulo eroga normalmente 50 watt. Maggiore è il numero di componenti collegati insieme (pannelli, stringhe, generatori) maggiore sarà la possibilità di poter massimizzare l'irraggiamento solare incidente, anche grazie al posizionamento delle stesse su una struttura meccanica, chiamata “sistema” in grado di sostenerlo e orientarlo.

Quando una giunzione viene colpita da radiazione luminosa, tra i due materiali si stabilisce una differenza di potenziale elettrico, che genera e fa circolare corrente elettrica, se collegate da un circuito esterno chiuso, il cosiddetto effetto fotovoltaico¹¹³. Se, invece, il circuito è aperto, il flusso dell'elettrone nella “zona n” e della lacuna nella “zona p” fanno aumentare il campo elettrico. Ristabilendo la

¹¹⁰ Rubini, op. cit., p. 97.

¹¹¹ Analogamente, introducendo in un cristallo di silicio atomi boro, si ottiene un semiconduttore di tipo “p”. I tre elettroni di valenza dell'atomo di boro formano legami covalenti con tre dei quattro atomi di silicio vicini, mentre con il quarto atomo il legame resta debole per la mancanza di un elettrone, si forma cioè una lacuna.

¹¹² Introducendo in un cristallo di silicio atomi di fosforo (operazione di *drogaggio*), in rapporto di un atomo per ogni milione di atomi di silicio, si ottiene un semiconduttore di tipo n. Quattro dei cinque elettroni di valenza dell'atomo di fosforo formano legami covalenti con i quattro atomi di silicio vicini, mentre il quinto elettrone di valenza resta debolmente legato.

¹¹³ “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VII, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 82 - 86.

situazione di equilibrio elettrostatico, il risultato è la conversione dell'energia incidente in energia termica, quindi una dispersione della stessa.

Di tutta l'energia che investe la giunzione sotto forma di radiazione luminosa, solo quella al di sopra di una certa soglia può essere convertita in energia elettrica mediante l'effetto fotovoltaico¹¹⁴.

L'energia in eccesso, invece, viene dissipata in energia termica. Pertanto, di tutta l'energia solare che raggiunge il livello del suolo, solo una piccola parte è utile per la conversione fotovoltaica, anche a causa dei fattori che riducono l'efficienza del pannello (tra le quali si può annoverare, ad esempio, la riflessione).

Le celle fotovoltaiche più comunemente utilizzate sono di tre tipi: le celle in silicio monocristallino, che possiedono i rendimenti più elevati, con valori intorno al 16 – 17%, le celle in silicio policristallino, che hanno un rendimento leggermente inferiore, dell'ordine del 14 – 15% e, infine, le celle in silicio amorfo, che presentano valori minori, solitamente inferiori al 6 – 8%. Le celle in silicio cristallino presentano fenomeni di degrado delle prestazioni molto contenuti (conservano il 90% del rendimento anche dopo 20 anni di utilizzo), mentre le celle in silicio amorfo sono caratterizzate da un significativo degrado dopo i primi mesi di funzionamento. Altre tipologie di celle, a film sottile, presentano buoni rendimenti e previsioni di costo molto incoraggianti.

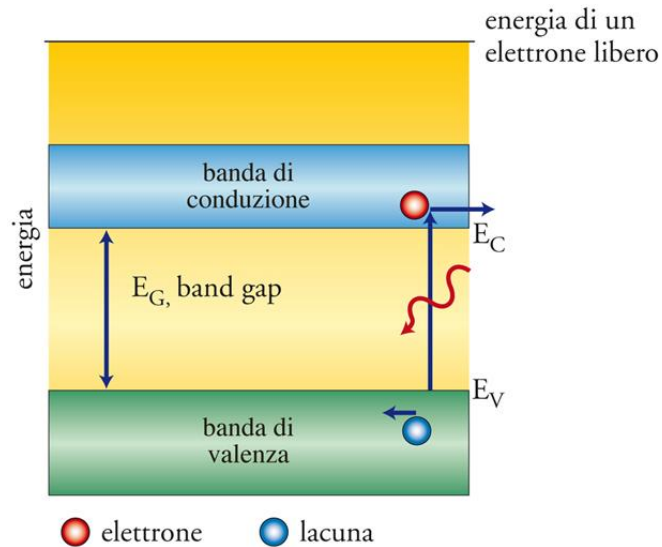
Esiste, tuttavia, una differenza quando si valuta il rendimento delle singole celle e quello dell'impianto fotovoltaico nel suo insieme. Quest'ultimo risulta inferiore perché si sommano diverse variabili che causano dissipazione di energia¹¹⁵. La tecnologia a film sottile ha come vantaggio minori costi iniziali e una maggiore flessibilità nell'adattarsi a forme anche molto complesse¹¹⁶, quindi facilmente integrabili nelle strutture architettoniche. A causa dei costi di generazione di energia

¹¹⁴ Dal momento che una cella a singola giunzione è in grado di assorbire solo una porzione dello spettro solare al fine di aumentare l'efficienza del sistema, è stata studiata l'opzione a giunzioni multiple al fine di aumentare la porzione di spettro assorbibile. In particolare la sovrapposizione di diverse giunzioni, scegliendo un mix di *bandgap* opportuni per ottimizzare lo spettro solare sfruttabile, appare come la soluzione più efficiente.

¹¹⁵ Il rendimento degli impianti risulta solitamente compreso fra il 10 – 12% per quelli realizzati con celle in silicio monocristallino e policristallino, mentre per quanto riguarda quelli in silicio amorfo le percentuali si aggirano intorno al 5 – 7%.

¹¹⁶ Cocco D., Palomba C., Puddu P., "Tecnologie delle energie rinnovabili", SGE Editoriali, Padova, 2008, p. 205.

il fotovoltaico è un tipo di applicazione spesso affiancato da contributi e/o incentivi, utili soprattutto nella fase iniziale.



Descrizione della struttura della banda di valenza e di conduzione

Fonte: [http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche_\(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche_(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica))

Un modulo fotovoltaico è dunque un dispositivo in grado di attuare un processo di conversione dell'energia solare in energia elettrica: l'effetto fotovoltaico si realizza quando un elettrone, eccitato dall'assorbimento di un fotone incidente su uno specifico materiale, compie il passaggio dalla banda di valenza a quella di conduzione. Quando l'elettrone più esterno è libero di allontanarsi dal proprio atomo di origine esso crea di fatto una lacuna. È proprio il comportamento degli elettroni nella banda di conduzione a caratterizzare l'interazione con gli altri atomi e dunque a stabilire la natura del materiale.

Il funzionamento di un sistema fotovoltaico segue la struttura del modello a bande di energia. Ogni materiale, infatti, risulta caratterizzato da una banda di valenza e da una banda di conduzione. È proprio la disposizione di queste bande a determinare la natura specifica del materiale (isolante, conduttore o semiconduttore) e dunque a caratterizzare il funzionamento delle celle fotovoltaiche.

Se un fotone¹¹⁷, un quanto di energia elettromagnetica, riesce ad incidere sul semiconduttore provocando l'eccitazione degli elettroni, verrà prodotta una corrente.

Indicando con E_f l'energia incidente del fotone e con E_g il *bandgap*, la differenza di energia tra la base della banda di conduzione (E_c) ed il vertice della banda di valenza (E_v), dovrà verificarsi questa condizione affinché ci sia energia sufficiente per eccitare un elettrone e portarlo al livello di conduzione.

$$E_f > E_g$$

Dove

$$E_g = E_c - E_v$$

La condizione necessaria affinché l'energia dell'elettrone sia sfruttabile è evitare una sua immediata ricombinazione (come avviene nel caso di un monocristallo puro). Per tale ragione, è necessaria la creazione di una giunzione p-n finalizzata alla costruzione di un elemento fotovoltaico. Per raggiungere questo risultato sarà quindi indispensabile inserire un elemento drogante nel semiconduttore come nel caso del silicio (Si)¹¹⁸.

Per drogaggio si intende, come detto precedentemente, l'introduzione di un'impurezza all'interno del semiconduttore con una valenza che differisce, solo di un'unità, con l'atomo del semiconduttore in oggetto. Nel caso del silicio ad esempio, semiconduttore appartenente al IV gruppo della tavola periodica, il drogaggio sarà effettuato attraverso l'introduzione di atomi trivalenti (III) o pentavalenti (V) con la conseguente creazioni di strutture con eccesso e difetto di elettroni.

¹¹⁷ In fisica, il quanto di energia elettromagnetica. Precisamente, un'onda elettromagnetica di frequenza ν può essere pensata come costituita da particelle, appunto i f., in moto con la velocità dell'onda, c , ciascuno dei quali ha energia $E=h\nu$, h essendo la costante di Planck, e impulso $p=h\nu/c$, quest'ultimo diretto nel verso di propagazione dell'onda. Si tratta di particelle che hanno massa di riposo nulla, carica elettrica nulla, momento magnetico nullo, momento di spin 1; i f. seguono la statistica di Bose-Einstein. Enciclopedia Treccani <http://www.treccani.it/enciclopedia/fotone/>.

¹¹⁸ L'energia di gap del silicio è pari a 1.12 eV.

Nello specifico la struttura cristallina del silicio risulta caratterizzata da 14 elettroni, di cui 4 presenti nella banda di valenza: è proprio a questo livello che sarà possibile attivare un'interazione con altri elementi. Attraverso, ad esempio, l'introduzione di atomi di fosforo (P) vengono a liberarsi elettroni proporzionali al numero di atomi introdotti: l'elettrone, libero di muoversi, risulterà per effetto dell'agitazione termica disponibile alla conduzione. Quando un semiconduttore ha cariche maggioritarie rappresentate da elettroni viene definito di tipo "n".

Qualora, invece, il drogaggio avvenga attraverso l'introduzione di elementi come il boro (B), il risultato sarà la creazione di una lacuna per ogni atomo introdotto: in questo caso si parla di semiconduttore di tipo "p".

Inserendo opportuni elementi droganti nel semiconduttore verranno dunque a crearsi due regioni:

- la regione di tipo "p" nella quale le buche della banda di conduzione rappresentano i principali portatori di carica
- la regione di tipo "n" nella quale gli elettroni presenti nella banda di valenza costituiscono i portatori di carica dominanti.

Una corrente è generata da un campo elettrico prodotto da un moto legato all'eccesso di lacune ed elettroni all'interno di un semiconduttore: la giunzione p-n indica l'insieme di due regioni drogate capaci di generare un flusso elettronico dalla zona "n" a quella "p". Quando una radiazione luminosa incide su una giunzione p-n vengono a crearsi coppie elettrone-lacuna in entrambe le regioni: è proprio la differenza di potenziale dovuta alla concentrazione di cariche positive e negative a generare una corrente elettrica. Se viene soddisfatta la condizione $E_f > E_g$ avverrà una produzione di coppie elettrone-lacuna dove i portatori di carica saranno in grado di migrare verso aree energeticamente più vantaggiose.

Gli elettroni liberati avranno un'energia cinetica che risulterà essere direttamente proporzionale alla frequenza.

I semiconduttori, inoltre, possono appartenere a due specifiche classi: quelli di tipo diretto e quelli di tipo indiretto. Nel primo caso, rientrano i semiconduttori nei quali l'eccitazione degli elettroni presenti nella banda di conduzione risulta realizzabile; è l'accoppiamento elettrone-fotone a rendere possibile il transito dell'elettrone nella banda di conduzione. L'energia in eccesso verrà dissolta in calore non utilizzato.

Nel caso del bandgap indiretto, come il silicio, semiconduttore tradizionalmente utilizzato nel fotovoltaico, il meccanismo di funzionamento risulta essere più articolato. La condizione $E_f > E_g$ risulta, infatti, non essere sufficiente e sarà quindi necessario, al fine di favorire l'accoppiamento tra fotone e fonone, uno spessore maggiore del semiconduttore: sono tali caratteristiche a condizionare lo spessore di una cella composta da silicio vista la minore probabilità di un'interazione utile tale da produrre una coppia elettrone-lacuna.

Vi è una forte relazione tra la tensione V_{oc} ¹¹⁹ e la temperatura che condiziona le prestazioni di una cella fotovoltaica. È noto che:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} * \ln \frac{I_{sc}}{I_0}$$

La tensione (V_{oc}) sarà quindi dipendente da la costante di Boltzmann (k), la temperatura (T), la carica dell'elettrone (q), la corrente di cortocircuito (I_{sc}) e infine la corrente inversa di saturazione della giunzione (I_0).

Il *bandgap* segue l'andamento della temperatura secondo la relazione

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T}{T + \beta}$$

Dove α e β sono costanti che dipendono dal semiconduttore utilizzato.

La curva caratteristica V-I permette di misurare la corrente dalla cella in presenza di un carico specifico. La corrente di cortocircuito (I_{sc}) e la tensione a circuito aperto (V_{oc}) rappresentano i due parametri caratteristici. La curva delinea tutti i possibili punti di lavoro della cella con una specifica intensità e temperatura. L'area del rettangolo definisce la potenza erogabile: al fine di ottenere il maggior rendimento sarà quindi necessario massimizzarne l'area.

¹¹⁹ Per le celle al silicio V_{oc} (tensione a vuoto, tensione massima che può aversi su una cella fotovoltaica priva di corrente in uscita) assume valori di 0.5 – 0.6 V. Altri materiali semiconduttori posso raggiungere anche livelli di V_{oc} pari a 1.

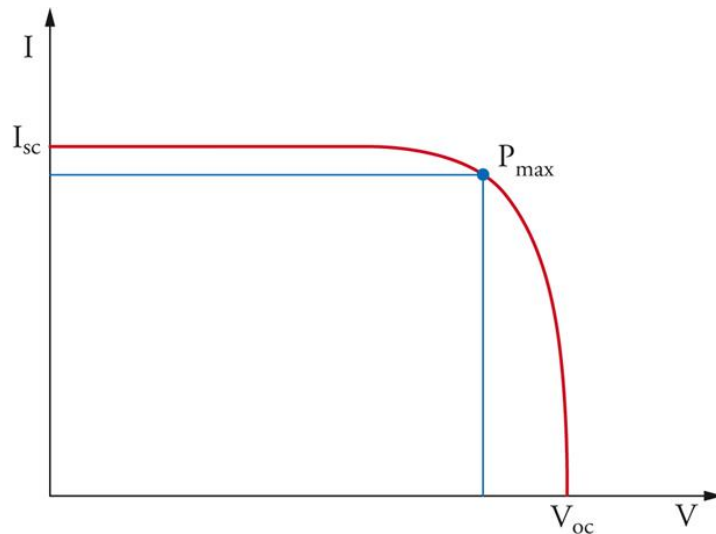


Grafico 14. Curva V-I. Fonte: [http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche_\(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica\)/giunzione](http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche_(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica)/giunzione)

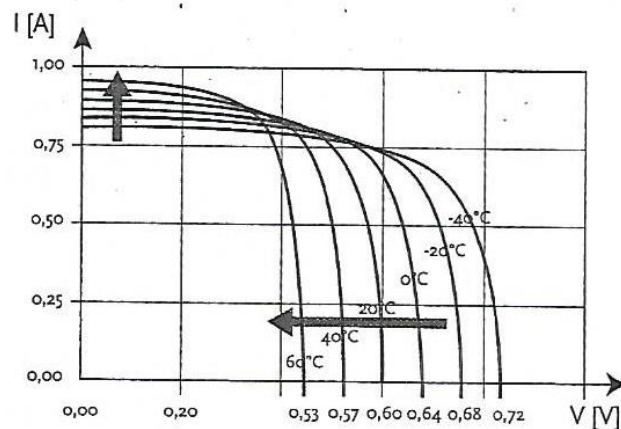
Se è vero che tale risultato è raggiungibile in condizioni standard di laboratorio (STC, *Standard test Condition*), con temperatura e intensità luminosa costanti, all'esterno (RRC, *Real Reporting Condition*) a causa delle mutevoli condizioni ambientali, è necessario poter usufruire di un'opportuna elettronica in grado di garantire l'inseguimento del punto massimo. Proprio per misurare l'efficienza in condizioni lontane dall'idealità può essere introdotto un importante parametro, il Fill Factor definito come il rapporto tra la potenza massima ottenibile dal sistema e la potenza ottenuta con un perfetto profilo rettangolare (prodotto della tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito). Va considerato che la variabile I_{sc} dipende essenzialmente dall'intensità della luce che è in grado di raggiungere la cella.

$$FF = \frac{V_{max} * I_{max}}{V_{sc} * I_{sc}}$$

La curva caratteristica descritta risulta condizionata da due variabili esterne:

- Irraggiamento
- Temperatura

Questi due parametri ambientali ne disciplinano le condizioni in ambito operativo. Soffermandosi in particolare sull'effetto della variazione della temperatura, è possibile notare come un eccessivo innalzamento di quest'ultima abbia delle ripercussioni dirette su una diminuzione della potenza, dovuto ad un abbassamento della tensione a circuito aperto (V_{oc}) e un seppur leggero aumento della corrente di cortocircuito, condizionando le prestazioni nel loro insieme. Il grafico riportato qui di seguito certifica tale andamento:



Fonte: Rubini L., Sangiorgio S., (a cura di), *Le energie rinnovabili*, Hoepli, Milano 2012. p.100.

L'aumento della temperatura comporta, dunque, una diminuzione della tensione che risulta condizionata dalla posizione dei livelli di Fermi: l'aumento della temperatura comporta, infatti, uno spostamento del livello di Fermi al centro del *bandgap*.

In un sistema fotovoltaico, un altro parametro rilevante è rappresentato dall'efficienza, vale a dire il rapporto tra la potenza massima erogata dal sistema e la potenza ottica ricevuta dalla cella:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}}$$

Un ulteriore elemento che condiziona l'efficienza è rappresentato dall'angolo di incidenza dei raggi sul sistema, costante fino a 45 gradi per diminuire gradualmente dopo tale valore. L'ampiezza della banda proibita, dunque le specificità del materiale semiconduttore utilizzato, condiziona in modo significativo il livello di efficienza generata dal dispositivo.

L'efficienza media della cella è il rapporto tra la potenza elettrica generata dal dispositivo e la potenza incidente irradiata sulla superficie. L'efficienza dipende quindi da:

- La capacità di penetrazione dei fotoni nella cella
- La capacità di conversione dei fotoni in energia della coppia elettrone-lacuna
- La capacità di conversione dell'energia della coppia elettrone-lacuna in energia elettrica
- Il trasferimento dell'energia fotoelettrica prodotta

Sono tre le grandezze fondamentali che influiscono sulle caratteristiche voltamperometriche di una cella: l'intensità della radiazione solare incidente, la temperatura del dispositivo e, infine, l'ampiezza della superficie della cella.

L'intensità non va ad incidere in modo molto rilevante sulla tensione a vuoto, che dipende principalmente dal materiale con cui è composta la cella. Essa (l'intensità di cortocircuito) dipende dall'intensità della radiazione luminosa. La perdita energetica che condiziona negativamente le prestazioni di un modulo deriva dai seguenti meccanismi:

- Perdita per riflessione
- Perdita per polarizzazione

- Effetto spettrale
- Perdita che deriva da un basso irraggiamento
- Effetti della temperatura

L'orientamento del modulo, la latitudine, le condizioni climatiche hanno ripercussioni sull'efficienza. Se l'adozione di impianti di energia solare fotovoltaica è in espansione è perché essa garantisce molteplici vantaggi, quali¹²⁰:

- è possibile calcolare con sufficiente approssimazione e preventivamente il costo dell'investimento e il suo ammortamento;
- le esigenze di manutenzione sono ridotte, in quanto non ci sono parti meccaniche in movimento; vengono eliminate le perdite di distribuzione dell'energia elettrica, perché vengono installati vicino all'utilizzatore finale;
- non si produce inquinamento di alcun genere (acustico, atmosferico ecc.) durante il funzionamento;
- è possibile prevedere la produzione annuale di energia con un piccolo margine d'errore, indipendentemente dalla variabilità di richiesta;
- la potenza dell'impianto può essere modificata in qualsiasi momento senza problemi;

L'energia fotovoltaica che il singolo cittadino produce e non utilizza può essere venduta ai gestori di energia elettrica. Sono al vaglio nuovi approcci, come l'impiego di celle solari a giunzioni multiple con materiali meno trasparenti del silicio e quindi in grado di assorbire una quantità maggiore di energia, e con gap energetico calibrato sulle zone più intense dello spettro solare. I materiali candidati per la fabbricazione di tali celle sono semiconduttori composti da elementi come gallio, indio (gruppo III), arsenico, azoto fosforo (gruppo V), di cui sono noti i processi di fabbricazione in grado di produrre materiali di ottima qualità con alti coefficienti di assorbimento, con gap energetici capaci di coprire l'intero intervallo spettrale e con picchi di rendimento che sfiorano il 40 %¹²¹.

¹²⁰ Varvelli R., *“Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?”* Etas, RCS Libri, Milano, 2008, p. 97.

¹²¹ Treccani, *“Tecnologie”*, in *“Scienza e tecnica”*, Istituto dell'Enciclopedia italiana, vol V, Roma, 2008, pp. 236 - 238.

I crescenti sviluppi nell'impiego di materiali organici per la fabbricazione di dispositivi elettro-ottici, quali i diodi emettitori di luce (LED), potrebbero portare all'impiego di questi materiali stabili e con elevati coefficienti di assorbimento ottico, in proporzione meno costosi di quelli inorganici, nella costruzione di celle solari¹²². Il panorama che si presenta nel settore fotovoltaico appare dunque variegato e piuttosto promettente.

Vi è un'ulteriore variante, quella del fotovoltaico a concentrazione¹²³. In tal caso i concentratori fotovoltaici risultano essere composti da quattro elementi:

- Ottica in grado di raccogliere la luce e focalizzarla (specchi o lenti)
- Celle multigiunzione o silicio ottimizzate per la concentrazione
- Meccanica d'inseguimento
- Elettronica per pilotare il sistema

Un accorgimento per migliorare le rese consiste nell'impiego di specchi che permettono di concentrare la radiazione che arriva sulla cella posta al centro dello specchio. Per evitare che l'energia assorbita venga dissipata in calore, è stato anche proposto di utilizzare materiali semiconduttori. I calcoli teorici dimostrano che con questo approccio è possibile raggiungere efficienze dell'ordine del 60%. Per un efficiente funzionamento del sistema a concentrazione risulta necessario il costante orientamento dell'asse ottico verso il sole.

¹²² L'obiettivo di sviluppo di questa tecnologia è un migliore sfruttamento dello spettro dell'energia solare, dall'ultravioletto all'infrarosso.

¹²³ La concentrazione, nello specifico, è definita come:

$$C = \frac{P_m}{0,1 \cdot S}$$

Dove P_{in} è la potenza ottica incidente sulla cella e S la superficie (in cm^2) di quest'ultima.

1.3.2 Il solare termodinamico

Ciò che differenzia la tecnologia fotovoltaica da quella termodinamica è l'utilizzo finale della potenza che viene concentrata: "Negli impianti solari termodinamici si concentra la radiazione solare per ottenere una fonte termica a elevata temperatura in grado di generare vapore per l'alimentazione di una turbina, così come avviene negli impianti convenzionali alimentati da combustibili fossili¹²⁴".

Il punto di forza potenziale di questo tipo di tecnologia è la possibilità di produrre energia elettrica a costi altamente competitivi, sfruttando l'utilizzo di materiali di tipo convenzionale come cemento e acciaio, non troppo onerosi.

La produzione di energia elettrica per via termosolare è da poco uscita da una fase sperimentale e si hanno circa 400 MWe di potenza nominale elettrica installata in tutto il mondo, con una produzione annua di circa 1100 MWh. Oltre il 90% di tale energia viene prodotta in California (USA) da nove impianti che adottano la tecnologia dei collettori a concentrazione di tipo a paraboloide con asse orizzontale, nel quale è posizionato l'assorbitore-convertitore; le ultime generazioni di questa tipologia di collettori hanno raggiunto un rendimento medio annuo di conversione dell'energia solare in elettrica superiore al 27%. Anche se questi impianti hanno un costo del kWh elettrico prossimo a quello prodotto dai combustibili fossili, si registrano opinioni divergenti riguardo al loro possibile utilizzo su vasta scala, in quanto non sono numerose le aree geografiche che presentano caratteristiche analoghe alle zone desertiche della California meridionale, che associano ad un'elevata irradiazione annua ad una forte domanda di energia elettrica¹²⁵.

Negli impianti termodinamici, l'energia solare viene captata sotto forma di energia termica ad alta temperatura, poi convertita in energia meccanica attraverso un ciclo termodinamico convenzionale. La tecnologia del solare termodinamico può utilizzare diverse soluzioni impiantistiche a seconda del fluido termovettore (acqua, olio diatermico, sali fusi, aria) e del ciclo termodinamico utilizzato (Rankine, Brayton, Stirling). Per ottenere elevati rendimenti del ciclo, è necessario che l'energia termica sia resa disponibile ad alta temperatura.

¹²⁴ Rubini L., op. cit. p. 143.

¹²⁵ "L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili", *Enciclopedia della Scienza. Storia, idee, tecnologie*, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano, 2005, pp. 450 – 453.

In questi impianti il fluido termovettore può raggiungere temperature anche superiori ai 1000 – 1200 °C, per essere utilizzato, oltre che per la produzione di energia meccanica, anche per quella elettrica, mediante cicli termodinamici che possono essere impiegati anche per usi industriali.

Gli elementi caratteristici dei collettori a concentrazione sono la possibilità di realizzare un elevato rapporto di concentrazione e la capacità di inseguimento della traiettoria solare, con dispositivi a uno o a due gradi di movimento. Nel primo caso l'inseguimento avviene seguendo la traiettoria solare con una rotazione dell'asse orizzontale del collettore da Est verso Ovest oppure da Sud verso Nord. Ovviamente, in entrambi i casi non si riesce a mantenere la superficie del collettore orientata in direzione perfettamente perpendicolare ai raggi solari, dinamica possibile, invece, utilizzando i più complessi sistemi di inseguimento con movimenti su due assi¹²⁶.

I collettori solari a concentrazione attualmente sviluppati sono sostanzialmente di tre tipi:

- Collettore parabolico lineare (Parabolic Trough System).

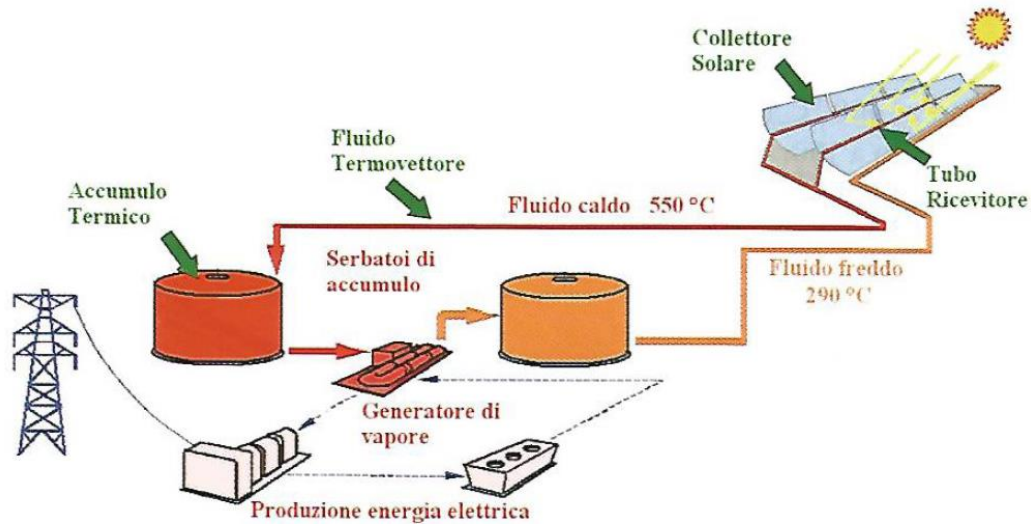
Con oltre 500 MWe installati, rappresentano attualmente la tecnologia più matura e sviluppata nell'ambito dei sistemi solari termodinamici a concentrazione. Questo sistema utilizza collettori lineari a sezione parabolica che riflettono i raggi solari sul fuoco del paraboloide dove è posto un tubo ricevitore nel quale scorre il fluido termovettore¹²⁷. Il collettore parabolico è costituito da specchi in vetro orientati in maniera tale da massimizzare il coefficiente di riflessione, mentre al contrario il tubo ricevitore viene realizzato in maniera tale da ottimizzare il coefficiente di assorbimento.

I collettori parabolici lineari sono dotati esclusivamente di un sistema di inseguimento solare attorno al proprio asse orizzontale, che, a causa della loro particolare conformazione geometrica, consente di seguire efficacemente l'alternarsi del giorno e della notte, ma non quello delle stagioni.

¹²⁶ Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, pg. 212 – 213.

¹²⁷ Il fluido termovettore, che si riscalda fino ad una temperatura di circa 400 °C, è di solito un olio diatermico, oppure una miscela di sali fusi (nitrato di sodio e nitrato di potassio).

Progetti di tipo sperimentale hanno indicato la possibilità di generare vapore direttamente all'interno del tubo ricevitore, con evidenti vantaggi di ordine energetico ed economico.



Schema di funzionamento impianto termodinamico con concentratori parabolico-lineari

Fonte: Rubini L., op. cit. p. 148.

– Sistema a torre centrale (Power Tower System).

Questo sistema utilizza grandi specchi piani opportunamente inclinati (eliostati), che indirizzano la radiazione solare verso un ricevitore posizionato sopra una torre, all'interno della quale il fluido termovettore viene riscaldato fino a temperature superiori ai 500 °C. Il sistema a concentrazione solare utilizzato da questa tecnologia consente di realizzare l'inseguimento della traiettoria solare secondo due assi di rotazione, e riesce così a sfruttare l'intero irraggiamento normale diretto. Il sistema Power Tower è stato sviluppato in due progetti sviluppati in California dalla Southern California Edison e dal DOE. I due progetti sono stati denominati Solar One e Solar Two. La potenza di tali impianti è di circa 10 MWe, con un rendimento medio dell'ordine del 14%. Entrambi i sistemi hanno evidenziato numerosi problemi operativi che, per ora, ne impediscono la commercializzazione.

- Sistema a concentrazione puntiforme (Dish/Engine System).

Il sistema a concentrazione puntiforme (solar dish) utilizza collettori a forma di paraboloide che concentrano la radiazione solare sul proprio fuoco dove è posizionato il sistema di conversione dell'energia. Il sistema è in grado di inseguire le traiettorie solari durante l'anno su due assi di rotazione. Questo tipo di impianto solare è ancora in fase di sperimentazione, quindi gli impianti esistenti sono catalogati come prototipi. La potenza massima unitaria è attualmente di qualche decina di kW e i rendimenti tipici si attestano intorno al 16 – 17%¹²⁸.

Se si considera l'eventuale applicazione del solare termodinamico è opportuno fare alcune considerazioni: il solare termodinamico sfrutta esclusivamente la radiazione solare diretta, dunque saranno necessarie le seguenti condizioni ambientali per avere un rendimento e un ritorno economico all'altezza dell'investimento iniziale:

- Irraggiamento elevato
- Bassi livelli medi di umidità nell'aria
- Bassi livelli di polveri o agenti inquinanti nell'atmosfera.

Se l'irraggiamento medio annuale e l'umidità non rappresentano un problema viste le peculiarità climatiche di tutta l'area del Golfo Persico, il terzo parametro potrebbe in parte invalidare l'applicabilità del solare a concentrazione in Paesi che annoverano un'altissima percentuale di polvere nell'aria a causa della presenza di sabbia nei primi strati atmosferici.

Rispetto al fotovoltaico policristallino, tecnologicamente più “maturo”, la minore diffusione del solare termodinamico non permette di definire in modo attendibile una stima accurata riguardante i costi. Se si analizza nello specifico un impianto con concentratori parabolico-lineari, i costi saranno ripartiti in collettori solari (58%), stoccaggio termico (23%), sistema di generazione elettrica (17%) e infine strutture (2%)¹²⁹. Degna di nota, rispetto ai costi previsti nel solare fotovoltaico policristallino, è la presenza di voci di costo come lo stoccaggio termico e un diverso bilanciamento dei costi previsti per la costruzione del campo solare.

¹²⁸ Cocco D., Palomba C., Puddu P., “*Tecnologie delle energie rinnovabili*”, SGE Editoriali, Padova, 2008, pp. 214 – 218.

¹²⁹ Rubini op. cit., p. 155.

Se si considerano le tecnologie solari nel loro insieme nel 2012 sono stati installati nuovi convertitori solari che hanno aggiunto 30,2 GW di potenza alla produzione energetica solare, raggiungendo entro la fine dell'anno, una capacità produttiva pari a 100 GW. Ciò ha contribuito ad un aumento pari al 43,3% rispetto alla crescita registrata nel 2011. L'impiego di energia solare negli ultimi anni, ha registrato una costante crescita, più che decuplicata negli ultimi cinque anni.

Più della metà della crescita registrata è attribuibile all'Europa, con al primo posto la Germania con 7,6 GW, seguita dall'Italia con 3,4 GW di potenza installata. Con l'aggiunta di questa potenza la Germania continua ad essere il leader indiscusso per produzione di energia da conversione solare con un totale di installazioni che raggiunge i 32,6 GW di capacità, seguita dall'Italia con 16,2 GW.

La Cina, già leader nella produzione di pannelli fotovoltaici, ha cominciato a sviluppare il proprio mercato relativo al solare, con un incremento di 5 GW nel 2012. Anche gli Stati Uniti hanno favorito un intenso aumento nel 2012, installando nuovi dispositivi con capacità di 3,3 GW.

L'energia prodotta dal solare continua a mantenere un trend positivo e, nel solo 2012, ha registrato una rampante crescita, con un aumento pari al 58%. La quota dell'energia solare nel computo totale delle rinnovabili continua ad aggirarsi intorno al 8,9%, nel 2012 essa ha contribuito per il 24,4% all'incremento dell'energia derivante dalle rinnovabili¹³⁰.

¹³⁰ Tratto da <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/solar-energy.html>.

CAP. II

PROSPETTIVE SULL'ANDAMENTO DEL MERCATO ENERGETICO

MONDIALE: PROPOSTE DI ANALISI

2.1 Analisi del futuro mercato energetico: *Current Policy scenario, New Policy scenario e 450 scenario.*

Ogni anno le numerose agenzie internazionali che si occupano di energia presentano report con l'analisi dei dati relativi alla produzione, al consumo, ai prezzi delle riserve delle fonti energetiche, da cui deriva l'energia necessaria a soddisfare il fabbisogno mondiale. Queste agenzie stilano proiezioni o previsioni sugli sviluppi e gli andamenti delle risorse sul lungo periodo. Attualmente si possono reperire previsioni per il 2035 e, in alcuni casi, anche per il 2040¹³¹.

La realizzazione di una previsione sull'eventuale scenario che potrebbe prospettarsi è il frutto di un meccanismo decisamente complesso. Si parte dall'analisi dei dati in possesso, relativi all'ultimo decennio, e, valutando l'andamento e le interconnessioni delle variabili, vengono elaborati uno o più possibili scenari.

Le proiezioni di lungo periodo differiscono da quelle di breve e medio termine perché, nelle ultime due, a meno di gravi sconvolgimenti naturali e/o geopolitici, è difficile che l'andamento registrato nell'intervallo temporale precedente possa subire modifiche sostanziali, cosa, invece, molto probabile nel primo caso, data l'estrema complessità delle correlazioni tra le variabili.

Gli scenari elaborati dalle agenzie internazionali sono di grande importanza, in quanto i governi spesso si avvalgono di essi per modulare le politiche energetiche con scelte strategiche e di sviluppo.

Dai documenti predittivi il futuro andamento delle risorse energetiche, l'elemento che emerge in modo più ricorrente è il concetto di intensità energetica, uno degli indicatori di efficienza. L'intensità energetica è una misura macroeconomica

¹³¹ EIA, "Annual Energy Outlook 2014 with projection to 2040", Independent statistics & analysis U.S. Energy Information Administration, DOE/EIA – 0383 (2014), Aprile 2014.

relativa al consumo di energia. Il suo calcolo è dato dal rapporto tra il consumo di energia (Mtoe) e il prodotto interno lordo (PIL) del Paese o regione in esame.

Lo sviluppo economico di uno Stato attraversa una fase iniziale in cui l'intensità energetica è sensibilmente elevata, per la necessità di investimenti volti a creare o accrescere la propria struttura industriale. Ciò implica un consumo di risorse molto elevato, a fronte di un basso livello di energia e PIL prodotti. Nella fase di maturazione dello sviluppo economico, il peso del settore secondario industriale si riduce, in termini assoluti e relativi, a favore del settore terziario. Ciò implica un minor consumo di risorse e un elevato livello di produzione: a questo livello, di solito, si applica il cosiddetto "*energy management*"¹³², che comprende l'attuazione di un insieme di politiche ed azioni volte ad incrementare l'efficienza energetica.

Miglioramenti nell'efficienza dei processi produttivi possono contribuire a migliorare il rapporto tra PIL e consumo abbattendo il valore dell'intensità energetica.

L'avanzamento tecnologico limita la crescita della domanda di energia, riducono l'importazione di risorse e rallenta la produzione di emissioni inquinanti a livello globale. Nell'ultimo anno tutti i Paesi con alti livelli dei consumi energetici hanno introdotto legislazioni, che, ad esempio, qualora fossero applicate, porterebbero nel 2020 ad una riduzione di intensità di approvvigionamento della Cina pari al 16%, a nuovi standard per il mercato del petrolio negli Stati Uniti e ad una riduzione della domanda energetica dell'Unione Europea pari al 20%. Anche il Giappone ha l'obiettivo di ridurre del 10% della domanda di energia elettrica entro il 2030, come previsto dalla sua nuova politica energetica recentemente adottata.

La domanda di energia mondiale, nel periodo che va dal 1980 al 2010, è passata da un equivalente di 7234 a 12730 milioni di tonnellate di petrolio (Mtoe), con una crescita pari al 76%. Nello stesso periodo il PIL mondiale è cresciuto del 137%¹³³.

¹³² Per Energy Management si intende ogni strategia di regolazione ed ottimizzazione dei consumi energetici, facendo leva sui sistemi di produzione dell'energia e sulle procedure di utilizzo. L'obiettivo è puntare su sistemi energetici efficienti, inseriti in un processo produttivo che miri alla riduzione degli sprechi, senza avere ripercussioni su altri costi di produzione né sugli standard qualitativi.

¹³³ IEA, "*World Energy Outlook 2012*", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, Novembre 2012, p. 272.

Senza avanzamenti tecnologici volti a migliorare la gestione delle risorse lungo tutto il processo di lavorazione, nel 2015 registreremmo una domanda energetica mondiale superiore del 35% rispetto a quella attuale. Oltre allo sviluppo tecnologico, ciò che incide sul mercato è il prezzo finale della risorsa, capace di influenzare le scelte e le politiche relative al suo utilizzo, come avvenuto a seguito delle crisi petrolifere degli anni Settanta. La diretta conseguenza è stata lo sviluppo di politiche di sicurezza energetica che hanno portato ad una differenziazione dell'approvvigionamento, ma al contempo importanti risparmi e una riduzione della domanda negli anni Ottanta. Questo andamento ha prodotto, negli anni Novanta, una decrescita della domanda energetica pari ad oltre il 50%, mentre nella decade successiva si è avuto un risparmio pari al 20%.

Attualmente, i Paesi in via di sviluppo sono quelli a maggiore intensità energetica e seppur i loro consumi rimangono elevati, non c'è dubbio che la globalizzazione abbia favorito la convergenza di tecnologie, prezzi e in parte anche di politiche in materia di *energy management*.

Sebbene l'efficienza energetica sia un tema di interesse politico a livello internazionale e, in particolare nei Paesi del Medio Oriente, le regioni che presentano un'alta intensità nell'utilizzo di risorse registrano un trend costantemente in crescita a partire dagli anni Ottanta. La spiegazione di questo peculiare fenomeno potrebbe ritrovarsi nel mantenimento artificioso di bassi prezzi delle risorse, specialmente di petrolio e gas, di cui la regione è tra i principali produttori in ambito internazionale: ciò, in un certo senso, scoraggia iniziative volte al potenziamento dell'efficienza energetica.

La crescita economica dell'Africa, intorno al 1995, ad esempio, ha registrato un picco nell'intensità di utilizzo di energia conforme all'andamento dell'intensità energetica e, dal 2014, si è verificata una decrescita della domanda, soprattutto, nell'utilizzo di biomasse tradizionali, a fronte di un PIL che, in quei Paesi, sta crescendo ad un ritmo costante¹³⁴.

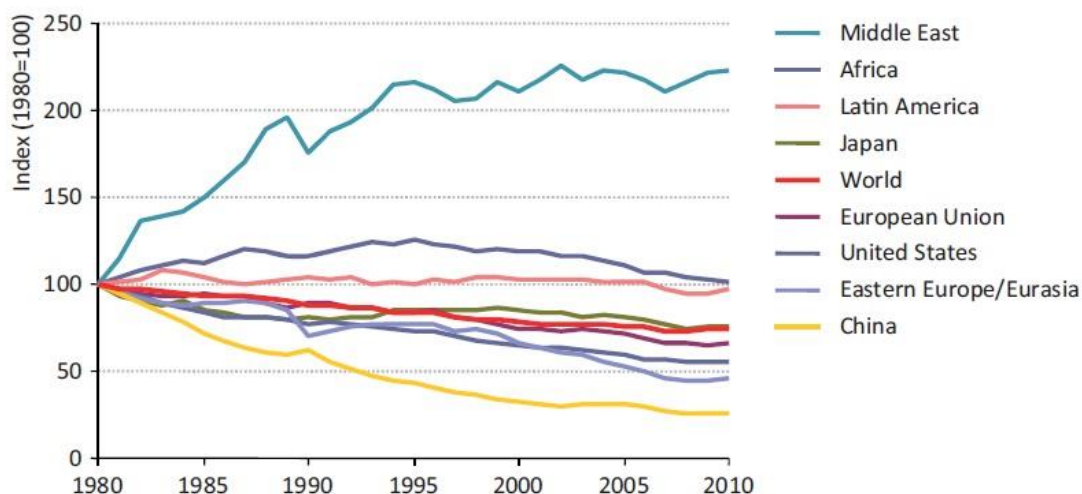
¹³⁴ Alti costi di approvvigionamento energetico, misure che favoriscono l'efficienza, politiche atte all'abbattimento dell'anidride carbonica, l'aumento della produttività e, in alcuni Paesi, l'abbandono delle biomasse tradizionali, spiegano la decrescita energetica riscontrabile in alcune regioni a livello mondiale.

Tra i paesi OCSE, gli Stati Uniti hanno raggiunto importanti obiettivi nella *energy management*: su un arco temporale che va dal 1980 al 2010, si è registrata una decrescita annua continuativa, che si attesta intorno ad una media del 2%. Negli ultimi anni, inoltre, gli interventi a favore dell'efficienza energetica sono proseguiti, sospinti, soprattutto, dagli importanti risultati ottenuti.

Il Giappone e l'Unione Europea hanno il più basso livello di rapporto tra il consumo di energie e il PIL. Ciò riflette un alto livello di efficienza tecnologica, sostenuta per mitigare l'incidenza degli elevati costi delle risorse e affiancata da politiche interne per accrescere la consapevolezza e sensibilizzare alla necessità di riduzione del consumo energetico.

Le iniziative proposte in questo settore sono state portate avanti in modo continuativo, riuscendo a raggiungere buoni risultati. Tra il 1980 e il 2010 il Giappone ha registrato una decrescita media dello 0,9% annuo dal 1980 al 2010, mentre l'Unione Europea ha raggiunto l'obiettivo di ridurre la domanda dell'1,4% annuo, beneficiando dell'applicazione di tecnologie avanzate per l'efficienza energetica, come sperimentato da alcuni Paesi membri.

Figure 9.3 ▶ Energy intensity trends by region, 1980-2010

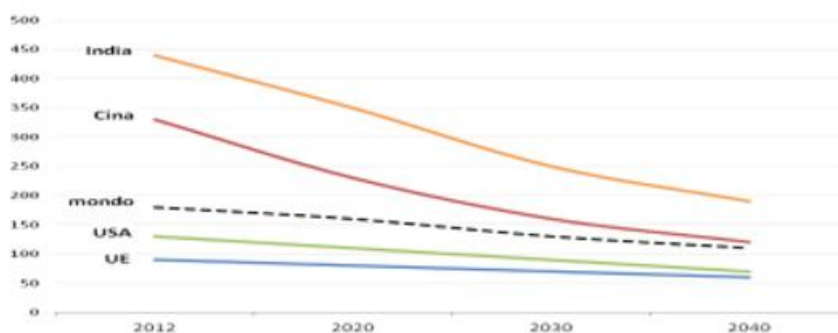


Il grafico “*Energy intensity trends by region, 1980 – 2010*”¹³⁵ mette in luce, suddividendoli per regioni, i differenti percorsi intrapresi a livello di intensità di

¹³⁵ IEA, “*World Energy Outlook 2012*”, OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, Novembre 2012, p. 274.

sfruttamento delle risorse energetiche. I paesi sviluppati registrano un andamento decrescente di fabbisogno energetico per soddisfare la domanda interna di energia, rimanendo all'interno di un intervallo piuttosto definito. Sopra tale parametro si collocano i Paesi Latino-Americani e l'Africa, pur rimanendo all'interno di un intervallo relativamente omogeneo, mentre il trend registrato in Medio Oriente è in costante crescita dal 1980. Seguendo una tendenza opposta rispetto al Medio Oriente, anche la Cina, dal 1980 in poi, nonostante i suoi ritmi di crescita industriale e demografica, ha intrapreso una continua e costante decrescita.

Il calo dell'intensità energetica



Andamento dell'intensità energetica. (Asse delle ordinate: Mtoe per PIL; asse delle ascisse: anni 2000-2040). Elaborazione dell'autore (modificata).

Le diverse economie del mondo risultano avere livelli di consumo diversi anche a parità di ricchezza prodotta: le economie europee e quella giapponese si contraddistinguono da una bassa intensità energetica mentre Cina e India sono caratterizzate da una minore efficienza, anche se è prevista una loro convergenza verso i livelli medi mondiali.

L'Unione Europea sta lavorando per l'adozione di una direttiva comunitaria relativa alla politica di efficienza energetica, che andrebbe ad aggiungersi a quelle già in vigore su carbone ed energie rinnovabili, con la prospettiva di raggiungere una riduzione della domanda energetica pari al 20% entro il 2020. L'obiettivo della direttiva è quello di provare a scardinare un sistema basato sulle convenzionali leggi del mercato internazionale. Inoltre, sebbene il Giappone sia il leader indiscusso per

l'impiego di tecnologie volte all'efficienza energetica, nel settembre 2012 il governo nipponico ha prodotto un report intitolato “Strategie innovative per l'energia e l'ambiente, che concentra l'attenzione e gli sforzi da compiere verso un ulteriore miglioramento delle tecnologie impiegate”. Il documento concentra l'attenzione sull'importanza di compiere ulteriori sforzi per migliorare e/o sviluppare tecnologie per raggiungere l'obiettivo prefissato: una riduzione della domanda interna di energia elettrica pari al 10% entro il 2030, rispetto ai dati relativi ai consumi registrati nel 2010.

Gli Stati Uniti hanno esteso la durata del “US Corporate Average Fuel Economy standard” fino al 2025. Questo è solo uno dei numerosi elementi che stanno influenzando l'attuale trend di decrescita delle importazioni di petrolio nel Paese. Il percorso di efficienza ed *energy management* intrapreso dalle economie industrializzate è stato accolto anche da economie emergenti, quali Cina e India.

Il governo cinese punta a raggiungere obiettivi ambiziosi nel settore energetico ed ha inserito nell'undicesimo e dodicesimo piano quinquennale un importante pacchetto di riforme e politiche volte ad un cambiamento strutturale per favorire l'implementazione dell'efficienza nell'utilizzo delle risorse, riducendo, così, gli elevati costi, derivanti dalla crescente domanda interna.

In India proseguono gli sforzi iniziati già da alcuni anni per la riduzione della domanda interna di risorse energetiche. Nella stesura del dodicesimo piano nazionale indiano, uno dei punti di svolta riguarda proprio l'efficienza energetica volta a pianificare e garantire una politica di sicurezza energetica e una differenziazione di approvvigionamento efficace nel lungo periodo.

Per una previsione sull'evoluzione del settore energetico mondiale nei prossimi anni, possono essere prese in considerazione le proiezioni del WEO 2012. A livello internazionale il World Energy Outlook elaborato dalla IEA (International Energy Agency) è ritenuta la fonte più autorevole nell'analisi dei mercati mondiali di energia¹³⁶, oltre ad essere un punto di riferimento per i governi nell'elaborazione di politiche, di strategie energetiche e di business, influenzando le politiche energetiche dei singoli Stati.

¹³⁶ Tratto dalla presentazione del World Energy Outlook 2012 in Italia promossa dall'Eni il 28/11/2012, www.eni.com, sezione iniziative speciali.

Il documento propone lo sviluppo dei dati correnti all'interno di complessi modelli proiettivi quali il *Current Policy scenario*, il *New Policy scenario* e il *450 scenario*. Questi tre scenari condividono gli stessi dati di partenza, ma propongono diverse possibili evoluzioni del settore energetico. Il primo, il *Current Policy scenario*, è caratterizzato da una forte rigidità nell'elaborazione dei dati e non prevede e/o include alcun tipo di eventuale modifica agli schemi e alle strutture esistenti. Partendo dallo stato attuale della produzione e del consumo di risorse, ipotizza che la composizione degli elementi e delle politiche dei singoli Paesi non subiscano modificazioni durante tutto il periodo preso in esame.

L'elemento peculiare e fondante di questo modello è la totale inazione ai possibili cambiamenti, considerando solo le politiche energetiche presentate dai vari Paesi entro e non oltre la prima metà del 2012. Ad esempio, sono state inserite all'interno di questo modello le riforme di politica energetica messe in atto dalla Cina con il dodicesimo piano quinquennale, per il periodo 2011 – 2015, e la nuova politica sulle tariffe per favorire lo sviluppo delle tecnologie rinnovabili in Giappone.

Il *New Policy scenario*, al contrario risulta essere più flessibile, prendendo in considerazione la possibilità che si implementino piani e politiche per il raggiungimento di nuovi obiettivi in campo energetico. Il *New Policy scenario* considera probabile l'entrata in vigore di nuove politiche energetiche e introduce nel modello la possibilità di esaminare riforme e politiche che i Paesi hanno intenzione o vorrebbero mettere in atto, anche se questi indirizzi non dovessero concretizzarsi ed entrare in vigore.

Le variabili inserite nel modello nascono dalla distinzione tra gli impegni assunti dai singoli Stati, le azioni per attuarli e la reperibilità di dati e dettagli relativi alle modalità di strutturazione e attuazione delle nuove iniziative promosse. Spesso gli interventi proposti possono essere valutati all'interno di intervalli, che si modulano su minimi e massimi, reputati dal singolo Stato funzionali al soddisfacimento dell'obiettivo prefissato. In altre circostanze ciò è caratterizzato dal raggiungimento di una condizione di fondo oppure da una serie di dati che possono essere quantificati, analizzati e comparati. Altri ancora riguardano la riduzione dello sfruttamento intensivo di energia.

Il *New Policy scenario* è stato sviluppato partendo dal presupposto che i Paesi che hanno annunciato e/o avviato programmi di riforme per le politiche energetiche riescano ad ottenere il risultato prefissato. Ciò può avvenire attraverso il raggiungimento degli obiettivi minimi dell'intervallo proposto, anche sulla base di dati e informazioni reperibili, sulla presenza della normativa già in vigore e sullo sviluppo di tecnologie atte a migliorare l'utilizzo delle risorse energetiche. È possibile, tuttavia, anche il caso opposto: nei Paesi in cui la politica di tutela ambientale non ha caratteristiche delineate e risulta incerta e confusa, o non sono presenti pregresse normative di politica energetica, è difficile reperire un quantitativo sufficiente di informazioni e dati. Il *450 scenario* si differenzia dai primi due in quanto si fonda sull'idea di abbattimento della concentrazione di anidride carbonica presente in atmosfera, attraverso azioni, riforme e politiche che abbiano come obiettivo di lungo termine la riduzione del surriscaldamento globale. Secondo esperti climatologi per ridurre i gas serra sarebbe auspicabile diminuire gli inquinanti atmosferici e, in particolare, l'anidride carbonica portandola ad avere una concentrazione pari a 450 parti per milione, parametro da cui prende il nome lo scenario. Con questa proporzione si potrebbe riportare la temperatura del globo agli stessi livelli registrati nell'era pre-industriale e, sul lungo termine, avere un'ulteriore riduzione di 2 °C.

Il *450 scenario* rappresenta la massima e puntuale applicazione delle politiche energetiche e degli accordi per la tutela dell'ambiente esistenti. Ad esempio, il modello presume che fino al 2020 verranno rispettati e sviluppati appieno gli impegni assunti durante gli Accordi di Cancun. Dopo il 2020, si auspica che i Paesi OCSE e le maggiori economie mondiali riescano a raggiungere accordi per la riduzione delle emissioni, con una serie di azioni volte a portare le singole politiche nella direzione di raggiungere e stabilizzare la concentrazione di gas ad effetto serra¹³⁷, sulla soglia del 450 parti per milione. All'interno di questo modello si presume anche la presenza annuale di finanziamenti da parte di Paesi OCSE e non-

¹³⁷ Questo proposito è in linea con gli accordi raggiunti durante la diciassettesima conferenza del *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) del dicembre 2011, che ha prodotto il documento intitolato "*Durban Platform on Enhanced Action*", inteso come punto di riferimento e promotore di una nuova direzione in ambito climatico – ambientale.

OCSE, pari a 100 miliardi di dollari, necessari per l'implementazione di misure volte all'abbattimento delle emissioni.

La validità o meno di un modello non è data dalla capacità di rappresentare la realtà e le modalità di sviluppo e funzionamento del mercato energetico mondiale, bensì da quella di includere i possibili fattori e/o gli eventi che potrebbero influenzare l'andamento generale dell'economia. Molte precedenti previsioni sono state confutate dagli eventi come accaduto nel 1997-1998 a seguito della crisi finanziari che ha colpito i Paesi asiatici, la crisi dei mutui *subprime* negli Stati Uniti e recentemente con la “Primavera Araba”.

Nel breve periodo le politiche adottabili dai governi sono ragionevolmente prevedibili, inoltre non è realistico pensare che politiche adottate nei dodici mesi successivi le previsioni proposte dalle agenzie internazionali che si occupano di energia, possano avere un impatto importante sull'andamento del mercato delle risorse nel medio termine.

Nel lungo periodo, invece, vi sono molte variabili che influenzano le scelte di politica energetica, come azioni da attuare per mitigare i cambiamenti climatici o gli investimenti per lo sviluppo di sistemi alternativi per la generazione di energia. Elementi che concorrono alla strutturazione delle politiche sono le decisioni sull'utilizzo o meno di energia nucleare; oppure nei Paesi esportatori di risorse, le scelte su strategie, produzione e prezzi da applicare¹³⁸. La complessità del contesto incide sulla fluidità delle scelte da intraprendere: al solo modificarsi di una variabile l'intera struttura della previsione può perdere i suoi fondamenti. L'incertezza che caratterizza le previsioni di lungo periodo è determinata proprio dall'imprevedibilità di destrutturazione e ristrutturazione delle variabili che lo compongono.

In ogni caso, la maggior parte delle previsioni di crescita economica globale e regionale di lungo periodo si orientano all'interno di un intervallo piuttosto omogeneo, anche in presenza di differenze significative relative ai singoli Paesi.

Un fattore discriminante per l'andamento e l'utilizzo di una fonte energetica è il suo prezzo, in quanto determina le scelte che i consumatori effettuano. Queste ultime hanno ripercussioni sui produttori e ne influenzano le decisioni. I prezzi delle

¹³⁸ IEA, “*World Energy Outlook 2012*”, OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, novembre 2012, p. 38.

risorse energetiche sono difficili da prevedere, ma persino un cospicuo aumento del costo finale della risorsa non inciderebbe in modo marcato sulla domanda di approvvigionamento. Ad esempio, la crescita del prezzo del petrolio, quintuplicato negli ultimi decenni, ha registrato importanti cambiamenti all'interno delle regioni che, al persistere degli attuali livelli, potrebbero influenzare l'andamento della domanda di lungo periodo. L'andamento di mercato delle energie riflette l'impatto che le scelte di politica energetica hanno sulla domanda e sull'approvvigionamento e differisce, in prospettiva, in base al tipo di scenario nel quale sono inserite. Il World Energy Outlook delinea le probabili fluttuazioni dei prezzi delle energie su un periodo predittivo che copre fino al 2035, proponendo il livello di prezzo ideale per incoraggiare gli investimenti e soddisfare, attraverso la produzione, la domanda mondiale.

Anche se l'andamento dei prezzi sembra seguire un percorso lineare, vi sono numerose variabili che possono modificare quanto previsto. Ad esempio se l'applicazione di una politica di tutela ambientale portasse ad una contrazione della domanda energetica mondiale, questa influenzerebbe la determinazione dei prezzi, facendoli scendere al di sotto degli attuali livelli o di quelli previsti nel lungo periodo.

Table 1.4 ➤ Fossil-fuel import price assumptions by scenario (dollars per unit)

	Unit	New Policies Scenario					Current Policies Scenario					450 Scenario					
		2011	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
<i>Real terms (2011 prices)</i>																	
IEA crude oil imports	barrel	107.6	116.0	119.5	121.9	123.6	125.0	118.4	128.3	135.7	141.1	145.0	115.3	113.3	109.1	104.7	100.0
<i>Natural gas</i>																	
United States	MBtu	4.1	4.6	5.4	6.3	7.1	8.0	4.6	5.5	6.4	7.2	8.0	4.4	5.5	6.9	7.6	7.6
Europe imports	MBtu	9.6	11.0	11.5	11.9	12.2	12.5	11.2	12.1	12.9	13.4	13.7	10.9	10.8	10.4	10.0	9.6
Japan imports	MBtu	14.8	15.0	14.3	14.5	14.7	14.8	15.3	14.7	15.2	15.6	16.0	14.9	13.5	12.9	12.5	12.2
OECD steam coal imports	tonne	123.4	108.5	112.0	113.0	114.0	115.0	110.0	115.0	119.2	122.5	125.0	105.3	97.5	89.0	78.0	70.0
<i>Nominal terms</i>																	
IEA crude oil imports	barrel	107.6	127.0	146.7	167.6	190.4	215.7	129.7	157.4	186.6	217.4	250.3	126.3	139.0	150.0	161.2	172.6
<i>Natural gas</i>																	
United States	MBtu	4.1	5.0	6.7	8.7	11.0	13.8	5.0	6.7	8.8	11.1	13.8	4.8	6.7	9.5	11.7	13.2
Europe imports	MBtu	9.6	12.1	14.1	16.4	18.8	21.6	12.3	14.9	17.7	20.6	23.6	11.9	13.2	14.3	15.4	16.6
Japan imports	MBtu	14.8	16.4	17.5	19.9	22.6	25.5	16.8	18.1	20.9	24.0	27.6	16.3	16.6	17.7	19.3	21.1
OECD steam coal imports	tonne	123.4	118.8	137.4	155.4	175.6	198.5	120.5	141.1	163.8	188.7	215.7	115.3	119.6	122.4	120.2	120.8

Prezzo di importazione dei combustibili fossili per scenario (dollari per unità).

Fonte: IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, Parigi, Novembre 2012, p. 40.

I dati riportati e ipotizzati nella tabella “*Fossil-fuel import price assumptions by scenario*” delineano l'andamento ipotizzato dagli esperti dello IEA. Tali valori includono e derivano dalle condizioni del mercato locale, dalle tasse e dagli eventuali dazi presenti sulla circolazione dei beni. In essi sono contenuti anche i costi sostenuti per le sanzioni relative alle emissioni di anidride carbonica. Nella definizione dei prezzi al consumo delle energie, in particolare per le rinnovabili, influiscono le sovvenzioni statali a sostegno delle tecnologie utilizzate, per favorirne la competitività.

In tutti gli scenari proposti, si presume che, nell'arco temporale preso in esame, tasse e dazi rimangano invariati, a meno che futuri aumenti non siano già stati previsti o entrati in vigore. Questo assunto ha come possibile conseguenza la crescita della domanda energetica, favorita da bassi prezzi al consumo.

Negli ultimi anni sono stati fatti passi in avanti per sviluppare i presupposti per una riforma del sistema dei sussidi per le risorse fossili. Nel settembre 2009 i leader del G-20 riuniti al *Pittsburgh Summit* si sono impegnati a “razionalizzare e superare nel medio periodo i sussidi alle risorse fossili che risultano inefficienti e favoriscono consumi non necessari che danneggiano e sprecano importanti risorse, oltre a favorire l'inquinamento”¹³⁹. Nel novembre 2009 i leader dell'APEC a Singapore hanno convenuto su simili tematiche, espandendo ed ampliando l'impegno di riforma in ambito internazionale.

Le previsioni elaborate dal WEO relative al superamento dei sussidi alle fonti non rinnovabili di energia, cambiano da uno scenario all'altro. Nel *Current Policies scenario* si presume che i sussidi saranno gradualmente eliminati solamente da quei Paesi che hanno già messo in atto politiche in questa direzione. Nel *New Policies scenario* si attesta che ciò potrebbe avvenire entro il 2020 nei Paesi esportatori di petrolio e, in maniera più graduale, in quelli che hanno già annunciato l'applicazione di questo tipo di riforme.

Nel *450 scenario* i sussidi alle risorse energetiche verrebbero eliminati al più tardi nel 2035 in tutte le regioni eccetto in Medio Oriente, dove le sovvenzioni, entro il 2035, saranno pari al 20% di quelle attuali.

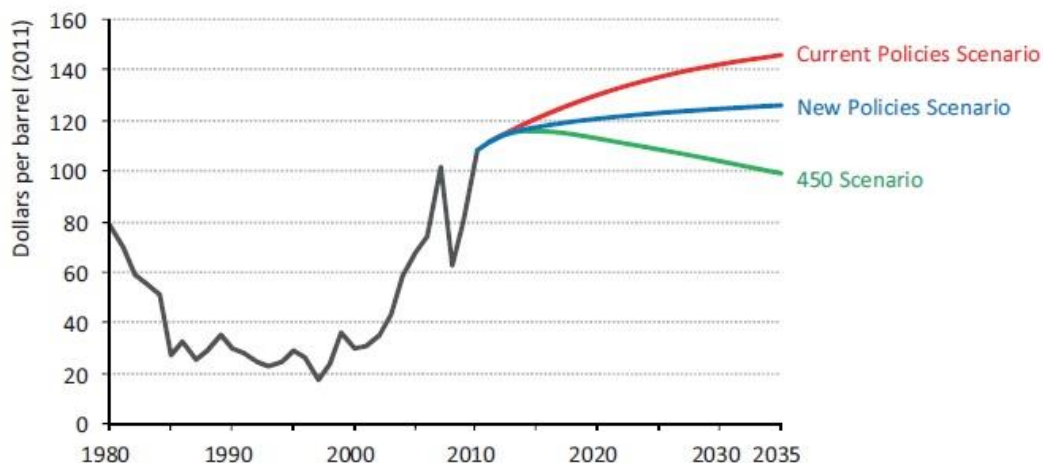
¹³⁹ Idem p. 42.

Da quando il costo al barile è arrivato al minimo storico di 30 dollari, i prezzi del petrolio hanno registrato un andamento in costante crescita, con alcuni periodi di forte fluttuazione. Agli inizi di ottobre del 2012 i prezzi future di riferimento del Brent e del West Texas Intermediate si attestavano rispettivamente a 115 e a 93 dollari.

Nel *New Policies scenario* i prezzi ipotizzati dalle stime sono maggiori e, nel 2020, si attesterebbero sui 120 dollari al barile (con valuta in dollari del 2011) e raggiungerebbero i 125 dollari nel 2035. L'andamento crescente dei prezzi rifletterebbe l'aumento dei costi di produzione del petrolio, perchè con l'esaurirsi dei pozzi attivi e la necessità di soddisfare una maggiore domanda internazionale, si dovrebbero mettere in coltivazione giacimenti economicamente meno convenienti. Nel *Current Policies scenario* l'aumento del petrolio andrebbe a bilanciare la crescente domanda di approvvigionamento energetico, con prezzi che, nel 2035, potrebbero raggiungere i 145 dollari al barile.

Nel *450 scenario* una ridotta domanda di petrolio significherebbe, anche, una minore necessità di sviluppare metodi alternativi o l'estrazione di petrolio in giacimenti più difficili da raggiungere e, quindi, con costi più elevati anche a seguito di una decrescita della capacità produttiva dei Paesi non-OPEC. Il risultato auspicato da questo scenario sarebbe una diminuzione del prezzo del petrolio al barile, che si attesterebbe intorno ai 115 dollari nel 2015, per continuare a decrescere raggiungendo quota 100 dollari al barile nel 2035.

Figure 1.1 ▽ Average IEA crude oil price



Note: In the 450 Scenario, administrative arrangements are assumed to be put in place to keep end-user prices for oil-based transport fuels at a level similar to the Current Policies Scenario.

Prezzo medio di vendita del petrolio. Fonte: IEA, *“World Energy Outlook 2012”*, OECD/IEA, IEA Publication, Parigi, Novembre 2012, p. 42.

Questo tipo di andamento e sviluppo dei vari scenari si può evincere anche dal grafico *“Average IEA crude oil price”* che rende visibile l'eventuale applicazione di politiche energetiche in grado di influenzare in modo costruttivo ed economicamente vantaggioso lo sviluppo energetico del prossimo futuro. I tre scenari delineano un intervallo all'interno del quale c'è ampio spazio di manovra per un utilizzo più razionale delle risorse non rinnovabili e in particolar modo del petrolio, prima risorsa per produzione e consumo a livello mondiale.

La scarsità dei giacimenti di petrolio e le oscillazioni dei prezzi hanno un impatto importante su tutta l'economia internazionale: una riduzione nell'offerta di petrolio frena la possibilità dei paesi industrializzati di registrare crescita economica, influenzandone anche i consumi.

Le previsioni stimano che, nel momento in cui il mondo occidentale uscirà dalla recessione iniziata nel 2008, il prezzo del petrolio riprenderà la sua crescita per oltrepassare i livelli massimi fino ad ora raggiunti e “stabilizzarsi” intorno ai 200 dollari al barile tra il 2020 e il 2035. Il prezzo di questa risorsa è in continua crescita e provoca disequilibrio nei mercati economici e finanziari di tutto il mondo: “secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, ogni aumento di 10 dollari del

prezzo del petrolio causa una perdita del 3% del PIL nei Paesi dell'Africa Sub-Sahariana”¹⁴⁰. Secondo l'economista Rubin, l'economia mondiale è strettamente correlata alla domanda di approvvigionamento energetico, quindi, un aumento della produzione e, soprattutto del consumo di petrolio, potrebbe tradursi in una crescita del PIL, non solo dei singoli Stati, bensì mondiale¹⁴¹.

Un'altra risorsa da sempre collegata al petrolio è il gas naturale. I prezzi del gas sono stabiliti presso gli *hub* di smistamento che possono servire un'area più o meno vasta e si muovono in modo coordinato con la domanda e la necessità di approvvigionamento locale. Dall'apertura del mercato europeo di gas negli anni Cinquanta, la maggior parte dello scambio nell'Europa continentale veniva regolato da contratti di lungo termine, in gran parte venti o trentennali, nei quali era inserito un indice di aggiustamento di prezzo. Attualmente questo mercato sta abbandonando i contratti di lungo termine per fare spazio ad un diverso tipo di determinazione dei prezzi, derivante dalla composizione di domanda e offerta tra i competitor del gas.

In Corea e Giappone, tuttavia, si mantiene stabile e predominante il meccanismo di indicizzazione del gas naturale sul prezzo del petrolio. Un'altra peculiarità è riscontrabile nei Paesi non-OCSE, che utilizzano meccanismi di definizione del prezzo molto differenti tra loro, favoriti dai sussidi statali di cui usufruiscono.

Differenti meccanismi di definizione dei prezzi, limitate possibilità di arbitraggio, il costo del trasporto della risorsa e le locali condizioni del mercato del gas, determinano marcate fluttuazioni all'interno dei diversi mercati.

Nel 2012 il prezzo del gas ha raggiunto i minimi storici. Negli Stati Uniti è sceso al di sotto dei 2 dollari Mbtu (*Million British thermal unit*), all'incirca un quinto del prezzo di importazione del gas naturale commercializzato in Europa e un ottavo di

¹⁴⁰ Che impatto avrebbe l'aumento dei prezzi del *jet fuel* sulle esportazioni, in particolare quelle dei Paesi in via di sviluppo? Un esempio esplicativo potrebbe essere il caso del Kenya. “Il governo keniano calcola che circa il 14% dei suoi cittadini dipende in qualche modo dall'esportazione di fiori. La coltivazione e la spedizione di fiori in Europa contribuisce per circa il 15% al PIL keniano, una percentuale impressionante se si considera che l'industria automobilistica nordamericana rappresenta solo il 2,2% del PIL in Canada e il 1,3% negli Stati Uniti”. Rubin J., “*Why your world is about to get a whole lot smaller. Oil and the end of globalization*”, Random House Canada, Toronto, 2009, titolo tradotto “*Che fine ha fatto il prezzo del petrolio? Energia e futuro dell'economia*”, Elliot edizioni, Roma, 2010, pp. 271-273.

¹⁴¹ Idem, pag. 273.

quello in Giappone¹⁴². Differenziali così importanti sui principali mercati del gas hanno rinvigorito il dibattito di quanto velocemente e facilmente possano fluttuare i prezzi indicizzati dal petrolio.

Secondo alcuni analisti, svincolare il prezzo del gas da quello del petrolio potrebbe avere effetti vantaggiosi, aprendo la strada ad una convergenza dei prezzi unitari, che, a livello internazionale, risulterebbero inferiori ai livelli attuali. Le previsioni relative al prezzo dipendono inevitabilmente dalla domanda, influenzata anche dalla competizione tra il gas naturale e il carbone. A livello mondiale si presume che il prezzo del gas naturale continuerà ad essere condizionato e ancorato al prezzo del petrolio anche nei prossimi decenni. I prezzi del gas naturale differiscono all'interno del tipo di scenario nel quale sono inseriti e riflettono i diversi presupposti delle politiche di intervento per la limitazione, la riduzione della domanda di energia e l'abbattimento delle emissioni di anidride carbonica.

Il carbone è un diretto competitor del gas naturale nel settore energetico. Questa risorsa, pur essendo ampiamente sfruttata, viene scambiata sui mercati solo in piccola percentuale. La determinazione del prezzo finale del carbone, in alcune regioni, è strettamente correlata a quello di scambio nelle borse internazionali, mentre in altri i prezzi locali si allineano ai costi di produzione o ricadono sotto l'egida del controllo statale. Negli ultimi anni, il prezzo del carbone sui mercati internazionali è diventato estremamente volatile, anche in risposta ai rapidi cambiamenti delle tecnologie per il suo utilizzo.

I prezzi del carbone hanno subito una drastica riduzione, passando dai livelli record raggiunti nel 2008, ad un periodo di ripresa tra il 2009 e il 2011, per crollare nuovamente a causa della decrescita della domanda internazionale.

Le previsioni relative al carbone dipendono strettamente dalle variabili collegate alla domanda, la più importante delle quali è la competizione che esiste tra l'utilizzo del gas naturale e del carbone nel settore energetico.

Il prezzo medio di importazione dello *steam coal* viene stabilito all'interno dei Paesi OCSE ed utilizzato, a livello internazionale, come indice di riferimento per la

¹⁴² IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, Novembre 2012, p. 42.

generazione del prezzo. Questo indice influenza anche i prezzi relativi al *coking coal*, ed altre qualità di carbone.

Nel *New Policies scenario* si presume che il prezzo medio del carbone nei Paesi OCSE si attesterà, fino al 2015, sui 110 dollari per tonnellata (con valuta 2011), per poi crescere gradualmente fino ad arrivare a 115 dollari per tonnellata nel 2035. In questo scenario, il prezzo del carbone in percentuale aumenterà meno di quello del petrolio e del gas naturale, e si presume che i costi di produzione cresceranno gradualmente, anche se la domanda della risorsa si stabilizzerà e si livellerà entro il 2025. Nel *Current Policy scenario*, al contrario, i prezzi del carbone aumenterebbero molto in fretta, a seguito di un'importante crescita della domanda, mentre subirebbero una drastica riduzione nel *450 scenario*, quale riflesso della forte influenza delle politiche di efficienza energetica, volte alla riduzione di emissioni di anidride carbonica.

Il WEO, nell'analizzare ed elaborare le previsioni relative alle prospettive di utilizzo dell'energia nucleare, ha la necessità di valutare il peso di un mercato liberalizzato, caratterizzato al suo interno da prezzi di gas e carbone relativamente contenuti. La scelta di costruire nuovi reattori nucleari non attrae investimenti privati, se non sostenuti da sovvenzioni statali per la costruzione degli stessi.

L'incidente avvenuto al reattore nucleare di Dai-ichi a Fukushima nel marzo 2011 ha messo in discussione i piani sviluppati per aumentare la capacità e la potenza dei reattori da installare, soprattutto nell'ambito dei Paesi OCSE.

Lo scetticismo dell'opinione pubblica verso l'utilizzo del nucleare per la generazione di energia elettrica è in crescita e alcuni Paesi hanno deciso di ridurre o perfino annullare, seppur gradualmente, i propri programmi nucleari. Sebbene non ci siano poche prove sul fatto che l'incidente di Fukushima abbia influenzato le politiche di alcuni Stati, esiste la possibilità che regolamenti più stringenti sulla sicurezza potrebbero far innalzare i costi di costruzione dei nuovi reattori, dilatandone i tempi di messa in funzione.

I cambiamenti di breve periodo nella domanda energetica e nella composizione del mix di approvvigionamento energetico rappresentano variabili decisive per la proiezione degli andamenti del mercato internazionale. Gli scenari proposti dalle numerose agenzie internazionali che si occupano di energia si basano parametri

quali, ad esempio, l'aumento demografico. Nella strutturazione delle proiezioni è necessario tenere conto di questi elementi a causa dei loro effetti sul consumo mondiale di energia: le dinamiche del mercato energetico sono in gran parte determinate dalla domanda di approvvigionamento, in particolare, di combustibili fossili destinati alle economie emergenti.

Lo IEA nello sviluppare gli scenari proposti nel WEO 2012 ha evidenziato quattro aspetti che ritiene condizioni fondamentali da cui partire per la realizzazione delle proiezioni energetiche. Il primo è relativo ad un fabbisogno energetico mondiale improntato su una costante crescita. Secondo le stime proposte dagli analisti del IEA, l'economia mondiale crescerà circa del 140%, affiancato ad un aumento demografico, che potrebbe attestarsi su 1,7 miliardi di abitanti¹⁴³. Per soddisfare questa condizione e la conseguente domanda energetica sarà necessaria la produzione di maggiore energia, sebbene le nuove politiche e programmi adottati siano volti a favorire l'*energy management*. Nelle previsioni relative al *New Policies scenario*, il WEO 2012 stima che il consumo di energia primaria crescerà del 35% tra il 2010 e il 2035, con una media annuale dell'1,2%. Questo rappresenterebbe un'importante rallentamento della crescita, sperimentata nelle due decenni precedenti. Non sorprende, invece, che nel *Current Policy scenario*, non introducendo modifiche o politiche energetiche, si ipotizzi, tra il 2010 e il 2035, un aumento annuo del 1,5%. La costante domanda di energia è evidente anche nel *450 scenario*, il quale pur includendo al suo interno una profonda modifica del settore energetico, registrerebbe anch'esso una crescita, seppur modesta, con un tasso annuo dello 0,6%¹⁴⁴.

Il secondo aspetto fondamentale che caratterizza l'andamento energetico si basa sul crescente fabbisogno delle economie emergenti. Numerose regioni dal 2002 al 2012 hanno sperimentato una forte crescita¹⁴⁵. Ad esempio, la regione del Centro e Sud America è passata da 474,9 Mtoe nel 2002 a 665,3 Mtoe nel 2012, registrando un

¹⁴³ IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, novembre 2012, p. 50.

¹⁴⁴ Queste proiezioni si riscontrano anche nei diversi scenari elaborati che quantificano, attraverso il parametro Mtoe, l'incidenza della domanda energetica mondiale. IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, Parigi, Novembre 2012, p. 50.

¹⁴⁵ "BP Statistical Review of World Energy June 2013", BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 40.

aumento, in un solo decennio pari a 190,4 Mtoe. Quella del Medio Oriente da 464,3 Mtoe del 2002 a 761,9 Mtoe del 2012, con un incremento di 297,6 Mtoe, mentre l'Africa da 291,9 Mtoe nel 2002 a 403,3 Mtoe nel 2012, pari a 111,4 Mtoe. Un fattore da sottolineare è la crescita registrata nell'Asia Pacifico: nel 2002 le statistiche riportavano un consumo di energia primaria di 2773,7 Mtoe, e, appena un decennio più tardi, nel 2012, i dati sono quasi raddoppiati raggiungendo un consumo pari a 4992,2 Mtoe. A fronte di una decrescita dei consumi nelle regioni del Nord America e dell'Europa e Eurasia, il consumo globale di energia primaria è aumentato passando da 9597,8 Mtoe del 2002 a 12.476,6 Mtoe del 2012, con un aumento di 2878,8 Mtoe. Questi dati aprono intensi dibattiti sul tema delle risorse e sulla capacità delle stesse di soddisfare una crescente domanda energetica. Tra le preoccupazioni emerge, in modo particolare, la potenziale diminuzione di risorse disponibili, se la crescita economica degli esportatori dovesse assorbire quote consistenti di produzione. Secondo gli analisti dello IEA, la percentuale di energia primaria assorbita dai Paesi non-OCSE è passata dal 36% nel 1973 al 55% del 2010¹⁴⁶ e si prevede un'ulteriore crescita, ipotizzata ed inserita anche nei tre differenti scenari del World Energy Outlook 2012. L'aumento di questa percentuale riflette le trasformazioni interne di questi Paesi, caratterizzati dalla rapida crescita demografica, favorita dall'aumento di benessere generalizzato e migliori condizioni di vita, l'aumento dell'attività economica, la crescente urbanizzazione e la prorompente produzione industriale.

La quota di approvvigionamento energetico mondiale dei Paesi non-OCSE, nel 2035, si aggirerà su una media del 64%. Il terzo aspetto che condiziona tali proiezioni è legato ai combustibili fossili, petrolio gas naturale e carbone, che potrebbero continuare a soddisfare la maggior parte del fabbisogno energetico mondiale. Nel 2010, i combustibili fossili hanno rappresentato l'81% nella composizione delle fonti energetiche utilizzate per la generazione di energia primaria e dovrebbero essere le risorse dominanti anche nel 2035, seppur con caratteristiche diverse all'interno dei differenti scenari elaborati. Nel *Current Policy scenario* si registrerebbe la maggiore quota di combustibili fossili, che si

¹⁴⁶ IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, novembre 2012, p. 51.

aggirerebbe intorno all'80%, mentre nel *450 scenario* le percentuali sarebbero decisamente inferiori, attestandosi al 63%. Fra i combustibili fossili il carbone, al momento, è la fonte il cui utilizzo riscontra le maggiori incertezze: nelle proiezioni del *Current Policy scenario* la domanda di carbone sarebbe destinata a crescere del 59% tra il 2010 e il 2035, mentre nel *450 scenario* si assisterebbe ad un'importante decrescita, dopo un ultimo aumento che verrebbe a verificarsi prima del 2015.

Sebbene la domanda di combustibili fossili sia una componente presente in tutti gli scenari elaborati dal WEO 2012, si prevede una rapida crescita di energia prodotta da risorse rinnovabili, che andrebbero a contribuire in maniera consistente al nuovo mix energetico. Nel *450 scenario* questa percentuale sarebbe piuttosto elevata, riuscendo a soddisfare, nel 2035, il 27% della produzione globale di energia, il doppio rispetto al 13% registrato nel 2010. Il quarto elemento da valutare è la tematica relativa all'accesso universale alle energie, secondo quanto previsto nel *United Nation Sustainable Energy for All initiative*. All'interno di questo complesso quadro, da alcuni anni, i Paesi industrializzati portano avanti il proposito di estendere l'accesso all'energia per favorire la crescita e lo sviluppo economico anche degli Stati più poveri¹⁴⁷.

Nell'ultima valutazione effettuata dallo IEA si riscontra che, attualmente, circa 1,3 miliardi di persone non hanno accesso all'elettricità, dati che corrispondono a circa il 20% della popolazione mondiale, mentre 2,6 miliardi di persone ricorrono ancora alle tradizionali biomasse per cucinare e riscaldare gli ambienti. Più del 95% di questi individui vive nell'Africa sub-Sahariana o nei Paesi asiatici in via di sviluppo¹⁴⁸. Per consentire l'accesso alle moderne tecnologie per l'energia e raggiungere risultati soddisfacenti entro il 2035, non sarebbero sufficienti né il tradizionale approccio di mercato, né la completa attuazione degli impegni fin ora proclamati dai Paesi industrializzati.

¹⁴⁷ Gli Stati Uniti recentemente hanno promosso il *Sustainable Energy for All initiative*, che pone l'obiettivo di raddoppiare la percentuale di utilizzo dell'energia rinnovabile entro il 2030, oltre a prevedere i passaggi per garantire l'accesso universale alle più moderne tecnologie per la generazione di energia e raddoppiare i tassi di efficienza energetica. Lo IEA sta collaborando con gli Stati Uniti per definire le linee guida per il raggiungimento, la quantificazione e lo sviluppo di questi obiettivi.

¹⁴⁸ IEA, "*World Energy Outlook 2012*", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, Novembre 2012, p. 51.

Secondo le stime riportate dal WEO nel 2030, saranno ancora 990 milioni le persone che non avranno possibilità di accesso all'elettricità e 2,6 miliardi quelle che continueranno ad utilizzare biomasse tradizionali.

2.2 Proiezioni sullo sviluppo delle energie rinnovabili: focus sul Medio Oriente e previsioni fino al 2035

L'utilizzo delle energie rinnovabili, incluse le biomasse, nel 2010 ha assorbito la quota del 13% sul totale della domanda di energia primaria su scala mondiale. Questa percentuale è rimasta invariata dal 2000, ma è cambiato il mix dei contributi energetici forniti dai singoli tipi di rinnovabili. La percentuale di utilizzo delle biomasse all'interno delle rinnovabili è diminuita, passando dal 50% del 2000 al 45% del 2010. L'idroelettrico, la più importante risorsa rinnovabile per produzione di energia elettrica, mantiene ancora una relativa centralità. L'elettricità prodotta dall'utilizzo dell'energia eolica è cresciuta del 27% e il solare fotovoltaico del 42% in media ogni anno nell'ultimo decennio¹⁴⁹. Anche il settore delle rinnovabili ha risentito della crisi economica internazionale, specialmente nel 2009, ma il trend di crescita si è mantenuto positivo, soprattutto perché trainato dalla sua crescita in Asia. Gli incentivi e le sovvenzioni statali per la produzione di energia da tali fonti hanno avuto un ruolo significativo. *Energy management* e politiche di tutela ambientale sono state, infatti, le linee guida per stabilire le necessarie riduzioni non solo di domanda di risorse per il fabbisogno interno, ma anche per definire parametri e strategie per l'abbattimento delle emissioni di anidride carbonica e di agenti inquinanti nell'atmosfera.

Il settore delle rinnovabili può inoltre rappresentare uno stimolo per incentivare la crescita economica, diversificando l'approvvigionamento energetico.

L'attenzione si è soffermata soprattutto sul settore dell'elettricità e su quello dei biocombustibili in quanto in molti casi i sussidi statali sono serviti per mitigare costi che possono rendere meno concorrenziali le rinnovabili rispetto alle fonti

¹⁴⁹ IEA, "World Energy Outlook 2012", OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, Novembre 2012, p. 212.

energetiche convenzionali¹⁵⁰. Tra il 2011 e il 2012 l'utilizzo dell'energia idroelettrica e delle rinnovabili ha registrato buoni risultati, passando da 1000,3 Mtoe complessivi, relativi al 2011, per attestarsi, nel 2012, a 1068,5 Mtoe (con una crescita di 68,2 Mtoe in un anno). Scendendo nel dettaglio tra il 2011 e il 2012, la regione del Nord America si è mantenuta sostanzialmente stabile con 215 Mtoe, con una lieve riduzione di produzione idroelettrica nel 2012, compensata da un aumento delle rinnovabili, dinamica valida anche per la regione del Centro e Sud America stabile sui circa 180 Mtoe. Di maggiore interesse sono, invece, i dati relativi ad Africa, Europa ed Eurasia, Asia Pacifico che registrano rispettivamente aumenti di 1,7 Mtoe, da 23,8 nel 2011 a 25,5 Mtoe nel 2012, di 25 Mtoe, da 264,9 Mtoe nel 2011 a 289,9 Mtoe nel 2012 e di 44 Mtoe, da 309,1 Mtoe nel 2011 a 353,1 Mtoe del 2012.

Il dato che emerge con chiarezza è il ruolo, per ora piuttosto marginale, dell'energia prodotta da rinnovabili in Medio Oriente. Si aprono, tuttavia, per quest'area del mondo, scenari energetici del tutto inediti: il Medio Oriente, pur mantenendo il ruolo leader di esportatore di petrolio a livello internazionale, vedrà accrescere il fabbisogno di questa materia prima per soddisfare i consumi interni. Le motivazioni che portano gli analisti ad ipotizzare questo tipo di scenario tengono conto di un'ulteriore espansione della produzione, che potrebbe raggiungere quote pari al 37% a fronte, tuttavia, di una crescita esponenziale dei consumi, che dovrebbero aumentare del 77%. Se è vero che il numero giornaliero di barili prodotti seguirà un trend positivo, andando ad incrementare del 22% l'attuale livello di estrazione, allo stesso tempo la domanda interna, tra il 2012 e il 2035, subirà un forte incremento andando ad erodere una quota consistente nella capacità regionale di esportazione di greggio sui mercati internazionali.

Il Medio Oriente rimarrà il più grande produttore di petrolio a livello mondiale, ipotesi supportata dalla convinzione che la quota di riserve effettive ed economicamente sfruttabili passerà dall'attuale 32% al 34% nel 2035. Tuttavia la quota esportata sui mercati internazionali, in proporzione ai volumi estrattivi, diminuirà in modo significativo, passando dall'attuale 72% al 65%, complice

¹⁵⁰ “BP Statistical Review of World Energy June 2013”, BP Statistical Review of World Energy, London, 2013, p. 41.

proprio il rapido aumento della domanda interna. L'analisi proiettiva sul Medio Oriente non può non tener conto del ruolo del gas naturale. Questo combustibile fossile sta registrando una rapida crescita sia in termini di produzione, con un aumento che attualmente ha raggiunto il 74%, che di consumi, incrementati, nell'ultimo periodo, del 95%. A questi ritmi, si può presumere che la quota di gas utilizzata come energia primaria si espanderà notevolmente, passando dal 49% al 54% del 2035.

Il settore industriale, principale destinatario del consumo di energia primaria da gas, arriverà ad assorbire una quota pari al 44% dei consumi energetici del 2035. Per il 2035 si ipotizza che, rispetto ai livelli attuali, si verificherà un aumento del 84%. Secondo le stime complessive la domanda interna alla regione del Medio Oriente crescerà del 79% e in questa cornice il gas manterrà una posizione dominante rispetto alle altre fonti, aggiudicandosi e stabilizzandosi su una quota del 72% entro il 2035.

Nel breve periodo gli Stati della regione, in particolar modo i ricchi Paesi del Golfo Persico, per evitare l'esaurimento delle loro risorse dovranno necessariamente trovare le opportune alternative: è in tali dinamiche che si inseriscono gli investimenti strategici sull'energia solare. La costruzione di grandi impianti fotovoltaici policristallini, ad esempio, potrebbero rivelarsi una valida soluzione. Potrebbero, inoltre, essere indicati anche i sistemi a concentrazione con specchi a paraboloide, o le torri a concentrazione, il cui fluido vettore risulta composto da una miscela di Sali che può adattarsi alle alte temperature. Occorre però considerare anche i costi e i ritorni economici di tali progetti: i sistemi a concentrazione richiedono, nel complesso, un finanziamento maggiore, che si aggira intorno al 55% in più, rispetto al costo di acquisto e installazione dei pannelli fotovoltaici.

Investire sul solare in Medio Oriente potrebbe avere grandi vantaggi, non solo per la gestione delle risorse, ma per la tutela dell'ambiente, proponendosi come promotore e modello nell'utilizzo di tecnologie non solo altamente all'avanguardia, ma completamente sostenibili.

CAP III
PRODUZIONE E CONSUMO ENERGETICO NEI PAESI DEL GCC: IL
CASO DEL QATAR

3.1 Qatar: quadro politico ed economico

Le caratteristiche geografiche del Qatar hanno da sempre condizionato lo stile e la qualità della vita delle popolazioni autoctone che nel corso dei secoli hanno abitato questo territorio. L'aridità della terra ha, infatti, favorito la tendenza all'isolamento dei gruppi sociali ivi residenti e queste caratteristiche fisiche hanno influenzato non solo lo stile di vita ma anche l'assetto sociale del Paese. L'isolamento e la frammentazione clanico-tribale, infatti, hanno assunto un peso decisivo nelle sue complesse vicissitudini storiche¹⁵¹.

Con una superficie di appena 11586 chilometri quadrati¹⁵² e caratterizzato dalla pressoché totalità di distese desertiche, il Qatar vanta appena poco più del 2% di terra coltivabile soffrendo endemicamente di poca disponibilità di acqua¹⁵³. L'alta concentrazione di sale nelle falde acquifere ha reso la poca acqua disponibile non utilizzabile, finendo per sfavorire il processo di sedentarizzazione di una popolazione concentrata principalmente sulle coste¹⁵⁴.

¹⁵¹ Endress G., *Introduzione alla storia del mondo musulmano*, Marsilio, Venezia 1994 p.105.

¹⁵² CIA World factbook. www.cia.gov.

¹⁵³ Il governo del Qatar ha stanziato e continua a stanziare fondi rilevanti per lo sviluppo dell'agricoltura. In particolare vengono favoriti, attraverso prestiti a tassi agevolati o a fondo perduto, programmi industriali volti ad attrarre aziende leader nel settore agricolo.

¹⁵⁴ Nel caso qatarino la presenza di bedu o beduini (nomadi) e la vocazione marittima di una popolazione sedentaria stanziata lungo le coste ha profondamente influito sulla composizione sociale e di conseguenza sulle successive evoluzioni politiche.



Carta del Qatar.

Fonte: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/qa.html>

L'importanza del Qatar non deve essere ricondotta esclusivamente alle sue rilevanti riserve gas naturale e petrolio, quanto alla posizione strategica per il controllo delle rotte commerciali del Golfo Persico e alle sue risorse¹⁵⁵. Nel corso dei secoli potenze come la Gran Bretagna, l'Iran, l'Arabia Saudita e gli Stati Uniti lo hanno sempre considerato una pedina fondamentale per il controllo di tutta l'area del

¹⁵⁵ L'importanza strategica del Qatar è riconducibile alle attività legate al mare e al commerci attivi nell'area. A partire dal XIII secolo, con il declino del dominio portoghese, nell'area del Golfo Persico entrarono in competizione due potenze in particolare: Olanda e Gran Bretagna. Fu quest'ultima, all'inizio del XIV secolo, a riuscire ad estromettere definitivamente i portoghesi, ottenendo il controllo dell'avamposto portoghese di Hormuz. Gradualmente Londra riuscì a garantirsi il controllo delle importanti rotte commerciali del Golfo Persico: il dominio inglese in tutta la regione rimase incontrastato nei secoli successivi. Per la Gran Bretagna la messa in sicurezza dei traffici marittimi divenne una priorità e tale ambizione ben presto si scontrò con le potenze regionali emergenti come il Regno Saudita. Fromherz A. J., *Qatar a Modern History*, Georgetown University Press, Washington DC, 2012.

Golfo Persico¹⁵⁶. Abitato storicamente da gruppi di tribù nomadi, la popolazione qatarina rappresenta un esempio di tipica società tribale¹⁵⁷. Il fattore che spiega la presenza o l'assenza di rapporti tribali nei complessi meccanismi di Stati abitati in prevalenza da musulmani, è riconducibile al territorio: sono, infatti, caratteristiche geografiche come la presenza di distese desertiche, o un'accentuata orografia, a favorire l'isolamento in gruppi sociali più o meno ristretti. Secondo un'accezione geografica di tipo deterministico, in tal senso, la mancata sedentarizzazione di una popolazione deriverebbe proprio dalle caratteristiche del territorio¹⁵⁸. Nei Paesi del GCC, ormai pienamente inclusi nei flussi della globalizzazione culturale ed economica del XXI secolo, alla luce della loro forte connessione con i mercati esteri, la presenza del tradizionalismo clanico-tribale potrebbe quasi sembrare una contraddizione con la modernità economica¹⁵⁹. Proprio questa modernità deve necessariamente trovare un compromesso con consuetudini che ancora continuano a svolgere un ruolo di primo piano negli equilibri politici interni di questi Stati¹⁶⁰.

¹⁵⁶ La crisi di Suez del 1956, e la conseguente disfatta politico-diplomatica di Francia, Gran Bretagna e Israele, sancì definitivamente l'eclissi dell'egemonia politica delle potenze europee in Medio Oriente a vantaggio di Stati Uniti e Unione Sovietica. L'ascesa di Washington nel controllo geopolitico del Golfo Persico è un aspetto da tenere in considerazione quando si cercano di indagare gli equilibri della regione. Venuto meno l'ombrello militare britannico si innescarono cambiamenti decisivi in tutto il Medio Oriente: Arabia Saudita, Iran e Unione Sovietica cercarono di colmare il vuoto lasciato da Londra, consci dell'intenzione statunitense di raccogliere il testimone per quel che concerne il monopolio economico nella zona e far entrare il Medio Oriente nella sfera di influenza di Washington.

¹⁵⁷ Il tribalismo o, meglio, il vincolo identitario clanico-tribale che caratterizza gli equilibri politici di molti, ma non tutti, i Paesi musulmani, costituisce un fattore da tenere in considerazione per poter comprendere in profondità le logiche culturali e politiche di molti Stati dell'Asia Centrale e del Medio Oriente. Il tribalismo è, infatti, un elemento che condiziona il sistema istituzionale e sociale di Paesi come l'Afghanistan, lo Yemen, la Libia. Allo stesso tempo quasi tutti i Paesi membri del GCC, dall'Arabia Saudita al Bahrein agli Emirati Arabi Uniti, sono governati al loro interno da tali logiche.

¹⁵⁸ In realtà culturalmente diverse dall'Occidente per radici storiche, culturali e religiose, il fattore clanico-tribale pone le basi per diverse forme di appartenenza identitaria e di concezione del potere politico. Non che lo Stato, in contesti lontani dai parametri occidentali, risulti del tutto privo di fondamenta reali per la legittimazione della sua autorità, piuttosto esso si fonda su variabili diverse.

¹⁵⁹ Il binomio tribalismo-religione islamica, le consuetudini e i vincoli parentali di tipo tribale sono presenti in questa area del mondo fin dall'Arabia preislamica. Il messaggio coranico è necessariamente dovuto scendere a compromessi con le antecedenti strutture sociali di tipo clanico-tribale: in un certo senso lo stesso Profeta Muhammad dovette confrontarsi con tali vincoli e consuetudini. Se la vita sociale di un individuo è scandita dall'appartenenza all'*umma* islamica è altrettanto lecito parlare di una duplice identità, perfino una triplice dimensione di appartenenza: quella clanico-tribale, quella religiosa e infine quella statale. Lizza G., *Geopolitica delle Prossime sfide*, op.cit.; Parolin G.P., *Dimensioni dell'appartenenza e cittadinanza nel mondo arabo*, Jovene Editore, Napoli 2007.

¹⁶⁰ L'assetto clanico-tribale non deve essere associato solo allo squilibrio interno di Stati "falliti" come la Libia, l'Afghanistan, lo Yemen, Paesi frammentati politicamente al loro interno proprio per la presenza di queste divisioni sociali. Troppo spesso si tende a sottovalutare quanto il tribalismo

Un'altra variabile che deve essere esaminata è il forte impatto della religione islamica nell'assetto sociale e politico di queste realtà statali. Praticamente in tutti gli Stati abitati in prevalenza da musulmani, lo Stato risente del ruolo della religione nella definizione degli equilibri politici interni. L'Islam rappresenta una dinamica sociale, un motore di rivendicazione politica e allo stesso tempo uno strumento di legittimazione per le élite ai vertici statali¹⁶¹.

Il rapporto tra religione islamica e tribalismo, in tal senso, risulta essere particolarmente controverso. Una tensione scaturita dal tentativo dell'Islam di superare, anzi inglobare, la logica tribale nell'ambito di una comunità più ampia che geograficamente tende a superare i confini del potere politico, l'*umma* islamica¹⁶². Quel complesso meccanismo che ancora oggi condiziona le relazioni tra diversi rami familiari e tra le più importanti e influenti tribù, rappresenta il cardine che regola i meccanismi politici del Qatar. Non deve quindi stupire il fatto che l'organizzazione clanico-tribale sia ancora oggi l'asse portante dell'assetto socio-politico dell'Emirato, un riferimento identitario, una forza su cui lo Stato fa leva per affermare la propria autorità. In Qatar la stessa struttura tribale fu condizionata da una legittimazione politico-militare esterna, quella della Gran Bretagna, decisa a delegare un gruppo tribale specifico al fine di garantire l'autonomia del territorio e la sua stabilità. Allo stesso tempo la solidità della "patto" tribale che garantiva la legittimità del potere statale, e dunque della stessa

possa rappresentare, paradossalmente, anche un agente di legittimazione del potere. Se è vero che il tribalismo può essere ricondotto al particolarismo locale, è dunque sinonimo di localismo, di identità ristretta sia in senso geografico sia sociale, esso può entrare a far parte delle dinamiche statali quando una tribù, o più nello specifico un clan, finiscono per monopolizzare il potere, stipulando accordi politici con altre tribù presenti sul territorio. Distribuzione della ricchezza, accordi matrimoniali e concertazione di altri capi tribali nella gestione politica sono tutti fattori utilizzati dalle case regnanti nei Paesi del Golfo. Fabietti U, *Etnografia della frontiera*, Maltemi Editore, Roma 1997.

¹⁶¹ La religione islamica si sviluppò nella penisola arabica, nella regione dello Hejaz nello specifico, dove il Profeta Muhammad iniziò a predicare un monoteismo che contrastava con il contesto religioso precedente alla rivelazione. A partire dal 610 d.C tale predicazione suscitò accese reazioni da parte dell'establishment politico-religioso meccano che contrastò tenacemente l'ascesa politica e militare dei seguaci del Profeta.

¹⁶² Il "paradigma islamico-tribale", risulta essere ancora in vigore. Se è vero che la società islamica ha risentito e si è adattata alla modernità, è altrettanto vero che quest'ultima non è riuscita ad intaccare i precedenti equilibri. L'attaccamento alle proprie peculiarità socio-culturali risulta "vincente" perché sembra essere l'ultima difesa contro l'omologazione globale, l'occidentalizzazione, la perdita della propria identità. Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, Franco Angeli, Milano 2009. Sugli effetti del processo di "occidentalizzazione" legato alla globalizzazione si consiglia la lettura di Latouche S., *L'occidentalizzazione del mondo*, Bollati Boringhieri, Torino 1992.

Famiglia Reale, era fortemente connesso all'ampiezza della rete di alleanze tra le più influenti tribù. Le logiche tribali legate all'affermazione storica degli Al Thani condizionano gli assetti politici interni: è lo stesso settore economico a risentire in modo significativo di tali dinamiche. Risultano, infatti, fondamentali gli accordi tribali tra le famiglie Al Thani, Al Kuwari, Al Dimmi, Al Kulaifi, mentre allo stesso tempo in seno a queste influenti famiglie vigono complessi meccanismi che vedono alcuni rami familiari al centro della vita politica ed economica del Paese, altri invece decentrati e del tutto privi di influenza¹⁶³. Ancora oggi, anche all'interno degli Al Thani, Famiglia Reale al potere, alcune fazioni risultano essere piuttosto vicine alle posizioni saudite¹⁶⁴. Tuttavia, è altrettanto evidente come la politica indipendente del Qatar, in particolare le sue ambiziose scelte in politica estera, favoriscano accese tensioni con i sauditi¹⁶⁵.

¹⁶³ La famiglia Al Thani si stanziò in Qatar intorno al 1930, incentrando la propria attività sulla pesca e la coltivazione delle perle. Tuttavia il radicamento nell'area circostante a Doha avvenne solo nella metà del XIX secolo. La principale abilità di questa famiglia fu quella di riuscire a creare patti tribali ponendo le basi per la propria legittimazione supportata anche dal sostegno britannico. Kerichian J. A., *Power and succession in Arab monarchies: a reference guide*, Lynne Rienner Publishers, Boulder, CO, 2008.

¹⁶⁴ Le fortune della dottrina wahabita vanno ricondotte alla legittimazione politica data da questa corrente religiosa alla famiglia degli Al Saud e dall'ascesa del Regno Saudita come potenza politica. Nel corso di tutto il XIX secolo il controllo del Qatar divenne in un certo senso il banco di prova tra l'espansionismo wahabita saudita e il tentativo dell'Impero Ottomano di cercare di contenere l'ascesa di una potenza sunnita concorrente. La posta in palio non era solo in ambito politico: l'Arabia Saudita rappresentava un'alternativa che investiva anche la sfera religiosa. La minaccia saudita derivava proprio dalla diversa interpretazione religiosa della dottrina wahabita. In un contesto nel quale la religione fa parte della vita politica, ne scandisce i tempi e rappresenta una forma di legittimazione del potere, l'alternativa dottrinale proposta da Riyadh costituì una svolta. Non a caso ancora oggi, sempre nella galassia sunnita dell'Islam, Turchia e Arabia Saudita sono forse le due potenze più influenti in ambito politico attraverso la propria proiezione oltre i confini nazionali.

¹⁶⁵ Alla fine del XIX secolo in tutta l'area del Golfo Persico venne a delinearsi quella profonda frattura riscontrabile anche nel XXI secolo tra fazioni tradizionaliste da un lato e nuclei di opposizione ai dettami della dottrina wahabita. Le fazioni più "riformatrici" sono identificabili con altri poli di potere politico, come gli al-Nahyan di Abu Dhabi ad esempio, contrari all'intromissione di Riyadh negli affari politico-religiosi interni degli Emirati Arabi Uniti e negli altri Paesi del Golfo Persico. Nei primi decenni del XX secolo il Qatar finì per essere inserito nell'ambito di diverse sfere di influenza. Per la famiglia Al Thani, l'avvicinamento alla corrente wahabita non significò l'accettazione dell'intromissione politica di Riyadh negli affari politici del Paese. La vicinanza geografica e politica dell'Arabia Saudita ha sempre suscitato il timore, non privo di fondamento, di rimanere intrappolati nella sua rete d'influenza. La leva della religione rappresenta ancora oggi un importante fattore che spiega molte scelte interne ed esterne da parte del Qatar. Fromherz A. J., *Qatar a Modern History*, op.cit.

Se prima degli anni Trenta del XX secolo era la posizione strategica del Qatar a rendere importante il controllo di questo piccolo territorio, con la scoperta del petrolio e successivamente del gas naturale tutto cambiò in modo radicale¹⁶⁶.

Durante gli anni Venti e Trenta del XX secolo l'economia qatarina era al collasso, in particolare a causa della crisi che investì il settore perlifero. Le difficili condizioni economiche portarono il Paese ad una profonda recessione, considerando che il tessuto economico qatarino era già di per sé precario e piuttosto dipendente dall'estero¹⁶⁷. Rispetto ai suoi vicini, non era presente in Qatar una classe mercantile dalla lunga tradizione¹⁶⁸. Secondo Elena Maestri in tal senso: “a differenza di quanto avvenuto in gran parte della regione del Golfo, in Qatar non si costituì mai un gruppo compatto e organizzato di mercanti con un ruolo sociale di rilievo ed un proprio peso politico (...). La presenza di una piccola comunità mercantile, fondata sul commercio delle perle, venne meno con la crisi del settore, e le uniche due importanti famiglie di questa comunità che decisero di restare, gli Al-Mani e i Darwish, non ebbero mai alcun interesse a contrapporsi agli Al

¹⁶⁶ Durante il Primo Conflitto Mondiale Abdallah bin Jassim Al Thani scelse di ratificare l'alleanza strategica con la Gran Bretagna con l'ingresso del Qatar nel *Trucial System*, prevedendo la sostanziale cessione di una politica estera indipendente in cambio della protezione militare britannica. Tale accordo sancì, di fatto, l'ufficialità del protettorato britannico sul Paese, anche se alcune tribù, più vicine ai sauditi, rifiutarono di riconoscere tale intesa. Le tensioni sorte all'interno della famiglia Al Thani furono il risultato di tali divisioni. Nel XX secolo la Gran Bretagna, allarmata dall'eventualità di un'annessione diretta saudita del Qatar, Bahrein ed Emirati Arabi Uniti cercò con ogni mezzo di indebolire le fazioni tribali strumentalmente più vicine ai sauditi. La posta in gioco era quella di cercare di controllare gli Stati di recente indipendenza del Golfo a discapito di Riyad. Fromherz A. J., *Qatar a Modern History*, op.cit.

¹⁶⁷ Prima della scoperta delle risorse del Paese, l'economia qatarina era incentrata prettamente sull'attività perlifera, diffusa in tutto il Golfo Persico e principale fonte di sostentamento per le popolazioni della regione. Lo sviluppo dell'attività perlifera raggiunse il suo apice soprattutto nel XIX secolo. Le relazioni e i legami sociali che derivavano da tale attività vennero travolti dai nuovi assetti sociali legati all'estrazione petrolifera. Seppur con le sue varianti da Paese a Paese, il modello dell'attività perlifera era di tipo piramidale, con ai vertici uno sceicco di riferimento proprietario di una flotta dedita alla raccolta delle perle. Tuttavia, in Qatar tale sistema non era molto strutturato e il settore mercantile si rivelò piuttosto vulnerabile ai cali della domanda derivanti dalla crisi economica mondiale degli anni Trenta. Le perle, essendo un bene di lusso, non avevano, infatti, riscontri concreti dal mercato interno - non ancora caratterizzato da un PIL pro capite interno elevato come quello attuale - e di conseguenza la loro commercializzazione era totalmente dipendente dalla domanda estera. Quando quest'ultima, per cause congiunturali, diminuì drasticamente, durante gli anni Trenta e Quaranta del XX secolo, l'economia del Qatar rimase di fatto priva della sua principale fonte di sostentamento. La forte recessione economica che investì il Paese dopo la Seconda Guerra Mondiale, gli *years of hunger*, causarono un forte flusso migratorio e resero possibile un rafforzamento politico degli Al Thani, che riuscirono a concentrare nelle loro mani le rendite petrolifere. Fromherz A. J., *Qatar a Modern History*, op.cit. pag. 114.

¹⁶⁸ Crystal J., *Oil and politics in the Gulf: rulers and merchants in Kuwait and Qatar*, Cambridge University press, Cambridge, 1990, pag. 117

Thani¹⁶⁹”. L’esodo demografico che ne scaturì verso gli Stati limitrofi lasciò di fatto il Paese con un pesante deficit demografico, mentre gli Al-Thani rimasero i padroni incontrastati in ambito politico.

La scoperta del petrolio permise al Qatar di uscire dalla crisi e gli Al Thani finirono per essere i grandi beneficiari di tali scoperte, anche se fu solo dopo il Secondo Conflitto Mondiale che l’ingresso dei proventi dell’attività estrattiva raggiunsero livelli significativi. L’inizio delle esplorazioni, nei primi anni Cinquanta, rappresentò senza dubbio una svolta storica per l’Emirato. Il boom economico del Qatar, collegato ai ricavi derivanti dall’esportazione di idrocarburi, sconvolse radicalmente i precedenti equilibri interni, anche in seno alla stessa Famiglia Reale, all’interno della quale iniziò una dialettica per la divisione delle rendite petrolifere. In ambito interno non si era ancora giunti alla definizione di un assetto tribale che avrebbe successivamente stabilizzato l’assetto politico del Paese. Per gli Al Thani l’elargizione di terre e delle rendite petrolifere, l’assegnazione di cariche governative e un’abile politica matrimoniale furono tutti strumenti indispensabili per contenere le correnti di dissenso e accentrare gradualmente il proprio potere. Tuttavia, la storia della politica interna qatarina, e della famiglia reale nello specifico, risulta essere costantemente caratterizzata da tensioni interne legate a maggiori richieste di condivisione dei proventi dell’attività estrattiva. Gli Al Thani dovevano, infatti, confrontarsi con le tribù qatarine escluse dal potere e per questo decise a delegittimare tale autorità. Questo dualismo ancora oggi condiziona profondamente la politica del Paese. Il tradizionalismo religioso svolge, infatti, un ruolo piuttosto influente nel condizionamento delle scelte politiche e sociali anche se tale indirizzo viene in un certo senso arginato, spesso con successo, da correnti più moderniste e riformiste. Tali pulsioni, la ricerca della modernità e il tradizionalismo tribale, rimangono ancora oggi alla base di tutta la vita socio-politica del Qatar¹⁷⁰.

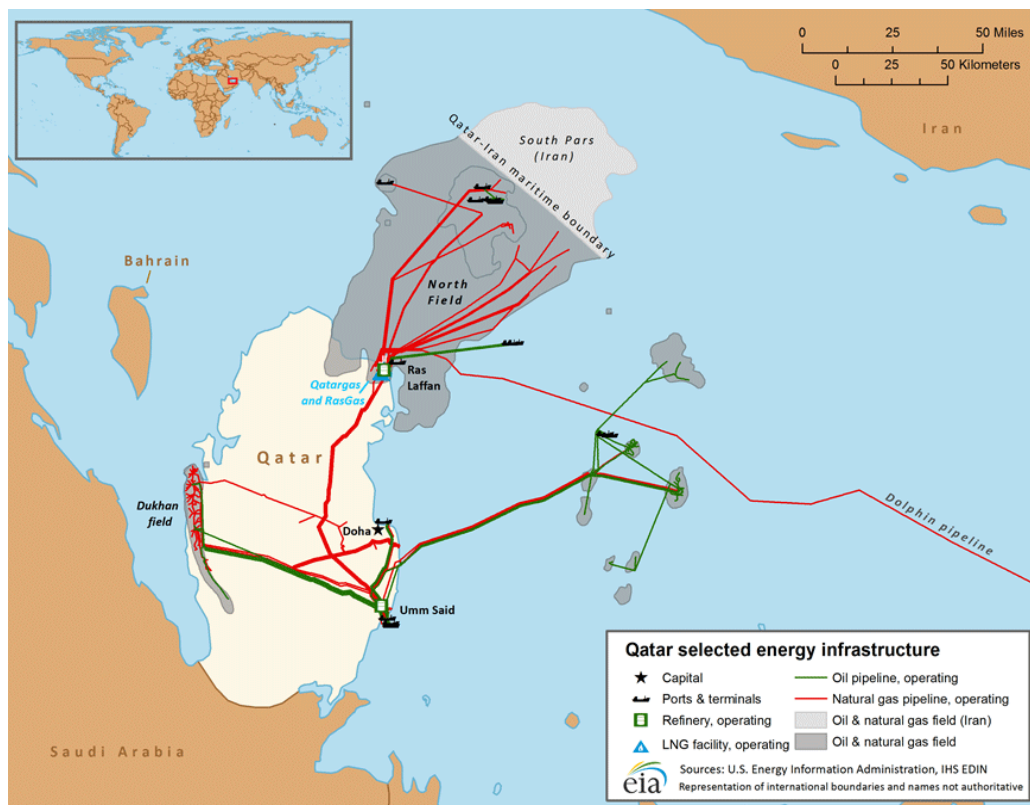
L’attività estrattiva iniziò in Qatar solo dopo il Secondo Conflitto Mondiale e solo alla fine degli anni Cinquanta del XX secolo furono evidenti gli effetti delle rendite

¹⁶⁹ Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, op.cit., pag. 96.

¹⁷⁰ Un fattore degno di nota è rappresentato dalla richiesta ad ogni tribù del giuramento di fedeltà all’Emiro (*bay’ah*). Questo atto ha un importante significato politico. Per approfondire il tema Kerichian J. A., *Power and succession in Arab monarchies: a reference guide*, op.cit, pag. 193.

petrolifere. In questo periodo storico il ruolo delle compagnie anglo-americane risultò predominante: esse garantirono capitali, tecnologia e *know how*, creando i presupposti per il successivo salto di qualità.

La rapida transizione verso un'economia basata sulle rendite petrolifere, attivò dinamiche che hanno finito col condizionare anche l'ambito culturale e sociale: in particolare quest'ultimo segnato dal sorgere di spaccature e divergenze tra le diverse generazioni. L'attività estrattiva mostrò alcune peculiarità le cui conseguenze sono riscontrabili ancora oggi: le compagnie petrolifere straniere siglarono accordi di esclusiva con gli sceicchi proprietari dei terreni dove erano collocati i principali giacimenti escludendo di fatto il resto della popolazione qatarina. Tuttavia i capitali che iniziarono a riempire le casse statali resero possibile, allo stesso tempo, l'ascesa di una classe media che pur non potendo controbilanciare il potere delle famiglie più ricche ed influenti, svolse e continua ad esercitare un ruolo economico rilevante nell'Emirato.



Giacimenti e infrastrutture energetiche del Qatar. In grigio il grande giacimento di gas naturale North Field condiviso con l’Iran. Nella carta sono visibili anche i gasdotti e gli oleodotti che convergono verso la parte orientale del Paese (dove sono collocati Doha, la capitale, e i principali poli industriali). Fonte: <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=qa>

Il Qatar rappresenta un modello tipico di *rentier state*. Tale termine, coniato alla fine degli anni Ottanta, classifica uno Stato la cui economia risulta del tutto dipendente dalla vendita all’estero delle proprie risorse. Il concetto di *rentier state* può dunque essere associato a quei Paesi produttori di gas, petrolio o materie prime legate a questo tipo di esportazioni. Secondo la classificazione di Beblawi¹⁷¹ quattro caratteristiche contraddistinguono un *rentier state*:

- La predominanza della “rendita” nel tessuto economico di un Paese.
- La dipendenza economica verso una rendita esterna e la conseguente debolezza di un settore produttivo interno autosufficiente

¹⁷¹ Hazem Beblawi. *The Rentier State in the Arab World* in Hazem Beblawi, Giacomo Luciani (a cura di). *The Rentier State. Nation, State and Integration in the Arab World*, vol. 2, Routledge, 1987, pp. 49-62.

- L'esclusione di gran parte della popolazione nei processi che assicurano la rendita
- La predominanza dello Stato come beneficiario diretto esclusivo delle rendite derivate dall'esportazione.

La categoria di *rentier state*, attualmente associabile in generale a tutti gli Stati membri del GCC (*Gulf Cooperation Council*), è tuttavia applicabile anche ad alcune realtà dell'America latina, come il Venezuela, e dell'Africa, che vantano al loro interno grandi risorse primarie, non esclusivamente idrocarburi come gas e petrolio. Alcuni analisti e politologi hanno cercato di mettere in relazione le caratteristiche economiche dei *rentier state* con uno specifico assetto politico interno: il quadro che ne è emerso evidenzia una diretta corrispondenza, un legame diretto tra queste caratteristiche economiche e regimi di tipo autoritario. I vertici statali, attraverso un rigido controllo del territorio e della popolazione, tendono, infatti, a reprimere ogni forma di opposizione politica interna. Uno dei fattori che potrebbe spiegare la mancata proliferazione di correnti dissidenti ben strutturate e numericamente rilevanti, risiede forse nella pressoché totale assenza di prelievo fiscale. Un vasto programma di welfare che comprende l'ambito sanitario, scolastico e perfino l'erogazione di sussidi e agevolazioni per beni di prima necessità come l'alloggio, tende a mantenere un alto livello di consenso interno sfavorendo la creazione di movimenti di opposizione¹⁷².

Unica eccezione a questa gestione di politica interna è rappresentata dal Bahrein, dove dissidi interni piuttosto violenti, scaturiti probabilmente a seguito delle primavere arabe, hanno generato una sollevazione diffusa della popolazione locale. Il caso del Bahrein, tuttavia, è *sui generis*: in primo luogo alla luce delle poco significative risorse energetiche del Paese, e in secondo luogo per una caratteristica strutturale legata alla sua particolare composizione etnico-religiosa. La

¹⁷² Non a caso nella maggior parte dei Paesi del GCC problemi di ordine pubblico interno spesso riguardano solo gli scioperi dei lavoratori stranieri, in possesso esclusivamente di visti temporanei legati al contratto di lavoro, che di conseguenza possono essere espulsi facilmente e rimandati ai loro Paesi di origine. Negli Stati del Golfo Persico, proprio nell'ambito del rilascio di visti di lavoro, vista la crescente richiesta di manodopera, i rispettivi governi hanno scelto la politica dell'alternanza etnico-religiosa al fine di evitare la creazione di comunità "nazionali" che potrebbero creare problemi di ordine pubblico.

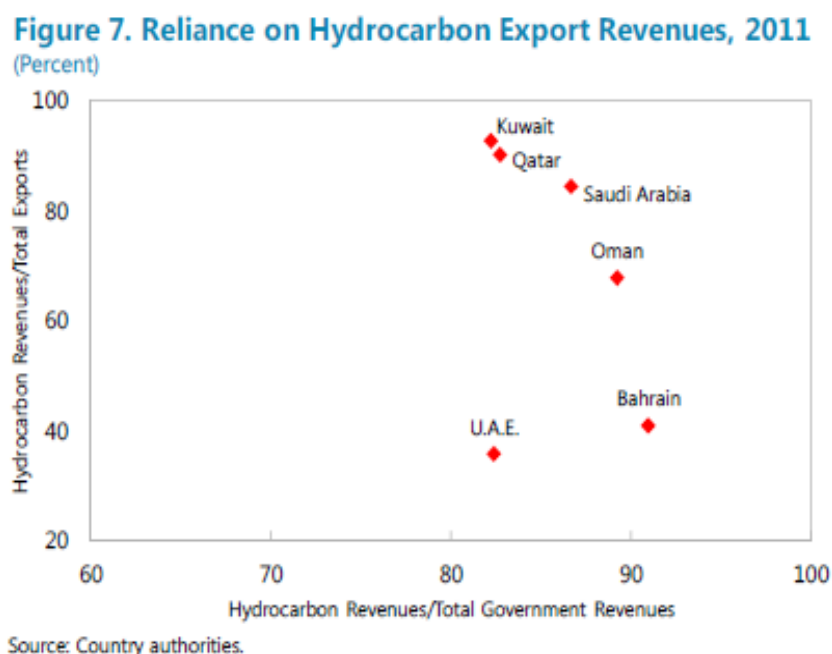
maggioranza della popolazione bahrenita, infatti, è di religione islamica ma appartiene alla corrente sciita dell'islam, mentre gli Al Khalifa, la casa regnante al potere, sono sunniti. Quest'ultimo fattore non è trascurabile in quanto la religione, in tutto il Medio Oriente, rappresenta una leva decisiva per la legittimazione del potere. Se in Qatar o negli Emirati Arabi Uniti la politica dei sussidi ha evidenti riscontri positivi sulla costruzione del consenso venutosi a creare intorno ai vertici politici, va anche sottolineata l'appartenenza delle famiglie reali al potere alla stessa corrente sunnita seguita dalla maggioranza della popolazione. In Bahrein, dunque, al di là della maggiore fragilità economica, la discontinuità religiosa tra chi detiene il potere e la popolazione è un fattore significativo. Seppur con le dovute eccezioni, vi è un nesso tra il modello economico del *rentier state* e una società civile poco attiva e partecipe nella vita politica dello Stato. Un'ulteriore prerogativa di un *rentier state* è la forte presenza statale nel settore economico e l'insieme di misure legislative che ostacolano la penetrazione di società straniere, costrette, di conseguenza, ad entrare in partnership con un soggetto locale o "sponsor".

In Qatar sono numerose le agevolazioni volte ad attrarre investitori stranieri, come ad esempio imposte fisse del 10% per le società estere, l'assenza totale di imposte sul reddito e dazi doganali piuttosto bassi: tali incentivi, tuttavia, sono affiancati da un sistema legislativo che tende a favorire in modo significativo i soggetti locali. Le società straniere che intendono stabilirsi in Qatar hanno a loro disposizione diverse opzioni: la più diffusa è la creazione di una LLC (*Limited Liability Company*). In questo caso l'ente o il soggetto straniero deve necessariamente avere un partner (o sponsor) qatarino la cui quota sociale non deve essere inferiore al 51%. Anche se successivi accordi "parasociali" possono disciplinare gli assetti interni della società, a norma di legge il soggetto qatarino detiene comunque la maggioranza. L'intento è quello di preservare e tutelare gli imprenditori locali, che finiscono così per essere coinvolti in tutte le maggiori attività imprenditoriali che si svolgono nel Paese.

Solo all'inizio del XXI secolo il governo del Qatar ha iniziato ad incentivare l'afflusso di capitali stranieri nel Paese, modificando un impianto legislativo rivelatosi piuttosto restrittivo. A partire dal 2000, infatti, è stata permessa la proprietà delle società al 100% agli stranieri in alcuni settori specifici come quello

agricolo, turistico e sanitario. La legge n.1 del 2010 ha ulteriormente ampliato i margini di inserimento per gli stranieri, mantenendo tuttavia inalterato, in settori chiave dell'economia, il vincolo del 51% detenuto da un soggetto qatarino come requisito indispensabile¹⁷³.

Esiste, inoltre, un altro tipo di introito attraverso la “rendita di posizione”, pratica che riguarda la cessione temporanea di alcune basi militari a potenze straniere, come gli Stati Uniti, che, in cambio della possibilità di controllare un'area strategica come il Golfo Persico, garantiscono al Paese il proprio ombrello militare e il sostegno nei mercati finanziari internazionali. Tali dinamiche, nello specifico caso qatarino, sono riconducibili alla presenza militare statunitense nella base di Al Udeid¹⁷⁴.



Dipendenza dagli introiti dell'esportazione di idrocarburi (dati in percentuale).

Fonte: <http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2012/100512.pdf>

¹⁷³ Un altro fattore che favorisce i soggetti locali è rappresentato dall'impossibilità, per uno straniero, di essere proprietario di un terreno o un bene immobile sul territorio qatarino. L'unica eccezione è rappresentata dal complesso residenziale “The Pearl”, situato a nord di Doha: per il resto permane l'impossibilità di acquisto da parte dell'investitore estero di una proprietà immobiliare nell'Emirato.

¹⁷⁴ Blanchard C.M, *Qatar: Background and U.S. Relations*, 2014 in <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/crs/r131718.pdf>

Osservando il grafico si può notare come il Qatar si collochi, nell'ambito degli Stati aderenti al GCC, appena sotto il Kuwait, con il 90% circa del totale delle entrate statali rappresentate dai proventi dell'esportazione di gas e petrolio. Tale dato è emblematico se confrontato con le statistiche di altri Paesi, come Bahrein ed Emirati Arabi Uniti, che, hanno cercato con maggiore incisività di diversificare la propria economia investendo capitali in altri settori.

La politica economica del governo qatarino ha, tra le sue priorità, il superamento di tale debolezza strutturale attraverso una maggiore diversificazione economica. Alcune teorie economiche hanno messo in evidenza la relazione tra un eccessivo peso delle esportazioni di materie prime e un conseguente sbilanciamento strutturale dell'economia. Il *Dutch Disease*, ad esempio, teoria economica emersa alla fine degli anni Settanta, mise proprio in relazione le alte rendite di un Paese derivanti dall'attività estrattiva al declino dell'industria manifatturiera dovuta all'apprezzamento del tasso di cambio. La conseguenza piuttosto rilevante è l'incapacità di inserirsi nel commercio internazionale a causa dei prezzi poco competitivi delle proprie merci. L'attività estrattiva e l'eccessiva centralità delle esportazioni, se non inserite in un tessuto economico solido, rischierebbero di assorbire negativamente gli altri settori produttivi rendendoli poco concorrenziali nel mercato internazionale.

La logica di una maggiore diversificazione produttiva dell'economia qatarina rappresenta ormai una priorità per l'Emiro, a causa della consapevolezza dei rischi derivanti dalla debolezza dovuta all'eccessiva dipendenza dai prezzi del mercato internazionale.

Secondo stime dell'IMF¹⁷⁵, il PIL del Qatar è triplicato in poco più di dieci anni, mentre il PIL pro capite, anche alla luce delle ristrettezze nella concessione della cittadinanza, è addirittura il più alto al mondo. Il boom economico qatarino, recente se valutato in ottica di lungo periodo, ha inevitabilmente modificato gli equilibri interni dell'Emirato¹⁷⁶. Le conseguenze di questo nuovo corso non sono ancora del tutto leggibili: il precedente assetto politico, economico e sociale è stato, infatti, profondamente modificato dal passaggio da un'economia di sussistenza ad una

¹⁷⁵ Fonte: IMF, *International Monetary Fund*.

¹⁷⁶ Fromherz A. J., *Qatar a Modern History*, op.cit.

incentrata principalmente sullo sfruttamento intensivo dei giacimenti presenti *onshore* e *offshore* nel territorio. All'interno di questa cornice non sono trascurabili gli effetti derivanti da una crescita economica molto rapida, che ha comportato difficoltà legate alla gestione del flusso di lavoratori e capitali nel Paese. Negli ultimi decenni del XX secolo, la mancanza di manodopera e il deficit demografico sono stati fattori negativi che hanno reso necessari molti sforzi della classe dirigente qatarina¹⁷⁷.

Il Qatar mira ambiziosamente a diventare uno Stato di riferimento in senso economico e culturale in tutto il Medio Oriente e all'avanguardia in diversi settori. È in questo contesto che si inserisce il tentativo da parte della classe dirigente al potere di creare un *brand state*¹⁷⁸. Molte dinamiche che caratterizzano in questi anni le scelte del Qatar ricalcano proprio tale tentativo, indirizzo certamente connesso al ruolo energetico che questo piccolo Emirato ricopre.

Il Qatar detiene le terze riserve mondiali di gas naturale: il gas rappresenta quindi la principale risorsa del Paese, tale ricchezza risulta concentrata su un territorio limitato e abitato da una popolazione esigua se confrontato con altri grandi Stati esportatori di gas come Russia e Iran.

¹⁷⁷ Hanno assunto una crescente centralità quei programmi che mirano, attraverso enti come la *Qatar Foundation*, a favorire progetti di scolarizzazione di alta qualità. La qualità del servizio scolastico attesta la lungimiranza della classe politica al potere: va sottolineato come proprio i servizi scolastici e quelli sanitari svolgano un ruolo fondamentale per la creazione del consenso e la definizione di quel "patto tribale" posto a garanzia della stabilità politica interna.

¹⁷⁸ "Countries and sectors within countries, are just like large companies. And of course, like companies, they can be branded. Anything can be branded (..) However, national branding is not an easy matter. Although the revenues of certain companies are larger than the gross domestic product (GDP) of some countries, branding a country is far more complex in nature than branding a company". Temporal P., *Islamic branding and marketing*, John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd, Singapore 2011. p. 15.

Top 10 countries with proved natural gas reserves, 2014

Country	trillion cubic feet
Russia	1,688
Iran	1,193
Qatar	885
United States	334*
Saudi Arabia	291
Turkmenistan	265
United Arab Emirates	215
Venezuela	196
Nigeria	181
Algeria	159

*2012 data

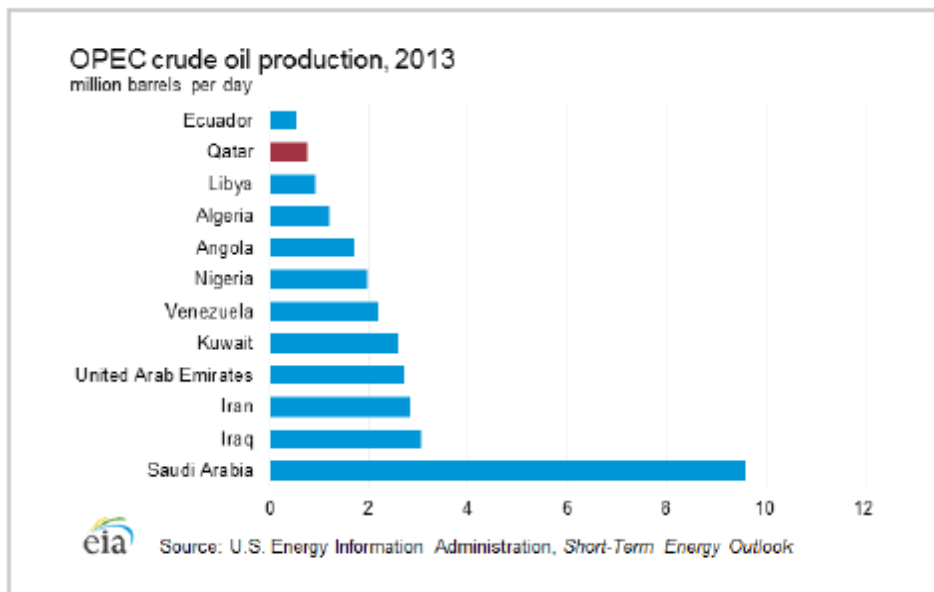
Source: U.S. Energy Information Administration,
International Energy Statistics, Oil & Gas Journal

Classifica degli Stati che detengono le maggiori riserve di gas (2014)

Fonte: <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Qatar/qatar.pdf>

Nello specifico la ricchezza del sottosuolo qatarino va collegata al North Dome, il più grande giacimento di gas naturale *offshore* del mondo. Rispetto ad alcuni Stati limitrofi, infatti, le riserve petrolifere del Qatar risultano essere poco rilevanti, attestandosi ad appena il 2,3% delle riserve totali mondiali¹⁷⁹, collocando lo Stato al penultimo posto degli Stati aderenti all'OPEC per volume di barili di petrolio esportati.

¹⁷⁹ Fonte: www.eia.gov



Classifica Stati per produzione di petrolio (milione di barili al giorno).

Fonte: <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Qatar/qatar.pdf>

La Qatar Gas, società fondata nel 1984 e alla quale vennero destinati significativi investimenti statali durante tutti gli anni Novanta, rappresenta la colonna portante del programma di sviluppo estrattivo qatarino. Soprattutto dopo il 1995, con l'ascesa al potere di Hamad bin Khalifa Al Thani, lo sfruttamento intensivo dei giacimenti di gas naturale è divenuta la priorità economica del Paese.

Negli anni Novanta, alcune tribù del Paese e perfino da una fazione della famiglia reale non accettarono alcune conseguenze connesse allo sfruttamento delle risorse naturali. Il malcontento derivava, in particolare, dal timore di cadere in una dipendenza eccessiva nei confronti delle grandi aziende multinazionali straniere come Shell, Exxon, Total. In funzione di queste voci di dissenso interno, la casa regnante cercò di evitare monopoli stranieri nella gestione delle proprie risorse, favorendo anche aziende francesi (la sopracitata Total) e giapponesi (Mitsui e Marubeni) specializzate nel settore estrattivo. L'accaparramento della tecnologia occidentale pur essendo indispensabile, creò tuttavia preoccupazione in merito anche a fattori di politica estera, in particolare sulla collocazione geopolitica assunta dal Qatar dopo accordi economici così strategici.

Era opinione diffusa che la penetrazione economica di aziende straniere avrebbe necessariamente avuto anche effetti di tipo politico. Tale previsione non risultò priva di fondamento, ma senza il *know how* importato dall'esterno sarebbe stato impossibile realizzare l'attuale industria del gas dedicata all'esportazione.

Durante gli anni Novanta la dipendenza dall'estero, tuttavia, non riguardava solo l'aspetto tecnologico ma era anche di tipo finanziario. Pur essendo in una fase di grande espansione produttiva, le casse statali non erano in grado di soddisfare le richieste derivanti dal costoso avvio del primo grande progetto Qatar Gas 1: tale esigenza rese necessario anche un sostegno economico dall'estero, dunque la dipendenza del Qatar fu duplice.

La scelta, strategica per il Paese, fu quella di puntare verso uno specifico tipo di tecnologia estrattiva, il GNL, acronimo di Gas Naturale Liquefatto (in inglese LNG, *Liquefied Natural Gas*), per il cui sviluppo il Qatar ha investito oltre settanta miliardi di dollari solo nel sito di stoccaggio di Ras Laffan¹⁸⁰.

Il GNL è un gas composto in maggior parte da metano, ottenuto attraverso diversi trattamenti della materia prima estratta dai giacimenti, allo scopo di eliminare le impurità dal gas. La particolarità del GNL è tuttavia rappresentata dal passaggio del gas allo stato liquido attraverso un processo di raffreddamento rapido. Tale procedimento permette di stoccare il gas liquefatto in navi metaniere e inviarne il contenuto ai porti di destinazione, dove ad attendere la metaniera ci sono impianti di rigassificazione collocati direttamente nei mercati di consumo.

Attraverso diverse fasi di filiera produttiva il gas naturale perde fino a 600 volte il proprio volume, aumentandone la competitività in termini di costi di trasporto. Sono altri, inoltre, i vantaggi che rendono il gas una risorsa altamente competitiva, tra i quali emerge in primo luogo il minor impatto ambientale, in quanto la sua combustione produce basse percentuali di anidride carbonica e risulta priva di residui come polveri sottili o metalli pesanti rispetto al petrolio e soprattutto al carbone.

¹⁸⁰ Il sito produttivo di Ras Laffan, collocato circa cinquanta chilometri a nord di Doha, rappresenta il maggiore complesso industriale gasifero del mondo e vede impiegati oltre duecentomila lavoratori. Ennasril N., *L'enigme du Qatar*, op.cit.

La domanda globale di GNL tende ad aumentare in modo significativo, con un incremento previsto del 200% entro il 2030 secondo alcune stime recenti.

La scelta del Qatar di convergere verso un tipo di tecnologia più onerosa in termini di costi di estrazione e raffinazione ha tuttavia, nel medio periodo, accresciuto il vantaggio competitivo del Paese nello scacchiere energetico internazionale. La possibilità di esportare via nave il proprio gas permette, infatti, a Doha di svincolarsi geograficamente da altri Paesi come l'Arabia Saudita, che avrebbe indirettamente controllato le risorse qatarine se quest'ultime fossero transitate, attraverso gasdotti, sul suo territorio. La possibilità di svincolarsi dai limiti fisici dei gasdotti rende possibile per le navi metaniere raggiungere via mare tutti i mercati. Ad esempio, nonostante il rallentamento della domanda americana legata alla crisi economica dal 2009, Doha è stata in grado di diversificare le sue esportazioni, aprendosi in particolare ai mercati orientali: sfruttando la propria posizione strategica Cina, India, Giappone e Sudest asiatico sono diventati i principali mercati di sbocco per il gas qatarino.

Visto il successo economico del GNL, anche altri Stati hanno deciso di investire in questo tipo di tecnologia. Il governo australiano, ad esempio, ha recentemente stanziato circa 170 miliardi di dollari coinvolgendo anche capitali stranieri al fine di raggiungere il livello di produzione del Qatar prima del 2020. L'Iran, al contrario, condivide il grande giacimento South Pars - North Dome proprio con il Qatar: tuttavia a causa delle tensioni politiche con Stati Uniti e Unione Europea e delle sanzioni internazionali per il suo programma nucleare, Teheran non è in grado di sfruttare il proprio potenziale estrattivo con la tecnologia GNL.

Al contrario, proprio attraverso il gas il Qatar è riuscito a ritagliarsi un ruolo di primo piano nel contesto energetico internazionale, assumendo anche le redini, insieme a Russia ed Iran, del GECF¹⁸¹, il Forum dei Paesi produttori di gas. Seppur lontano dal peso geopolitico assunto dall'OPEC nell'ambito della definizione dei

¹⁸¹ Il *Gas Exporting Countries Forum* è un'organizzazione composta da Algeria, Bolivia, Egitto, Guinea Equatoriale, Iran, Libia, Nigeria, Qatar, Federazione Russa, Trinidad e Tobago e Venezuela. Riunitosi per la prima volta nel 2001, questo Forum controlla circa il 70% delle riserve mondiali di gas naturale e l'85% della produzione LNG. Alcuni Stati membri hanno intenzione di rendere il GECF un cartello del gas analogo all'OPEC, aumentandone il peso specifico negli assetti energetici internazionali. Dietsch M., *The Next Global Energy Cartel*, in "Forbes", 10/12/2009.

prezzi del singolo barile di petrolio, tale iniziativa potrebbe ben presto assumere un'importante valenza visto il crescente consumo di gas a livello globale.

Il Qatar sta investendo anche sulla tecnologia GTL (*Gas To Liquids*): si tratta di un particolare processo di raffinazione che permette di produrre dal gas combustibili di tipo sintetico. La Shell rappresenta il partner principale in un'operazione costata complessivamente circa 18 miliardi di dollari e che permette di produrre, sempre nel sito di Las Laffan, circa 140 000 barili di combustibile al giorno.

3.2 Aspetti geopolitici: l'integrazione regionale dei Paesi del Golfo Persico

Nel XXI secolo il Medio Oriente è al centro di forti tensioni che scaturiscono dai grandi interessi suscitati dalla concentrazione di giacimenti di petrolio e gas in quest'area: la mancanza di una stabilità politica e l'endemico alternarsi di regimi dittatoriali contro cui si agitano le rivolte popolari, fa sì che l'intera regione rappresenti un'area fortemente sensibile alle ingerenze straniere, desiderose di stabilire zone di controllo da sfruttare a proprio vantaggio¹⁸². Da un punto di vista prettamente geografico, il Golfo Persico rappresenta la linea di confine tra mondo sciita e sunnita, tra potenza iraniana sciita e Stati sunniti come Arabia Saudita, Turchia ed Egitto, che hanno sempre assunto un peso rilevante negli assetti politici mediorientali. Se è vero che va considerato che anche in seno a questi schieramenti, in particolare all'interno della galassia sunnita, sono presenti ulteriori divisioni interne che spesso sfociano in conflitti aperti, la divisione tra sciiti e sunniti è una prima chiave di lettura da tenere in considerazione per comprendere le tensioni scaturite nella zona¹⁸³. Il fattore religioso e quello economico si sono configurati come le principali forze in grado di foggare gli assetti dell'intera regione di quello che era noto come il Golfo Arabico. Si legge infatti: "Over the years, Islam and oil

¹⁸²Dopo le scoperte petrolifere il Golfo Persico ha gradualmente iniziato ad assumere grande importanza negli assetti geopolitici mondiali. Se è vero che nel XIX secolo fu Suez a rappresentare uno snodo fondamentale per il mantenimento della stabilità nei traffici marittimi mondiali, dopo le scoperte dei giacimenti di petrolio e gas è stata l'area del Golfo Persico ad aver acquisito centralità negli equilibri geopolitici regionali.

¹⁸³ Le differenze tra sciismo e sunnismo sono ancorate ad origini storiche. La corrente sciita, o "fazione di Ali" emerse come movimento di opposizione alla successione del Profeta Muhammad. Nei secoli tale divisione è andata radicalizzandosi, come dimostrato ad esempio dalla contrapposizione armata tra Iran e Iraq negli anni ottanta (1980-1988).

have been the two principal forces shaping developments in the Persian Gulf and in the broader Middle-East. While Islam has been the foundation and scaffolding for some 1400 years, oil has been a relative newcomer in framing events in the region, with oil production initiated in Iran about 100 years ago, gaining global and regional significance after World War II and capturing global headlines beginning in 1973-1974". I cambiamenti segnalati da Askari conducono agli eventi verificatisi nel XX secolo con il ritiro britannico dal Golfo Persico, da considerarsi vero spartiacque storico: la fine del dominio britannico causò una ridefinizione geopolitica dell'area¹⁸⁴. La contrapposizione tra sunnismo e sciismo permette di interpretare alcune dinamiche che si innescano all'interno degli Stati del Golfo Persico e di tutto il Medio Oriente: nei punti di contatto tra le due diverse fazioni sorte in seno all'Islam a partire dalla fine del VII secolo, le tensioni, spesso anche violente, finiscono per condizionare l'assetto dei singoli Stati, caratterizzati al loro interno da instabilità di tipo politico e sociale.



Sunniti e sciiti in Medio Oriente. La carta descrive la divisione interna presente nell'universo musulmano tra sunniti (verde chiaro) e le popolazioni che professano l'Islam sciita (verde scuro).

Fonte: <http://www.globalsecurity.org/>

¹⁸⁴ Askari H., *Collaborative Colonialism: the Political Economy of Oil in the Persian Gulf*, Palgrave Macmillan, New York 2013, p. XV. Per ulteriori approfondimenti si veda anche Nyrop F. R., *Area Handbook for the Persian Gulf States*, Wildside Press, 2008.

Stati caratterizzati dalla compresenza di sciiti e sunniti quali Iraq, Libano, Siria, Bahrein, Yemen e, in parte, Arabia Saudita risultano essere condizionati da tali variabili. Il caso saudita è *sui generis* in quanto Riyadh rappresenta, anche in ambito dottrinario, un riferimento politico in tutta la galassia sunnita: la presenza di minoranze sciite, tuttavia, peraltro geograficamente concentrate in prossimità dei giacimenti di petrolio, costituisce un pericolo che Riyadh ha sempre cercato e cerca tuttora di controllare. È la stessa politica estera saudita ad esserne notevolmente condizionata. La frattura tra sciismo e sunnismo è inoltre esacerbata, negli assetti interni di molti Stati, dall'intromissione politica, diplomatica ed economica di potenze esterne come gli Stati Uniti, che direttamente o indirettamente in un certo senso sfruttano tali divisioni.

La contrapposizione tra sciiti e sunniti ha assunto un peso rilevante nella creazione, nel maggio 1981, del GCC (*Gulf Cooperation Council*). Tale organizzazione regionale, favorita in origine da sauditi e americani, comprende sei Stati del Golfo Persico: Arabia Saudita, Bahrein, Qatar, Emirati Arabi Uniti, Oman e Kuwait¹⁸⁵. Alcune prerogative accomunano questi Paesi: l'identità araba e islamica, strutture sociali ancorate al paradigma tribale, uno sviluppo economico legato principalmente allo sfruttamento delle riserve di gas e petrolio, nonché la parziale redistribuzione di tali ricchezze sotto forma di un capillare *welfare state*.

¹⁸⁵Sulla fondazione, le prospettive e i risultati raggiunti dagli accordi siglati tra il 4 febbraio e il 26 maggio del 1981, che portarono formalmente alla creazione del GCC, si veda inoltre Ramazani R. K., *The Gulf Cooperation Council: Record and Analysis*, with a foreword by Soltan Bin Mohamed Al-Qasimi, The University Press of Virginia, 1988. Il testo di Ramazani si concentra principalmente sulla percezione immediatamente successiva, avvenuta soprattutto entro i confini di questa organizzazione, circa il ruolo che il consiglio ha avuto negli equilibri regionali. Si legge infatti: "Five years after the founding of the Gulf Cooperation Council (GCC) in 1981 [...] the debate over the reasons for its creation continued. A number of observers, particularly from the Gulf Arab countries, have seen the GCC as an organic growth rooted in the pre-GCC interaction of the six member states, particularly in the economic field. Other have emphasized various kinds of threats, ranging from that of Israel to those of the Soviet Union, the United States and Iran. Still others, in fact most observers, have attributed the birth of the organization to the threat of the Iraq-Iran war. [...] Anti-Western regimes, especially those led the Soviet Union, have characterized the GCC as a military 'arm of NATO'. Anti-American observers have dubbed it 'a tool of the United States' in the pursuit of its imperialist game in the Middle East. [...] The admirers of the GCC, on the other hand, have viewed it favorably for various reasons." (Ivi, p. 1).



Stati membri del Gulf Cooperation Council.

Fonte: <http://tacstrat.com/content/index.php>

Il GCC fu creato con l'intento di stabilire una confluenza, in ambito economico e sociale, tra gli Stati del Golfo Persico: “la ricerca di una qualche forma di integrazione regionale, era indispensabile per una crescita economica sostenuta, in grado di contrastare, almeno in parte, quella vulnerabilità derivante dalle limitatissime capacità di difesa di ciascuno dei sei paesi, e dalle minacce sterne potenzialmente destabilizzanti di quegli anni; la rivoluzione islamica in Iran (1979), l'inizio di un'intensa attività da parte di Teheran di “esportazione” della ideologia khomeinista, l'invasione sovietica dell'Afghanistan (1979) e lo scoppio della guerra Iran-Iraq (1980) furono forse i fattori che più servirono da stimolo ad una istituzionalizzazione della cooperazione tra i sei paesi arabi del Golfo”¹⁸⁶.

Storicamente la creazione del GCC può essere dunque interpretata come una risposta alla rivoluzione khomeinista del 1979 e alla guerra tra Iraq e Iran (1980-1988). Nei colloqui e nei negoziati avviati in quegli anni dai vertici dei rispettivi Stati, erano tuttavia emerse posizioni diverse sulle finalità da dare a questa Associazione. Alcuni Paesi come l'Oman erano intenzionati a promuovere una cooperazione incentrata sulla sicurezza comune e la difesa integrata, mentre il

¹⁸⁶ Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, op. cit., pag.142

Kuwait era il principale promotore di una linea orientata all'integrazione economica sul modello dell'Unione Europea.

Alla fine fu proprio il progetto kuwaitiano ad avere la meglio: la creazione di un unico blocco militare avrebbe, infatti, comportato una maggiore unione politica che alcuni Stati non dividevano. Realisticamente, inoltre, pur integrando i rispettivi eserciti degli Stati membri, era chiaro come l'ombrello militare statunitense fosse una *conditio sine qua non* per garantire la sicurezza di questi ricchi Paesi contro le minacce esterne. In ambito economico la priorità era quella di cercare un coordinamento nell'applicazione dei programmi di diversificazione economica, evitando che il GCC, come altre Associazioni, rappresentasse una semplice sovrastruttura politica con l'unico intento di svolgere il ruolo di cassa di risonanza ideologica¹⁸⁷.

L'Aeu (Accordo Economico Unificato) del 1981 costituì il punto di partenza nel processo di integrazione economica dei Paesi del GCC. Esso delineò le principali tappe attraverso cui si concretizzò il processo di unificazione, come la creazione di un'area di libero scambio con eliminazione delle tariffe doganali, l'adozione di una tariffa comune per i commerci con gli Stati extra-GCC, la libera circolazione di capitali e cittadini all'interno dell'area GCC, incentivi alla creazione di *joint venture* regionali ecc.. In ambito economico assunse particolare importanza l'armonizzazione dei piani di sviluppo, correlata a:

- (A) coordinamento delle politiche petrolifere e di sfruttamento del gas naturale;
- (B) coordinamento delle attività industriali attraverso l'adozione di politiche di sviluppo industriale e di diversificazione della produzione su base integrata
- (C) unificazione delle leggi e dei documenti relativi all'industria

¹⁸⁷ La struttura istituzionale dell'Organizzazione vede il Consiglio Supremo, composto dai Capi di Stato dei sei Paesi membri, come il più alto organo decisionale affiancato da un Comitato per la soluzione delle controversie interne. La Presidenza del Consiglio Supremo è a rotazione, mentre è prevista una sessione ordinaria del Consiglio con cadenza annuale, con la possibilità di convocare sessioni straordinarie. Altri organi importanti sono il Segretariato Generale, principale organo tecnico e amministrativo, e il Consiglio Ministeriale composto da Ministri degli Esteri degli Stati aderenti. Le principali funzioni del Segretariato riguardano la promozione di studi e analisi che si focalizzano sul livello della cooperazione raggiunti in diversi settori, la stesura di relazioni periodiche finalizzate a controllare l'effettivo rispetto da parte dei Paesi Membri delle raccomandazioni del Consiglio Supremo e mansioni di tipo amministrativo. Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, op.cit., pag.145. Per ulteriori approfondimenti sulla struttura istituzionale dell'Organizzazione si rimanda, tra gli altri, a Legum C. (ed.), *Middle East Contemporary Survey: 1981-82*, Holmes & Meyer Pub, 1984.

(D) adeguata ripartizione delle industrie tra gli Stati membri, secondo valutazioni che tengano in debito conto fattibilità e vantaggi economici dei progetti industriali¹⁸⁸.

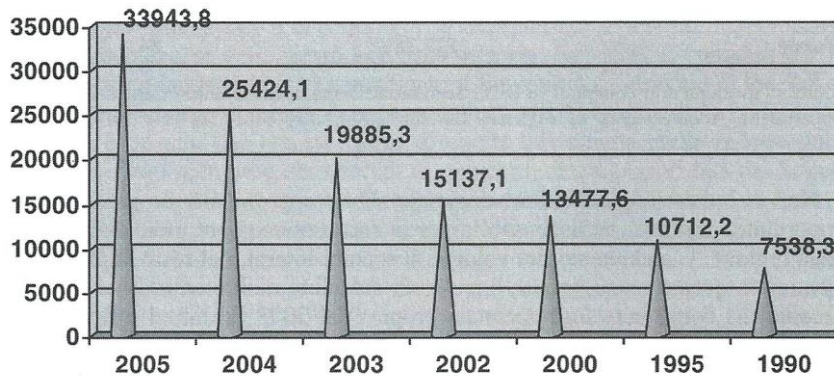
L'analisi del processo di integrazione economica tra i sei Stati membri evidenzia come si siano registrate fasi alterne caratterizzate da ritardi e battute d'arresto rispetto ai propositi e alle ambizioni iniziali. In un certo senso solo recentemente, viste le crescenti necessità di integrazione e ristrutturazione economica, sembra essersi rivitalizzata la fusione in ambito economico nel XXI secolo. Gli Stati del Golfo si trovano, infatti, di fronte a sfide simili e cercare di creare un fronte comune per affrontarle rappresenta senza dubbio una strategia che potrebbe rivelarsi proficua. Al di là di questi sforzi congiunti, numerosi obiettivi prefissati, tuttavia, dovettero fronteggiare diversi ostacoli alla loro realizzazione: l'integrazione regionale fu, di fatto, un processo discontinuo troppo spesso dipendente da stimoli e sollecitazioni provenienti dall'esterno. L'aspetto economico ha rappresentato una priorità fondamentale per il GCC: la definizione di una strategia industriale unificata e la creazione di progetti congiunti sono solo alcuni dei risultati portati avanti negli ultimi trent'anni. In questo senso l'unione doganale costituisce un importante passo verso la creazione di un blocco economico unico.

¹⁸⁸ Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, op.cit., p.148.

Anno	1985	1990	1995	2000	2003	2005
Totale	6.470,1	7.538,3	10.712,2	13.477,6	19.885,3	33.843,8

Fonte: ricavata da dati contenuti in GCC Secretariat General, Information Center-Statistical Department, *Achievements...* op. cit., sito web <http://www.gcc-sg.org>.

Figura 2 – Andamento del commercio intra-GCC tra il 1990 e il 2005 (in milioni di \$)



Fonte: GCC Secretariat General, Information Center-Statistical Department, *Achievements...* op. cit., sito web <http://www.gcc-sg.org>.

Commercio intra-GCC in milioni di dollari, Fonte: Maestri E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, op.cit., p. 156.

Come si evince dal grafico il commercio interno tra gli Stati aderenti al GCC è cresciuto in modo esponenziale tra il 1990 e il 2005. In ambito sociale la comune identità araba del Golfo (*al-huwiyyah al-khalijiyyah*) in un certo senso è stata rafforzata dall'integrazione e le agevolazioni ad essa connesse, ancor più che in ambito economico. Sadun Bordoni arriva infatti ad affermare: “[...] la nuova organizzazione non era né poteva essere concepita come pura e semplice ‘comunità economica’, ma si proponeva altresì come l’istituzionalizzazione di tutta una serie di legami storici, religiosi, sociali, tribali e culturali, che potevano rappresentare e di fatto rappresentarono un’utile base di partenza anche per un coinvolgimento della popolazione locale nella ‘psicologia della cooperazione, sulla base di una condivisa e comune ‘identità araba del Golfo’ (*al-huwiyyah al-khalijiyyah*) e di un suo rafforzamento. Quest’ultimo aspetto, del resto, fu spesso visto dalle stesse leadership arabe del Golfo come un indispensabile processo parallelo a quel ‘national identity building process’, che non poteva ignorare la specifica realtà di entità statuali emerse da confederazioni tribali, i cui legami familiari/tribali erano spesso transfrontalieri e continuavano a tenere in ben poco conto i confini dei

moderni Stati territorializzati, riproponendo la centralità di antiche e radicate solidarietà”¹⁸⁹. Tuttavia, proprio durante questo “national identity building process” il particolarismo locale e la mancata coesione sono emersi soprattutto in merito alle divergenti posizioni in politica estera. Lo schieramento dei singoli Stati in alcune importanti questioni politiche internazionali, come nel caso delle cosiddette primavere arabe, mostrano con evidenza come in realtà il salto di qualità in ambito politico del GCC non sia ancora stato raggiunto.

Il caso del Qatar, in questo frangente, è in certo senso emblematico. Il dinamismo politico dell’Emirato ha, infatti, suscitato accese tensioni con gli altri membri del GCC: in particolare sono i sauditi a non accettare le posizioni di Doha in politica estera. Storicamente le relazioni tra Qatar e Arabia Saudita sono sempre state piuttosto tese, in particolare a causa dei costanti tentativi di Riyadh di estendere la propria sfera di influenza a tutti gli Stati del Golfo Persico. Nel caso del Qatar un ulteriore elemento di tensione deriva anche da fattori di politica interna, in quanto alcune tribù qatarine avverse all’autorità degli Al Thani si sono sempre rivolte a Riyadh ottenendone sostegno politico e finanziario. Gli Al Thani e i loro alleati, d’altro canto, hanno tentato di diminuire tale vulnerabilità contrastando i sauditi, che spesso si sono rivelati piuttosto aggressivi soprattutto in merito al contenzioso di confine che fin dal 1965 ha visto contrapposti i due Stati. Proprio la posizione geografica del Qatar ha infatti avuto un ruolo essenziale nella gestione del controverso rapporto tra i due Paesi. Come segnala Askari: “Qatar’s ambiguous geography, and especially its shared border with Saudi Arabia, has been the focus of extensive border disputes between the two countries [...]. They have disputed over territory that is geographically roughly 15 miles of desert near the border with the UAE”¹⁹⁰. A partire dalla disputa per il controllo di Khaur al-Udaid, ceduto con un accordo siglato nel 1965, le relazioni tra i due Stati sono state segnate dalla firma di diversi patti bilaterali, creati soprattutto per motivi di sicurezza, ma che tuttavia non hanno condotto, nel lungo periodo, a condizioni di perdurante stabilità. L’Arabia Saudita, tuttavia, tollera a stento la crescente esposizione del Qatar in

¹⁸⁹ Sadun Bordoni G., *Il Mediterraneo dopo la primavera araba*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013, pp. 134-135.

¹⁹⁰ Askari H., *Conflicts in the Persian Gulf: Origins and Evolution*, Palgrave Macmillan, New York 2013, p. 100.

politica estera e il ruolo di negoziatore regionale che Doha si sta ritagliando. L'attivismo politico del Qatar è stato evidente nei principali eventi che hanno scosso il Medio Oriente a partire dal 2009. Nelle cosiddette primavere arabe, e i conseguenti cambi di regime di Tunisia, Libia e Egitto, il Qatar si è mostrato molto attivo, in primo luogo dal punto di vista mediatico: l'emittente statale satellitare al Jazeera ha rappresentato il canale privilegiato per denunciare le malversazioni dei regimi autoritari contro la popolazione civile e il principale strumento della politica estera qatarina¹⁹¹.

Nel caso siriano con l'inizio della guerra civile che ha visto dal 2012 contrapposti gli alawiti (fazione sciita al potere fin dal 1971) e diverse fazioni sunnite, l'esposizione del Qatar è stata piuttosto evidente: Doha ha, infatti, sostenuto finanziariamente gli insorti sunniti avversi al regime di Bashar al-Asad, in particolare la Coalizione Nazionale dominata dei Fratelli Musulmani, per poi pagare la marginalizzazione di questa fazione rivelatesi peraltro piuttosto estremista. L'Arabia Saudita non ha sostenuto la stessa corrente e in seno allo stesso fronte sunnita tali tensioni e diffidenze sono sfociate in una vera e propria guerra mediatica che vede contrapposti i due Stati. Il Qatar sta dunque cercando una propria collocazione geopolitica negli equilibri del Golfo Persico e di tutto il Medio Oriente, scegliendo un percorso che, tuttavia, ha riscontrato battute d'arresto e numerosi insuccessi. Forse il principale errore è stata proprio la sua eccessiva esposizione e l'inserimento in dinamiche che spesso hanno avuto esiti imprevedibili e, in parte, imprevedibili rispetto alle attese.

In questo senso va menzionato il caso dell'Egitto, principale "sconfitta" della politica estera qatarina. Il sostegno dato ai Fratelli Musulmani egiziani, in termini economici e politici, ha rappresentato senza mezzi termini una forte battuta d'arresto per la credibilità politica dell'Emiro Hamad Al Thani¹⁹². La caduta di

¹⁹¹ Sul ruolo svolto dall'emittente qatarina nel processo di medializzazione degli eventi storico-politici che hanno interessato nell'ultimo decennio il mondo arabo, si vedano, tra gli altri: Della Ratta D., *Al Jazeera. Media e società arabe nel nuovo millennio*, Bruno Mondadori, Milano 2005; Valeriani A., *Effetto Al Jazeera. Transnazionalismo e ibridizzazioni nei sistemi del giornalismo arabo contemporaneo*, Emil di Odoya, Bologna 2010; Cervi A., *Al Jazeera e la rivoluzione dei media arabi*, Sellerio, Palermo 2005; El-Nawawy M., Iskander A., *Al-Jazeera: the Story of the Network that is Rattling Governments and Redefining Modern Journalism*, Westview Press, 2003.

¹⁹² Colombo S., *The GCC Countries and the Arab spring. Between outreach, patronage and repression*, IAI Working Papers, No. 12/09 Roma 2012.

Morsi e dei Fratelli Musulmani, ha relegato il Qatar ad una posizione di parziale isolamento diplomatico, considerando che gli altri Stati del GCC hanno sempre guardato con sospetto questa alleanza a causa dei dettami ideologici della Fratellanza Musulmana¹⁹³. Se il contrasto tra Doha e Riyad è evidente, le relazioni che intercorrono tra Qatar ed altri Stati del Golfo sono, invece, nettamente diverse. Doha storicamente ha sempre avuto buoni rapporti politico-diplomatici con l'Oman, le relazioni con Bahrein e Emirati Arabi Uniti sono state spesso caratterizzate da fasi di tensione alternati a momenti di distensione.

Tenendo da parte queste considerazioni di tipo politico, in ambito economico invece è la volatilità dei prezzi degli idrocarburi, e del gas in particolare, a costituire il secondo elemento di vulnerabilità per il Qatar.

Le caratteristiche economiche mostrano la marcata dipendenza del Qatar dagli introiti che derivano dall'esportazione di gas. Proventi così significativi in termini economici e l'assenza di una struttura economica diversificata e indipendente dai sussidi statali costituiscono elementi di debolezza strutturale dovuta all'eccessiva dipendenza dallo sviluppo economico e dall'esportazione di idrocarburi.

Esistono variabili geopolitiche globali che, generando *shock* di domanda o offerta, possono condizionare profondamente l'andamento dei prezzi di petrolio e gas. L'incognita della politica iraniana, la nuova politica energetica russa, l'impatto delle congiunture economiche internazionali che incidono, come nella crisi del 2009, sui consumi dei Paesi occidentali, rappresentano solo alcuni esempi di fattori che rendono spesso poco attendibili stime e valutazioni di lungo periodo.

Anche lo sviluppo dello *shale gas* (gas non convenzionale) potrebbe comportare profondi cambiamenti sui futuri scenari energetici internazionali¹⁹⁴. Con il termine

¹⁹³ Non sarebbe del tutto improprio valutare l'abdicazione di Hamad bin Khalifa al Thani a favore del giovane figlio Tamim come una diretta conseguenza degli insuccessi della politica estera qatarina. In generale, sulla risposta dei Paesi GCC alle rivolte delle cosiddette primavere arabe, si veda Davis J. (ed.), *The Arab Spring and Arab Thaw: Unfinished Revolutions and the Quest for Democracy*, Ashgate 2013. Nello specifico, sul ruolo del Qatar, si leggano: Hroub K., *Qatar and the Arab Spring: Conflict & Intl. Politics*, pubblicato il 3 maggio del 2014 e reperibile al link <http://lb.boell.org/en/2014/03/03/qatar-and-arab-spring-conflict-intl-politics>; Coyle K., *Qatar's Murky Role in the 'Arab Spring'*, pubblicato nel settembre 2013 sul "Morning Star". Il tema è stato inoltre oggetto di numerose analisi, concretizzatesi anche nella realizzazioni di conferenza, tra le quali quella organizzata dalla SOAS di Londra lo scorso 21 gennaio dal titolo: "Qatar and the Arab Spring: Policy Responses and Consequences".

¹⁹⁴ "Natural gas production from shale formations (shale gas) is one of the most rapidly expanding trends in current gas explorations and production. [...] Shale gas is considered to be unconventional source as the gas may be attached to or adsorbed onto organic matter. The gas is contained in

“gas non convenzionale” si intendono, in termini geologici, quei depositi privi di spinta di galleggiamento (presente al contrario nei giacimenti di gas di tipo convenzionale). Alla categoria “gas non convenzionale” possono essere associati i seguenti giacimenti e depositi:

- Gas da argille, argille devoniane (presenti in gran parte negli Stati Uniti orientali)
- Gas naturale presente in depositi clastici poco permeabili (tight gas, gas da arenarie e sabbie compatte)
- Gas naturale in carbone (CBM, Coal Bed Methane, CBNG Coal Bed Natural Gas)
- Gas biogenico (presente nei serbatoi convenzionali)
- Gas naturale ottenuto dal trattamento dei rifiuti solidi urbani
- Idrati di metano
- Gas naturale presente in rocce metamorfiche
- Gas naturale presente in formazioni carbonatiche e clastiche oltre 6 km di profondità.

difficult-to produce reservoirs – shale is rock that can hold huge amounts of gas, not only in the zones between the particles; it must be remembered that some of the particles are organic and can also hold gas like sponges”. Speight J. G., *Shale Gas Production Processes*, Gulf Professional Publishing, Oxford 2013, p. VII. Si vedano: Nash Katelyn M., *Shale Gas Development*, Nova Science Publishers 2010; Andrews A., *Unconventional Gas Shales: Development, Technology, and Policy Issues*, CRS Report for Congress, 2009.



Source: United States basins from U.S. Energy Information Administration and United States Geological Survey; other basins from ARI based on data from various published studies

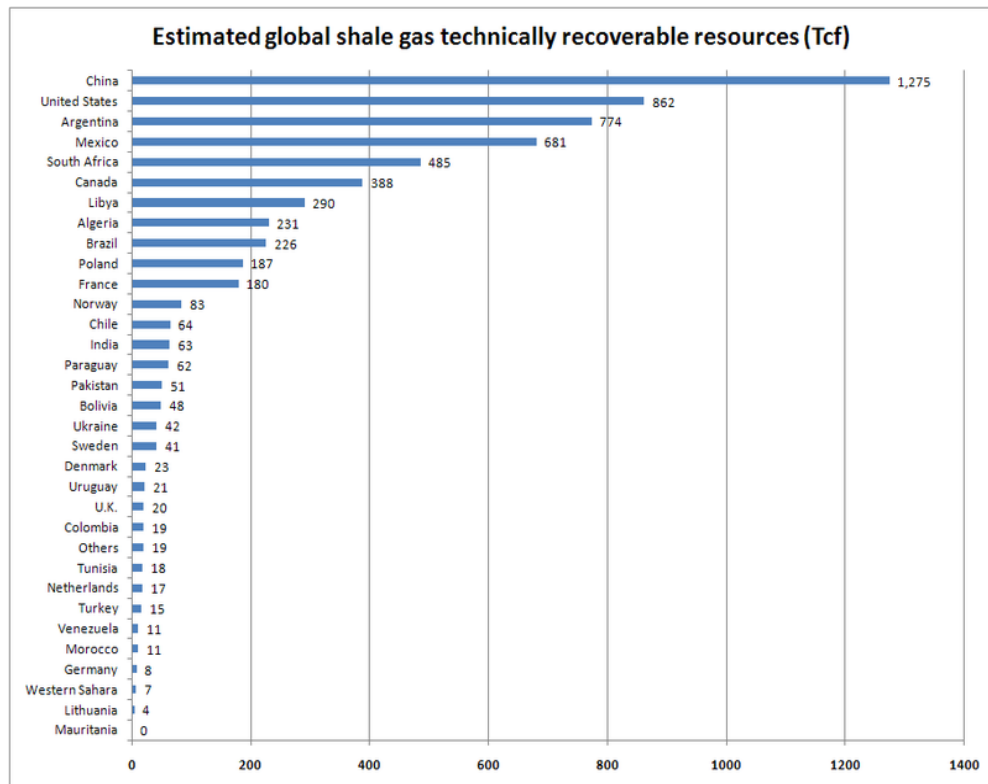
Carta dei depositi *shale oil* e *shale gas* nel mondo. Le aree rosse rappresentano i depositi accertati: tuttavia risultano necessarie specifiche condizioni affinché lo sfruttamento di tali giacimenti risulti conveniente. Fonte: EIA (U.S Energy Information Administration).

A prescindere da tali distinzioni geologiche la produzione di gas su base industriale può essere assimilata a quattro specifici tipi di giacimenti: metano associato al carbone, alle argille, alle arenarie o sabbie compatte (*tight gas*) e agli idrati di gas. In termini globali la rilevanza dello *shale gas* è associabile allo sfruttamento di questi diversi tipi di giacimenti, in particolare negli Stati Uniti.

Se, infatti, nel 2000 lo *shale gas* rappresentava l'1% della produzione nazionale di gas, nel 2012 si stima che tale percentuale sia arrivata al 30%, abbattendo drasticamente, del 70%, il prezzo medio nel mercato interno statunitense di questa risorsa. Ad esempio il boom della produzione di "*tight oil*" a Bakken, una formazione che si estende tra il North Dakota e il Montana, potrebbe garantire l'equivalente della produzione di gas di uno Stato mediorientale, previsione che garantirebbe, almeno a livello potenziale, il raggiungimento dell'indipendenza energetica americana nel 2035.

Negli Stati Uniti tali risultati, senza dubbio significativi, sono stati raggiunti grazie ad alcune particolari condizioni: grande disponibilità idrica, incentivi statali per lo sviluppo delle tecniche di fratturazione, condizioni fiscali favorevoli, bassa densità abitativa nelle aree coinvolte e particolari condizioni geologiche dei giacimenti che

hanno permesso lo sfruttamento con ridotti costi di estrazione. La tecnica innovativa della perforazione orizzontale, che permette di seguire l'estensione fisica del giacimento senza dover muovere la struttura di superficie, e la frantumazione idraulica, hanno reso tali operazioni non solo tecnicamente possibili ma economicamente convenienti.



Stime delle riserve di *shale gas* tecnicamente estraibile.

Fonte: EIA (U.S Energy Information Administration)

La “*shale revolution*” americana potrebbe avere effetti diretti e indiretti sugli equilibri dei Paesi del GCC, in particolare sul Qatar. La crescente autonomia energetica statunitense può, infatti, rappresentare una minaccia per tutti i Paesi dell’OPEC, perfino per i grandi esportatori come Arabia Saudita e Russia.

Se è vero che il crollo delle esportazioni iraniane dovuto alle sanzioni internazionali applicate contro il regime di Teheran, ha favorito tutti gli Stati del GCC in termini di volumi delle esportazioni, il diffuso utilizzo di idrocarburi non convenzionali da parte del mercato americano, il più energivoro al mondo, potrebbe aprire nuovi

scenari. Gli Stati Uniti restano, infatti, il maggiore importatore e consumatore di energia al mondo e hanno apertamente manifestato l'intenzione di ridurre la propria vulnerabilità energetica attraverso una diversificazione volta a raggiungere la sicurezza energetica.

Lo sfruttamento del gas non convenzionale da parte degli Stati Uniti, di alcuni Stati europei e della Cina potrebbe privare Russia, Arabia Saudita e Qatar della loro posizione dominante nel mercato energetico mondiale e tale dinamica potrebbe avere conseguenze significative anche in ambito geopolitico¹⁹⁵.

Sono ancora troppe le problematiche da risolvere per rendere i progetti legati allo *shale gas* economicamente vantaggiosi. In Europa il più grande giacimento di gas non convenzionale è in Polonia, vicino Danzica e vanta stime di 1,5 milioni di metri cubi. Tuttavia, il potenziale sfruttamento di questo giacimento, come altri presenti in Europa, risulta condizionato da difficoltà tecniche, restrittive leggi di protezione ambientale (soprattutto se confrontate con quelle in vigore negli Stati Uniti) e costi più elevati di estrazione per le caratteristiche geologiche del sito.

Gli Stati europei, infatti, annoverano al loro interno movimenti ambientalisti contrari a questa nuova forma di sfruttamento del sottosuolo: è da considerarsi, inoltre, come dato a loro vantaggio, che la proprietà del sottosuolo non è privata bensì statale. Le multinazionali energetiche, interessate a queste nuove opportunità di business, devono quindi necessariamente negoziare con lo Stato centrale e gli enti locali, mentre negli Stati Uniti, oltre a vincoli legislativi federali piuttosto elastici, è il singolo cittadino proprietario del lotto interessato ad avere voce in capitolo. A prescindere da valutazioni economiche e interpretazioni sui reali effetti ambientali, il rischio di contaminazione delle falde acquifere a causa dell'utilizzo di solventi chimici ed esplosivi e l'impatto sismico provocato dal processo di

¹⁹⁵ La Russia attualmente dispone delle maggiori riserve al mondo di gas naturale di tipo convenzionale: nello specifico sono 32 trilioni di metri cubi (TCM), con un'esportazione che nel 2012 ha fatto segnare i 200 miliardi di metri cubi. Mosca, in particolare, è il principale fornitore di gas dell'Unione Europea, con una quota di circa il 30%. Proprio l'esportazione di idrocarburi, dopo la dissoluzione dell'Unione Sovietica, ha rappresentato per Mosca uno strumento indispensabile per riacquisire le posizioni perse dopo il 1991 ed estendere nuovamente la propria sfera di influenza in Asia Centrale ed Europa Orientale. La Russia potrebbe sfruttare indirettamente le crescenti difficoltà per lo sviluppo di programmi di estrazione dello *shale gas* emersi soprattutto in Europa. Mentre il North Stream e forse South Stream potrebbero garantire ai Paesi membri dell'UE l'afflusso di circa 120 MCM (*million cubic metre*) totali di gas convenzionale, lo sviluppo dello *shale gas* in Europa è invece segnato da forti criticità.

fracking (fratturazione) sono variabili molto significative che potrebbero del tutto vanificare il possibile sfruttamento di *shale gas* nel continente europeo.

Diverso il caso della Cina dove, per caratteristiche socio-politiche, il governo centrale è sempre riuscito a sviluppare piani industriali anche poco condivisi dall'opinione pubblica¹⁹⁶. Da molti anni Pechino guarda con un crescente interesse il settore delle energie rinnovabili, mentre lo sviluppo dello *shale gas* è caratterizzato da numerose incognite a causa delle profondità e la complessità geologiche dei depositi cinesi rispetto a quelli presenti negli Stati Uniti e la sismicità delle regioni dove si stima siano presenti i giacimenti. La scarsità delle risorse idriche cinesi, vista la necessità di grandi quantità di acqua necessarie per il processo di fratturazione idraulica, costituisce un altro fattore che in Cina potrebbe rendere difficoltoso lo sviluppo dello *shale gas* su vasta scala.

Questi nuovi scenari energetici rendono il mercato dell'energia più flessibile, aprendo incognite per quei Paesi, come il Qatar, che non riescono realmente a diversificare la propria economia; tali vulnerabilità, unite agli imprevedibili sviluppi geopolitici dell'area, rendono necessarie scelte strategiche di tipo energetico orientate verso lo sviluppo di fonti rinnovabili.

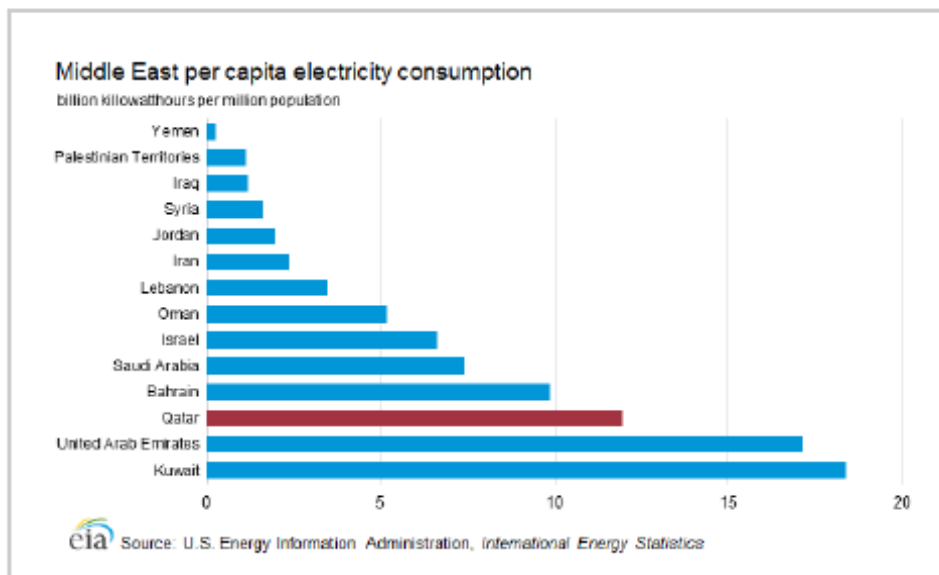
3.3 Progetti rinnovabili: la Qatar National Vision 2030, quali prospettive?

Il boom economico qatarino e l'industrializzazione hanno reso possibili programmi di sviluppo che hanno investito anche la “*green economy*” e la pianificazione urbana¹⁹⁷. Il Qatar è un Paese ricco di risorse energetiche, dunque la scelta di investire in tecnologie rinnovabili deve essere ricondotta ad altri fattori. In primo

¹⁹⁶ Nel settore energetico emblematici sono i costi sociali e ambientali legati, ad esempio, alla costruzione del grande impianto idroelettrico della Diga delle Tre Gole, che ha comportato il trasferimento di circa 2 milioni di persone e un forte impatto ambientale nella Provincia di Hubei.

¹⁹⁷ L'assegnazione dei mondiali di calcio FIFA 2022 rappresenta un importante stimolo per la crescita economica del Qatar, favorendo l'afflusso di capitali esteri nel Paese. Tuttavia questo evento, seppur garantendo visibilità al Paese mediorientale, sta creando numerosi problemi alla luce della maggiore attenzione mediatica sull'Emirato. In particolare alcune testate giornalistiche britanniche e tedesche hanno denunciato le condizioni disagiate dei lavoratori immigrati presenti nel Paese. Le temperature estive proibitive e le accuse di corruzione verso alcuni delegati FIFA che hanno votato a favore del Qatar, hanno aperto ulteriori discussioni che rischiano concretamente di far perdere l'assegnazione al Qatar dei mondiali previsti nel 2022.

luogo ai consumi elettrici interni in grande e costante crescita nel corso dell'ultimo decennio¹⁹⁸.



Consumi pro capite dei Paesi del Medio Oriente (in milioni di kWh)

Fonte: <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Qatar/qatar.pdf>

Nel caso degli Stati membri del GCC le ragioni che si celano dietro al nuovo indirizzo energetico, orientato anche verso le rinnovabili, devono essere associate ad alcune valutazioni. Se, nel caso dei Paesi UE, Stati Uniti e Cina, la scelta di investire in programmi per la produzione di energia da fonti rinnovabili deriva dagli elevati costi dell'importazione degli idrocarburi dall'estero, nel caso dei Paesi del GCC vanno individuate altre cause. In primo luogo la vertiginosa crescita dei consumi. Inoltre, assume un peso rilevante la creazione di un'immagine competitiva: "It's striking to see how fashionable the 'green' concept has become. 'Green' is now constantly evoked by the media in relation to pretty much everything that affects human life-green houses, green friendships and so forth. The green market, in terms of economic resources mobilized, holds great future potential. Of course, the key player in green concept is the use of renewables¹⁹⁹".

¹⁹⁸ Parolin G.P., *Dimensioni dell'appartenenza e cittadinanza nel mondo arabo*, op.cit.

¹⁹⁹ Dincer I., *Introduction to renewable energy in transport*, in AA.VV. *Future Arabian Gulf Energy Sources*, The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi 2008 p. 241.

Ad esempio, progetti di *Smart City*²⁰⁰ (“città intelligente”) sono ormai al centro dell’agenda di governo di gran parte degli Stati del Golfo, ambizioni che, tuttavia, devono necessariamente confrontarsi con un precedente espansione urbana priva di pianificazione. Nonostante gli ingenti investimenti, mobilità inadeguata, mezzi pubblici inefficaci e un sistema di viabilità inefficiente sono caratteristiche che contraddistinguono le principali metropoli del Golfo Persico. La maggiore attenzione verso uno sviluppo sostenibile, l’abbattimento dell’inquinamento pro capite e dei consumi sono tematiche piuttosto inedite. Una città può divenire, in particolare in alcune zone, una *Smart City* con programmi di investimento in grado di garantire un’alta efficienza ed elevati standard della qualità della vita attraverso una gestione razionale delle risorse disponibili e del sistema infrastrutturale. L’integrazione delle ICT (*Information and Communication Technology*) costituisce senza dubbio un fattore decisivo per ottenere una *governance* efficiente. L’implementazione di tecnologie informatiche per l’abbattimento degli sprechi e la capacità di risolvere imprevisti in modo automatico sono funzionali al miglioramento della qualità della vita dei cittadini.

In Europa, ad esempio, sono numerosi i progetti ecosostenibili finalizzati all’abbattimento dell’inquinamento. In tal senso lo sfruttamento delle opportunità offerte dalle ICT implica la necessità di un approccio multi settoriale basato su più livelli di sviluppo: tecnologia e innovazione sono i due principali motori di questo nuovo approccio urbanistico²⁰¹.

Una variabile riconducibile al concetto di *Smart City* è, ad esempio, l’applicazione su vasta scala di sensori capaci di monitorare e valutare statistiche e informazioni inerenti il funzionamento della città. La misurazione e l’elaborazione di dati disponibili direttamente per i cittadini, come la concentrazione di traffico in un’area

²⁰⁰ Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E., *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities in Smart Cities*, Vienna, Centre of Regional Science, 2007.

²⁰¹ L’Unione Europea sta dedicando investimenti e sforzi significativi per realizzare una crescita urbana “Smart” in alcune aree metropolitane comunitarie. L’obiettivo è cercare di costruire un modello urbano attraverso l’utilizzo di infrastrutture capaci di migliorare l’efficienza economica dell’agglomerato urbano. Alcuni esempi di “Smart City”, seppur in fase sperimentale, sono le città di Amsterdam e Santander.

o i livelli di inquinamento, sono elementi che, coinvolgendo direttamente i soggetti interessati, possono incrementare l'efficienza della città²⁰².

Tra gli Stati Del GCC una città che ha deciso di puntare molto su questo tipo di sviluppo urbano è senza dubbio Dubai. L'ambizioso progetto "Dubai Smart City" risulta, infatti, finalizzato alla creazione di una "città intelligente" dotata di una rete infrastrutturale all'avanguardia. Sono oltre cento le iniziative promosse dal progetto Dubai Design District voluto da Mohammad bin Rashid al Maktoum, riguardanti l'integrazione di tutta la rete dei trasporti, supportata da una strategia generale di pianificazione energetica e urbanistica. Ciò a cui mirano i vertici di Dubai è un profondo cambiamento dello stile di vita della popolazione a vantaggio di una maggiore attenzione ambientale e una riduzione degli sprechi in ogni tipo di settore. La connettività digitale e nuove soluzioni "green" applicate agli edifici di tutta la città per ridurre le emissioni nocive e migliorare le prestazioni energetiche, fanno parte di un ampio progetto che presumibilmente potrà dirsi concluso nel 2020, anno dello svolgimento dell'Expo nella città emiratina. Per quella data tutta la rete delle infrastrutture energetiche e del trasporto pubblico saranno dotate di tecnologie all'avanguardia, fotovoltaiche ed ibride. L'obiettivo è quello di integrare i seguenti settori in un unico sistema centralizzato:

- *Intelligent Transport System*, regolamentazione dell'accesso delle aree urbane al fine di garantire informazioni sulla viabilità promuovendo il trasporto pubblico
- Sistemi di gestione dei nodi intermodali per tracciare il trasporto merci
- Controllo del territorio incrementando la sicurezza e il benessere pubblico
- *Smart communities and open services per e-government*
- *Smart Grid*, distribuzione intelligente dell'energia elettrica con accento sulle fonti rinnovabili
- *Cyber security*

²⁰² La qualità della vita viene così notevolmente migliorata, se si considera, ad esempio, la possibilità di evitare aree eccessivamente inquinate, oppure l'ottimizzazione dei consumi dell'illuminazione pubblica con evidenti risparmi. Anche il traffico dei veicoli può essere costantemente monitorato, evitando così ai cittadini ingorghi e inutili perdite di tempo.

La diffusione delle energie rinnovabili in Medio Oriente e nei Paesi MENA ha subito un'accelerazione negli ultimi anni²⁰³. Sono crescenti, infatti, gli investimenti stanziati per lo sviluppo di progetti volti a sfruttare le condizioni climatiche, in particolare l'irraggiamento solare.

Se è vero che nel triennio 2007-2010, ad esempio, le energie rinnovabili hanno garantito solo l'1% di fornitura totale di energia nell'area MENA, solo nel 2011, considerando anche il rilevante contributo dell'energia idroelettrica, sono cresciute attestandosi al 3.3%. È soprattutto l'energia solare, nelle sue diverse applicazioni alla luce delle recenti innovazioni tecnologiche, compresa l'introduzione del solare a concentrazione, ad assumere un ruolo trainante nei progetti che stanno emergendo in tutto il Medio Oriente e in Africa Settentrionale. Attualmente la quota di energia prodotta attraverso lo sfruttamento dell'energia solare ha un impatto piuttosto modesto, nonostante i segnali di crescita legati in particolare alla diminuzione dei costi di produzione. Gran parte dei Paesi MENA utilizzano il fotovoltaico per soddisfare il proprio fabbisogno interno, anche se ci sono ancora grosse differenze da Stato a Stato²⁰⁴.

La rapida crescita dell'energia solare è legata in particolare all'accelerazione politica e i relativi incentivi destinati a queste iniziative. Tali tendenze sono state accompagnate da un'attività di cooperazione regionale volta a implementare politiche ed obiettivi comuni. A partire dal 2013, tutti gli Stati MENA hanno definito, nell'ambito della propria politica energetica, il proposito di incrementare la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili.

Gli incentivi statali, sotto forma di sussidi, prestiti a fondo perduto o esenzioni fiscali, rendono possibile il raggiungimento di traguardi piuttosto ambiziosi anche in Paesi ricchi di gas e petrolio. Se fossero realizzati i fini prefissati, si arriverebbe ad installare impianti per una capacità di 107 GW nei Paesi MENA entro il 2030. L'Arabia Saudita, ad esempio, punta da sola ad installare 54 GW di energia prodotta

²⁰³ I 21 paesi MENA sono: Algeria, Bahrain, Egitto, Iran, Iraq, Kuwait, Libia, Oman, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Emirati Arabi Uniti, Yemen, Gibuti, Giordania, Israele, Libano, Malta, Marocco, Territori Palestinesi e Tunisia. Fonte: <http://www.worldbank.org/>.

²⁰⁴ In termini di capacità solare la regione MENA vanta diversi progetti fotovoltaici in cantiere: Israele, Oman e Giordania contano rispettivamente di installare 842 MW, 407 MW e 400 MW. Altri Paesi con progetti fotovoltaici sono Algeria (175 MW), Egitto (106 MW), Arabia Saudita (125 MW), gli Emirati Arabi Uniti (113,8 MW), il Marocco (127,7 MW) e la Tunisia (5 MW).

da fonti rinnovabili entro il 2032, di cui 16 GW provenienti da progetti di sfruttamento dell'energia solare.

Il processo di crescita delle rinnovabili nella regione MENA necessita tuttavia di contributi, in termini tecnologici o finanziari, anche dall'esterno. Fattori di tipo politico, quali l'instabilità che ha investito parte della regione dopo l'inizio delle "primavere arabe", rischiano di pregiudicare tale processo. Criticità come la riduzione della dipendenza del settore dai finanziamenti pubblici e la capacità di coinvolgere maggiormente capitali privati devono ancora essere risolte.

Secondo stime del rapporto di GTM Research "Medio Oriente e Nord Africa Solar Market Outlook, 2013-2017²⁰⁵", realisticamente la produzione di energia solare nei paesi MENA potrebbe raggiungere circa i 3,5 GW entro la fine del 2015, con prospettive pari a oltre 10 GW entro il 2017. Il potenziale solare solo recentemente è stato preso in considerazione, alla luce dell'incremento dei consumi interni e la consapevolezza dei costi indiretti che ne derivano. Stati come Emirati Arabi Uniti, Arabia Saudita, Giordania, Turchia e Marocco stanno aggiornando gradualmente i propri quadri normativi con prospettive a lungo termine per favorire proprio lo sviluppo di fonti rinnovabili. Questi Paesi hanno scelto di investire nel settore dell'energia rinnovabile al fine di preservare le proprie risorse di idrocarburi, ridurre la quota di consumi interni e aumentare la diversificazione energetica.

Stato di riferimento in ambito politico ed economico in tutto il Medio Oriente, l'Arabia Saudita è leader mondiale nell'esportazione di petrolio: ciò che preoccupa i vertici statali è la crescita sostenuta della domanda di energia elettrica interna. Il consumo nazionale dell'Arabia Saudita rischia quasi di raddoppiare nel prossimo decennio, passando dagli attuali 250 TWh ai 400 TWh del 2050²⁰⁶, considerando anche l'incremento demografico di una popolazione che nel 2014 ammonta a più di ventisette milioni di individui²⁰⁷. Tale previsione assume una valenza economica molto importante in quanto porterebbe inevitabilmente ad intaccare la quota di idrocarburi esportabili.

²⁰⁵ Il rapporto GTM Research "Medio Oriente e Nord Africa Solar Market Outlook, 2013-2017 è sostenuto dalla Middle East Solar Industry Association (MESIA). <http://mesia.com/>.

²⁰⁶ AA.VV. *Future Arabian Gulf Energy Sources*, The Emirates Center for Strategic Studies and Research, op.cit.

²⁰⁷ CIA World Factbook, luglio 2014.

Le ragioni che sottendono questa nuova politica energetica non derivano solo dal tentativo di risparmiare quote di petrolio per l'esportazione, ma anche di sviluppare una struttura energetica più sostenibile, creando nuove prospettive di lavoro e risolvendo parallelamente i problemi di disoccupazione che affliggono parte della popolazione. Il nuovo scenario energetico saudita mira, dunque, a soddisfare gran parte della domanda interna attraverso un vasto programma di diversificazione energetica incentrato sulle energie rinnovabili. L'Arabia Saudita ha posto una grande enfasi sullo sviluppo di questo settore: sono numerose le iniziative volte a promuovere i vantaggi dell'energia solare e le opportunità che si aprono per le aziende straniere, anche se quest'ultime sono costrette spesso a coinvolgere un partner locale per accedere al mercato interno saudita. L'accordo tra Solaria e la saudita AB Group per la progettazione e la costruzione di impianti fotovoltaici rappresenta un esempio di *joint venture* create in questo specifico settore. Un altro esempio di partnership è quella che è stata siglata dalla società tedesca Kaco New Energy con la Advanced Electronics Company (AEC) per sviluppare nuove opportunità di business in Arabia Saudita ed in tutto il Golfo Persico.

Il King Abdullah Petroleum Studies and Research Center (KAPSARC), Istituto di ricerca dedicato alle rinnovabili, rappresenta, in tale contesto, un importante punto di riferimento. L'Arabia Saudita mira, infatti, a sviluppare 54 GW di energia rinnovabile entro il 2032 (circa 24 GW entro il 2020).

Considerate le difficili condizioni climatiche, alle società straniere coinvolte in tali progetti vengono richiesti elevati standard qualitativi: in particolare è necessario utilizzare materiali capaci di mantenere alti livelli di prestazione nonostante i picchi elevati di temperatura e l'alta concentrazione di sabbia e polvere nell'aria. È, quindi, indispensabile adottare una tipologia di pannelli capaci di garantire il proprio esercizio anche dopo le frequenti tempeste di sabbia. Anche per tali ragioni in gran parte dei Paesi del Medio Oriente i tempi di progettazione sono piuttosto lunghi, in quanto occorre installare gradualmente i moduli per testare le prestazioni e valutare la capacità di assorbimento della rete elettrica. L'adeguamento della rete elettrica, infatti, è un altro aspetto che rende necessari ulteriori investimenti da parte dei rispettivi governi. Una delle maggiori lacune per l'Arabia Saudita, come per altri

Stati del Medio Oriente, è la mancanza di un quadro normativo in grado di disciplinare l'impatto ambientale degli impianti solari ed eolici²⁰⁸.

Anche Abu Dhabi può contare su rilevanti riserve di idrocarburi, petrolio nello specifico: la Abu Dhabi National Oil Company rientra tra le dieci più grandi società petrolifere del mondo. Tuttavia, anche questa città sta confermando il *trend* di altri Paesi della regione nel suo interesse crescente verso le energie rinnovabili.

Sono numerosi i progetti legati alle energie rinnovabili in costruzione, seppur in fase di sperimentazione, in costruzione negli Emirati Arabi Uniti. Ad Abu Dhabi il più importante progetto urbano che utilizzerà esclusivamente fonti rinnovabili è la Madinat Masdar (la città sorgente), elaborato dalla Foster and Partners e dalla Abu Dhabi Future Energy Company. Questo nucleo urbano, di circa sei chilometri quadrati, sorgerà nelle vicinanze dell'aeroporto internazionale di Abu Dhabi e sarà un centro all'avanguardia a zero emissioni. La costruzione del complesso urbano Masdar, iniziato nel 2006, potrà dirsi conclusa, nella sua prima fase, nel 2016: la città è concepita con una rete di navette di trasporto elettrico automatizzato senza conducente, in quanto non sarà previsto l'accesso di auto con motori a combustione. Gli impianti di energia rinnovabile permetteranno di risparmiare in modo significativo su consumi ed emissioni.

Usufruendo di tecniche e materiali funzionali all'isolamento termico e di sistemi di illuminazione a basso consumo energetico, Masdar City sarà completamente alimentata da fonti rinnovabili. L'impianto solare di 10 MW, composto da pannelli fotovoltaici a film sottile e moduli policristallini, costruito su una superficie di 22 ettari, attualmente è già in grado di alimentare alcuni edifici del Masdar Institute. Inoltre, il trattamento e il riutilizzo delle acque reflue per l'uso non domestico e un efficiente rete di micro-irrigazione, permetteranno una riduzione del 60% nel consumo di acqua per metro quadrato²⁰⁹. Un importante ruolo nell'ambito del

²⁰⁸ La Saudi Electricity Company (SEC), ad esempio, ha investito ingenti capitali per migliorare e incrementare le reti elettriche di La Mecca, Jeddah e Medina. La Saudi Aramco, in collaborazione con la tedesca Phoenix Solar, sta espandendo il suo progetto KAPSARC da 3,5 MW a 5,3 MW. L'impianto KAPSARC II coprirà circa 2,6 ettari e sarà in grado di produrre più di 2.900 MWh all'anno direttamente nella rete a media tensione di KAPSARC. Per la società Phoenix Solar è il quinto progetto in Arabia Saudita e il secondo per Saudi Aramco.

²⁰⁹ Il sistema dei rifiuti solidi di Masdar City verrà diviso in tre parti: riciclabili secchi (lattine, plastica, cartone, carta, ecc), riciclabili umidi (cibo e altri rifiuti organici) e residui. Gli edifici della città avranno tre canali o "scivoli" per consentire una facile separazione in tre principali flussi di rifiuti.

progetto Masdar viene assunto dal sistema di trasporto pubblico di autobus elettrici, auto elettriche e altri veicoli a energia pulita finalizzati al trasporto all'interno della città, comprese linee della metropolitana. L'utilizzo di materiali di alta qualità assume un peso rilevante in questo progetto, come l'impiego di un calcestruzzo speciale meno inquinante rispetto al cemento tradizionale o l'utilizzo di alluminio riciclato di alta qualità in grado di garantire elevati livelli di performance.

Lo sforzo economico portato avanti dalla famiglia reale Al Nahayan è legato in primo luogo all'ampiezza di questo progetto, che solo nella sua fase iniziale prevede di ospitare più di cinquantamila abitanti. L'obiettivo, tuttavia, non riguarda solo la pianificazione urbana ma anche la creazione di un polo di eccellenza per le energie rinnovabili²¹⁰. Madinat Masdar potrebbe, infatti, attirare competenze umane e tecnologiche di altissimo livello, rappresentando un riferimento per lo sviluppo sostenibile in tutto il Golfo Persico.

La leadership dell'Emirato ha intenzione di affrontare le enormi sfide poste dal cambiamento climatico e la continua evoluzione del mercato dell'energia, il degrado ambientale e la necessità di trovare fonti energetiche sostenibili, trasformando la propria economia e puntando su innovazione e tecnologia.

La Abu Dhabi Economic Vision 2030 definisce tali linee guida e le misure da adottare per trasformare il settore economico attraverso la diversificazione produttiva, sviluppando in particolare settori "non-oil" come istruzione, finanza e turismo. Il progetto Masdar Madinat contribuirà significativamente a questo possibile salto di qualità, implementando le più recenti tecnologie e integrando sistemi che permettono risparmi significativi in termini di costi e di emissioni, attraverso un'ottimizzazione delle prestazioni nell'ambito dell'efficienza energetica, idrica e dei trasporti.

Anche il Qatar sta dedicando grande attenzione all'energia solare, al fine di garantire alle future generazioni una stabilità energetica svincolata dalle riserve di gas e petrolio del Paese. La riduzione dei consumi interni da fonti non rinnovabili

²¹⁰ I principali partner stranieri sono la General Electric, BP, Royal Dutch Shell, Mitsubishi, Rolls-Royce, Total S.A., Mitsui, Fiat, e la tedesca Conergy, che sta pianificando una centrale solare termodinamica da 40 MW.

potrebbe avere anche un impatto positivo su larga scala, alimentando la diversificazione economica e i benefici ambientali e sociali.

Nello specifico caso del Qatar, il tentativo di armonizzare gli sforzi congiunti del Paese nei prossimi decenni in questa direzione è riconducibile alla Qatar National Vision 2030²¹¹. Questo ambizioso programma di lungo periodo che intende sfruttare soluzioni avanzate in ambito economico e sociale elevando gli standard qualitativi attraverso uno sviluppo urbano sostenibile nel tempo.

La Qatar General Electricity & Water Corporation (Kahramaa), Autorità che gestisce l'energia elettrica statale e le riserve idriche del Paese, è uno dei soggetti promotori di iniziative connesse allo sviluppo dell'energia solare. L'obiettivo è quello di generare, entro il 2030, il 20% dell'energia da fonti rinnovabili, applicando tali risorse soprattutto per coprire i consumi che derivano dagli energivori processi di desalinizzazione dell'acqua: il Ministero dell'Energia e dell'Industria ha avviato piani la prima fase di sviluppo dell'energia solare, in grado di fornire elettricità proprio a questo tipo di impianti. La grande richiesta di energia per il processo di desalinizzazione dell'acqua, vista l'esiguità delle risorse idriche naturali qatarine, rappresenta una voce rilevanti nei consumi interni. Kahramaa ha annunciato un ambizioso piano che prevede l'installazione di pannelli solari in prossimità dei bacini artificiali del Paese, utilizzando linee di trasmissione già esistenti al fine di ridurre i costi di costruzione.

Il Qatar vanta uno dei più alti tassi di irradiazione solare al mondo: secondo alcune stime ogni chilometro quadrato di terreno riceve annualmente l'equivalente in energia solare di 1,5 milioni di barili di greggio. Tuttavia, rispetto a Stati vicini come l'Arabia Saudita o gli Emirati, il Qatar si è mosso concretamente in questa

²¹¹ The Qatar Vision 2030 (...) defines long-term development outcomes for Qatar, and provides a framework within national development strategies and implementation plans can be prepared. The QNV 2030 is based on the Guiding Principles of Qatar's Permanent Constitution and is underpinned by four pillars: *Human Development*: development that expands the opportunities and capabilities of all the people of Qatar to enable them to sustain a prosperous society; *Social Development*: development of a just and caring society based on high moral standard and supportive social policies, and where Qatar plays a significant role in the global partnership for development; *Economic Development*: development of a competitive and diversified economy capable of meeting the needs of, and securing a high standard of living for, all its people both for the present and for the future; *Environmental Development*: management of the environment such that there is harmony between economic growth, social development and environmental protection – the three dimensions of sustainable development. Advancing Sustainable Development Qatar National Vision 2030, Second National Human Development Report, 2009 p.III.

direzione solo recentemente, promuovendo progetti pilota con impianti piuttosto ridotti in termini di capacità produttiva.

Senza dubbio una forza trainante dello sviluppo delle energie rinnovabili è la Qatar Solar Technologies (QSTec), una *joint venture* tra la Qatar Foundation e la tedesca SolarWorld. Come primo impianto la QSTec sta sviluppando il progetto Passivhaus – Baytna, attraverso la progettazione di edifici capaci di creare un equilibrio tra sviluppo economico e protezione dell'ambiente. Il progetto mira a dimostrare i benefici di una progettazione a basso impatto ambientale: questo approccio edile, ampiamente adottato in Nord Europa e in altre parti del mondo, cerca di integrare il comfort di un'abitazione moderna consumando almeno il 50 % in meno di energia elettrica, di acqua e riducendo in modo significativo le emissioni di anidride carbonica. Una volta installati, i pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino SolarWorld - QSTec forniranno l'energia necessaria a questo tipo di abitazione.

Un crescente numero di aziende internazionali sono coinvolte nell'attività di ricerca e sviluppo nel settore solare: ad esempio, il colosso energetico statunitense Chevron sta investendo oltre dieci milioni di dollari nel Qatar Science & Technology Park, attivando una partnership con la società locale GreenGulf²¹².

La criticità da risolvere per un'applicazione della tecnologia solare su vasta scala è l'adattamento dei pannelli solari al clima del Qatar, attraverso la costruzione di impianti capaci di mantenere la propria efficienza in un ambiente caldo e polveroso, privo di precipitazioni e con alte percentuali di sabbia, salsedine e polvere nell'aria. Un altro progetto che mostra l'impegno del Qatar verso uno sviluppo sostenibile è l'installazione dei primi pannelli solari fotovoltaici nel progetto Msheireb Downtown Doha (MDD). Completata l'installazione dei moduli fotovoltaici (5000 pannelli solari per un totale di 8400 metri quadrati) verrà garantito il fabbisogno degli edifici attraverso l'adozione di energia solare aggregata ai tradizionali metodi di produzione elettrica. Oltre a queste importanti tappe il passo decisivo è rappresentato tuttavia da una maggiore cultura del risparmio energetico attraverso programmi di comunicazione capaci di sensibilizzare l'opinione pubblica su questi

²¹² Anche aziende come General Electric, Shell e ConocoPhillips stanno investendo nel settore delle rinnovabili in Qatar.

temi. Occorre creare la consapevolezza che il risparmio energetico sia un valore aggiunto attraverso comportamenti in grado di ridurre drasticamente gli sprechi²¹³. Nel prossimo capitolo verrà delineato un ipotetico piano energetico del Qatar (2015-2040) che includerà al suo interno tutte le variabili economiche e tecnologiche descritte nella prima parte della trattazione.

²¹³ Nell'ambito delle norme ecologiche legate all'edilizia, il Ministero dell'Ambiente del Qatar, insieme ad altre istituzioni, come il QGBC (Qatar Green Building Council) e Ashghal, stanno definendo i requisiti obbligatori per il *green building* attraverso misure standardizzate di risparmio di tipo energetico ed idrico. L'obiettivo è quello di delineare un sistema normativo per la costruzione di edifici ecocompatibili capaci di ridurre il consumo generale di acqua e di energia, diminuendo le emissioni di anidride carbonica e migliorando il sistema di riciclaggio dei rifiuti.

CAP IV

IPOTESI PIANO DI SVILUPPO ENERGETICO NAZIONALE DEL QATAR (2015-2040)

4.1 Quadro generale dei consumi elettrici e prospettive sull'utilizzo di tecnologie solari

Lo Stato del Qatar risulta strutturalmente dotato di risorse in grado di adempiere alle proprie necessità energetiche. Nonostante la netta crescita della domanda interna di elettricità esso dispone, infatti, di un surplus energetico stimabile in circa 2,5 GW. La capacità installata, 8756 MW, confrontata con i seppur crescenti consumi interni, permette al Qatar il “lusso” di poter esportare energia all'estero, come ad esempio al vicino Bahrein, che nei momenti di picco (tra le 3 e le 5 pm), soprattutto nei mesi più caldi, ha bisogno di importare elettricità dai Paesi limitrofi. La richiesta di energia interna in Qatar è cresciuta in modo molto significativo negli ultimi anni nonostante le alte potenzialità legate alla grande capacità degli impianti a gas situati nel Paese²¹⁴: nell'Emirato il consumo di energia ha subito un incremento di circa 20 TWh in un decennio (2000-2010) e, secondo alcune stime, potrebbe arrivare perfino a 30,3 TWh²¹⁵.

Alla luce di questo trend il governo qatarino continua ad investire sul settore della generazione elettrica, con l'obiettivo di raggiungere la quota di produzione elettrica di 15 GW annui nel 2016/2017. Le spese previste per l'ammodernamento della rete elettrica, della trasmissione e distribuzione, sono di circa 8 miliardi di dollari, oltre ai 4 miliardi di dollari stanziati per lo sviluppo di progetti idrici e l'ammodernamento delle infrastrutture energetiche.

²¹⁴ Fonte: <https://www.iea.org/countries/non-membercountries/qatar>.

²¹⁵ 1 TWh corrisponde a 20 miliardi di kWh. Secondo Karamaa: “the demand for electricity in the State of Qatar has increased in the recent years. The maximum network load increased from 941 MW on September, 10th 1988 to 3,990 MW on September, 10th 2008 and reached the maximum in 2012 by 6255 MW, while it went down again in 2013 at 6000 MW (according to the recent statistics). Electricity per capita consumption grew also from 12.963 kW to 17.774 KW in 2007 less transmission and distribution losses.

<https://www.km.com.qa/AboutUs/Pages/ElectricitySector.aspx>.

L'intento della classe dirigente è quello di pianificare investimenti diretti nell'ambito della diversificazione e dell'incremento dell'efficienza energetica. Il controllo diretto del governo in questo asset strategico è finalizzato al tentativo di attrarre investimenti privati ed esteri, rendendo possibile l'acquisizione delle necessarie tecnologie e *know how*: sotto questa luce vanno interpretati gli accordi commerciali e le *joint venture* attivate con aziende leader nel settore dell'energia solare. La strategia nazionale energetica del Qatar deve, dunque, farsi carico della previsione legata alla crescita dei consumi interni (+ 12.6% annui tra 2006-2010) con una quota di consumi pro capite di 14,485 GWh/anno²¹⁶.

Nonostante il surplus di produzione elettrica appena descritto, la crescita dei consumi e la volontà della famiglia Al Thani di ridurre le vulnerabilità strutturali del Paese, hanno indotto il Qatar a vagliare programmi di sviluppo energetico indirizzati verso l'utilizzo di energie alternative alle fonti fossili. Escludendo, per ragioni politiche, l'uso dell'opzione nucleare, vista la rigidità della comunità internazionale nell'assestare le richieste di Paesi emergenti (anche per non creare un precedente sfruttabile dall'Iran), il Qatar si sta orientando verso l'uso di energia solare, la fonte rinnovabile che potenzialmente più si adatta alle caratteristiche ambientali dell'Emirato. Tuttavia, tale indirizzo, seppur avallato dalle dichiarazioni e dai fondi stanziati, risulta essere ancora in una fase embrionale. Per tale ragione, in tale trattazione verrà vagliata un'ipotesi di sviluppo energetico che terrà in considerazione le esigenze del Paese, le sue caratteristiche climatiche e la necessità di avvalersi di opzioni tecnologicamente in grado di garantire efficienza e ritorni economici.

Verrà presa in considerazione in particolare la possibilità di utilizzare impianti fotovoltaici policristallini; nonostante la presenza di una soglia oltre la quale le eccessive temperature ne condizionano in negativo le prestazioni in termini assoluti, la scelta del fotovoltaico policristallino appare quella che più si adatta al Qatar, soprattutto a causa della maggiore affidabilità che garantisce.

Pur valutando i pressoché illimitati budget governativi, un ulteriore elemento che potrebbe indirizzare verso il fotovoltaico policristallino è rappresentato dai costi, legati al maggior avanzamento tecnologico del fotovoltaico rispetto al solare a

²¹⁶ Karamaa, Qatar General Electricity & Water Corporation.

concentrazione, nonostante la presenza del primo caso di materie prime più onerose per la costruzione dei pannelli (silicio).

Il fotovoltaico policristallino ha registrato una diminuzione dei costi di circa il 75% tra il 2009-2014, a fronte di un parallelo incremento dell'efficienza energetica. Anche i costi di installazione di media sono diminuiti, tra il 29% e il 65% (2010-2014)²¹⁷. Rispetto ad altre tecnologie, comprese quelle di tipo “tradizionale”, maggiormente ancorate ai costi legati al combustibile, dunque alle oscillazioni del mercato mondiale di questi beni, il costo medio del solare fotovoltaico si è quasi dimezzato negli ultimi 5 anni²¹⁸. Se si esamina un impianto fotovoltaico fisso, i costi tendono a concentrarsi esclusivamente nel costo capitale mentre i costi di esercizio e manutenzione non superano, generalmente, l'1%. Il costo del modulo è collegato alla quotazione delle materie prime (in particolare al silicio), a quelli di trasformazione e i relativi costi di produzione e costi di assemblaggio. Riferendosi, ad esempio, agli Emirati Arabi Uniti: “The cost of renewable energy continues to decline dramatically. Local installed costs for utility-scale solar PV, for instance, have fallen from USD 7/watt in 2008 to less than USD 1,5/watt in mid- Renewable Energy Prospects²¹⁹”.

In ottica generale, le voci di costo di un impianto fotovoltaico di grande dimensione sono così ripartite:

- 76% moduli
- 9% montaggio e trasporto
- 8% sistema fissaggio
- 5% cavi e componentistica
- 2% progettazione²²⁰

Tali dati, tuttavia, non tengono conto delle variabili specifiche presenti in ogni singolo contesto territoriale. È necessario prendere in considerazione anche i “BoS

²¹⁷ Fonte: IRENA, International Renewable Energy Agency, Renewable Power Generation Costs in 2014, 2015.

²¹⁸ Un altro parametro significativo che attesta la competitività di questo tipo di tecnologia è il LCOE (*Livelihood Cost Of Electricity*) che permette di paragonare le diverse fonti energetiche considerando i diversi fattori di costo.

²¹⁹ Riferito agli Emirati Arabi Uniti:

http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_UAE_report_2015.pdf, pp. 2 - 14.

²²⁰ Rubini L., Sangiorgio S., (a cura di), op.cit., p. 141.

cost²²¹” (costi del “Balance of System”), che consistono nell’insieme di costi legati a fattori strutturali come i collegamenti con il convertitore, le perdite durante il processo di trasmissione, ecc. Altre variabili includono i costi del sistema di tipo strutturale come l’installazione, la preparazione del sito e quelli connessi al sistema elettrico (inverter, trasformatore, cablaggio ecc.).

Due fattori risultano importanti: la taglia dell’impianto e la tipologia dei moduli adottati (connessa alle strutture di sostegno). In tal senso, “per i sistemi ad inseguimento si può avere un aggravio dei costi di investimento, che può arrivare al 40% nel caso di inseguimento monoassiale e anche all’80% per gli inseguimento a doppio asse. L’utilizzo di sistemi a inseguimento comporta anche un incremento significativo nei costi di esercizio e manutenzione, quantificabili intorno al 5% del costo capitale. È per tali ragioni che sistemi di questo tipo ancora faticano ad imporsi nel mercato fotovoltaico²²²”.

4.2 Variabili dell’energia fotovoltaica policristallina applicabili in Qatar

I costi generici appena descritti possono, tuttavia, subire modifiche se applicati alle caratteristiche ambientali ed economiche del Qatar. Una delle fasi più importanti nel processo di progettazione di un impianto fotovoltaico riguarda le stime della produzione energetica che ci si propone di soddisfare. Tale dato, generalmente, viene misurato su base annua.

Per tale obiettivo è opportuna una valutazione generica sulla potenza prodotta e l’utilizzo di un modello che renda possibile il calcolo della potenza erogata, in kWh annui, da un impianto fotovoltaico. Per sviluppare tale modello verranno utilizzati alcuni parametri al fine di poter valutare l’effettivo rendimento in termini economici di tale progetto. Verrà delineato uno scenario energetico del Qatar (2015-2040), nel quale sarà ipotizzata una diminuzione della quota di energia elettrica prodotta da fonti convenzionali, con un conseguente incremento di energia prodotta da fonti rinnovabili attraverso la costruzione di 3 impianti solari composti da moduli

²²¹ Per BoS si intende la parte restante sistema esclusi moduli fotovoltaici influenzata da diversi fattori perdita. Rubini L., op.cit. p. 118.

²²² Rubini L., op.cit. p.141.

fotovoltaici policristallini, per un totale di 300 MW di potenza nominale. Nel dettaglio:

- Dimensione: ipotesi costruzione impianti solari fotovoltaici policristallini da 100 MW (per un totale di 300 MW di potenza nominale);
- Soluzione impiantistica: moduli policristallini fissi, privi di meccanismi d'inseguimento del sole dotati di inverter con trasformatore a bassa frequenza (50 Hz);
- Tipologia impianto: Grid Connected;
- Ipotesi collocazione geografica: parte interna del Paese, in aree desertiche poco sfruttate lontane dalla costa. Nord: località Ras Laffan (impianto 1); Centro: periferia occidentale di Doha (impianto 2); Sud: località Mesaieed (impianto 3);
- Costo totale: per la costruzione di 3 impianti da 100 MW la spesa totale stimata sarà di circa 300 milioni di Euro (circa 1 202 400 000 Qatar Ryal²²³);

²²³ Tasso di conversione Euro/Qatar Ryal aggiornato al 20 maggio 2015.

Verranno prese in considerazione le seguenti variabili per definire costi e rendimenti del progetto:

- a) Irradiazione media in Qatar
- b) Temperatura media in Qatar
- c) Costi impianto
- d) Dati su efficienza produttività di un modulo fotovoltaico policristallino
- e) Costo del terreno in Qatar
- f) Costo di vendita dell'energia nel mercato interno qatarino
- g) Costi del modulo e costi di installazione escluso il modulo
- h) Costi di manutenzione ordinaria e straordinaria
- i) Eventuale tassazione prevista sull'energia prodotta e consumata
- l) Rapporto tra superficie e potenza installata per un impianto fotovoltaico policristallino
- m) Tasso di interesse

a) Irradiazione media in Qatar.

Secondo il Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) l'irradiazione totale, senza perdite, è di 2450 ore all'anno. La tabella riportata qui di seguito, elaborata dall'IRENA (International Renewable Energy Agency), indica, nel caso del Qatar, un'irradiazione media di 2140 kWh/m² annui. Tale valore non tiene conto dei fattori di perdita, che verranno valutati successivamente. L'irradiazione reale nell'Emirato è circa di 1858 kWh/m² all'anno (località al Khor, 40 km a nord della capitale Doha).

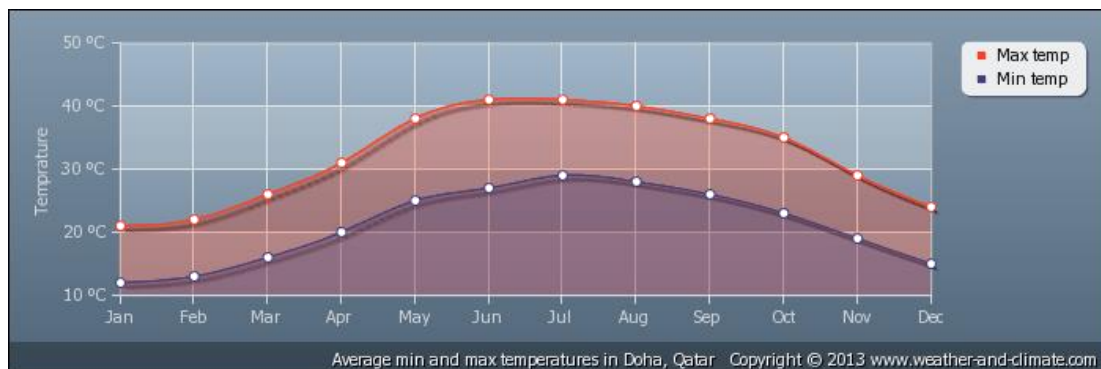
Table 1: Renewable energy resource indicators in the Arab countries

Country	Global Horizontal Irradiance (kWh/m ² /year)	Direct Normal Radiation (kWh/m ² /year)	Wind - Full Load Hours/year	Geothermal - Temperature (°C) at 5 000 m
Algeria	1 970	2 700	1 789	213
Bahrain	2 160	2 050	1 360	100
Comoros	N/A	N/A	N/A	N/A
Djibouti	N/A	N/A	N/A	N/A
Egypt	2 450	2 800	3 015	180
Iraq	2 050	2 000	1 789	100
Jordan	2 320	2 700	1 483	100
Kuwait	1 900	2 100	1 605	100
Lebanon	1 920	2 000	1 176	100
Libya	1 940	2 700	1 912	100
Mauritania	N/A	N/A	N/A	N/A
Morocco	2 000	2 600	2 708	281
Oman	2 050	2 200	2 463	100
Palestine	N/A	N/A	N/A	N/A
Qatar	2 140	2 200	1 421	100
Saudi Arabia	2 130	2 500	1 789	275
Somalia	N/A	N/A	N/A	N/A
Sudan	N/A	N/A	N/A	N/A
Syria	2 360	2 200	1 789	100
Tunisia	1 980	2 400	1 789	188
UAE	2 120	2 200	1 176	100
Yemen	2 250	2 200	1 483	295

Fonte: IRENA (International Renewable Energy Agency), Pan Arab Renewable energy strategy 2030, 2014. p.28

b) Temperatura media in Qatar.

Come si evince dal grafico riportato qui di seguito in Qatar la temperatura massima da aprile a novembre supera i 30 °C toccando addirittura valori medi di circa quaranta gradi da maggio a settembre. Tale fattore, paradossalmente, risulta essere controproducente: quando infatti viene superata una temperatura di 25 °C l'efficienza di un pannello fotovoltaico policristallino tende a diminuire abbassando, di conseguenza, il suo rendimento in termini di energia elettrica prodotta.



Temperature (minime e massime) medie registrate in Qatar (2013). Fonte www.weather-and-climate.com

c) Costi impianto²²⁴.

Un impianto fotovoltaico policristallino fisso (senza meccanismi di inseguimento del sole) da 100 MW ha un costo complessivo di circa 100 milioni di Euro. Tale valore può essere rivisto al ribasso sfruttando i minori costi di installazione viste le grandi dimensioni degli impianti ipotizzate.

d) Dati su efficienza produttività di un modulo fotovoltaico policristallino.

Un impianto di 100 MW, con le caratteristiche climatiche del Golfo Persico, rende, in un arco temporale di 25 anni, una media di circa 187 milioni di kWh l'anno. Tale dato tiene conto dei vari fattori di perdita che verranno descritti nel prossimo paragrafo, compresa la degradazione del modulo, che ne incide gradualmente sulle prestazioni nel corso degli anni.

e) Costo del terreno in Qatar.

Ipotesi concessione governativa. Non verrà considerata l'eventualità del costo del terreno su cui verranno installati i moduli. La parte interna del Paese, dove ipoteticamente sarebbe più opportuno collocare gli impianti, risulta del tutto inutilizzata e priva di valore economico. La lontananza dalle coste, la mancanza di giacimenti sfruttabili e la grande aridità condizionano il valore economico di queste distese desertiche rocciose prive di insediamenti residenziali e industriali. La concessione del terreno per

²²⁴ Secondo la Lazard International Investment Bank la produzione di 1 MWh in un impianto fotovoltaico policristallino ha un costo di 160 dollari.

installazioni fotovoltaiche, quindi, potrebbe essere considerata come un incentivo del governo. Al contrario, a titolo esemplificativo, i costi del terreno in Qatar nelle fasce costiere, in prossimità della capitale o nei principali distretti industriali del Paese, risultano essere molto onerosi (raggiungendo una media di circa 30 000 Euro al m² nelle aree del Paese più sfruttate)²²⁵.

f) Costo di vendita dell'energia nel mercato elettrico qatarino.

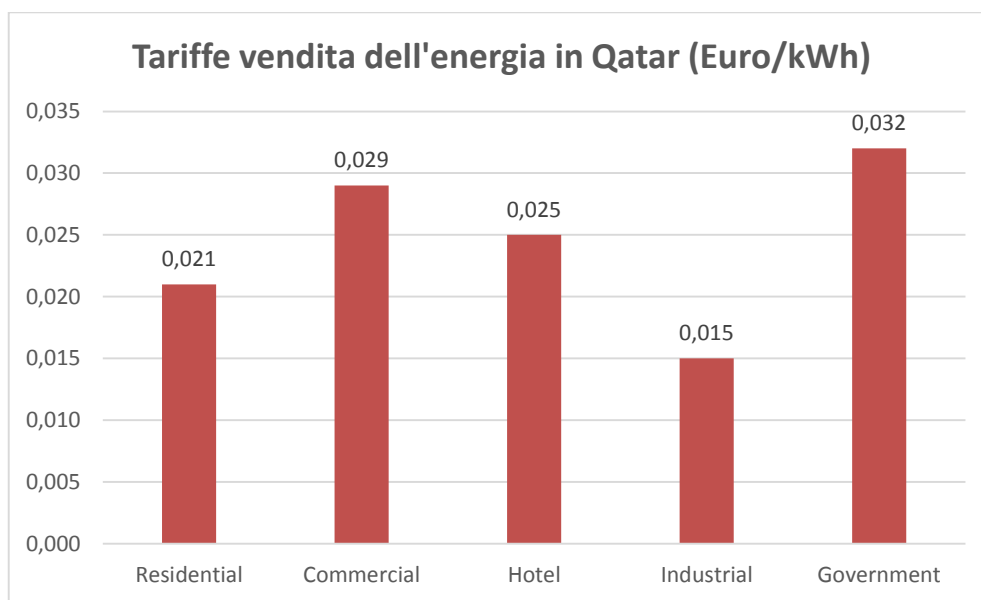
Se è vero che la popolazione qatarina (circa il 23% dei consumatori totali) riceve l'energia elettrica gratuitamente, l'elettricità nel settore industriale, commerciale e residenziale per i cittadini non qatarini è venduta a tariffe molto economiche. Verrà preso in considerazione il prezzo di vendita dell'energia distinguendo a seconda del tipo di edificio. Il governo del Qatar, infatti, garantisce tali agevolazioni per incentivare l'afflusso di lavoratori e la delocalizzazione industriale nel Paese. Le tariffe di vendita, definite dall'autorità dell'energia del Qatar (Karamaa, Qatar General Electricity & Water Corporation), sono così ripartite:

²²⁵ Al Asmakh Real Estate Development, *Qatar Real Estate Report*, 2013.

Sector Type	Sector ID	Electricity			Potable Water
		From (KWH)	To (KWH)	Electricity Tariff KWH in QAR	Water Tariff m3 in QAR
Residential Flat	1	1 // 4001	4000 Maximum	0.08 // 0.1	4.4
Villa (Residential)	2	1 // 4001	4000 Maximum	0.08 // 0.1	4.4
Commercial	3	1 // 4001 // 15001	4000 // 15000 Maximum	0.09 // 0.12 // 0.14	5.2
Hotel (Major)	4	1 // 30001 // 500001	300000 // 500000 Maximum	0.09 // 0.1 // 0.12	5.2
Hotel (small)	5	1 // 50001 // 100001	50000 // 100000 Maximum	0.09 // 0.1 // 0.12	5.2
Industrial	6	1	Maximum	0.07	4.4
Government	8	1	Maximum	0.15	7
Productive Farms	10	1	maximum	0.07	5.2

Fonte: <https://www.km.com.qa/CustomerService/Pages/Tariff.aspx>

Convertendo i valori da Qatar Ryal in Euro:

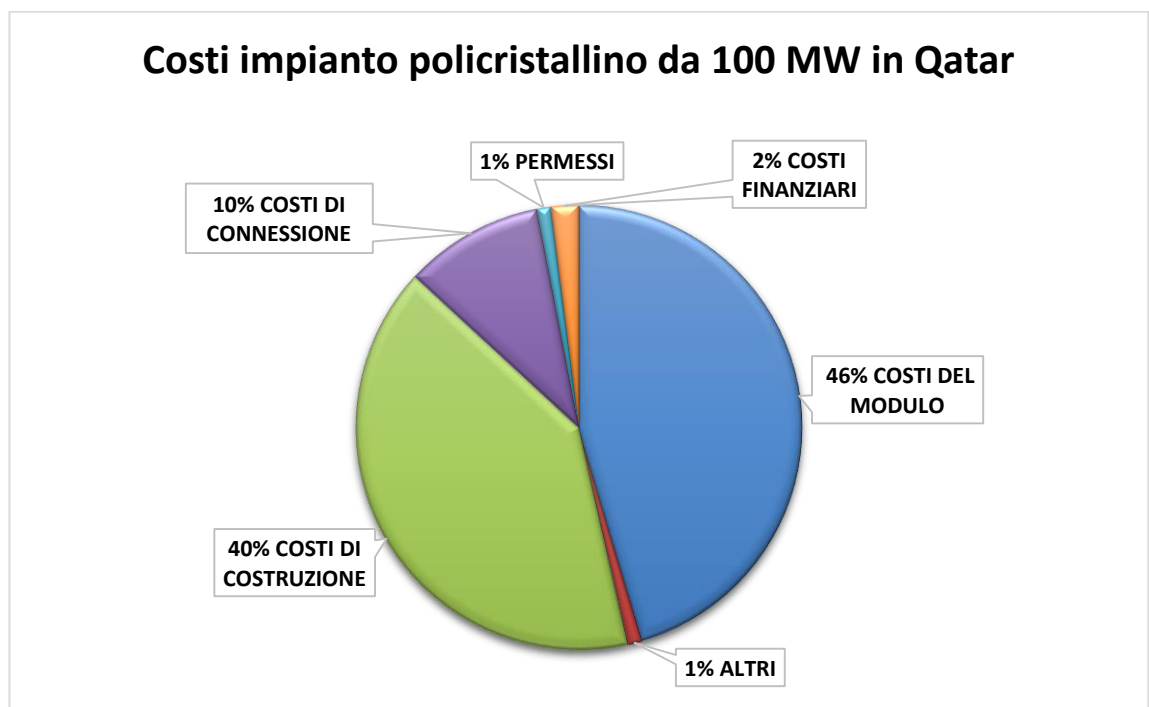


Tariffe di vendita dell'energia elettrica in Qatar (Euro/kWh) applicata a seconda del tipo di immobile: residenziale, commerciale, hotel, industriale e governativo. Elaborazione dell'autore.

Tali tariffe, piuttosto basse rispetto agli standard europei, derivano dalla volontà della famiglia Al Thani di offrire l'energia elettrica a prezzi molto vantaggiosi. Tale dato risulta essere ancor più significativo considerando il fatto che la popolazione in possesso della cittadinanza qatarina, usufruisce dell'energia elettrica gratuitamente²²⁶.

Se si fa una media dei valori del prezzo di vendita a seconda del tipo di edificio che viene servito, l'energia in Qatar avrà un costo medio di circa 0.025 Euro/kWh. Tale importo verrà considerato per valutare i ritorni economici sulla vendita di energia elettrica ottenuta dalla costruzione di impianti fotovoltaici.

g) Costi del modulo e costi di installazione escluso il modulo.



Ripartizione dei costi (in percentuale) per la costruzione di un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW in Qatar. Elaborazione dell'autore

²²⁶ Circa il 23% dell'energia elettrica totale è consumata da cittadini qatarini che usufruiscono gratuitamente di questo servizio. Considerando che secondo le previsioni i consumi elettrici saranno di circa 30.3 miliardi kWh (2016), circa 6.969 miliardi di kWh risulteranno erogati dallo Stato senza ritorni economici. Prendendo come riferimento il prezzo di produzione elettrica da impianti a gas (0.045 Euro /kWh) la famiglia Al Thani spenderà circa 313 605 000 Euro annui per garantire tale servizio. <http://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=QAT>. Fonte: Karamaa (2009).

Come si evince dal diagramma, nello specifico caso del Qatar, la voce di spesa per la costruzione di un impianto fotovoltaico policristallino è rappresentata dalle seguenti voci di costo: modulo (46%), costruzione (40%), connessione (10%), finanziari (2%) permessi (1%) e altri (1%).

h) Costi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Generalmente, i costi di manutenzione totali si aggirano intorno all'1% annuo del costo dell'impianto. Nel caso qatarino una stima sui costi di manutenzione prevede circa 800 000 Euro annui per un impianto da 100 MW, somma che gradualmente andrà ad aumentare del 2% ogni anno. Saranno inoltre previsti altre voci di costo come l'assicurazione dell'impianto, circa 500 000 euro annui nel primo anno, e i costi di tipo amministrativo, circa 100 000 Euro l'anno.

l) Eventuale tassazione prevista sull'energia prodotta e consumata.

Verrà considerata la mancanza di *royalties* e tassazione come una forma di incentivo governativo e dunque questa voce di spesa non verrà calcolata.

o) Rapporto tra superficie e potenza installata per un impianto fotovoltaico policristallino²²⁷.

Un impianto fotovoltaico policristallino con una potenza nominale di 100 MW occupa una superficie di circa 2 km²²²⁸.

²²⁷ http://www.archimedesolareenergy.it/it_solar_receiver_tube.htm

²²⁸ Secondo uno studio del NREL (Energy Department's National Renewable Energy Laboratory), che si basa su dati reali, per soddisfare il fabbisogno elettrico degli Stati Uniti sarebbe necessaria l'occupazione dello 0,8% del territorio nazionale: per produrre un GWh di elettricità è necessario occupare 1,6 ettari di terreno con piccoli impianti fotovoltaici e 1,3 ettari con i grandi impianti. La ricerca ha preso in considerazione i dati provenienti da progetti completati o in costruzione negli Stati Uniti, geograficamente collocati fra il confine con il Canada e quello con il Messico: nello specifico, sono stati analizzati 25 impianti termodinamici, 66 di fotovoltaico sopra i 20 MW e 126 impianti FV al di sotto di tale soglia. I risultati mostrano che il terreno totale necessario per avere la potenza di un MW varia fra 1,2 e 6,8 ettari per il fotovoltaico in impianti sotto al MW e fra 1 e 4,8 ettari per impianti di grande dimensione (con una media di 2,9 ha/MW). Applicando all'Italia questi parametri, per soddisfare l'intero fabbisogno elettrico nazionale con impianti PV a terra, sarebbe necessaria una superficie di 5300 kmq cioè 1,7% della superficie totale.

m) Tasso di interesse.

Verrà considerato un interesse del 2% annuo sulle vari voci di spesa nel corso dei 25 anni di attività dell'impianto.

4.3 Valutazioni economiche sulla costruzione di un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW

Size	MW	100
Irradiation	Hours	2.450
Performance Ratio	%	85%
Technical Availability	%	99,0%
Module Degradation Year 1	%	1,0%
Module Degradation After Year 1	%	0,7%

Module ASP	Euro/W	0,45
Permits	Euro/W	0,01
Construction Cost	Euro/W	0,40
Connection Cost	Euro/W	0,10
Other Direct Cost	Euro/W	0,01
Financial Cost	Euro/W	0,02
Total Cost	Euro/W	0,99
Offtaker Purchase Price	Euro/W	0,99

VAT on Total Cost	%	0,0%
Land Surface Right Tax Payment	%	0,0%
Inflation for FIT	%	2,0%
Inflation for Energy Price	%	2,0%
Inflation for Opex	%	2,0%

O&M	Euro/KW/yr	8,00
Land Lease	Euro/KW/yr	0,00
Insurance	Euro/KW/yr	5,00
G&A	Euro/KW/yr	1,00
Duration Operation	Years	25

Elaborazione dell'autore

Nella tabella riportata sono stati considerati i dati realistici riguardanti la costruzione di un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW in Qatar,

applicando le variabili che si inseriscono nel contesto ambientale ed economico dell’Emirato. Con un’irradiazione media elevata e calcolati i vari fattori di perdita, il costo medio di un impianto fotovoltaico policristallino di 100 MW, sarà di circa 100 milioni di Euro (0,99 Euro per ogni Watt prodotto).

Per “*permormance ratio*” e “*technical availability*” si intende la capacità del sistema di produrre energia elettrica in considerazione delle perdite di efficienza che derivano dal funzionamento dell’inverter e del sistema nel suo insieme. Con i valori medi di irradiazione presenti, sarà possibile ricavare una media di circa 187 000 000 di kWh all’anno nell’arco dei 25 anni di esercizio dell’impianto²²⁹. Il primo anno, infatti, la produzione elettrica supererà i 200 milioni di MWh, ma tale risultato subirà una graduale flessione. Nelle tabelle riportate qui di seguito è possibile osservare l’andamento dei ricavi, della produzione elettrica e dei costi fissi dell’impianto nell’arco di 25 anni.

1-5 anni

Years	1	2	3	4	5	
Inflation	100%	102%	104%	106%	108%	
Degradation cumulative rate	1,0%	1,7%	2,4%	3,1%	3,8%	
Production MWh	204.106	202.663	201.219	199.776	198.333	
Revenues energy	5.102.646	5.167.898	5.233.719	5.300.105	5.367.054	
Total Revenues	5.102.646	5.167.898	5.233.719	5.300.105	5.367.054	
O&M Contract	800.000	816.000	832.320	848.966	865.946	
Land Lease	-	-	-	-	-	
Insurance	500.000	510.000	520.200	530.604	541.216	
G&A	100.000	102.000	104.040	106.121	108.243	
Total Opex	1.400.000	1.428.000	1.456.560	1.485.691	1.515.405	
EBITDA	3.702.646	3.739.898	3.777.159	3.814.414	3.851.649	
Years	1	2	3	4	5	
EBITDA	3.702.646	3.739.898	3.777.159	3.814.414	3.851.649	
Investment	99.000.000					
Cash flow	-99.000.000	3.702.646	3.739.898	3.777.159	3.814.414	3.851.649

Elaborazione dell’autore

²²⁹ Il dato preciso è di 186 788 000 kWh annui per un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW.

5-10 anni

Years	6	7	8	9	10	
Inflation	110%	113%	115%	117%	120%	
Degradation cumulative rate	4,5%	5,2%	5,9%	6,6%	7,3%	
Production MWh	196.890	195.447	194.004	192.560	191.117	
Revenues energy	5.434.561	5.502.621	5.571.229	5.640.381	5.710.071	
Total Revenues	5.434.561	5.502.621	5.571.229	5.640.381	5.710.071	
O&M Contract	883.265	900.930	918.949	937.328	956.074	
Land Lease	-	-	-	-	-	
Insurance	552.040	563.081	574.343	585.830	597.546	
G&A	110.408	112.616	114.869	117.166	119.509	
Total Opex	1.545.713	1.576.627	1.608.160	1.640.323	1.673.130	
EBITDA	3.888.848	3.925.993	3.963.069	4.000.058	4.036.941	
Years	6	7	8	9	10	
EBITDA	3.888.848	3.925.993	3.963.069	4.000.058	4.036.941	
Investment	99.000.000					
Cash flow	-99.000.000	3.888.848	3.925.993	3.963.069	4.000.058	4.036.941

Elaborazione dell'autore

10-15 anni

Years	11	12	13	14	15	
Inflation	122%	124%	127%	129%	132%	
Degradation cumulative rate	8,0%	8,7%	9,4%	10,1%	10,8%	
Production MWh	189.674	188.231	186.788	185.345	183.901	
Revenues energy	5.780.292	5.851.037	5.922.301	5.994.075	6.066.350	
Total Revenues	5.780.292	5.851.037	5.922.301	5.994.075	6.066.350	
O&M Contract	975.196	994.699	1.014.593	1.034.885	1.055.583	
Land Lease	-	-	-	-	-	
Insurance	609.497	621.687	634.121	646.803	659.739	
G&A	121.899	124.337	126.824	129.361	131.948	
Total Opex	1.706.592	1.740.724	1.775.539	1.811.049	1.847.270	
EBITDA	4.073.700	4.110.313	4.146.762	4.183.025	4.219.080	
Years	11	12	13	14	15	
EBITDA	4.073.700	4.110.313	4.146.762	4.183.025	4.219.080	
Investment	99.000.000					
Cash flow	-99.000.000	4.073.700	4.110.313	4.146.762	4.183.025	4.219.080

Elaborazione dell'autore

15-20 anni:

Years	16	17	18	19	20	
Inflation	135%	137%	140%	143%	146%	
Degradation cumulative rate	11,5%	12,2%	12,9%	13,6%	14,3%	
Production MWh	182.458	181.015	179.572	178.129	176.686	
Revenues energy	6.139.119	6.212.372	6.286.100	6.360.292	6.434.937	
Total Revenues	6.139.119	6.212.372	6.286.100	6.360.292	6.434.937	
O&M Contract	1.076.695	1.098.229	1.120.193	1.142.597	1.165.449	
Land Lease	-	-	-	-	-	
Insurance	672.934	686.393	700.121	714.123	728.406	
G&A	134.587	137.279	140.024	142.825	145.681	
Total Opex	1.884.216	1.921.900	1.960.338	1.999.545	2.039.536	
EBITDA	4.254.903	4.290.472	4.325.762	4.360.747	4.395.401	
Years	16	17	18	19	20	
EBITDA	4.254.903	4.290.472	4.325.762	4.360.747	4.395.401	
Investment	99.000.000					
Cash flow	-99.000.000	4.254.903	4.290.472	4.325.762	4.360.747	4.395.401

Elaborazione dell'autore

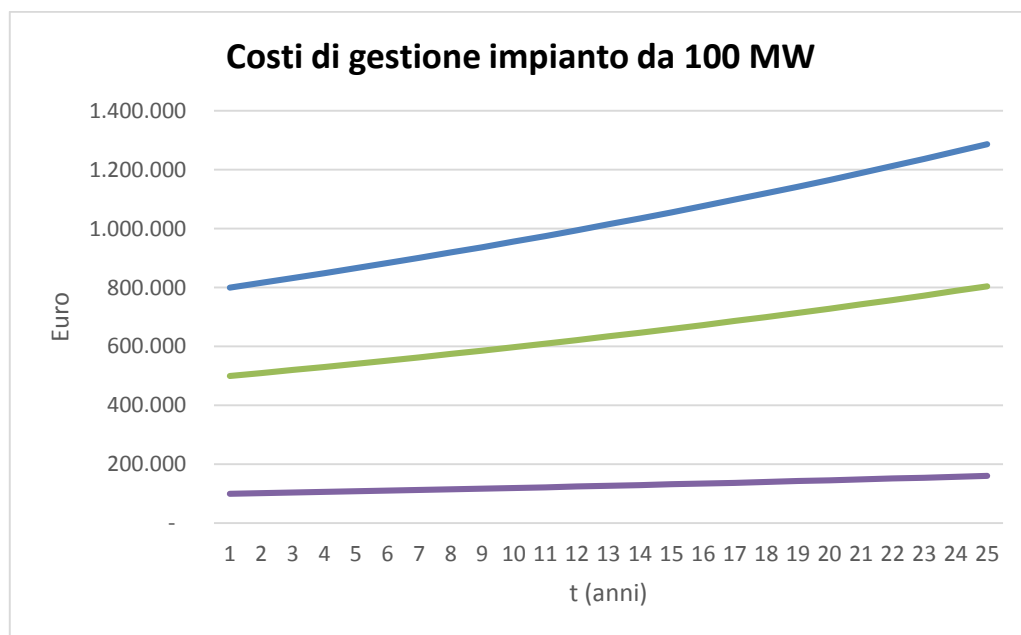
20-25 anni

Years	21	22	23	24	25	
Inflation	149%	152%	155%	158%	161%	
Degradation cumulative rate	15,0%	15,7%	16,4%	17,1%	17,8%	
Production MWh	175.242	173.799	172.356	170.913	169.470	
Revenues energy	6.510.024	6.585.540	6.661.473	6.737.809	6.814.534	
Total Revenues	6.510.024	6.585.540	6.661.473	6.737.809	6.814.534	
O&M Contract	1.188.758	1.212.533	1.236.784	1.261.519	1.286.750	
Land Lease	-	-	-	-	-	
Insurance	742.974	757.833	772.990	788.450	804.219	
G&A	148.595	151.567	154.598	157.690	160.844	
Total Opex	2.080.326	2.121.933	2.164.372	2.207.659	2.251.812	
EBITDA	4.429.697	4.463.607	4.497.101	4.530.150	4.562.722	
Years	21	22	23	24	25	
EBITDA	4.429.697	4.463.607	4.497.101	4.530.150	4.562.722	
Investment	99.000.000					
Cash flow	-99.000.000	4.429.697	4.463.607	4.497.101	4.530.150	4.562.722

Elaborazione dell'autore

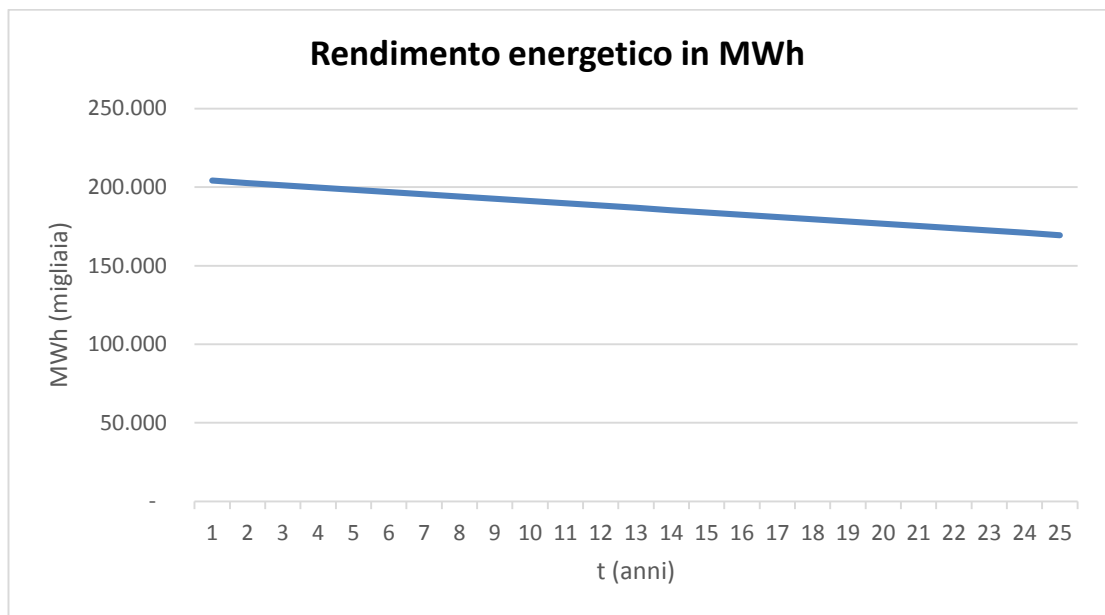
Legenda:

- EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes and Depreciation, Depletion and Amortization*: con tale sigla si intende l'utile privo degli interessi passivi). Tali dati sono calcolati su un'ipotesi di costo di vendita dell'energia elettrica di 0,025 Euro per kWh.
- O&M (*Operation and Maintenance*). Costo manutenzione ordinaria e straordinaria
- Insurance: costo di assicurazione
- G&A (*General and Administrative*) costi generali e amministrativi
- Revenues: ricavi economici derivanti dalla vendita dell'energia elettrica prodotta dall'impianto al prezzo medio di vendita di 0,025 Euro al kWh
- Degradation: un parametro da tenere in considerazione è la degradazione dei moduli che comporta una diminuzione dell'efficienza. Tale trend è registrato dall'andamento decrescente dell'energia elettrica prodotta riscontrabile nel corso degli anni: da circa 204,16 milioni di kWh annui del primo anno ai 169,470 milioni di kWh annui al venticinquesimo anno di esercizio, con una media di 186,788 milioni di kWh annui.



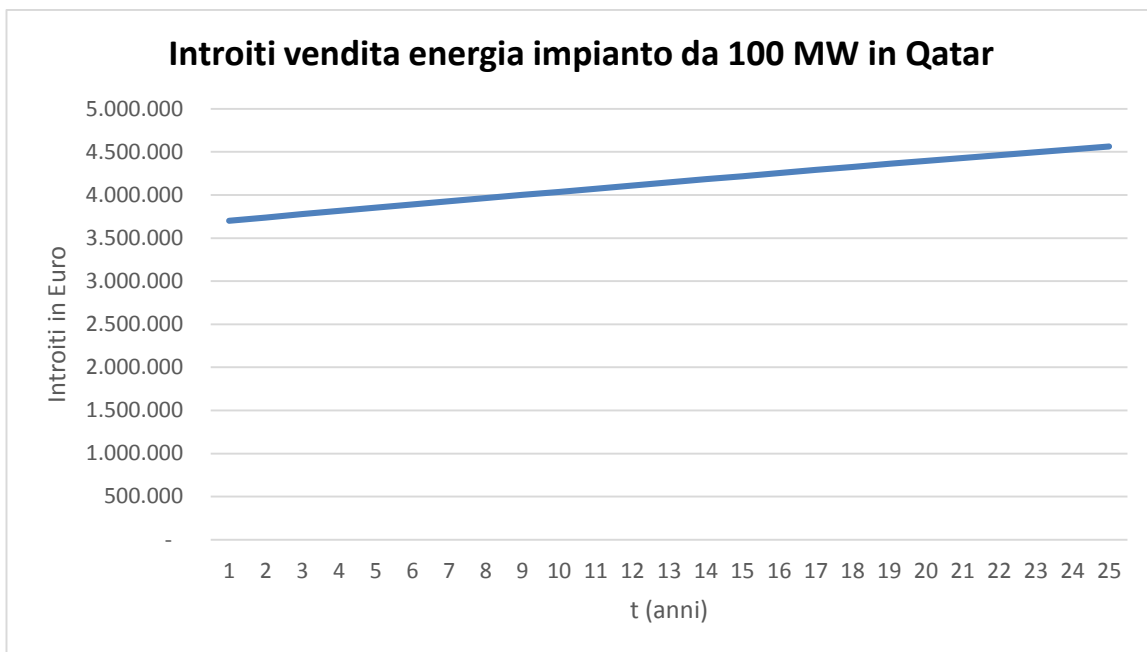
Costi di gestione di un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW. La linea di colore blu rappresenta i costi di manutenzione nell'arco di 25 anni, la verde quelli di assicurazione mentre la linea viola i costi di tipo amministrativo. Elaborazione dell'autore.

Nel grafico “costi di gestione impianto da 100 MW” viene descritto l’andamento di alcune voci di costo presenti nelle tabelle precedenti durante l’arco temporale preso in esame (25 anni): l’andamento è crescente, seppur con le dovute differenze tra le tre voci di spesa. La manutenzione ordinaria e straordinaria risulta l’importo più significativo (attestandosi a più di 1 200 000 Euro al venticinquesimo anno di attività), seguita dai costi di assicurazione e da quelli amministrativi.

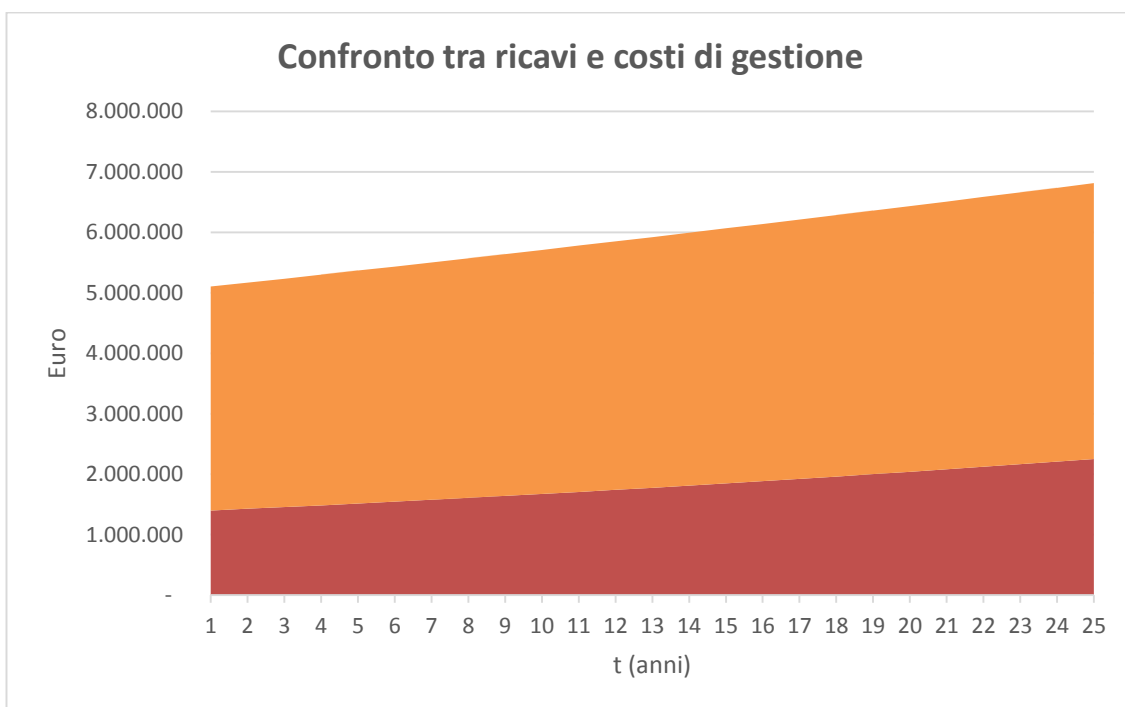


Rendimento impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW. Elaborazione dell’autore

Un altro dato significativo osservabile dal grafico precedente è il graduale abbassamento del rendimento dell’impianto. Considerando un impianto da 100 MW, con la caratteristiche climatiche del Qatar e i meccanismi di perdita, nei primi anni di esercizio i kWh prodotti saranno più di 200 000 000, per poi diminuire gradualmente nel corso degli anni successivi. Tale perdita di efficienza avrà delle conseguenze anche sul livello dei ricavi economici, seppur crescenti, osservabili dal grafico “Introiti vendita energia impianto policristallino da 100 MW in Qatar”.



Introiti (in Euro) ottenuti attraverso la vendita dell'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico policristallino in Qatar. Elaborazione dell'autore



Confronto (in Euro) tra costi di gestione (area rossa) e ricavi ottenuti dalla vendita dell'energia in Qatar (area arancione) nell'arco di 25 anni. Elaborazione dell'autore.

I margini di ricavo, tuttavia, non sembrano giustificare l'investimento iniziale: il basso prezzo medio di vendita di energia elettrica nel mercato interno qatarino, tende, infatti, a scongiurare l'inserimento di attori non statali in questo settore. Con un prezzo medio di vendita dell'energia così basso (0,025 Euro al kWh) e in assenza di incentivi statali diretti, infatti, il *break even* verrebbe raggiunto solo negli ultimi anni di esercizio, addirittura nel ventiquattresimo anno di attività: in altre parole, il costo dell'investimento finirebbe quasi con coincidere con gli introiti economici totali, con un tasso di rendimento di appena lo 0,3%.

Tali valutazioni, tuttavia, possono ribaltarsi se consideriamo lo Stato del Qatar come protagonista e attore diretto. Se si affronta la tematica dell'insieme di logiche che si celano dietro la prospettiva di investire nell'energia solare seguendo un'ottica di tipo statale, è infatti opportuno basarsi su altri fattori. Per il governo del Qatar, oltre ai ritorni occupazionali legati allo sviluppo di un settore nuovo e con grandi margini di espansione e alle questioni ambientali che influiscono in modo significativo per l'immagine del Paese, vi sono ulteriori motivazioni, anche di tipo economico. Sono proprio questi presupposti, alla luce delle grandi disponibilità finanziarie della famiglia Al Thani, a giustificare il crescente interesse verso le rinnovabili e l'enfasi mostrata dalla classe dirigente qatarina nel confermare a più riprese tali propositi.

Come sottolineato a più riprese il Qatar sfrutta le grandi quantità di gas naturale presenti nel suo sottosuolo: l'economia dell'Emirato è del tutto dipendente dalle rendite ottenute dall'esportazione di tale risorsa. Nell'ipotesi di costruzione di grandi impianti fotovoltaici di grandi dimensioni (tre impianti da 100 MW ciascuno), come detto precedentemente, i bassi ritorni economici ottenuti dalla vendita dell'energia generata non giustificherebbero l'esborso dei circa 300 milioni di Euro previsti. Tuttavia, è opportuno tenere presente i ritorni economici indiretti che deriverebbero da tali progetti.

Pur avendo gas in abbondanza occorre considerare, in ottica di lungo periodo, la sostenibilità degli attuali volumi di esportazione di gas nei prossimi decenni. Una

quota di gas del Qatar viene, infatti, utilizzata per soddisfare la domanda di energia interna per la desalinizzazione delle acque del Golfo Persico e per i consumi elettrici in grande crescita nell'Emirato (il Qatar è del tutto privo di falde acquifere in grado di garantire acqua dolce e potabile alla popolazione).

È dunque possibile fare una stima di quanto l'introduzione di energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici produca un introito economico derivante dalla quota di gas risparmiato che potrebbe, di conseguenza, essere esportato.

Un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW, con le condizioni climatiche del Golfo Persico, produce circa 187 000 000 di kWh l'anno: per riuscire a fare una stima, seppur approssimativa, del risparmio di gas naturale ottenuto, è necessaria una valutazione sul prezzo medio di vendita di questa risorsa, caratterizzato da variazioni piuttosto rilevanti nel mercato internazionale.

Per la definizione del prezzo del gas vengono utilizzati alcuni indicatori, in quanto l'indicizzazione alle quotazioni del petrolio non è un buon indice di riferimento del valore gas in un mercato concorrenziale *gas to gas*. Il fatto che il prezzo sia legato al mercato destituisce di valore il tradizionale contratto *take or pay*.

I prezzi del gas presi come riferimento a livello internazionale, come ad esempio lo Henry Hub (Stati Uniti) o il National Balancing Point (Regno Unito), sono pubblicati in bollettini specializzati e forniscono agli operatori del settore importanti informazioni sull'andamento del mercato. Le quotazioni che risentono in misura minore della fluttuazione dei prezzi di mercato, danno la possibilità di mettere in evidenza i “differenziali di base”, collegando i prezzi con quelli presenti in altri mercati di riferimento. Questo complesso meccanismo di creazione dei prezzi di tipo borsistico fornisce un'informazione trasparente per la gestione del rischio²³⁰.

Il grafico “*Prices*” del BP Statistical Review of World Energy (2013), relativo ai prezzi del gas naturale, riproduce l'andamento e le oscillazioni relative ai punti di smistamento (*hub*) dello stesso all'interno delle reti di distribuzione internazionali.

²³⁰ “*Il commercio internazionale e l'industria del GNL*”, tratto da Economia, Politica, Diritto degli idrocarburi, Volume IV, Treccani, 2008, pp. 177 – 178.



Prezzi dei principali indici di gas nel mercato internazionale.

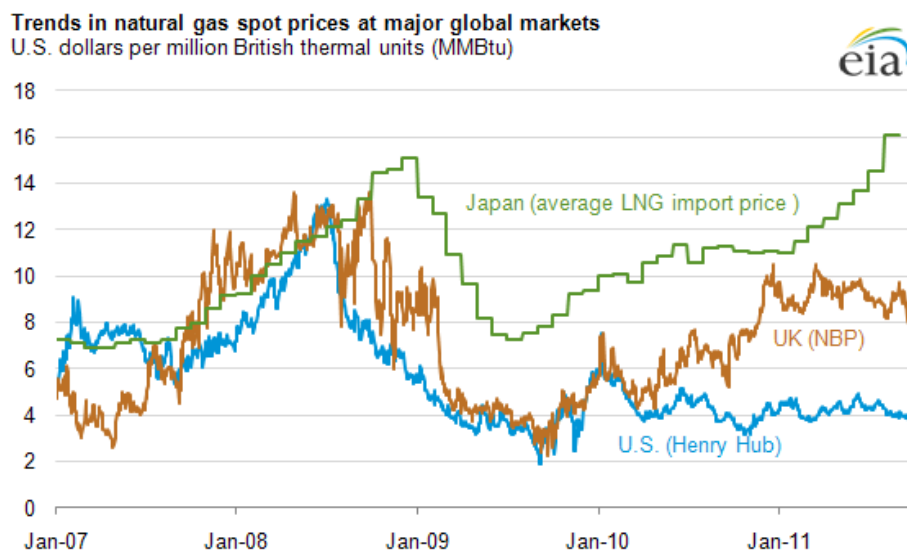
Fonte: BP Statistical Review of World Energy (2013).

Il grafico prende in esame un arco temporale che va dal 1995 al 2012. Come si può notare, l'intervallo all'interno del quale si strutturano e si muovono i prezzi del gas dei quattro maggiori *hub*, sul mercato internazionale, ha un andamento omogeneo fino al 2008, anno in cui, a causa dell'instabilità dovuta alla crisi finanziaria, si è verificata un picco del prezzo, seguito da una significativa flessione registratasi nel 2009. A seguito di questo *shock*, il grafico evidenzia la completa perdita di omogeneità nell'andamento dei prezzi di riferimento mondiali. Il prezzo relativo al US Henry Hub, dopo il 2009, si muove in completa controtendenza rispetto agli altri, decrescendo fino a riallinearsi al prezzo di mercato del 1996.

Per quanto riguarda altri indici, come l'Average German Import Price e lo UK NBP, si può notare un andamento quasi omogeneo, favorito, probabilmente, dalla comune area di riferimento.

Il Japan NLG, rispetto agli altri prezzi di riferimento, dal 2009 ha registrato un importante incremento, raggiungendo una quota quasi doppia rispetto al livello di prezzo del Average German Import Price e UK NBP. Lo stesso ha registrato una profonda forbice con il US Henry Hub, con un prezzo di mercato ben sei volte superiore a quest'ultimo. Una delle motivazioni di questo notevole incremento

potrebbe essere correlata alla soddisfazione della maggiore domanda interna di energia, sopperendo alla perdita di parte dell'approvvigionamento energetico fornito dalle centrali nucleari presenti nel Paese, a seguito del terremoto/tsunami che ha colpito il nord del Giappone nella primavera del 2009.



Andamento del prezzo del gas dei principali indici internazionali 2007-2012: Giappone (linea verde), Gran Bretagna (linea marrone), Stati Uniti (linea celeste).

Fonte: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=3310>

Il prezzo del gas è, dunque, caratterizzato da fluttuazioni piuttosto rilevanti con differenze da Paese a Paese. Alcune variabili di tipo geopolitico possono in parte spiegare le differenze di valore del prezzo di questa risorsa. Nel 2015 nel mercato domestico statunitense, usufruendo anche della crescente produzione di *shale gas*, il prezzo risulta essere piuttosto basso. Il Giappone, al contrario, in particolare dopo l'incidente di Fukushima e le restrizioni imposte dal governo sull'utilizzo di energia nucleare, paga un prezzo medio molto elevato rispetto ad altri paesi. "The situation in Japan is similar to that in many Asian countries, where there is only a limited spot market. [...] Japanese natural gas prices had been rising over the past year, even before the earthquake²³¹".

²³¹ <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=3310>

Tali valutazioni risultano valide per il cosiddetto “spot market” mentre Paesi fornitori come Russia e Qatar tendono anche stipulare contratti di fornitura di lungo periodo con clausole specifiche che prevedono complessi meccanismi di indicizzazione del prezzo finale.

I Paesi membri dell’Unione Europea, come Germania e Regno Unito, sfruttando l’offerta russa, norvegese e nordafricana, si attestano in una posizione intermedia: proprio l’indice NBP verrà preso come valore di riferimento. Considerando una quotazione media di 10 Euro al MMbtu²³² e facendo gli opportuni calcoli e conversioni da MMbtu in kWh, i 187 000 000 di kWh prodotti da un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW inciderebbero su un “risparmio” annuale di gas di circa 6 380 704,04 Euro²³³. Nell’arco dei 25 anni di attività prevista dall’impianto fotovoltaico, si otterrebbero 159 517 601 Euro (con un “risparmio” netto, sottraendo i capitali investiti, di circa 59 517 601 Euro nell’arco di 25 anni, una somma che moltiplicata per i tre impianti da 100 MW ipotizzati, porterebbe ad un totale di 178 652 803 Euro). A fronte di circa 300 000 000 di Euro investiti per la costruzione degli impianti da 300 MW, l’introito in gas naturale risparmiato e potenzialmente esportabile sarebbe di 478 652 803 Euro, senza considerare gli altri ritorni legati all’incremento dell’occupazione e, soprattutto, alla diminuzione dell’inquinamento atmosferico che risulta essere piuttosto elevato in Qatar²³⁴. Tali vantaggi sono validi per tutte le economie del Golfo Persico, in particolare per la crescita dei consumi interni di energia elettrica che investiranno questi Paesi²³⁵.

Lo scenario appena delineato è valido prendendo come valore di riferimento il prezzo medio di vendita del gas a 10 Euro ogni MMbtu (indice NBP), in linea con le recenti quotazioni.

Analizzando le fluttuazioni degli ultimi decenni è possibile tuttavia fare alcune considerazioni. Se si esamina lo *spot price* dell’Henry Hub (Stati Uniti), indice che,

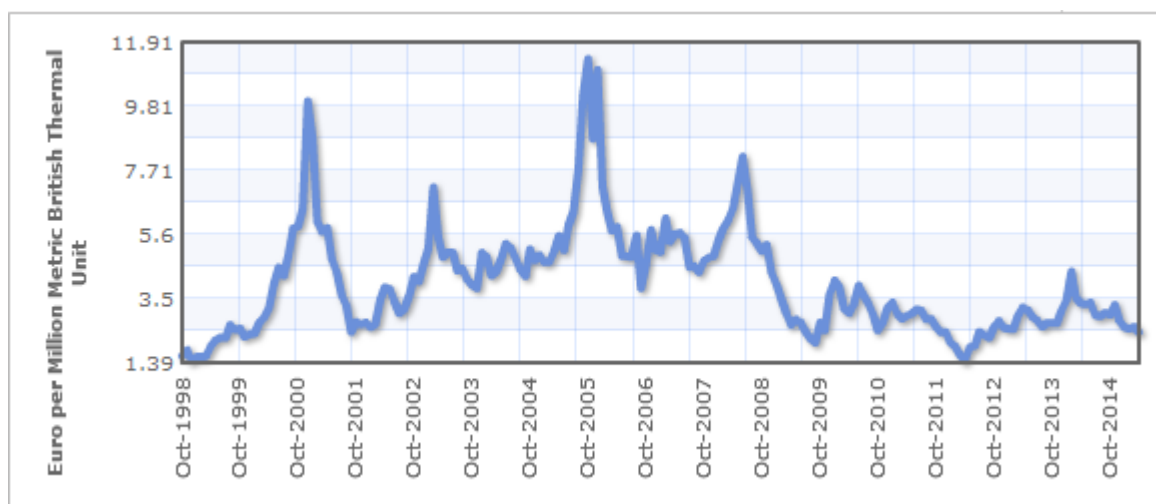
²³² Million Metric British Thermal Unit.

²³³ Seguendo la conversione 1 MMbtu = 293,07 kWh. In tal senso, 187 000 000 kWh sono convertibili in 638 070,40 MMbtu. Fonte: <http://www.endmemo.com/index.php>.

²³⁴ Il Qatar, secondo il World Wildfind Fund, risulta essere uno dei Paesi con la più alta percentuale di CO² pro capite immessa nell’atmosfera. Doha, la capitale dello Stato, registra le più alte emissioni di anidride carbonica pro capite del mondo.

²³⁵ Il costo finale dell’energia elettrica prodotto dalle centrali termoelettriche varia da 0,037 €/kWh per l’utilizzo del carbone, a 0,045 €/kWh se si utilizza metano, a 0,080 €/kWh se si brucia olio combustibile (calcolato per un prezzo al barile di 60\$).

come analizzato precedentemente, ha il volare medio più basso viste le peculiarità interne del mercato statunitense, si possono rilevare variazioni di prezzo molto significative.



Andamento dell'indice Henry Hub in Euro 1998-2014. Fonte: International Monetary Fund

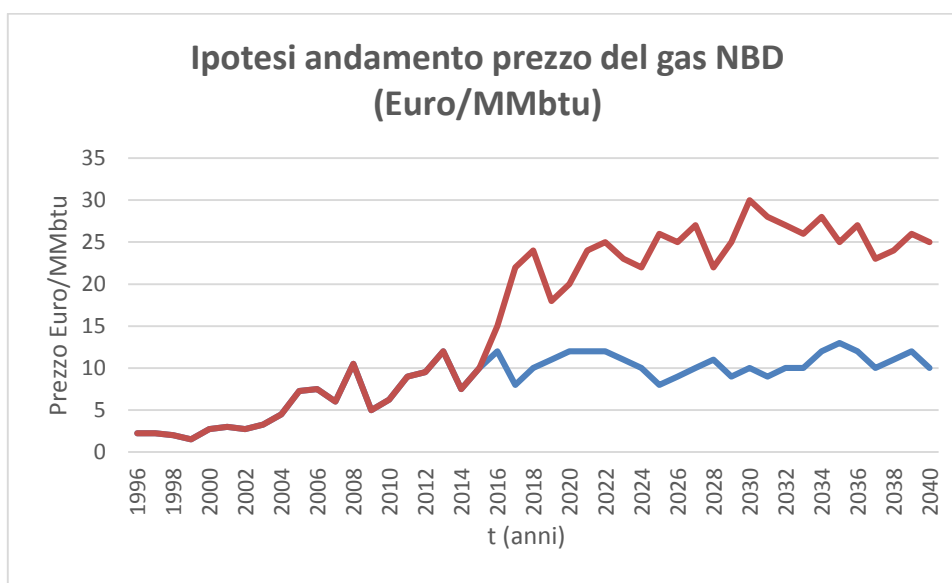
<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=natural-gas&months=360>

Prima dell'inizio della crisi economica internazionale ed il parallelo sviluppo dello *shale gas*, dal 2005 al 2008 il prezzo medio ha raggiunto valori medi molto più alti rispetto agli attuali, toccando addirittura la quota di 11.34 Euro al MMbtu, mentre nel 2015 il valore è appena di 2.39 Euro per MMbtu.

È opportuno, a tal proposito, descrivere un secondo scenario nel quale il prezzo di vendita del gas nel mercato europeo, precedentemente stimato in 10 Euro per MMbtu, sia invece molto più elevato (2015-2040). Tale ipotesi non appare del tutto inverosimile per le numerose incognite di tipo geopolitico, economico e finanziario: ipotizzare un prezzo di vendita del gas più alto assume un valore rilevante in merito alle valutazioni sull'applicabilità delle energie rinnovabili nel Golfo Persico e la conseguente giustificazione degli investimenti statali in questo settore.

Se è stato dimostrato come il governo del Qatar otterrebbe introiti dal risparmio di gas esportabile ad un prezzo medio di 10 Euro al MMbtu, qualora il prezzo di questa risorsa aumentasse (come avvenuto nel triennio 2005-2008) i ricavi economici indiretti sarebbero ancora più rilevanti. È quindi possibile delineare due scenari

energetici riguardanti il prezzo del gas dal 2015 al 2040: da un lato un andamento piuttosto lineare, costante su valori vicini ai 10 Euro per MMbtu anche nel prossimo decennio. Come detto precedentemente, se tali valori fossero confermati, la costruzione di impianti fotovoltaici da 300 MW renderebbe circa 178 652 803 Euro in 25 anni attraverso l’esportazione di gas risparmiato (linea blu grafico “ipotesi andamento prezzo del gas NBD”).



Ipotesi andamento prezzo del gas (indice NBD 1996-2040). Prendendo come riferimento l’indice NBD nel grafico vengono ipotizzati due scenari. La linea blu descrive un andamento di prezzo praticamente costante nel tempo (2015-2040) intorno ai 10 Euro al MMbtu. Al contrario l’andamento descritto dalla linea rossa prevede un ipotetico incremento del prezzo del gas naturale intorno ai 25 Euro al MMbtu. Elaborazione dell’autore.

Ipotizzando, invece, un secondo scenario energetico (linea rossa grafico “ipotesi andamento prezzo del gas NBD”) dove le fonti convenzionali, come il gas naturale, aumenterebbero notevolmente la propria quotazione alla luce della loro minore disponibilità, di eventuali shock di domanda e offerta, di variabili di tipo geopolitico, i ritorni economici per lo Stato del Qatar derivanti dalla costruzione di impianti fotovoltaici policristallini da 300 MW sarebbero ancora più significativi.

Prendendo il NBD come indice di riferimento e supponendo un prezzo medio del gas naturale di circa 25 Euro al MMBtu, l'esportazione di gas naturale risparmiato attraverso il fotovoltaico, nell'arco di 25 anni (dal 2015 al 2040) sarebbe addirittura di 896 382 000 Euro²³⁶.

4.4 Ipotesi di collocazione degli impianti



²³⁶ Con un prezzo medio di vendita di gas naturale a 25 Euro al MMBtu, si otterrebbero 398 794 000 Euro dall'attività di un impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW durante i 25 anni di attività prevista. Moltiplicando tale importo per i tre impianti fotovoltaici policristallini ipotizzati con una potenza nominale finale di 300 MW si otterrebbe un totale di 1 196 382 000 Euro, a cui vanno sottratti i 300 000 000 di Euro di investimento iniziale previsto per la costruzione degli impianti.

Il territorio del Qatar è totalmente desertico: se in prossimità della costa, alla luce degli investimenti della Famiglia Reale, sono stati avviati numerosi progetti edilizi, la parte interna, totalmente desertica e rocciosa, risulta praticamente priva di valore economico, escludendo ovviamente le aree dove sono presenti giacimenti di gas (nord-est, Ras Laffan) e petrolio (ovest, Dukhan). Alla luce di tali caratteristiche verranno individuati tre siti dove risulterebbe vantaggioso costruire i tre impianti fotovoltaici policristallini previsti:

- Impianto n.1 (100 MW): Ras Laffan Industrial City (80 km a nord di Doha).

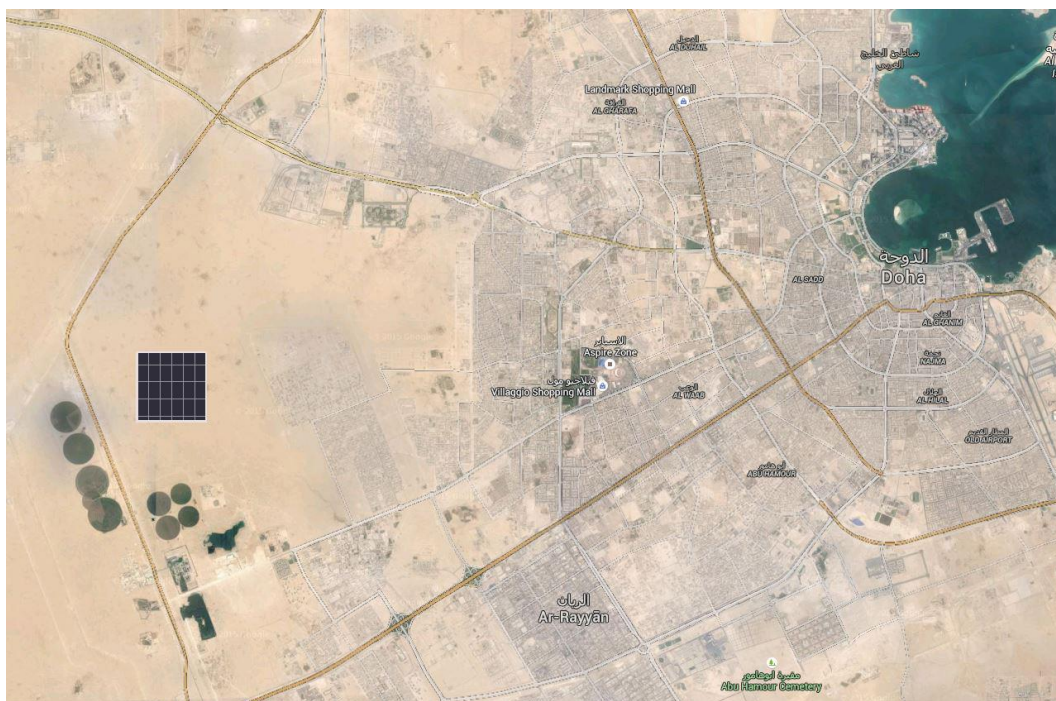
Il primo impianto verrebbe collocato nelle vicinanze di Ras Laffan Industrial City, nel nord est del Paese. Questa area, di importanza strategica, è in prossimità dell'enorme giacimento di gas North Field. L'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico verrebbe sfruttata dagli impianti di GNL e di desalinizzazione, dalle raffinerie e dai compound dove alloggia la forza lavoro impiegata nei complessi industriali. Tale posizione favorirebbe inoltre la connessione alla rete di distribuzione elettrica.



Ipotesi collocazione impianto n.1 Ras Laffan Industrial City. In nero l'area (circa 2 km²) che verrebbe occupata dall'impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW. Elaborazione dell'autore.

- Impianto n.2 (100 MW): periferia occidentale di Doha.

Collocata sulla costa orientale del Paese e con una popolazione di circa 800 000 abitanti, la capitale del Qatar, Doha, ospita circa il 60% della popolazione residente ed è l'unico nucleo urbano significativo presente nell'Emirato. La possibilità di costruire un impianto fotovoltaico nella periferia occidentale, nello specifico nelle vicinanze dell'area industriale, permetterebbe di aumentare l'offerta energetica ad una città che mostra evidenti segnali di crescita urbana e demografica.



Ipotesi collocazione impianto n.2. Periferia occidentale di Doha. In nero l'area (circa 2 km²) che verrebbe occupata dall'impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW Elaborazione dell'autore

- Impianto n.3 (100 MW): Mesaieed.

La costa sud-orientale del Qatar è caratterizzata dalla presenza di numerosi poli industriali (acciaio, petrol-chimico, fertilizzanti e liquefazione di gas). Il nucleo urbano di riferimento è la città di Mesaieed, posta a circa 40 km a sud di Doha. L'ipotesi di collocare un impianto da 100 MW in questa area, nelle periferia meridionale di Mesaieed, sarebbe finalizzato alla possibilità di fornire l'energia elettrica prodotta alle industrie presenti nell'area.



Ipotesi collocazione impianto n.3. Mesaieed. In nero l'area (circa 2 km²) che verrebbe occupata dall'impianto fotovoltaico policristallino da 100 MW. Elaborazione dell'autore.

CONCLUSIONI

I Paesi del Golfo Persico manterranno la loro leadership come esportatori di gas e petrolio anche nei prossimi decenni. Le variabili che regolano i complessi meccanismi d'indicizzazione dei prezzi delle fonti convenzionali come tassi di produzione, consumi, riserve, fabbisogno mondiale, innovazioni tecnologiche e relative nuove possibilità di sfruttamento, delineano le prospettive del futuro scenario energetico. Al quadro descritto, tuttavia, va incluso un elemento di novità: la crescita del settore delle rinnovabili, come l'energia solare.

La capacità fotovoltaica installata a livello globale ha ampiamente superato le previsioni, anche quelle più ottimistiche. In tal senso, l'obiettivo della presente ricerca è stato di mostrare, delineando i presupposti economici posti alla base di tali progetti, come proprio l'energia solare possa svolgere un ruolo molto significativo anche per Paesi, come il Qatar, che contano al loro interno alcuni dei più importanti giacimenti di idrocarburi nel pianeta.

L'energia solare, viste le caratteristiche climatiche del Golfo Persico e la forte irradiazione solare giornaliera di cui la regione gode durante tutto l'anno, rappresenta l'alternativa più promettente per i Paesi collocati geograficamente in questa area. Questa tecnologia, in continua evoluzione, ha sviluppato differenti varianti: solare termico, fotovoltaico, fotovoltaico a concentrazione e solare termodinamico. Descrivendo e analizzando i meccanismi che ne regolano il funzionamento, il fotovoltaico policristallino appare come l'opzione che meglio si adatta alle caratteristiche climatiche del Golfo Persico. Se è vero che anche il solare termodinamico, nonostante i suoi maggiori costi, potrebbe essere utilizzato, il fotovoltaico policristallino, alla luce della sua maggiore diffusione e il miglioramento del rendimento dei moduli, è in grado di garantire affidabilità e ritorni economici che ne consentono un maggiore sfruttamento nel lungo termine su vasta scala.

Nonostante i vantaggi in termini ambientali, la scelta di investire nell'energia solare deve necessariamente trovare argomentazioni e giustificazioni di tipo economico.

Il settore delle rinnovabili, per tutti i Paesi del *Gulf Cooperation Council*, potrebbe rappresentare un incentivo alla diversificazione energetica e soprattutto limitare l'aumento del fabbisogno legato alla crescita dei consumi elettrici interni: l'incremento demografico e lo sviluppo industriale di questi Paesi sono variabili che senza dubbio ne condizioneranno gli assetti futuri e le prestazioni economiche. Il Qatar, di cui si è provato a delineare un quadro più particolareggiato all'interno di questo studio, a causa della crescita dei propri consumi elettrici, mostra una marcata vulnerabilità strutturale, elemento pressoché assente nei principali studi di settore che evidenziano soprattutto la sua grande capacità estrattiva. La crescita del fabbisogno elettrico interno, prevista tra il 2015 e il 2040, andrà, infatti, ad erodere una quota consistente nella sua capacità di esportare petrolio e soprattutto gas.

In tale studio è stato elaborato un modello di business che verte sulla costruzione di tre impianti fotovoltaici policristallini con una potenza nominale di 100 MW ciascuno, in grado di garantire una durata di esercizio di 25 anni (2015-2040) e una generazione elettrica di circa 187 000 000 di kWh l'anno. Nello specifico, sono stati considerati i seguenti parametri: irradiazione e temperatura media in Qatar; costi per MWh prodotto; dati sull'efficienza e produttività di un modulo fotovoltaico policristallino; costo di vendita dell'energia nel mercato interno qatarino; costi del terreno, del modulo, di installazione, di manutenzione; eventuale tassazione prevista sull'energia prodotta e consumata e rapporto tra superficie occupata e potenza installata per un impianto fotovoltaico policristallino. Ne è emerso un quadro dei rendimenti energetici e dei relativi profitti ottenibili attraverso la vendita dell'energia prodotta da tali impianti: le basse tariffe elettriche presenti nell'Emirato (in media 0,025 Euro al kWh) apparentemente non permettono di giustificare l'investimento iniziale. La Famiglia Reale al potere, ciononostante, ha avallato un piano energetico (2015-2040) con al suo interno una quota di produzione elettrica ottenuta da energia solare; questo mostra come lo sviluppo di tale settore non sia solo utile per ragioni ambientali e di immagine, ma supportato dalla prospettiva di introiti economici molto rilevanti.

Tuttavia l'intento di questa ricerca è stato di individuare percorsi energetici alternativi, sostenibili ed anche economicamente vantaggiosi: per trovare la giustificazione economica si è ritenuto indispensabile definire l'importo di gas

“risparmiato” e quindi maggiormente disponibile per la vendita verso l'estero attraverso la generazione elettrica ottenuta da impianti fotovoltaici. Nel caso del Qatar i ritorni economici che derivano dalla quota di gas risparmiato ed esportabile andrebbero a motivare l'investimento ipotizzato, circa 300 milioni di Euro, per la costruzione di tre impianti fotovoltaici policristallini da 100 MW. Se si ipotizza un prezzo di vendita del gas naturale di 10 Euro al MMBtu (prendendo come valore di riferimento l'indice NBP) si otterrebbero, in 25 anni, 478.652.803 Euro, senza considerare gli effetti positivi legati alla diminuzione dell'inquinamento atmosferico.

Ipotizzando, invece, uno scenario più dinamico dove le fonti convenzionali, come il gas naturale, aumenterebbero notevolmente la propria quotazione alla luce della loro minore disponibilità, di eventuali *shock* di domanda e offerta, di variabili di tipo geopolitico, i ritorni economici per lo Stato del Qatar, derivanti dalla costruzione di impianti fotovoltaici policristallini da 300 MW, sarebbero ancora più significativi. Supponendo un prezzo medio del gas naturale nei prossimi decenni di circa 25 Euro al MMBtu, cifra non irrealistica, l'esportazione di gas naturale risparmiato attraverso il fotovoltaico, nell'arco di 25 anni (dal 2015 al 2040) renderebbe addirittura di 896 382 000 Euro.

L'indagine proposta in questa sede, lungi dal presupporre definitiva o esaustiva, è stata sicuramente percorsa dalla volontà di gettare luce, da una diversa prospettiva, sulla controversa immagine che lo Stato qatarino prova a dare di se stesso al resto del mondo. Difficile chiarire con certezza quali saranno le concrete iniziative economiche sul fronte delle rinnovabili che questo Paese metterà in atto nel lungo periodo: resta tuttavia chiaro un principio, quello secondo cui le luci della ribalta conquistate su una presupposta spinta verso la modernità si spengono molto facilmente. Precarietà di cui la famiglia regnante Al Thani è ben consapevole.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. *Energy Security in the Gulf, challenges and prospects*, The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi 2010.
- AA.VV. *Risk and uncertainty in the changing global energy market, implication for the Gulf*, The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi 2004.
- AA.VV. *Future Arabian Gulf Energy Sources*, The Emirates Center for Strategic Studies and Research, Abu Dhabi 2008.
- AA.VV., *International Relations of the Gulf, Summary Report*, Center for International and Regional Studies, Georgetown University School of Foreign Service in Qatar, Doha 2009.
- ABAZA H., SAAB N., ZEITON B., *Arab Environment Green Economy, Sustainable transition in a changing Arab world*, AFED, Beirut 2011
- AGOSTINELLI G., *Centrali e sistemi fotovoltaici*, in VIGOTTI Roberto, *Energia dal deserto. I grandi progetti rinnovabili per il Mediterraneo*, Edizioni Ambiente, Milano 2012
- AL ASMAKH REAL ESTATE DEVELOPMENT, *Qatar Real Estate Report*, 2013.
- ANDREWS A., *Unconventional Gas Shales: Development, Technology, and Policy Issues*, CRS Report for Congress, 2009.
- ANNUARIO SOLARE ITALIANO, *I protagonisti del fotovoltaico: le aziende, nomi e contatti, prodotti e novità*, Artenergy, Cormano 2011.
- ANSCOMBE F.F., *The Ottoman Gulf: the creation of Kuwait, Saudi Arabia and Qatar*, Columbia University Press, New York 1997.
- ASKARI H., *Collaborative Colonialism: the Political Economy of Oil in the Persian Gulf*, Palgrave Macmillan, New York 2013.
- ID., *Conflicts in the Persian Gulf: Origins and Evolution*, Palgrave Macmillan, New York 2013.

- BARTOLAZZI A., *Le energie rinnovabili: energia eolica, energia solare fotovoltaica, energia solare termodinamica, energia da biomasse, energia idroelettrica*, U. Hoepli, Milano 2006.
- BERTOLUCCI B., *La via del petrolio*, Feltrinelli, Milano 2010.
- BETTINI V., *Borotalco nero. Carbone tra sfida autarchica e questione ambientale*, Franco Angeli, Milano 1984.
- BIANCO A., *E il sole ci salverà. Come diventare milionari con un impianto fotovoltaico. Le fonti di energia dalle classiche alle rinnovabili: manuale pratico per costruire un impianto fotovoltaico*, Felici, Ghezzeno 2010.
- BRUGNOLI M., *Petrolio e lava*, Iper testo, Verona 2011.
- BP, *Statistical Review of World Energy*, British Petroleum, 2012
- BP, *Statistical Review of World Energy*, British Petroleum, 2013
- CAROLLO S., *C'era una volta il prezzo del petrolio*, International Alumni Association of Scuola Mattei (IAASM), Libri Scheiwiller, Milano 2009.
- CASSA DEPOSITI E PRESTITI, *Gas naturale*, marzo 2013.
- CERVI A., *Al Jazeera e la rivoluzione dei media arabi*, Sellerio, Palermo 2005.
- CLÔ A., *Economia e politica del petrolio*, Compositori, Bologna 2000.
- COCCO D., PALOMBA C., PUDDU P., *Tecnologie delle energie rinnovabili*, SGE Editoriali, Padova 2008.
- COLOMBO S., *The GCC Countries and the Arab spring. Between outreach, patronage and repression*, IAI Working Papers, No. 12/09 Roma 2012
- COLOMBO S., LESSER I., *The Mediterranean Energy scene: What now? What next?*, Documenti IAI, Summary Report, Roma 2010
- CRYSTAL J., *Oil and politics in the Gulf: rulers and merchants in Kuwait and Qatar*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- DAVIS J. (ed.), *The Arab Spring and Arab Thaw: Unfinished Revolutions and the Quest for Democracy*, Ashgate 2013.
- DE GIANBATTISTA L., *Carbone bianco. Lecco-Sondrio: la prima ferrovia elettrificata al mondo*, Associazione culturale L. Scanagatta, Varenna 2008.
- DELLA RATTA D., *Al Jazeera, media e società arabe nel nuovo millennio*, Bruno Mondadori, Milano 2005.

DI BENEDETTO F., *I mercati del petrolio e la loro volatilità*, Franco Angeli Ed., Milano 2001.

DIETSCH M., *The Next Global Energy Cartel*, in “Forbes”, 10/12/2009.

EHTESHAMI A. & WRIGHT S., *Reform in the Middle East oil monarchies*, Ithaca Press, Reading 2008.

EHTESHAMI A., *Globalization and Geopolitics in the Middle East: old games, new rules*, Routledge, London 2007.

EIA, “Annual Energy Outlook 2014 with projection to 2040”, Independent statistics & analysis U.S. Energy Information Administration, DOE/EIA – 0383 (2014), April 2014.

EL-NAWAWY M., ISKANDER A., *Al-Jazeera: the Story of the Network that is Rattling Governments and Redefining Modern Journalism*, Westview Press, 2003.

ENCICLOPEDIA DELLA SCIENZA. Storia, idee, tecnologie, “L'energia. I fondamenti dell'energetica, petrolio, gas, carbone, le fonti rinnovabili”, volume VI, Federico Motta Editore spa, Milano 2005.

ENDRESS G., *Introduzione alla storia del mondo musulmano*, Marsilio, Venezia 1994.

ENEA, “Energia eolica: aspetti tecnici, ambientali e socio-economici”, Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente, Roma, 2000.

ENEA, “RAEE: Rapporto annuale efficienza energetica”, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Roma, 2011.

ENEA, “Un focus sulle centrali nucleari: costi e tempi di produzione e smaltimento delle scorie”, tratto da intervista a Stefano Monti.

ENNASRIL N., *L'enigme du Qatar*, Armand Colin, Paris 2013.

FABIETTI U., *Etnografia della frontiera*, Maltemi Editore, Roma 1997.

FORESTA MARTIN F., *Il petrolio. Il passato, il presente, l'imprevedibile futuro*, Mondadori, Milano 1980.

Forum Energia e Società, *La trappola del petrolio*, Atti del convegno di Roma del 15 marzo 2005, Il Ponte ed., Milano 2005.

FROMHERZ A. J., *Qatar a Modern History*, Georgetown University Press, Washington DC, 2012.

- GARUCCIO A., *Nucleare e solare come alternative al petrolio*, Dedalo Libri, Bari 1980.
- GENCO P., *Il carbone. Le possibilità di sviluppo di una alternativa energetica al petrolio*, Fabriano Angeli Ed., Milano 1976.
- GIFFINGER R., FERTNER C., KRAMAR H., KALASEK R., PICHLER-MILANOVIC N., MEIJERS E., *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities in Smart Cities*, Centre of Regional Science, Vienna 2007.
- GOODSTEIN D.L., *Il mondo in riserva: la fine dell'era petrolio*, Università Bocconi, EGEA Ed., Milano 2008.
- GULBRANDSEN A., *Bridging the Gulf: qatari business diplomacy and conflict mediation*, Georgetown University, Washington DC 2007.
- HEINBERG R., *Senza petrolio. Il protocollo per evitare le guerre, il terrorismo e il collasso economico*, traduzione di Nazzareno Mataldi, Fazi, Roma 2008.
- HERB M., *All in the Family: Absolutism, Revolution and Democracy in the Middle Eastern Democracies*, SUNY series in Middle Eastern Studies, Shahrough Akhavi editor, State University of New York Press, New York 1999.
- HOURANI A., *Storia dei popoli arabi*, Mondadori, Milano 1998.
- IEA, “World Energy Outlook 2012”, OECD/IEA, IEA Publication, France, Paris, novembre 2012.
- IRENA International Renewable Energy Agency, Pan Arab Renewable energy strategy 2030, 2014.
- IRENA, International Renewable Energy Agency, Renewable Power Generation Costs in 2014, 2015.
- KECHICHIAN J.A., *Iran, Iraq and the Arab Gulf States*, Palgrave, New York 2001.
- ID., *Power and succession in Arab monarchies: a reference guide*, Lynne Rienner Publishers, Boulder, CO, 2008.
- KHATIB L., “Qatar’s foreign policy: the limits of pragmatism”, in *International Affairs*, 89:2 (2013), pp. 417-431.
- KHOURI P.S., KOSTNER J., *Tribes and State Formation in the Middle East*, University of California Press, Berkeley/Los Angeles/Oxford 1991.

- LATOUCHE S., *L'occidentalizzazione del mondo*, Bollati Boringhieri, Torino 1992.
- LEGUM C. (ed.), *Middle East Contemporary Survey: 1981-82*, Holmes & Meyer Pub, 1984.
- LI VIGNI B., *Il grande gioco del petrolio. Affari, politica, guerre*, Mursia, Milano 2013.
- LISCA A., *Valutazione del valore mensile dell'energia solare al suolo mediante un modello semplice e di facile uso*, ENEA, Funzione centrale relazioni esterne, Unità comunicazione, Roma 2002.
- LIZZA G., *Geopolitica delle prossime sfide*, Utet, Torino, 2011
- LUCIANI G. (a cura di). *The Rentier State. Nation, State and Integration in the Arab World*, vol. 2, Routledge, London 1987.
- MACCIÒ M., *Islam e petrolio. L'intricato nodo mediorientale*, Rubettino, Roma 2005.
- MAESTRI E., *La regione del Gulf Cooperation Council (GCC)*, Franco Angeli, Milano 2009.
- MANNA C., *Le fonti rinnovabili 2005. Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità*, ENEA, Roma 2005.
- MENNA P., *L'energia solare*, Il mulino, Bologna 2010.
- METZ H.C., *Persian Gulf states: country studies*, Federal Research Division, Library of Congress, 3rd ed., Washington D.C. U.S. G.P.O. 1994.
- MONCADA LO GIUDICE G., ASDRUBALI F., *Fattore N. Tutto quello che c'è da sapere sull'energia nucleare*, Armando Editore, Roma 2010.
- MOSCHETTA T. M., *Il mercato comunitario del gas naturale. Investimenti esteri diretti e diritto internazionale*, Giuffrè, Milano 2009.
- NARDELLI E., *I combustibili fossili. Carbone, petrolio, gas naturale*, ETAS, Milano 1980.
- NASH KATELYN M., *Shale Gas Development*, Nova Science Publishers 2010.
- NASO V., *La società no oil. Un nuovo sviluppo è possibile, ma senza petrolio*, Orme, Milano 2006.
- NICOLAZZI M., *Il prezzo del petrolio*, Boroli, Milano 2009.

- NONNEMAN G., *Political Reform In The Gulf Monarchies, From Liberalisation to Democratisation? A Comparative Perspective*, Sir William Luce Fellowship Paper No. 6, Durham Middle East Papers No. 80, June 2006, Institute for Middle Eastern and Islamic Studies, Durham University, Durham (UK).
- NYROP F.R., *Area Handbook for the Persian Gulf States*, Wildside Press, 2008.
- PAROLIN G. P., *Dimensioni dell'appartenenza e cittadinanza nel mondo arabo*, Jovene Editore, Napoli 2000.
- PERLIN J., *Dal Sole. L'energia solare dalla ricerca spaziale agli usi sulla terra*, ISES Italia, Ambiente, Milano 2000.
- PETERSON J.E., "Tribes and Politics in Eastern Arabia", in *Middle East Journal*, Vol. 31, No. 3 (Summer 1977), pp. 297-312.
- ID., *Rulers, Merchants and Shaikhs in the Gulf Politics, The function of Family Networks, in The Gulf Family*, in ALSHAREKH A. (ed.), *Kinship Policies and Modernity*, Saqi in association with London Middle East Institute, SOAS, London 2007.
- PIGLIA A., *Carbone: vita, morte o miracoli?*, Fabiano, 2006.
- ID., *Petrolio, ieri e oggi. E domani? Dalla scoperta agli sviluppi, dalla nascita dell'ENI al declino delle "sette sorelle", dalla globalizzazione ai contrasti geopolitici, dalla sfida dei cambiamenti climatici al Protocollo di Kyoto, dalle fonti tradizionali a quelle alternative*, Quotidiano Energia, Fabiano Editore, Canelli (AT) 2006.
- PINNA L., *L'energia. L'uomo e la forza. Dal fuoco al ferro, dal carbone al petrolio, dal vapore all'elettricità, dall'atomo al Sole*, Giunti-Nardini, Firenze 1989.
- RAMAZANI R.K., *The Gulf Cooperation Council: Record and Analysis*, with a foreword by Soltan Bin Mohamed Al-Qasimi, The University Press of Virginia, 1988.
- REICHE D., "Energy Policies of Gulf Cooperation Council (GCC) countries – possibilities and limitations of ecological modernization in rentier states", in *Energy Policy* (2010), 38, 5, pp. 2395-2403.
- RUBIN J., *Why your world is about to get a whole lot smaller. Oil and the end of globalization*, Random House Canada, Toronto, 2009 (*Che fine ha fatto il prezzo del petrolio? Energia e futuro dell'economia*, Elliot edizioni, Roma 2010).

- RUBINI L., SANGIORGIO S., (a cura di), *Le energie rinnovabili*, Hoepli, Milano 2012.
- SADUN BORDONI G., *Il Mediterraneo dopo la primavera araba*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013.
- SCHEER H., *Il solare e l'economia globale. Energia rinnovabile per un futuro sostenibile*, Ambiente, Milano 2004.
- SPEIGHT J. G., *Shale Gas Production Processes*, Gulf Professional Publishing, Oxford 2013.
- Stagnaro C., *Sicurezza energetica. Petrolio e gas tra mercato, ambiente e geopolitica*, Rubbettino, 2007.
- TEMPORAL P., *Islamic branding and marketing*, John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd, Singapore 2011.
- TETZLAFF K.H., *Idrogeno verde. Come evitare la trappola del petrolio e uscire dallo scacco climatico in modo conveniente, operando in una vera economia dell'idrogeno verde*, Delfino, Milano 2009.
- TOSO G., *Fonti rinnovabili di energia*, Levrotto & Bella, Torino 2011.
- ID., *Solare termico, geotermia, pompe di calore ad acqua di falda, biomassa, biogas, eolico*, Vol. 2, Levrotto & Bella, Torino 2011.
- Treccani, "Tecnologie", in "Scienza e tecnica", Istituto della Enciclopedia italiana, vol V, Roma, 2008.
- VALERIANI A., *Effetto Al Jazeera. Transnazionalismo e ibridizzazioni nei sistemi del giornalismo arabo contemporaneo*, Emil di Odoya, Bologna 2010.
- VARVELLI R., *Le energie del futuro. Carbone, nucleare o energie verdi?*, Etas, RCS Libri, Milano 2008.
- ID., *Petrolio e dopo? Contro le false tesi sulla fine dell'oro nero*, Etas, RCS Libri, Milano 2007.
- WINCKLER O., *Population, Growth, Migration and Socio-Demographic Policies in Qatar*, The Moshe Dayan Center for Middle Eastern and African Studies, Tel Aviv University, Tel Aviv, July 2000.
- ZAHLAN R.S., *The creation of Qatar*, Croom Helm, London 1979.
- ID., *The making of the modern Gulf states: Kuwait, Bahrain, Qatar, the United Arab Emirates and Oman*, Unwin Hyman, London 1989.

ZANOBETTI D., *Energia nucleare: un dossier completo*, Progetto Leonardo, Esculapio, Bologna 2010.

SITOGRAFIA

BLOOMBERG, sito ufficiale www.bloomberg.com

BP, sito ufficiale www.bp.com;

DOE – Department of Energy, www.energy.gov

IAEA - International Atomic Energy Agency , www.iaea.org

IAEA – PRIS, World Statistic, Reactors Status report. www.iaea.org

IEA – International Energy Agency sito ufficiale www.iea.com;

IMF – International Monetary Fund, www.imf.org

<http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Qatar/qatar.pdf>

Limes – Rivista Italiana di Geopolitica

<http://desiderio-limes.blogautore.espresso.repubblica.it/category/off-topic/>

BLANCHARD C.M, *Qatar: Background and U.S. Relations*, 2014

in <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/crs/r131718.pdf>

HROUB K, *Qatar and the Arab Spring: Conflict & Intl. Politics*, pubblicato il 3 maggio del 2014 e reperibile al link <http://lb.boell.org/en/2014/03/03/qatar-and-arab-spring-conflict-intl-politics>

<http://www.worldbank.org/>

<http://mesia.com/>

<http://www.globalsecurity.org/>

<http://tacstrat.com/content/index.php>

Siti internet consultati

www.affarinternazionali.it

www.agienergia.it

www.al-monitor.com

www.archimedesolareenergy.it

www.aspeninstitute.it

www.cdp.it/static/upload/gas/gas-naturale.pdf

www.cia.gov

www.data.worldbank.org
www.ec.europa.eu/Eurostat
www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=QAT
www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=3310
www.endmemo.com/index.php
www.english.globalarabnetwork.com
www.equilibri.net
www.eurasia-rivista.org
www.forbes.com
www.foreignaffairs.com
www.geopolitica.info
www.guardian.co.uk
www.iea.org
www.iea.org/countries/non-membercountries/qatar/
www.indexmundi.com
www.ispionline.it
www.istituto-geopolitica.eu
www.km.com.qa
www.merip.org
www.nuova-energia.com
www.treccani.it
www.unctadstat.unctad.org
www.weather-and-climate.com