



## *Inaugurazione del 774° anno accademico*

*17 dicembre 2014*

### ***Prolusione***

*L'Energia dai fondamenti della Termodinamica alla Sostenibilità ambientale*  
*Riccardo Basosi*

*Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia- Università di Siena*  
*Rappresentante Italiano Permanente nel Comitato Energia di HORIZON 2020*

Cari studenti, colleghe e colleghi del personale tecnico-amministrativo e docenti, gentili ospiti, autorità, Magnifico Rettore,

è con qualche emozione che mi accingo a fare questa prolusione in apertura del 774° Anno Accademico che rappresenta anche il 43° anno della mia avventura scientifica all'Università di Siena. Questa è iniziata collaborando proprio sui temi dell'energia e della sostenibilità ambientale con il mio maestro Enzo Tiezzi, prematuramente scomparso alcuni anni fa. Enzo fece la prolusione di apertura del 746° AA 1986/87 parlando dei "I limiti biofisici della terra e la rilettura delle categorie spazio tempo". Idealmente il mio ragionamento di oggi parte dagli stessi presupposti di 28 anni fa anche perché, se migliore è la percezione dei problemi, non abbiamo molte ragioni di ottimismo per quanto riguarda la loro soluzione. La scelta del Rettore Angelo Riccaboni di fare della *Sostenibilità ambientale* l'elemento caratterizzante del suo mandato rettorale è stata quindi da me condivisa e sostenuta fin dall'inizio.

Tutti i sistemi ecologici sono complessi e spesso la loro esistenza dipende da un insieme di fattori e di equilibri che li mantengono in situazione di stazionarietà. Per essi quindi una piccola modifica delle condizioni iniziali può portare rapidamente ad uno stato del tutto differente la cui caratteristica è la progressiva degradazione e l'allontanamento dalle condizioni di complessità che rappresentavano le condizioni base della loro esistenza. L'imprevedibilità dell'effetto dell'azione antropica sull'ambiente esterno è quindi tipica della complessità ambientale.

Questi elementi risultano particolarmente significativi nelle attività di produzione di Energia che sono sempre accompagnate da un aumento dell'Entropia e conseguente riduzione della Complessità Ambientale (Fig. 1).

Lo Schwarzwald: una produzione di **energia** dovuta ad una centrale a carbone in circa 10 anni ha portato, attraverso lo scarico di **entropia** nell'ambiente, sotto forma di piogge acide, ad una riduzione drammatica della **complessità**.



*Figura 1. Effetti sull'ambiente delle piogge acide provocate dall'impianto di una centrale a carbone*

Il peggioramento dei tre sottosistemi, ambiente, sistema produttivo e sistema economico, in cui si sviluppa l'attività umana non sembra risolvibile intervenendo su di loro separatamente. La possibile soluzione coinvolge complesse interazioni tra loro: infatti il sistema economico vive sui beni forniti dal sistema produttivo che si fonda sulle risorse dell'ecosistema. Se tutto funzionasse secondo un ideale razionale il sistema economico dovrebbe adattarsi alle necessità dell'ecosistema, ma nella realtà, essendo basato sulla massimizzazione del profitto, tende ad imporre al sistema produttivo una organizzazione che di fatto porta a scaricare diseconomie sull'ambiente e quindi a degradare l'ecosistema. In questo sistema complesso il legame tra i tre sottosistemi fondamentali è espresso dall'Energia. Essa, se si escludono le nicchie dell'energia nucleare, geotermica e gravitazionale, è virtualmente tutta irradiata dal sole e muove i grandi cicli ecologici. Accumulata dalla natura nei fossili e da loro estratta come combustibile, muove i processi produttivi, infine il suo uso è alla base della efficienza e della produttività economica. Lo strumento per penetrare i segreti dell'Energia è offerto dalla Termodinamica, la scienza che ne studia l'uso e le trasformazioni.

### **Termodinamica e unidirezionalità del tempo**

Il primo Principio della Termodinamica ci dice che l'Energia dell'universo è costante. Il secondo Principio ci dice che l'Entropia dell'Universo aumenta sempre. Insieme ci informano del fatto che la scala termodinamica della qualità dell'Energia è una scala molto facile da discendere e molto difficile da risalire. Infatti se pur è vero che l'Energia è un concetto astratto che si esplica in forme molto diverse, dall'energia meccanica all'energia termica, tali forme non sono tra loro equivalenti e possiedono qualità pratiche ed anche valori economici molto diversi. Tali qualità più o meno nobili sono ben esprimibili da una scala di valori di Temperatura in cui il grado di nobiltà massimo va attribuito alla forma di Energia a Temperatura più elevata. Per esempio l'Energia Elettrica è energia di qualità elevata, facilmente spostabile e grazie ai motori elettrici, trasformabile con perdite limitate in energia meccanica, quindi sostitutiva di lavoro umano, è assimilabile ad una  $T^\circ$  di oltre  $1000C^\circ$ . L'energia termica ha un valore minore in funzione della  $T^\circ$  del fluido che la possiede e quando raggiunge la  $T^\circ$  ambiente è virtualmente non più utilizzabile per usi qualificati.

La Termodinamica è molto diversa dalle altre discipline fisico/sperimentali. In primo luogo perché la maggior parte delle leggi della fisica è stata stabilita allo scopo di spiegare processi che accadono spontaneamente in natura (per es. una mela che cade sulla testa di Newton gli suggerisce l'esistenza della legge di gravitazione universale, il pendolo di Galileo ecc.). Le leggi della Termodinamica sono nate in modo opposto essendo basate sul fatto sperimentale che qualcosa, concepibile dagli esseri umani, non può verificarsi in natura e che un concetto eminentemente umano come il moto perpetuo non può essere realizzato effettivamente. Come dice il grande Feynman, la Termodinamica razionalizza l'insuccesso umano: è quindi più umana delle altre scienze, inoltre è più facile da usare che da capire. L'altra questione che rende la Termodinamica diversa dalle altre scienze è il fatto che in essa è implicita la distinzione tra passato e futuro. Questo aspetto che sembra molto distante da qualsiasi quotidiana pratica energetica è invece intimamente connesso con essa. Consideriamo per esempio una brocca che cade da una certa altezza e si rompe. Al momento della rottura succede qualcosa di non molto visibile, ma di importanza cosmica: la cessione al pavimento e ai pezzi rotti, di una infinitesima quantità di calore che non è più recuperabile. E' proprio questa dissipazione di una infinitesima quantità di calore che impedisce che il fenomeno (della brocca che cade) sia reversibile. Infatti se proiettiamo il film della brocca che cade all'incontrario, e vediamo i pezzetti della brocca rimettersi insieme da soli e poi la brocca saltare di nuovo sul tavolo da cui è caduta, si ride. Con le torte che dalla faccia tornavano sulla mano, trucchi del genere, hanno aiutato la penetrazione del cinema nella società ai tempi del muto. Ridendo infatti, esprimiamo la consapevolezza generale che quel fatto reso possibile dalla tecnica cinematografica nella vita reale non succede mai. Nella vita reale le brocche cadono e si rompono. Non capita mai che si ricompongano da sole e saltino sui tavoli. Se facciamo la stessa esperienza con una palla da biliardo che batte contro una sponda e proiettiamo il film prima in un modo e poi al contrario non sapremo mai quando dobbiamo ridere, perché i due eventi sono ugualmente possibili (data l'incidenza piccola e non evidente dell'attrito). Tutto ciò ci dice che la meccanica è approssimativamente simmetrica rispetto al tempo mentre la Termodinamica no. Quest'ultima contiene in sé la percezione universale dello scorrere del tempo in un'unica direzione.

Ora, immaginiamo un tavolo da biliardo diviso in due parti da una barriera mobile e supponiamo che da una parte vi sia un certo numero di palle rosse e dall'altra un egual numero di palle bianche. Supponiamo inoltre che il piano sia del tutto privo di attrito in modo che le palle possano muoversi, saltellare, urtarsi ed andare qua e là proprio come le molecole d'acqua. All'interno di ciascun gruppo di palle, il moto è del tutto casuale, ma ciascuna parte del tavolo è dotata di un certo ordine, dato che le palle rosse restano da una parte della barriera e quelle bianche dall'altra. Rimuoviamo ora la barriera. Se l'agitazione delle palle continua, le palle rosse e quelle bianche gradualmente si mescoleranno fino a che entrambi i tipi saranno, in media, ugualmente distribuiti su tutta l'estensione del tavolo. Il mescolamento, la scomparsa dell'ordinata separazione delle palle è un processo inevitabile, spontaneo ed unidirezionale. Filmando l'intero processo e proiettando la pellicola al contrario si potrebbe infatti assistere al fenomeno paradossale in cui un raggruppamento casuale di palle rosse e bianche gradualmente si riordina fino a separarsi in due gruppi, uno di sole palle rosse ed uno di sole palle bianche. Questo esperimento ideale che suggerisce come il processo reale sia spontaneo ed irreversibile, è una delle molte possibili dimostrazioni dell'unidirezionalità del tempo. Un evento naturale crea di per sé disordine *se avviene all'interno di un sistema che sia inizialmente ordinato*.

Si sono finora usati i termini di *ordine* e *disordine* secondo il loro normale uso nel linguaggio comune; poiché il concetto che regola la definizione termodinamica di ordine avrà un ruolo cruciale nel valore pratico delle leggi energetiche, a questo punto è utile stabilire cosa significa ordine nel senso più restrittivo. In ciascuno dei casi precedenti il disordine è rappresentato da una situazione in cui l'apparenza esterna dell'oggetto è consistente con un gran numero di possibili disposizioni interne diverse, mentre l'ordine aumenta quando l'apparenza esterna ne permette un numero minore. Così, vari mucchi di legname possono avere lo stesso aspetto esteriore pur avendo al loro

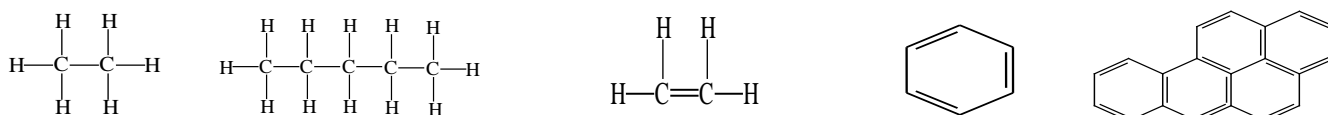
interno le singole tavole disposte in molti modi diversi. Però, se le stesse tavole di legno devono avere l'apparenza esteriore di una capanna, il numero delle possibili disposizioni interne è molto ridotto. In altri termini, la struttura complessiva di una capanna consente un numero di disposizioni interne delle tavole, minore di quello consentito dalla struttura di un mucchio di legna. ***Così, in senso termodinamico, l'ordine è una misura del livello al quale le proprietà complessive di un sistema fisico determinano la selezione di una particolare disposizione interna della parti costituenti.*** L'ordine esprime la relazione tra le proprietà dell'interno e le proprietà delle sue parti; ordine significa che il totale non è una semplice somma delle proprietà delle parti, ma che è fortemente influenzato dalle relazioni fra di esse, in particolare dal modo in cui queste relazioni sono limitate o costrette. Il totale, l'intero costituisce quindi un *sistema* il cui comportamento è notevolmente influenzato dalla sua struttura interna. Come si è detto prima, i processi spontanei ed irreversibili sono gli eventi che materializzano lo scorrere unidirezionale del tempo e il sistema che ne partecipa termina con un grado di ordine inferiore a quello che aveva all'inizio. E' l'esistenza di un ordine precedente che ci fornisce un modo per valutare il passare del tempo. Sono queste le basi del secondo principio della termodinamica che, assieme al primo principio, regola il rendimento di un processo energetico. Il secondo principio afferma un solo fatto, ma di importanza cosmica: ***l'Universo diventa costantemente ed irreversibilmente meno ordinato di quello che era.*** Il II Principio secondo Feynman si esprimeva dicendo che nell'Universo l'Entropia aumenta sempre. Quindi l'aumento dell'Entropia misura l'aumento del disordine in un sistema isolato. L'Universo d'altra parte è l'unico sistema isolato esistente. Tutti gli altri sono pure astrazioni mentali.

Questo comportamento dell'Universo spiega l'unidirezionalità degli eventi e l'irrimediabile passare del tempo. Anche la probabilità entra nel quadro poiché è fondamentalmente connessa con la presenza dell'ordine nel mondo. ***La probabilità è una dichiarazione circa la verosimiglianza del manifestarsi di un certo particolare evento fra tutti i possibili eventi che possono manifestarsi in un dato sistema.*** Le combinazioni di 4 numeri sono date da  $4!$  (4 fattoriale =  $4 \times 3 \times 2 \times 1$ ) e cioè 24 possibilità. La disposizione ordinata è una o al massimo due su 24. Con 52 carte la disposizione ordinata è di una su  $52!$  (cioè 1 seguito da 46 zeri!). Quando si lancia una moneta si hanno in totale due soli possibili risultati e la probabilità di ciascuno di essi è  $\frac{1}{2}$ , analogamente la probabilità che nel lancio di un dado esca un numero è  $\frac{1}{6}$ . Così se il numero di possibili alternative è piccolo, la probabilità di ciascuna è alta. La relazione fra probabilità e ordine è quindi evidente: una bassa probabilità corrisponde ad una scelta particolare fra molte possibilità ed è equivalente all'ordine, corrispondente al fatto che le parti di un sistema possono assumere solo relativamente poche tra le molte possibili disposizioni interne. Poiché sappiamo che con il passare del tempo una disposizione ordinata diventerà spontaneamente meno ordinata, ne segue che una situazione improbabile tenderà con il passare del tempo a trasformarsi in una situazione più probabile. Questo è un altro modo di enunciare il secondo principio della termodinamica: ***ogni sistema lasciato a se stesso tenderà in media a raggiungere lo stato con una probabilità massima.*** Si noti che il secondo principio non sostiene che il sistema passerà necessariamente in una configurazione più probabile, ma solo che questo accadrà in *media*, cioè qualche particolare cambiamento potrà andare in un altro senso, ma con bassa probabilità.

D'altra parte la probabilità è strettamente connessa con l'informazione. In termini molto generali infatti, ***l'informazione consiste nell'esclusione di alcune tra le possibili disposizioni alternative di un sistema.*** La teoria dell'informazione è un aspetto relativamente nuovo della scienza che ha recentemente assunto una notevole importanza pratica a causa delle sue implicazioni nel campo della progettazione dei calcolatori. Un calcolatore genera informazioni che selezionano una certa configurazione di scelte in una serie di alternative possibili; una scelta è normalmente determinata dalla posizione chiusa o aperta di un interruttore. La scelta di una delle due possibili posizioni dell'interruttore rappresenta una unità di informazione cioè il *bit*. Il programma del calcolatore specifica la posizione che deve essere assunta da ciascuno di una serie di interruttori interconnessi, e la quantità totale di informazione interessata è la somma dei bit che rappresentano le scelte fatte a

tutti gli interruttori. Un altro esempio che mostra la connessione fra informazione e probabilità è quello delle lettere dell'alfabeto. Una lettera poco probabile (come nella lingua italiana la "z" o la "q") ha un alto contenuto di informazione rispetto ad una lettera più probabile (come alcune vocali), quindi l'individuazione di una lettera poco probabile dà informazioni maggiori nella risoluzione di problemi enigmistici come le crittografie e le parole crociate. Questo dato è interiorizzato anche nei valori delle lettere del gioco scarabeo (scrabble).

L'informazione è quindi analoga ad una diminuzione di probabilità e ad un aumento di ordine, per cui il secondo principio può anche essere enunciato così: ***ogni processo spontaneo ed irreversibile che si realizza in un sistema isolato dà come risultato una diminuzione di informazione.*** Le formule chimiche delle strutture mostrate in Fig.2 rappresentano situazioni molto ordinate, estremamente improbabili e ad alto contenuto di informazione. Questa informazione è stata accumulata negli idrocarburi che noi usiamo come combustibili fossili dalla natura nel corso di milioni di anni e noi bruciandoli li trasformiamo in anidride carbonica e vapor acqueo con un notevole aumento dell'entropia (disordine, probabilità e perdita di informazione) e gravi rischi climatici. Il contenuto di informazione perso è una perdita irreversibile e non recuperabile.



**Figura 2.** Formule chimiche di idrocarburi con crescente ordine strutturale

La struttura del secondo principio della Termodinamica collega quindi un corpo di conoscenze molto importanti e relative alla spontaneità e all'irreversibilità dei fenomeni naturali, al grado di ordine e di disordine dell'universo e al significato della probabilità e dell'informazione. L'affermazione chiave del secondo principio è quella che i fenomeni spontanei che costituiscono gli eventi reali del mondo in cui viviamo portano sempre a stati che sono meno ordinati e più probabili e che contengono meno informazione rispetto agli stati da cui hanno preso l'avvio. Questo significa che ogni processo irreversibile spontaneo diminuisce l'ordine dell'universo e lo porta verso uno stato più probabile che contiene meno informazione di prima: qualunque cosa accade nel mondo porta nella direzione di questo baratro. Il secondo principio dice che anche processi naturali di questo tipo possono essere invertiti mediante applicazione di energia, ma ciò può essere fatto solo a spese di un ulteriore decadimento dell'ordine complessivo del mondo e cioè con un aumento dell'Entropia.

## Il Problema Energetico

Le tessere del mosaico che la realtà ci offre quotidianamente lasciano intravedere che la crisi di risorse energetiche è ormai in atto: i consumi occidentali e, soprattutto, dei paesi in via di sviluppo (India e Cina) crescono malgrado la congiuntura economica non favorevole. L'economia basata sui combustibili fossili (petrolio, carbone e gas) e nucleare deve fare i conti con la limitatezza delle risorse esauribile in tempi ravvicinati con la sola eccezione del carbone che però è il meno pulito. Le ultime stime dicono che trend invariati il Petrolio basterebbe per 40-55 anni, il gas da 55 a 70, il Carbone da 110 a 235 e l'Uranio da 40 a 45 mostrando così di non essere, con le tecnologie attuali, il sostituto plausibile. Vedi Fig.3 e Fig 4.

I singoli eventi rivelano chiaramente questa situazione di sofferenza:

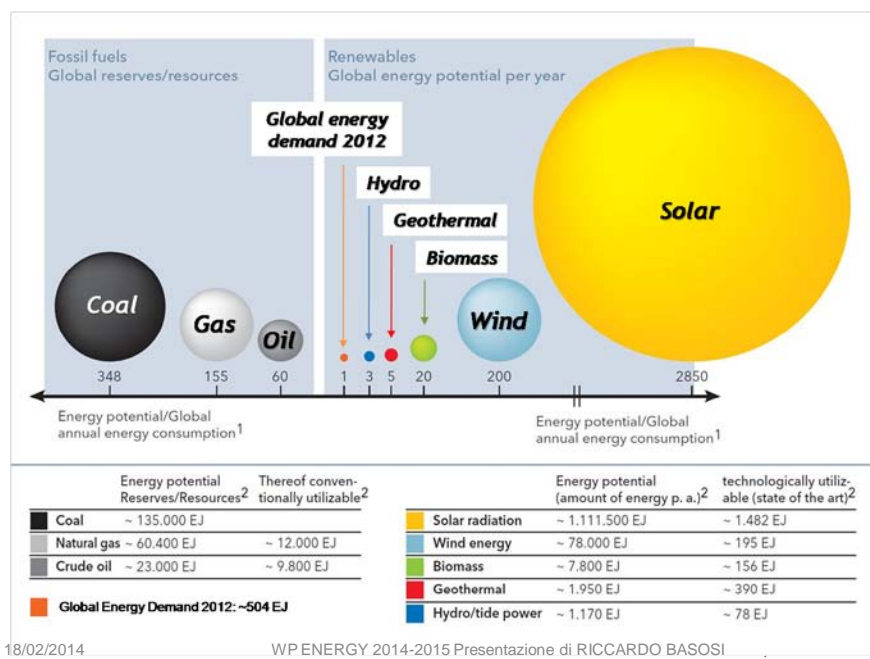
- guerre in aree geografiche di produzione petrolifera, una vera e propria corsa alle ultime risorse;



■ raddoppio e imprevedibilità, in pochi anni, del prezzo del petrolio;

■ tentativo di sviluppo di programmi nucleari, tecnologia che di fatto non si è mai totalmente affermata: anche a causa delle questioni legate alla sicurezza ed all'ambiente, con particolare riferimento all'irrisolto problema del confinamento delle scorie. Anch'essa poi si basa su risorse minerali esauribili e geograficamente meno distribuite del petrolio e dei combustibili fossili in generale.

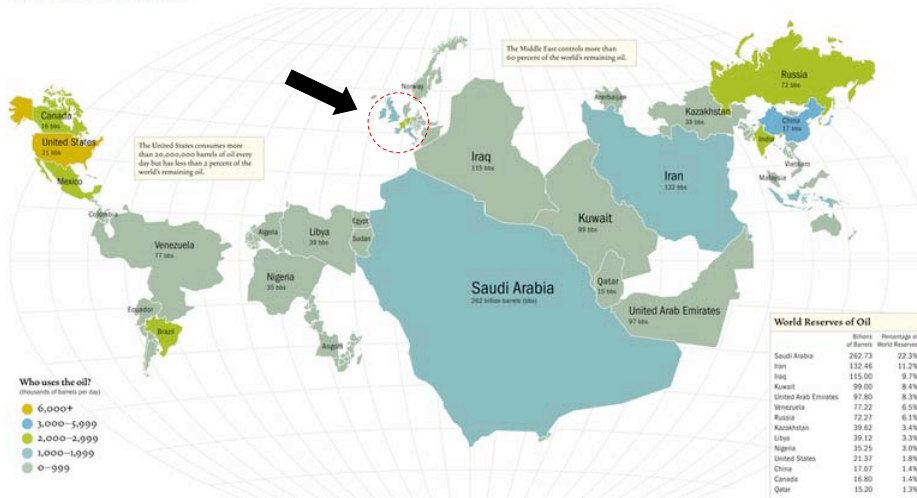
In paesi, come l'Italia, che dipendono in maniera pressoché totale dalle forniture energetiche esterne, sono sempre più frequenti le occasioni che mostrano questa debolezza strategica. D'altra parte i vincoli di natura ambientale imposti dall'applicazione del protocollo di Kyoto possono trasformarsi in una grande opportunità di sviluppo tecnologico ed economico se le politiche energetiche cammineranno sulle due gambe rappresentate dall'uso razionale ed efficiente dell'energia e sullo sviluppo delle fonti rinnovabili



**Figura 3.** Disponibilità sulla Terra delle varie forme di energia in rapporto ai consumi annui mondiali (fonte Hessen-Nanotech 2012)

## Petrolio: dimensioni dei Paesi basata sulle riserve

Who has the oil?



Il Medio oriente detiene più del 60% delle riserve

R. Basosi "L'energia dai fondamenti della termodinamica allo sviluppo sostenibile", UNIDEA Siena, 2/5/2012

**Figura 4.** Petrolio: dimensioni dei paesi basate sulle riserve

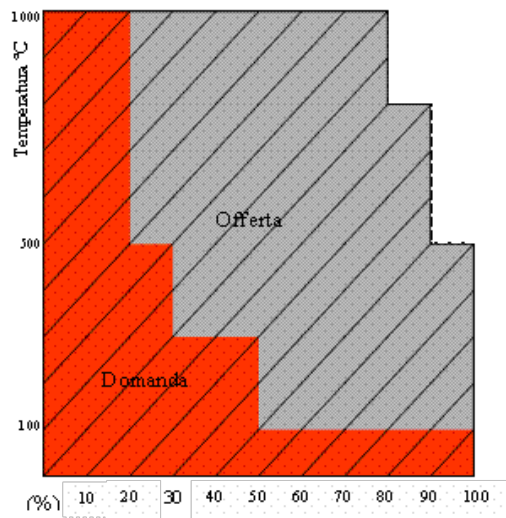
Per quanto riguarda la prima gamba è bene ricordare che l'Energia pulita non esiste. L'unica energia pulita è quella che non si usa (o che non c'è bisogno di usare, quindi risparmiata. Ciò impone una analisi costi/benefici nella valutazione di quale fonte energetica utilizzare in ogni particolare contesto storico e geografico.

Nel passato la questione energetica è stata tradizionalmente affrontata a partire da una logica di offerta, in particolare energia elettrica, sulla base del consumo presunto e con un approccio di natura settoriale, non in grado di tenere conto delle interdipendenze e delle retroazioni esistenti tra il settore energetico e gli altri settori economici, e all'interno del sistema energetico stesso. E' evidente l'inadeguatezza di una programmazione energetica disattenta alla dinamica effettiva del fabbisogno energetico in base agli usi finali a partire dalla qualità effettiva della domanda. Quest'ultima infatti è caratterizzata da una forte differenziazione qualitativa che possiamo schematizzare in: elettrica, termica ad alta temperatura, termica a media o bassa temperatura, meccanica (combustibili tal quali per autotrazione ecc il cui contenuto informativo è paragonabile a quello di energia ad alta temperatura).

A questa forte differenziazione della domanda reale si è risposto spesso con un'offerta energetica sostanzialmente indifferenziata basata quasi esclusivamente su energia elettrica e gas metano, entrambe forme di energia di alto pregio e ad alto contenuto calorico. La mancata correlazione della qualità dell'uso finale dell'energia ad un'offerta altrettanto diversificata ed appropriata è alla base dell'inefficienza dei sistemi energetici e anche di quello italiano, ed è la causa prima dello spreco delle risorse. La Figura 5 mostra sinteticamente la distribuzione della "Domanda" e dell'"Offerta" di Energia in funzione della qualità (contenuto di informazione posseduto) nel sistema Italia

## Distribuzione Domanda/Offerta dell'Energia in funzione della qualità degli Usi Finali

L'elettricità è associata convenzionalmente a  $T > 1000\text{ C}^\circ$



R. Basosi ""L'energia dai fondamenti della termodinamica allo sviluppo sostenibile", UNIDEA Siena, 2/5/2012

**Figura 5.** Distribuzione della Domanda e dell'Offerta dell'Energia in funzione della qualità nel sistema Italia

La zona rossa rappresenta la domanda di energia negli usi finali in funzione della qualità dell'energia espressa convenzionalmente in funzione della temperatura (l'energia elettrica è associata a  $T > 1000\text{ C}^\circ$ ); la maggior parte della domanda è rappresentata da energia a bassa temperatura (tra 100 e 250  $\text{C}^\circ$ ). La zona grigia rappresenta invece l'offerta di energia la cui qualità è indifferenziata rispetto alle esigenze della domanda. (Fonte: elaborazione dell'autore su dati GSE 2012)

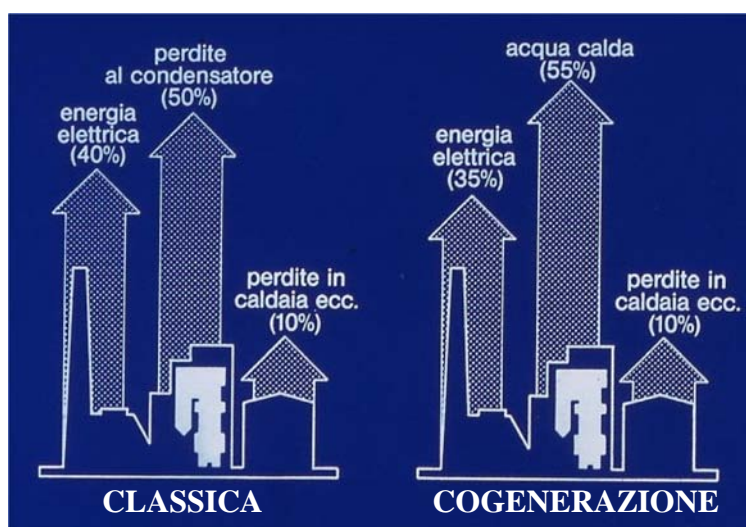
Particolare attenzione deve essere posta nei confronti dell'energia elettrica e dei suoi usi finali, in virtù dell'alto contenuto d'informazione di questa forma di energia evitandone usi impropri e quindi scorretti. Come esempio negativo possiamo portare l'eccesso di scaldabagni elettrici presenti nelle abitazioni del nostro Paese, il Paese del sole. La perdita exergetica di uno scaldabagno elettrico per produrre acqua calda per uso sanitario è vicina al 96%. Si perde quindi grazie all'uso improprio dell'energia elettrica per ottenere acqua calda a 60  $\text{C}^\circ$  il 96% del contenuto informativo del combustibile fossile bruciato per produrre quella preziosa energia elettrica. Ma ancora nel nostro Paese gli scaldabagni elettrici (svariati milioni) rappresentano ancora la maggioranza degli scaldabagni come rilevato dall'ISTAT. In pratica in Italia una grande centrale elettrica virtuale di oltre 1000MW di potenza lavora solo per permetterci di scaldare l'acqua in un modo inefficiente ed irrazionale.

Ad una analisi attenta si vede che buona parte della domanda elettrica negli usi finali, sia nell'industria che nei settori civile e terziario, è finalizzata a scopi termici. La gerarchia qualitativa delle differenti forme energetiche impone dei vincoli di cui la pianificazione energetica dovrebbe tenere conto in fase di programmazione/installazione di nuovi impianti e nella fase di riordino del sistema. La pianificazione energetica, in un'ottica integrata, deve essere basata sui concetti di "localizzazione" e di "uso razionale" dell'energia. La localizzazione consiste nella mappatura o georeferenziazione delle diverse tipologie di domanda energetica presenti sul territorio: si tratta in pratica di localizzare i siti dove viene richiesta principalmente energia termica a bassa temperatura piuttosto che i siti dove invece è preminente la domanda elettrica. La necessità di localizzare la domanda termica è dettata dalla termodinamica. Il trasferimento di calore a distanza è ovviamente



soggetto a fenomeni di dispersione e di raffreddamento; questo impone che l'installazione di centrali (cogenerative) con funzioni preminentemente termiche, debba essere posizionata a più breve distanza possibile dall'utenza finale. Le stesse ragioni termodinamiche impongono vincoli sulla dimensione, o la taglia, degli impianti: la possibilità di tenere conto della diversificazione della domanda e contemporaneamente ridurre i consumi di risorse migliorando l'efficienza energetica della produzione e la razionalità negli usi finali è data tecnologicamente dalla cogenerazione. La Figura 6 mostra lo schema di funzionamento di una centrale elettrica a condensazione (a sinistra) confrontata con una a cogenerazione (a destra).

### LA RIDUZIONE DEGLI SPRECHI ATTRAVERSO LA COGENERAZIONE



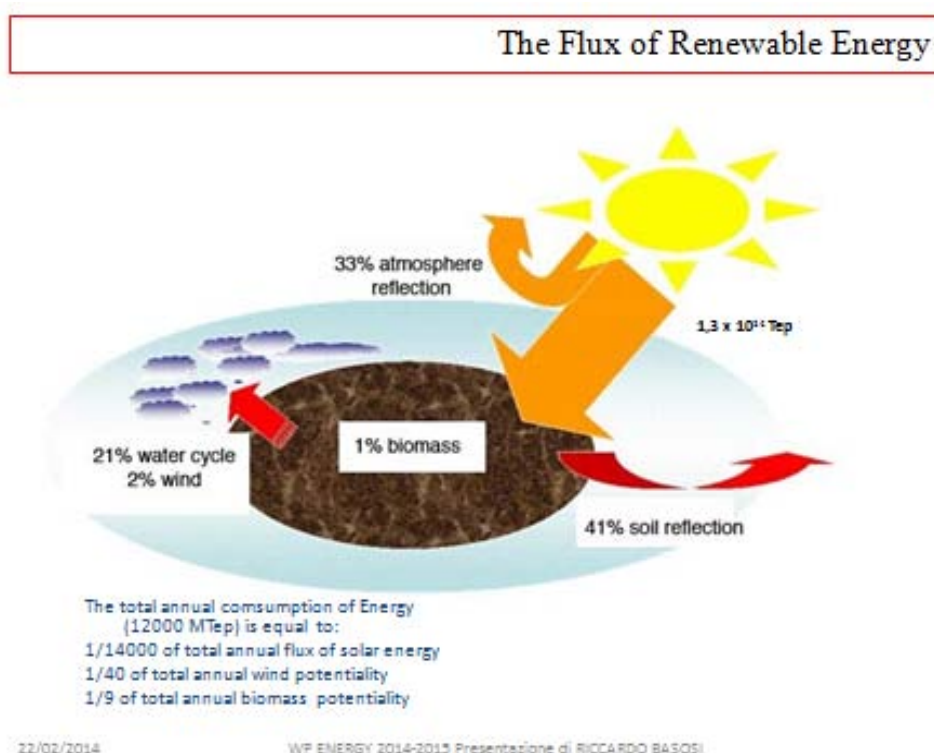
R. Basosi "L'energia dai fondamenti della termodinamica allo sviluppo sostenibile", UNIDEA Siena, 2/5/2012

**Figura 6.** La riduzione degli sprechi attraverso la cogenerazione. Schema di funzionamento delle centrali classiche a condensazione ( a sinistra) e di quelle a cogenerazione (a destra).

Nel settore industriale la cogenerazione può essere introdotta in diversi modi: se il livello termico richiesto dal processo produttivo è molto elevato ed è alta anche la temperatura del calore di scarto, è possibile cogenerare “a valle”, ottenendo energia elettrica (e calore a bassa temperatura) come “sottoprodotto” dell’energia termica utilizzata. Viceversa se la temperatura richiesta è medio bassa, il calore necessario al processo produttivo può essere il sottoprodotto di un sistema di cogenerazione “a monte”. È evidente che le possibilità del settore industriale non debbano necessariamente limitarsi ad una logica di autoproduzione: le industrie possono infatti vendere in modo remunerativo l’energia elettrica e calore alle utenze civili. Si possono quindi creare dei veri e propri poli di produzione cogenerativa di energia elettrica e calore diffusi nel territorio. Il settore civile si presenta invece come utente di energia termica a bassa temperatura, e lo è sia nei confronti delle centrali elettriche sia rispetto al settore industriale. Per la riduzione dei consumi termici residenziali è importantissimo il ruolo che potrebbe essere ricoperto dagli enti locali attraverso la realizzazione di impianti di cogenerazione collegati a reti di teleriscaldamento. La dimensione medio-piccola degli impianti cogenerativi (microcogenerazione diffusa) sembra essere la più idonea per la giusta modulazione dell’offerta alla reale domanda di energia, evitando il rischio di sprechi dovuti al sovradimensionamento degli impianti. Una approfondita e puntuale georeferenziazione della domanda energetica passa inevitabilmente attraverso la costruzione di “catasti energetici” costruiti

su diverse scale territoriali dove la mappatura della domanda termica a diversi livelli di temperatura permetterà la sinergia tra settori economici anche diversi e risparmio delle risorse e dello spazio. Lo sviluppo delle E.S.C.O e delle Agenzie per l'Energia che operino su base territoriale sono gli strumenti indispensabili per una nuova *Governance* orientata alla de-carbonizzazione dell'economia. Si dovrà quindi puntare al conseguimento degli obiettivi dei Piani Energetico/Ambientali Comunali (PAES) e combinandoli con lo sviluppo delle fonti rinnovabili, a rafforzare il ruolo della Pianificazione Energetica Regionale (PER).

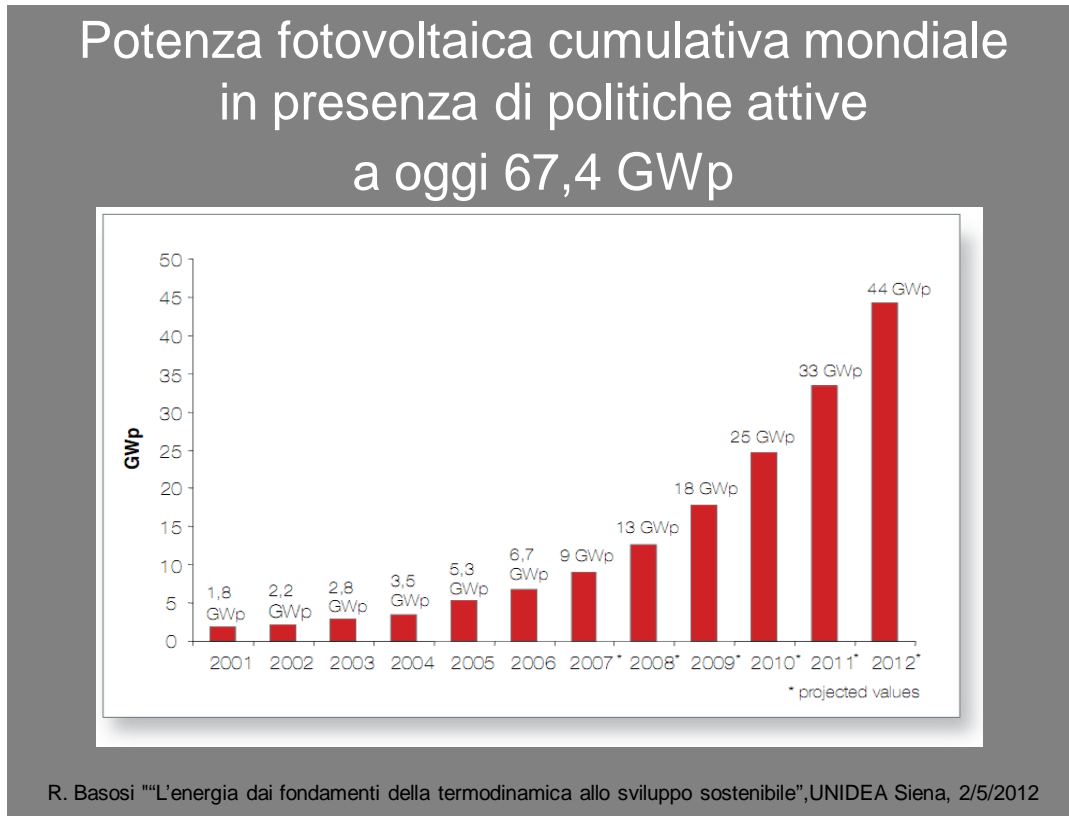
Per quanto riguarda le energie rinnovabili che rappresentano la seconda gamba di un processo virtuoso per lo sviluppo di politiche energetiche più sensibili ai vincoli ambientali e territoriali non è questa l'occasione per elencarne i pregi evidenti e le grandi potenzialità connesse alla loro dimensione e distribuzione. La figura 7 riassume le quantità energetiche in gioco e le confronta con l'attuale consumo mondiale annuo di energia.



**Figura 7. I flussi delle energie rinnovabili nella Biosfera**

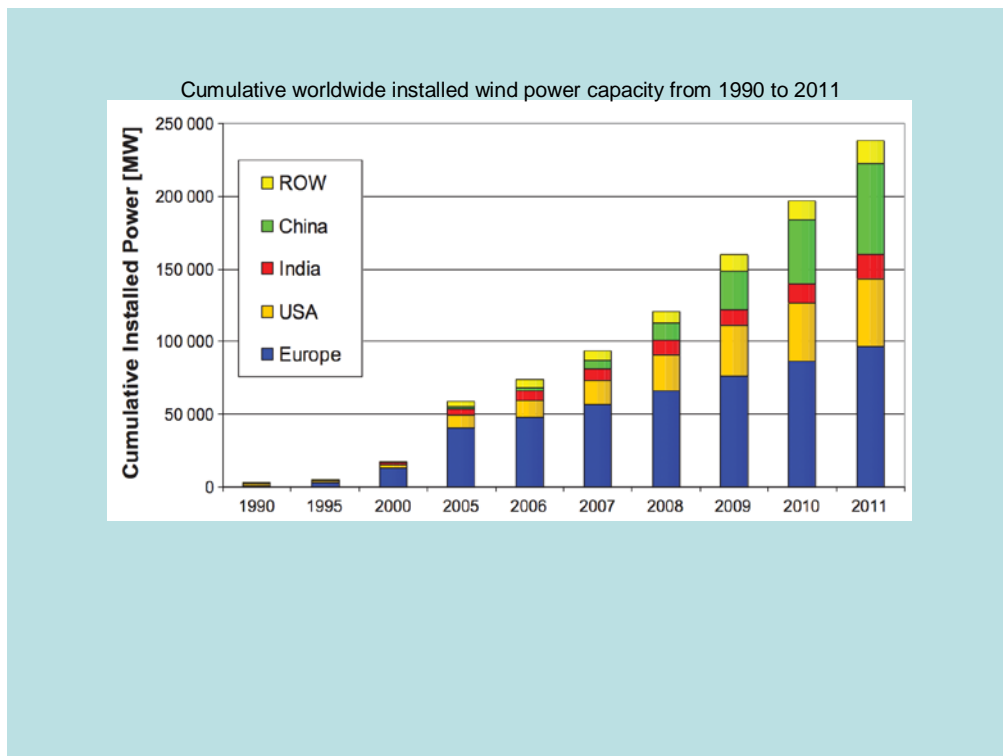
Gli oltre 12000 Milioni di Ton di petrolio che rappresentano il consumo mondiale annuale di energia in tutte le forme fossili, fissili e alternative sono solo 1/14000 del flusso solare annuo sulla superficie terrestre, o anche 1/40 delle potenzialità eoliche o 1/9 del totale delle biomasse prodotte annualmente. Un elemento chiave del futuro è quindi la ricerca per aumentare l'efficienza nell'uso delle rinnovabili. D'altra parte gli elementi di criticità che fino ad pochi anni fa hanno ostacolato la penetrazione delle fonti rinnovabili come il solare fotovoltaico e l'eolico che hanno ormai raggiunto la competitività economico/finanziaria con altre modalità più invasive di produzione elettrica sono dovuti all'intermittenza (discontinuità della fornitura) e alla scarsa densità di potenza per unità di superficie/volume. Questi "difetti" intrinseci potrebbero essere superati nel futuro se queste fonti venissero usate per la produzione con "fuel-cells" di idrogeno che potrebbe diventare il vettore energetico della transizione. L'idrogeno infatti se prodotto dal "reforming" del metano o di

altri idrocarburi di origine fossile consente di diminuire l'impatto ambientale, ma non risolve il problema strutturale della scarsità delle fonti fossili oltre a quello di una perdita exergetica notevole. Se prodotto invece dalle rinnovabili unirebbe il vantaggio ambientale a quello di non condividere con le fonti di partenza il problema della limitata stoccabilità e della bassa densità di potenza. Le stime recenti sullo sviluppo del fotovoltaico e dell'eolico sono molto incoraggianti per questa prospettiva. La Figura 8 mostra il boom di potenza fotovoltaico negli ultimi anni.



**Figura 8.** Lo sviluppo del solare Fotovoltaico nel mondo

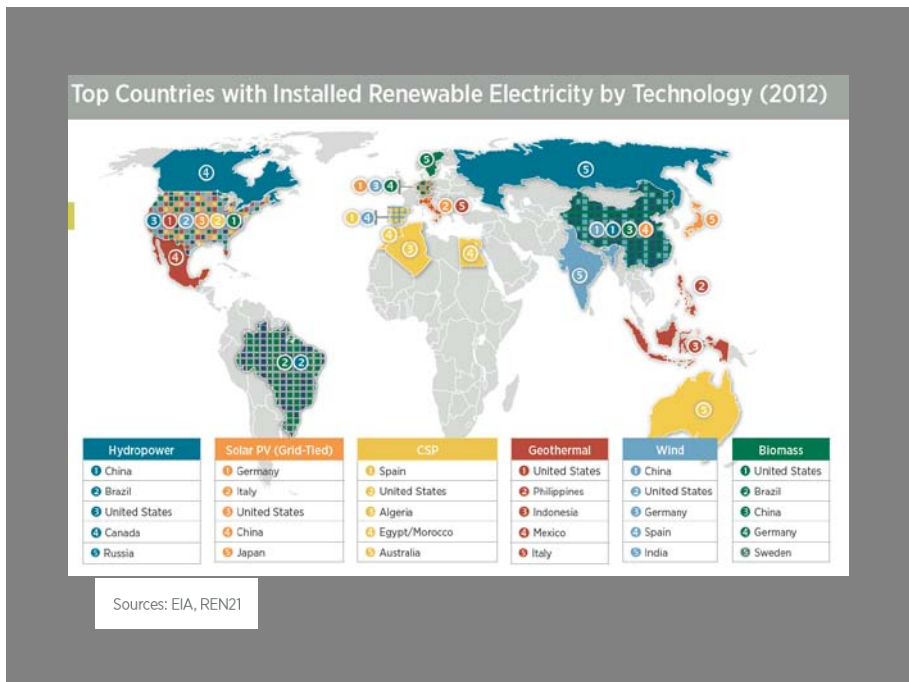
Anche la potenza eolica installata è aumentata moltissimo e in Europa sono stati ormai raggiunti i 100 GW nel 2012 e oltre 240 GW nel mondo già nel 2011 e cresce esponenzialmente Fig. 9.



*Figura 9. Lo sviluppo dell'Eolico nel mondo*

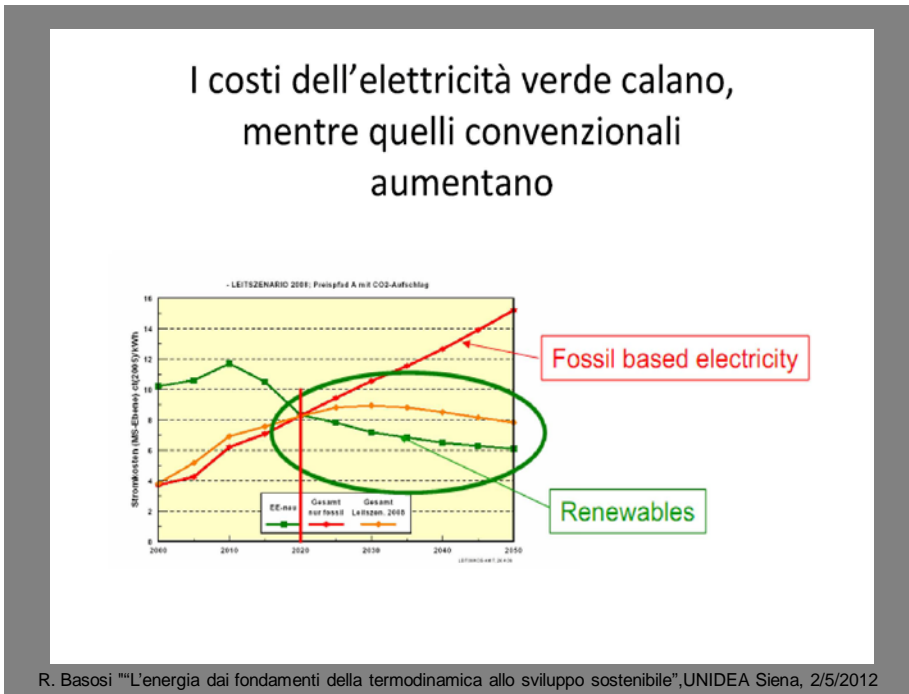
Un ruolo significativo potranno averlo anche le Biomasse che non presentano il problema della discontinuità e che vengono valorizzate dall'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto. Insieme ad iniziative legislative orientate a favorire lo sviluppo diffuso delle rinnovabili, la prospettiva del loro uso per produrre idrogeno è forse il dato tecnologico più promettente per un futuro più pulito che releghi il petrolio ad un ruolo residuale come il petrolio ha fatto nel secolo scorso per il carbone.

Lo sviluppo delle principali rinnovabili nel mondo è riportato in figura 10 con riferimento ai Paesi dove l'elettricità da RES si è più sviluppata. Alle RES tradizionali già citate si aggiungono l'idroelettrico, il solare a concentrazione e il geotermico.



**Figura 10.** I 5 Paesi con la maggiore elettricità rinnovabile installata

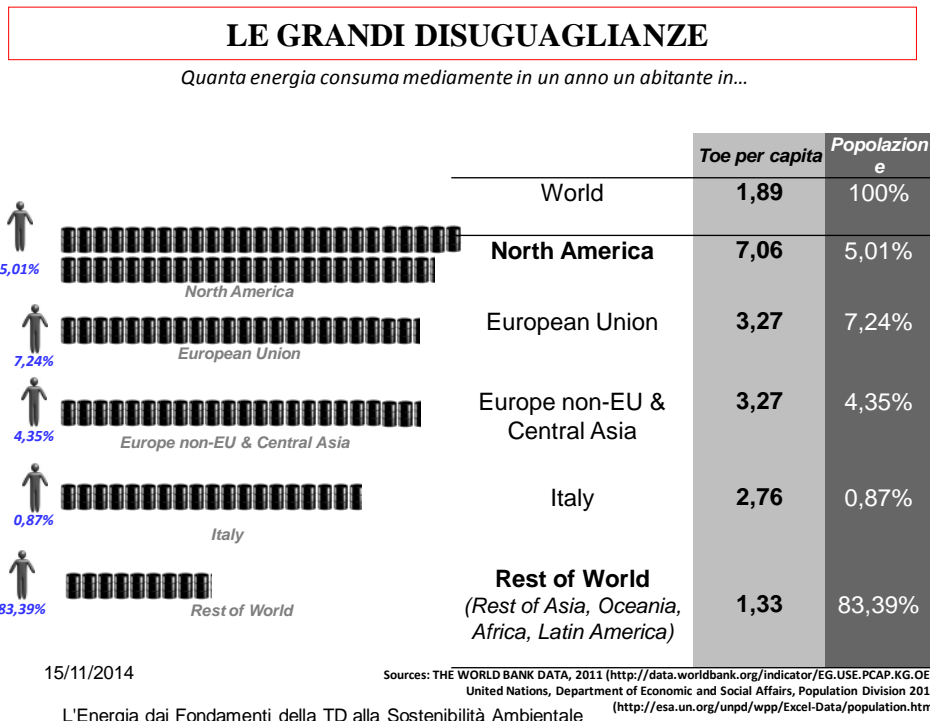
D'altra parte i costi dell'elettricità da RES a causa del tumultuoso sviluppo sono in notevole calo e la "grid parity" è prevista per il 2020 (vedi Fig.11).



**Figura 11.** La grid parity nei costi di produzione elettrica da fossili e rinnovabili verrà raggiunta nel 2020



In conclusione, lo sviluppo sostenibile viaggia sulle gambe dell' incremento dell'efficienza energetica per cui il superamento del Programma EU detto del 20-20-20 individua al 2030 un obiettivo minimo del 27% e dell' incremento delle Rinnovabili del 27%. La prospettiva combinata dell'efficienza e delle rinnovabili porta l'obiettivo di diminuzione dei gas climalteranti al 2030 al limite del 40% rispetto al 1990. Le scelte in questa direzione non sono suggerite solo dalla scienza e dall'intelligenza, ma assumono anche un significato etico, data la distribuzione ineguale delle risorse e dell'energia nei Paesi del mondo.



**Figura 12.** Le grandi disuguaglianze nel Mondo.

Come si può vedere dalla Fig 12 l'84% della popolazione mondiale sopravvive con una disponibilità energetica pro-capite del tutto insufficiente (1.3 Toe) mentre la parte più ricca del mondo (5% della popolazione) usufruisce di un eccesso di contenuto di informazione (cibo e energia espressi in disponibilità di petrolio) largamente superiore alle sue necessità. Quindi il primo passo dello sviluppo sostenibile è sicuramente l'introduzione di criteri di equità nell'uso e gestione delle risorse ambientali a partire da quelle energetiche, per offrire a tutti gli esseri umani una giusta e accettabile opportunità di vita.