

Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Energia

I sistemi per l'energia

Supporto didattico
Fisica Tecnica Ingegneria dell'Informazione

A. Rota - A. Salioni

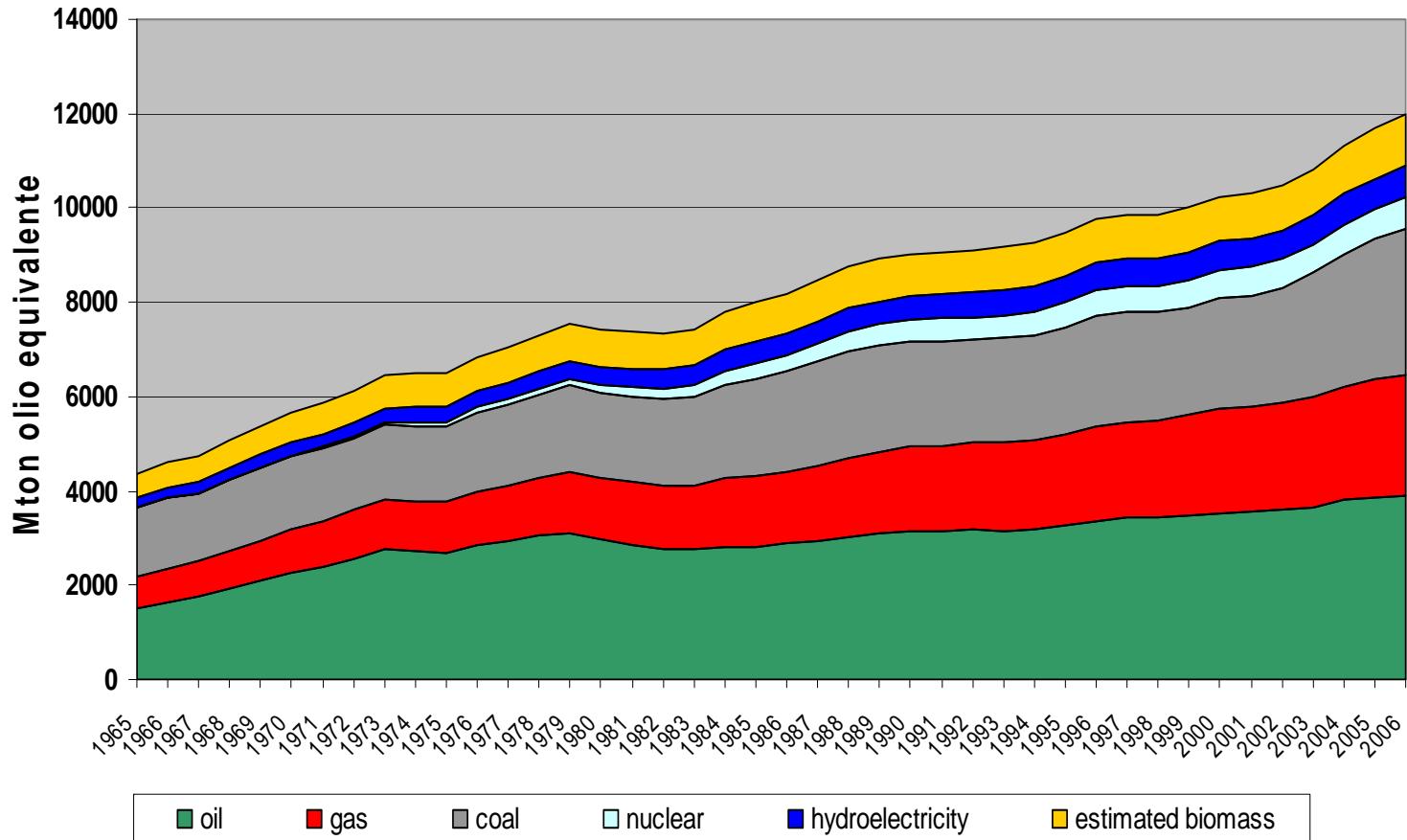
Il presente documento è concepito come supporto didattico al corso di Fisica tecnica per l'ingegneria dell'informazione e quindi non sempre la sua lettura può essere agevole se completamente separata dalle relative lezioni.

La presentazione non ha infatti la pretesa di essere sempre autosufficiente nella spiegazione dei vari argomenti ed ancor meno di essere esauriente in merito a tutti i temi trattati. Tuttavia i molti dati in essa contenuti sono aggiornati agli ultimi anni disponibili in letteratura e sono consultabili con relativa facilità anche da coloro che non abbiano avuto la possibilità di seguire il corso con continuità.

Si ringraziano la dottoressa Aurora Caridi di CESI Ricerca SPA e l'ingegner Andrea Casalegno del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano per aver collaborato alla preparazione del presente documento ma soprattutto per l'impegnativo lavoro di ricerca ed elaborazione dei dati energetici ed economici utilizzati.

Un grazie anche al dott. Luciano Garifo per la revisione del documento.

Evoluzione dei consumi energetici mondiali: Energia primaria



Fabbisogno Energetico (2007): ~ 13 Gtep

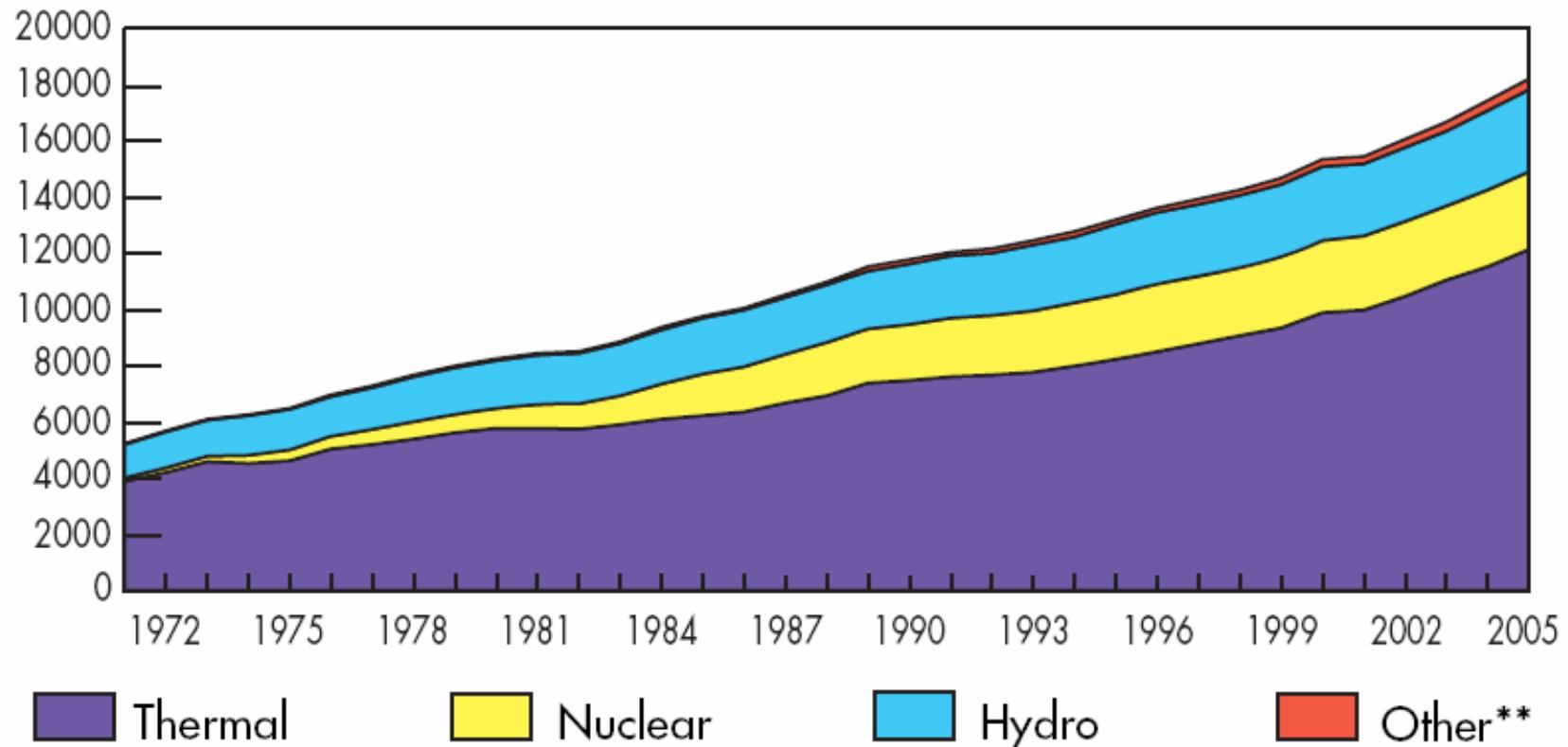
Popolazione: ~ 6 MLD persone

Elaborazione dati BP

Produzione elettrica mondiale

Evolution from 1971 to 2005 of
World Electricity Generation* by Fuel (TWh)

Fonte: IEA 2007



* Excludes pumped storage.

**Others: Other includes geothermal, solar, wind, combustible renewables & waste.

Fabbisogni Energetici Mondiali

I grafici precedenti evidenziano come i consumi energetici mondiali, in particolare quelli elettrici, negli ultimi 40 anni siano stati monotonamente crescenti e che tale crescita è stata poco influenzata dalle numerose crisi economiche e politiche succedutesi in questo periodo.

Nonostante nei paesi di vecchia industrializzazione la crescita dei consumi di energia sia diminuita ed in Europa si sia avuta anche una riduzione, il grafico mostra che negli ultimi anni si è avuta un' accelerazione dei consumi globali. Tale effetto è dovuto al forte sviluppo dei paesi “emergenti”, in particolare Cina e India, i cui consumi sono ormai superiori a quelli europei.

Bilancio dell'energia in Italia

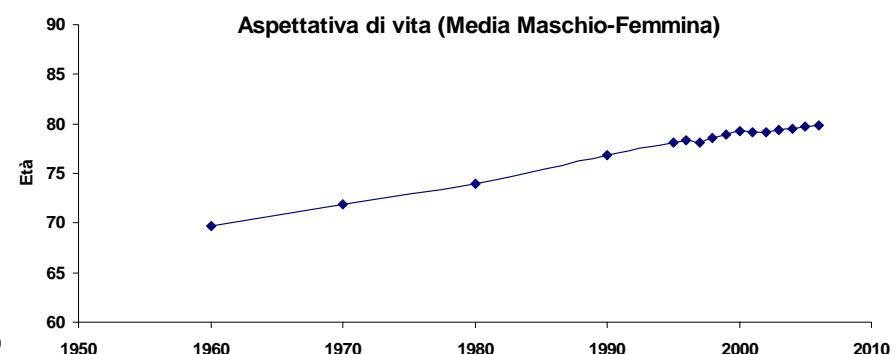
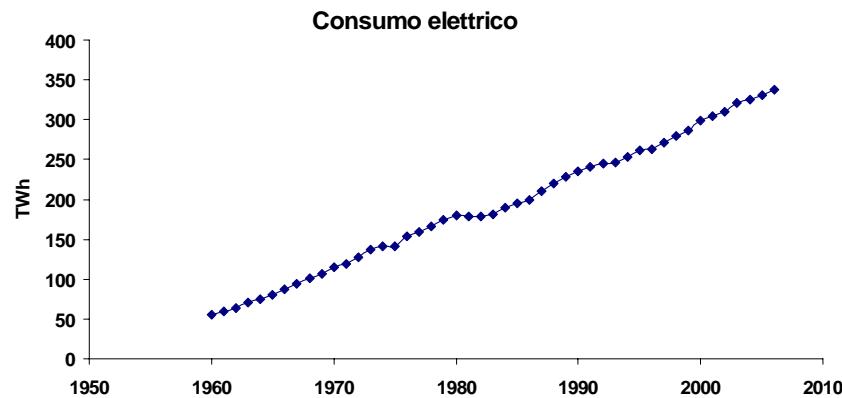
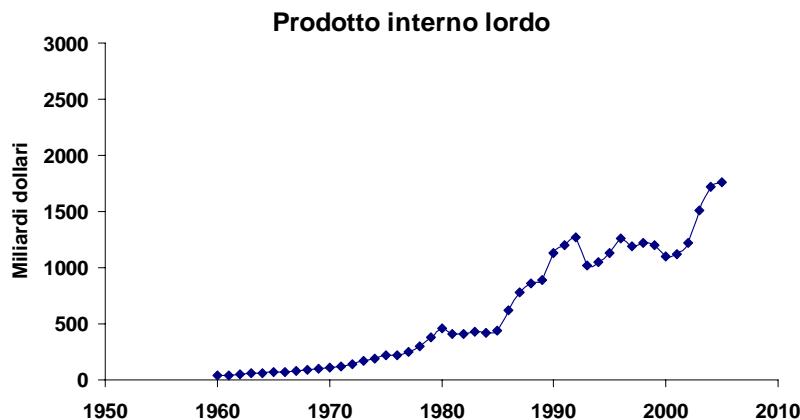
(milioni di tonnellate equivalenti di petrolio)

Disponibilita' e Impieghi	ANNO 2006					
	Solidi	Gas naturale	Petrolio	Rinnovabili (a)	Energia elettrica	Totale
1. Produzione	0,510	9,058	5,769	13,395		28,732
2. Importazione	16,786	63,854	106,997	0,838	10,251	198,726
3. Esportazione	0,187	0,304	27,336	0,002	0,354	28,183
4. Variaz. scorte	-0,045	2,910	0,219	0,000		3,084
5. Consumo interno lordo (1+2-3-4)	17,154	69,698	85,211	14,231	9,897	196,191
6. Consumi e perdite del settore energ.	-0,741	-0,828	-5,985	-0,094	-42,885	-50,533
7. Trasformazioni in energia elettr.	-11,857	-26,023	-9,501	-12,152	59,533	0,000
8. Totale impieghi finali (5+6+7)	4,556	42,847	69,725	1,985	26,545	145,658
- industria	4,413	16,418	7,659	0,292	12,114	40,896
- trasporti	-	0,439	43,069	0,153	0,879	44,540
- Civile	0,008	24,887	5,959	1,371	13,079	45,304
- Agricoltura		0,150	2,588	0,169	0,473	3,380
- usi non energetici	0,135	0,953	6,927	0,000	-	8,015
- bunkeraggi	-	-	3,523	-	-	3,523

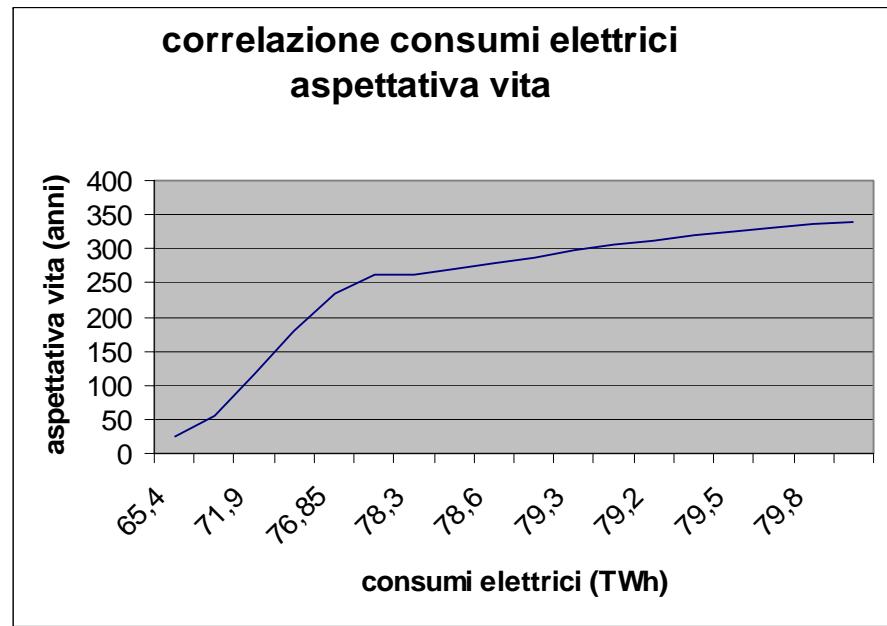
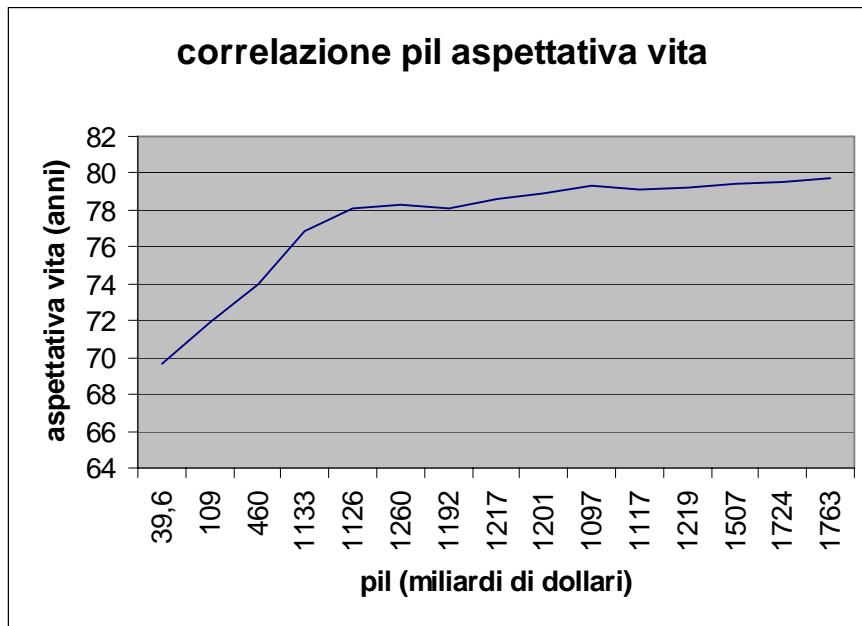
Fonte: MSE

a) Al netto degli apporti da pompage

PIL – Consumo energetico – Aspettativa di vita - ITALIA



PIL – Consumo energetico – Aspettativa di vita - ITALIA



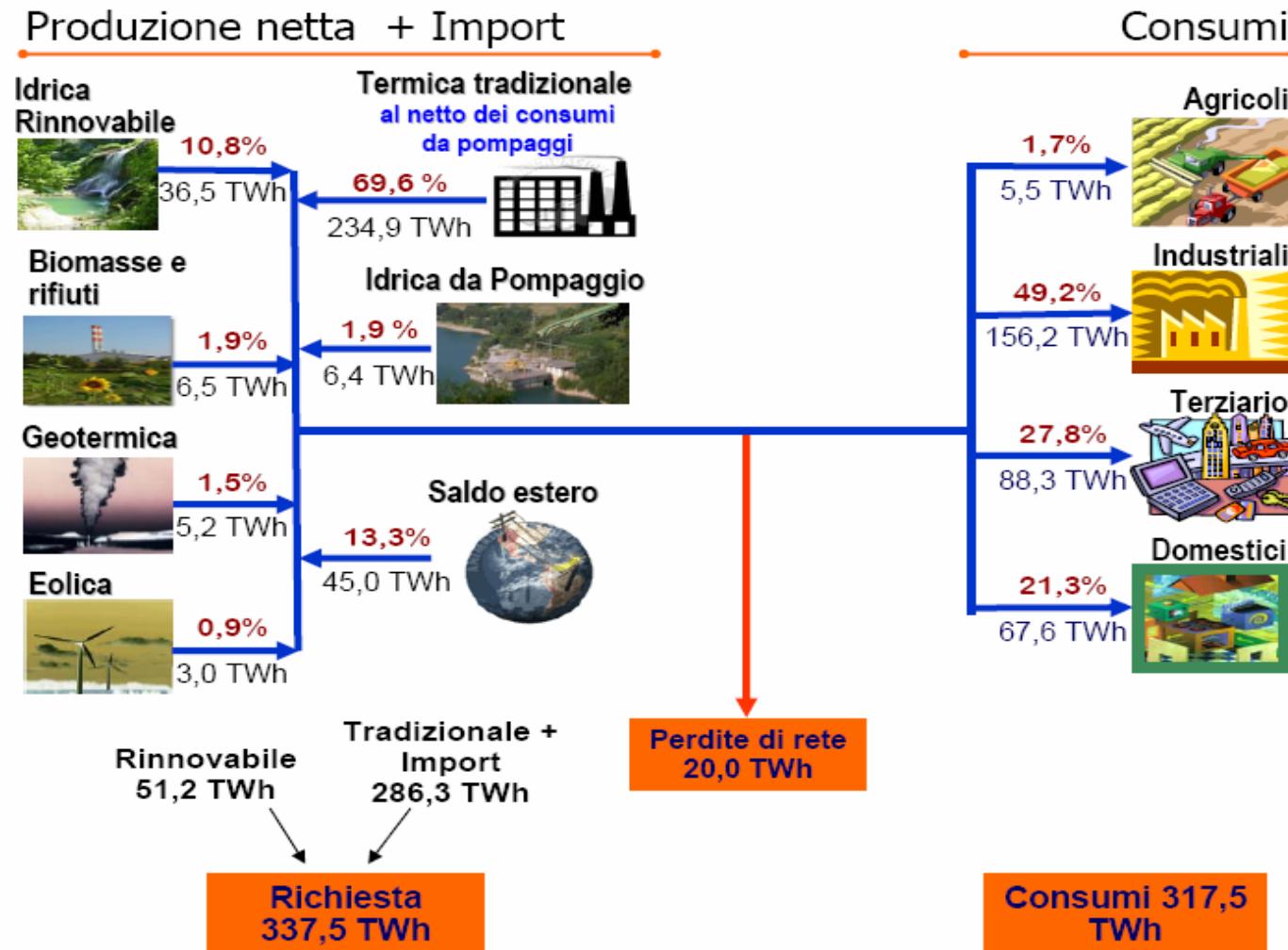
GDP – Consumo energetico Aspettativa di vita

Il prodotto interno lordo e l'aspettativa di vita non sono gli unici parametri per giudicare il livello di benessere di una comunità ma sono indicatori importanti, anche se non sono correlati linearmente né fra loro né con i livelli di consumo elettrico.

Entrambi, almeno fino a certi livelli, sono fortemente condizionati dalla disponibilità che dovrà essere sicura, abbondante e ragionevolmente economica (accessibile).

Bilancio elettrico nazionale

Anno 2006 – dalla produzione al consumo



Fonte GSE

10

A. Rota - Salioni

Produzione di Energia Elettrica (EE)

Processi termodinamici innovativi

Obiettivi e vincoli

Le nuove tecnologie energetiche hanno obiettivi simili a quelli dei processi tradizionali (migliorare il rendimento) cui si sono aggiunti più stringenti vincoli ambientali e di diversificazione delle fonti.

Nel seguito sono sinteticamente illustrate le soluzioni impiantistiche più innovative con particolare attenzione ai sistemi di generazione di EE

Produzione di EE

I cenni alle diverse tecnologie saranno suddivise in base al tipo di combustibile utilizzato.

Le fonti energetiche primarie maggiormente impiegate per la generazione elettrica sono:

- Gas Naturale (GN)
- Carbone e marginalmente Olio
- Elementi fissili

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Gas Naturale

Il GN è il combustibile il cui uso ha avuto il più forte sviluppo negli ultimi anni.

Nel settore termoelettrico il GN è stato per molto tempo relegato alla copertura dei carichi di punta, uso per il quale la bassa efficienza delle turbine a gas non costituiva un grave problema.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Gas Naturale

Il GN è una miscela contenente percentuali variabili di metano (CH_4 82-93%), altri idrocarburi leggeri (etano C_2H_5) e gas quali N_2 e CO_2 .

Le riserve di GN sono stimate in 60 anni.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Gas Naturale

I Cicli Combinati (C.C.) sono impianti di concezione relativamente recente ed hanno subito una continua e rapida evoluzione che li ha portati ad essere oggi le macchine termodinamiche con il rendimento più elevato.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

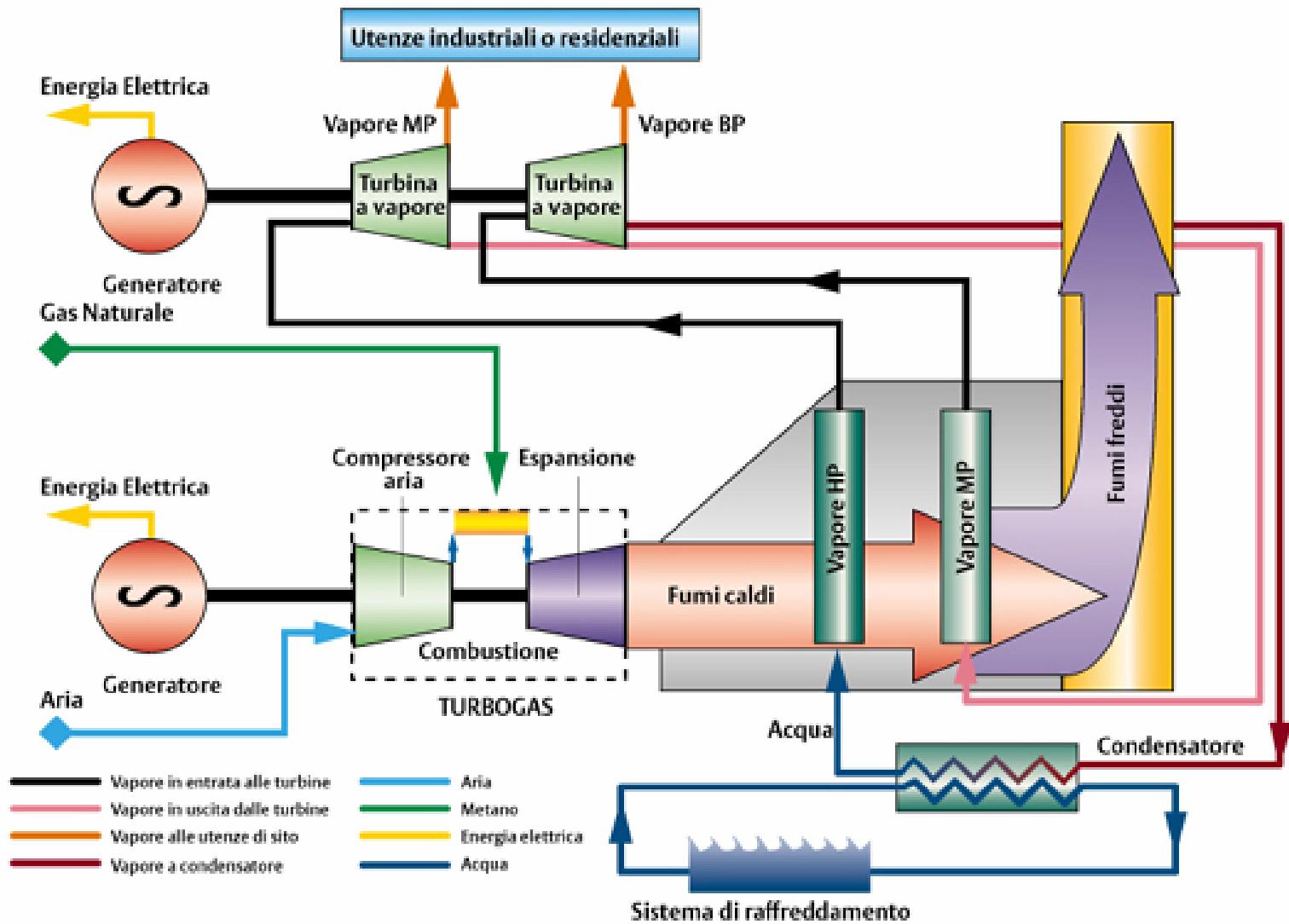
Il Gas Naturale

La possibilità dei C.C. di raggiungere rendimenti superiori al 50% ha reso questa tecnologia molto interessante anche per la produzione elettrica di base.

L'elevata purezza del GN garantisce nei moderni impianti limitate emissioni di inquinanti anche senza ricorrere a complessi trattamenti di depurazione dei fumi ma ottimizzando il processo di combustione.

Produzione di EE

Schema di impianto turbogas in ciclo combinato cogenerativo



Fonte:
EniPower

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Gas Naturale

I miglioramenti introdotti hanno riguardato l'intera catena tecnologica che caratterizza questi impianti ed in particolare:

- Il processo di combustione
- La struttura di impianto
- I materiali (superlegghe anche in forma di monocristallo) ed i rivestimenti superficiali delle palette di turbina.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Gas Naturale

I progressivi miglioramenti hanno consentito ai cicli combinati di passare, nel periodo 1990-2006 da rendimenti di circa il 42% al 55% e si valuta che nel prossimo futuro si potranno raggiungere rendimenti anche superiori al 60%.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Il GN è ormai per l'Italia la seconda fonte di energia. Il suo impiego è da tempo estremamente diffuso nel settore domestico, è ormai anche il combustibile più utilizzato per la produzione di EE e vi è anche un forte interesse ad un suo impiego come combustibile per trazione.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Già nell'immediato dopoguerra il GN fu impiegato nella trazione soprattutto per alimentare le auto pubbliche nel nord Italia e in particolare a Milano.

Questo utilizzo del GN è comunque sempre stato un impiego di nicchia sia per la carenza di distributori sia per la sensibile diminuzione delle prestazioni delle vetture che utilizzano il GN.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Le limitate prestazioni sono dovute all'utilizzo di bombole che appesantiscono il mezzo e a volte ne riducono lo spazio utile, inoltre si ha una diminuzione dell'autonomia ed il motore manifesta una perdita di potenza.

Attualmente esistono tutti i presupposti tecnologici per superare queste limitazioni.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Sono infatti disponibile bombole più leggere e resistenti che possono operare ad alte pressioni (350 e 700 bar invece degli attuali 200 bar) e sono inoltre in corso di sviluppo motori sovra-alimentati con controllo elettronico dell'immissione non solo del combustibile ma anche dell'aria.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Si potrebbero quindi realizzare autovetture a gas di costo simile a quello delle vetture a benzina e Diesel con ottime prestazioni, grande autonomia ed emissioni molto ridotte. I limiti attualmente sono di natura normativa.

Se però anche la trazione passasse al GN, i problemi di approvvigionamento di questo combustibile potrebbero aggravarsi notevolmente.

Ulteriori usi energetici del Gas Naturale

Già ora l'Italia è eccessivamente dipendente dal GN che sta diventando una pericolosa monocultura energetica.

Questa dipendenza andrebbe ridotta ma l'unico settore in cui tale operazione sarebbe relativamente agevole è l'elettrico dove invece si è investito e si continua ad investire sul gas.

Anche la realizzazione di rigassificatori potrebbe risultare un utile supporto ma non risolve il problema strategico.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone

Il carbone è più abbondante del petrolio (si stimano infatti riserve indicative di 250 anni contro i 50 anni del petrolio), geograficamente molto più diffuso ed il suo prezzo è più stabile.

Per queste ragioni vi è un grande interesse ad un suo utilizzo intensivo per produrre E.E, settore nel quale è storicamente il combustibile più impiegato.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone

Per ogni kWh prodotto gli impianti a carbone emettono una maggior quantità di CO₂ (negli impianti attuali mediamente 878 g/kWh) rispetto ad altri combustibili ed in particolare il GN usato in cicli combinati (380 g/kWh), inoltre la sua combustione genera una quantità significativa di inquinanti (polveri, NOX, SO₂)

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone

Le nuove tecnologie di conversione del carbone hanno quindi l'obiettivo di ridurre tutte le forme di emissione così da sfruttare in modo compatibile con l'ambiente un combustibile economico e largamente disponibile.

Tra le nuove tipologie impiantistiche l'unica che ha già raggiunto la maturità industriale è quella delle caldaie Ultra Super Critiche (USC)

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Impianti USC

Si tratta di impianti concettualmente molto simili a quelli a ciclo Rankine convenzionale ma con parametri di processo più spinti.

Gli impianti USC operano a pressioni dell'ordine di 300 bar e temperature di 620 °C con ingresso in caldaia a circa 300°C, e prevedono più risurriscaldamenti (2 o 3).

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Impianti USC

La riduzione delle emissioni di CO₂ è dovuta ai più elevati rendimenti, dell'ordine del 45% netto contro il 38-40% degli impianti convenzionali anche supercritici.

I futuri sviluppi degli USC prevedono il raggiungimento di temperature di 700 °C, impiegando nuovi materiali resistenti allo scorrimento viscoso, con rendimenti netti superiori al 47 %.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

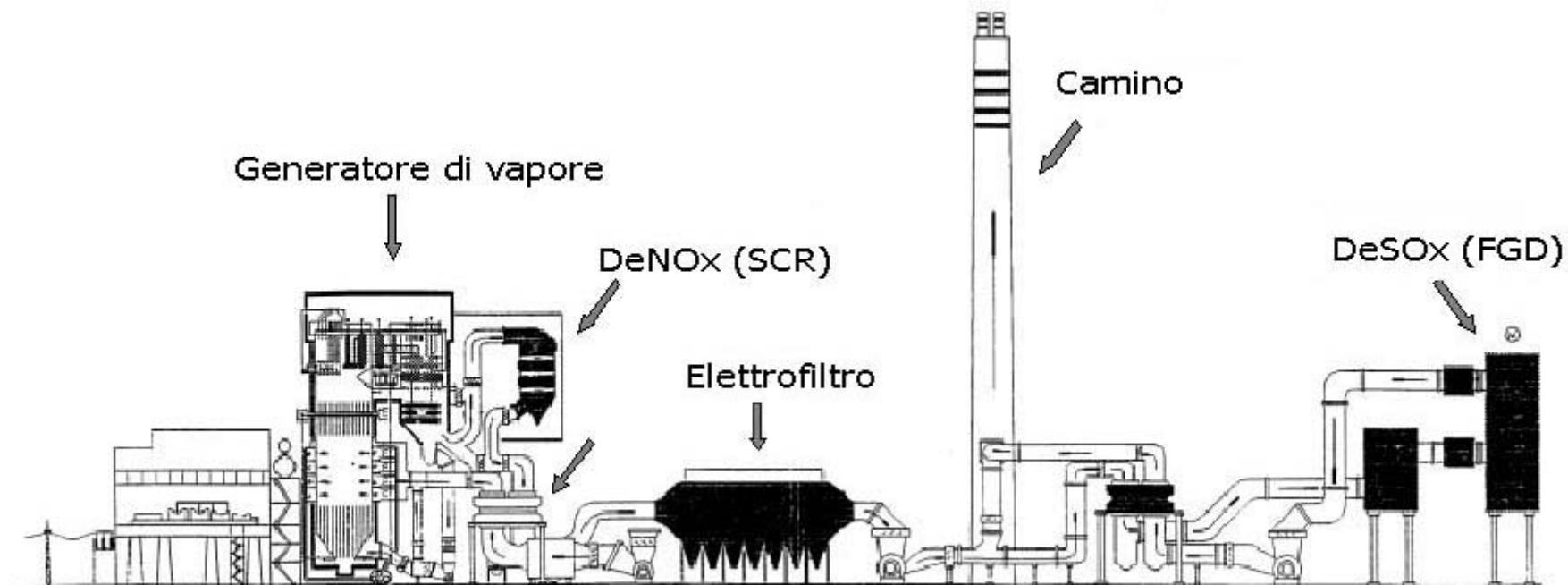
Il Carbone: Impianti USC

Per abbattere gli inquinanti presenti nei fumi gli USC adottano le stesse metodologie degli impianti a vapore convenzionali: bruciatori a basso NOx, denitruratori Selective Catalytic Reactor (SCR) [DeNOx], precipitatori elettrostatici (PES), desolforatori [DeSOx].

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Impianti USC



Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Gassificatori

Un grande sforzo di ricerca e sviluppo è rivolto alla tecnologia dei gassificatori: Integrated Gas Combined Cicle (IGCC)

Questi impianti sono costituiti da tre sezioni principali:

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Gassificatori

1. Il gassificatore dove il carbone, eventualmente reagendo con il vapor d'acqua ed in presenza di un catalizzatore, genera H₂ , CO, CO₂.
2. Il sistema di filtraggio a caldo, per non perdere il calore sensibile dei fumi, necessario per ripulire il gas dal particolato ed ottenere un combustibile di qualità elevata compatibile con il suo utilizzo in una turbina a gas;
3. Un Ciclo Combinato (CC) composto da turbina a gas e turbina a vapore.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Gassificatori

Gli IGCC sono considerati molto interessanti in quanto il C.C. potrebbe garantire rendimenti elevati ed il processo di gassificazione ridurre drasticamente l'emissione di ogni tipo di inquinanti e facilitare in futuro la separazione della CO₂.

Questi impianti sono ancora ad un livello di prototipo e sono in corso numerose attività di R&S.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Gassificatori

I rendimenti sino ad ora ottenuti sono ancora modesti, inferiori al 40%, e sussistono molti problemi tecnologici per il processo di filtraggio a caldo.

Tecnologie di gassificazione sono state impiegate anche per lo sfruttamento energetico dei TAR di raffineria. Gli impianti realizzati sono molto costosi e necessitano di incentivi per essere economicamente convenienti.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Sistemi a Combustione Esterna

Sempre per sfruttare gli elevati rendimenti dei C.C. sono in fase di sviluppo sistemi costituiti da un combustore, uno scambiatore di calore ed un C.C:

External Fire Combustion Cicle (EFCC).

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Sistemi a Combustione Esterna

Un gas pulito, ad esempio aria, all'uscita del compressore, prima di essere immesso nella turbina a gas, entra nello scambiatore di calore ed è riscaldato dai fumi provenienti dal combustore anch'essi inviati allo scambiatore.

La turbina opera quindi in condizioni ottimali anche quando nel combustore si bruci carbone.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Il Carbone: Sistemi a Combustione Esterna

Gli EFCC sono ancora in fase di sviluppo. Il componente più critico è lo scambiatore di calore, che operando fra due gas (bassi valori di h) presenta dimensioni specifiche (Area/potenza termica scambiata) molto grandi ed operando ad alte temperature in ambiente aggressivo deve essere realizzato, almeno in parte, con materiali speciali come ad esempio i materiali ceramici.

Il Carbone: altri impieghi energetici

Sviluppando e migliorando tecnologie, già usate in Germania nel corso della 2° guerra mondiale, sono stati messi a punto processi per produrre liquidi per impieghi nel campo della trazione e quindi per alimentare motori alternativi a combustione interna. Attualmente questo processo si stima che abbia costi dell'ordine di 40/45 € al barile.

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Energia Nucleare

L'energia nucleare (EN) viene utilizzata soprattutto per la generazione elettrica ma vi sono alcune applicazioni anche nel campo della propulsione navale.

L'EN può essere ottenuta sia da processi di fissione (rottura di un atomo pesante in frammenti di minor peso atomico) sia di fusione (unione di due atomi leggeri per generare un atomo di maggior peso)

Produzione di EE

Processi termodinamici innovativi

Energia Nucleare

La fissione di un elemento pesante (attualmente il più impiegato è l'isotopo dell'uranio U235 ma potrebbero venire impiegati anche isotopi del torio e del plutonio) genera energia in quanto la somma delle masse dei prodotti di fissione è inferiore a quella dell'atomo fissile.

Produzione di EE

Energia Nucleare

L'energia prodotta da ogni fissione sarà quindi :

$$E = \Delta m c^2$$

Dove:

E, è l'energia prodotta dalla fissione, Δm , il difetto di massa e c la velocità della luce.

Produzione di EE

Energia Nucleare

L'energia rilasciata si manifesta inizialmente come energia cinetica dei prodotti di fissione e dei neutroni ed in piccola parte come radiazione elettromagnetica ma si trasforma pressoché istantaneamente in energia termica che può essere utilizzata per realizzare un ciclo termodinamico.

Produzione di EE

Energia Nucleare

Quando avviene un processo di fusione tra elementi leggeri, ad esempio due atomi di deuterio (isotopo dell'idrogeno), l'elemento che si genera, ad esempio elio, ha una massa inferiore alla somma dei due atomi che hanno partecipato alla fusione.

La fusione si trova ancora ad uno stadio di ricerca di base e pare richiedere tempi molto lunghi per un suo sfruttamento industriale, i reattori a fissione sono ormai operativi da più di 50 anni.

Produzione di EE

Energia Nucleare

Per quanto riguarda la fissione oggi nel mondo sono funzionanti 439 centrali nucleari in 30 Paesi corrispondenti ad una produzione di circa 2.500 miliardi di kWh/anno, pari a oltre il 16% di tutta l'elettricità del pianeta. In Europa questa percentuale sale al 35%; nel Vecchio Continente il nucleare è da tempo la prima fonte di produzione elettrica, con percentuali di copertura che nel 2003 hanno raggiunto il 79,9% in Lituania, il 77,7% in Francia, il 57,4% in Slovacchia, il 55,5% in Belgio e il 49,6% in Svezia.

Si tratta di una tecnologia le cui basi sono ormai consolidate ma anche in continua evoluzione.

Produzione di EE

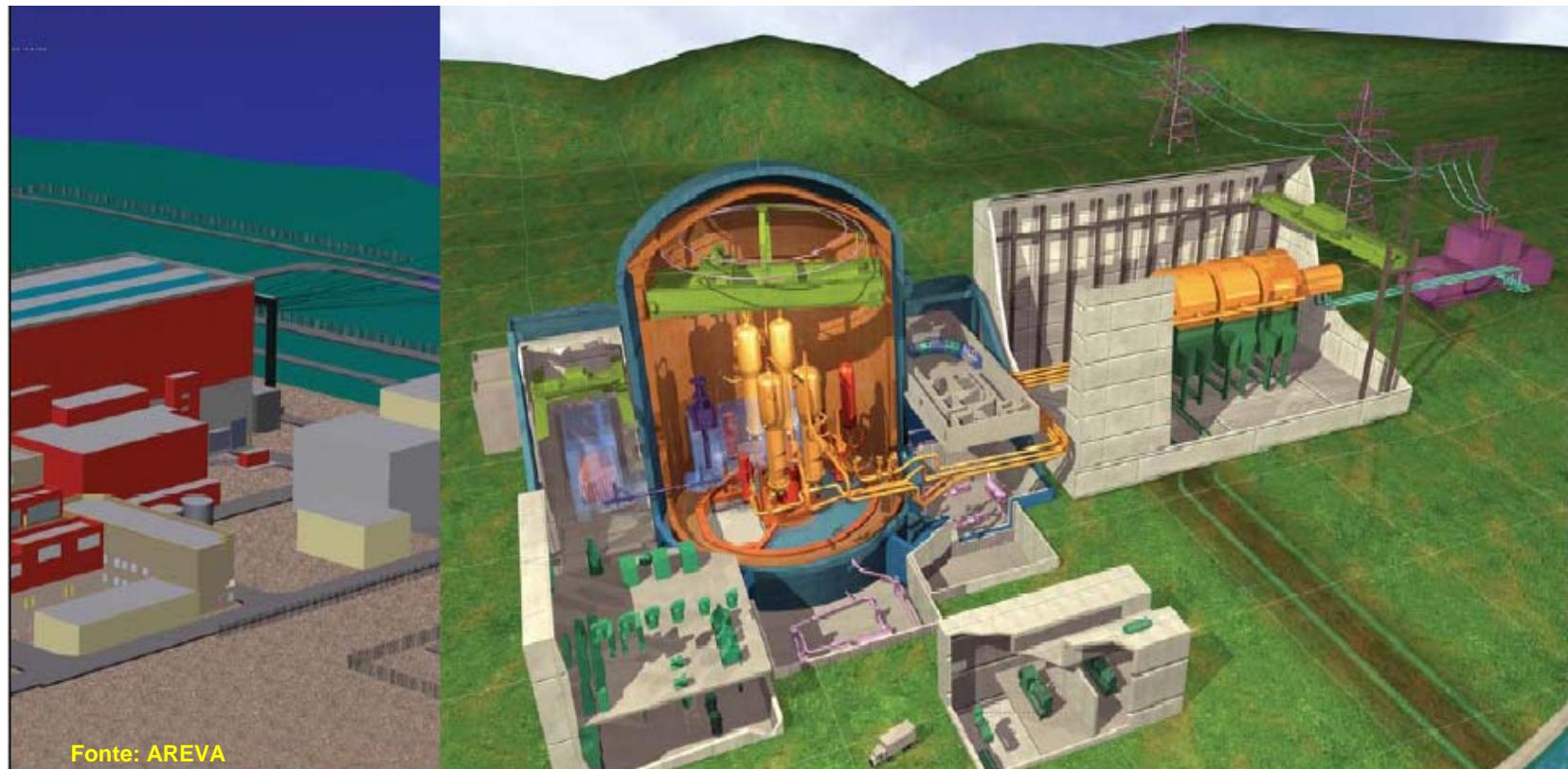
Energia Nucleare

Negli scorsi anni sono stati concepiti e realizzati numerosi tipi di reattori con differenti livelli di arricchimento in U235 del combustibile, diversi moderatori (grafite, acqua pesante, acqua naturale), diversi fluidi termovettori (Elio, CO₂, acqua pesante e naturale).

Attualmente il tipo di reattore più diffuso è quello ad acqua naturale in pressione.

Produzione di EE

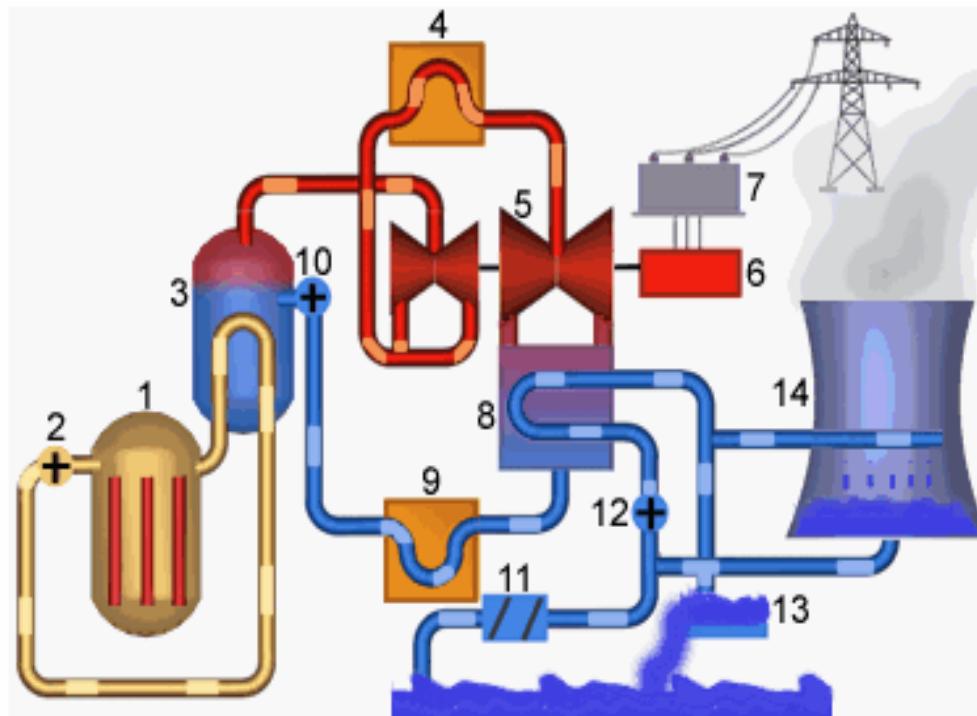
Energia Nucleare



Reattore EPR – Finlandia
(European Pressurized Reactor)

Produzione di EE

Energia Nucleare



- 1. Reactor
- 2. Reactor coolant pumps
- 3. Steam generator
- 4. Reheater
- 5. Turbine
- 6. Generator
- 7. Switchgear
- 8. Condenser
- 9. Reheat system
- 10. Condensate pump
- 11. Coolingwater system
- 12. Coolingwater pumps
- 13. Coolingwater system
- 14. Cooling tower

Fonte: AREVA

Reattore EPR - Finlandia

Produzione di EE

Energia Nucleare

Analisi economica Finlandese

Fonte: AREVA

Average discounted costs of energy production in Euro/MWh

	Nuclear	Combined cycle gas
Total production cost	24 to 32	31 to 57
Cost of environmental impacts (ExternE* study)	2 to 7	10 to 40
Total	26 to 39	41 to 97

- * The ExternE study was carried out by researchers from the United States and all the Member States of the European Union, with the support of the European Commission, to quantify the social and environmental costs associated with electricity generation.

AREVA è l'azienda leader nel campo dell'[energia atomica](#) ed è l'unica presente in ogni attività industriale ad essa connessa: [miniere](#), [chimica](#), [arricchimento](#), [combustibili](#), [ingegneria](#), [propulsione](#) nucleare e [reattori](#), [trattamento](#), [riciclaggio](#), stabilizzazione e stoccaggio delle [scorie nucleari](#). AREVA offre soluzioni tecnologiche per produrre [energia](#) senza emissioni di CO2. Fonte: Wikipedia

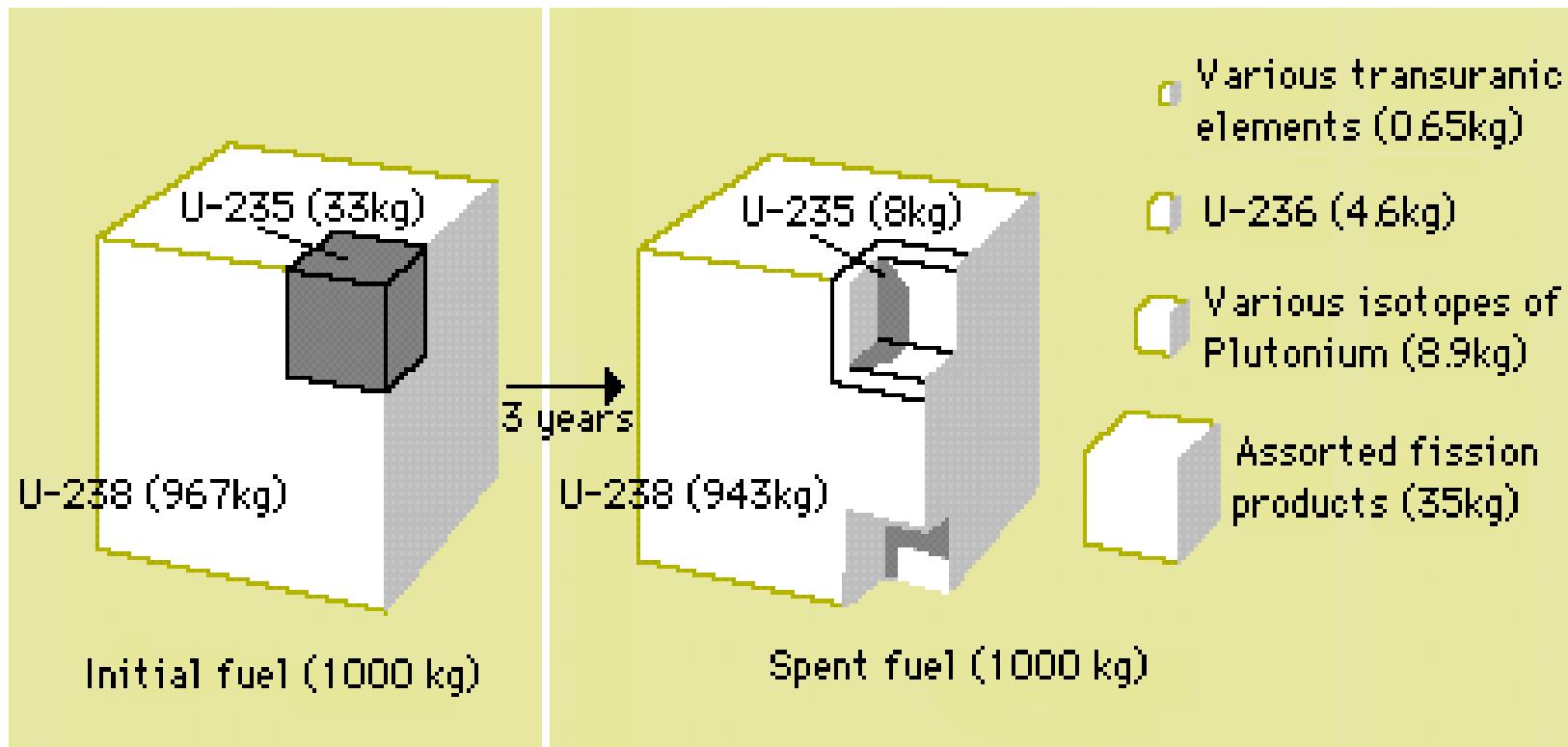
Produzione di EE

Energia Nucleare

Sono comunque in corso numerose attività di sviluppo per incrementare ulteriormente la già elevatissima affidabilità e sicurezza di questi impianti e si parla infatti di reattori di 4° e 5° generazione che dovrebbero ridurre anche il problema delle scorie.

Si consideri comunque che una centrale da 1000 MWe produce comunque annualmente 1m³ di scorie ad alta attività; circa 4 m³ considerando i materiali di contenimento.

L'evoluzione della composizione del combustibile



Le Fonti Energetiche Rinnovabili

Il contributo delle rinnovabili

Fonte primaria	Disponibilità annua
Radiazione solare	$\approx 90\ 000$ Gtep
Calore geotermico	\approx 20 Gtep
Maree	Non valutata

Consumo mondiale annuo 2008 ≈ 13 Gtep

POTENZIALITA' RINNOVABILI

Solare	440.000 TWh/a
Biomasse	70 – 120.000 TWh/a
Idroelettrico	14.000 TWh/a
Eolico	180.000 TWh/a
Geotermia	1.400.000 TWh/a

Ai fini dello sfruttamento energetico si possono stimare come disponibili senza produrre un impatto ambientale significativo

2.100.000 TWh/anno

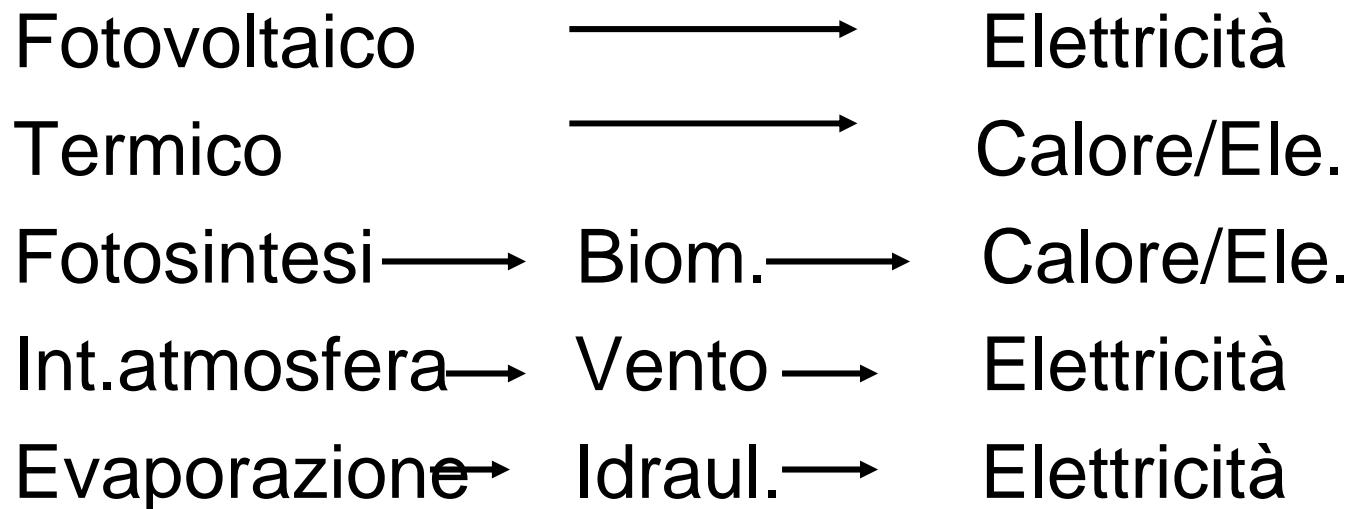
Consumi energetici mondiali annui = 1200 TWh

Fonte Commissione Europea

<http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/vision-report-final.pdf>

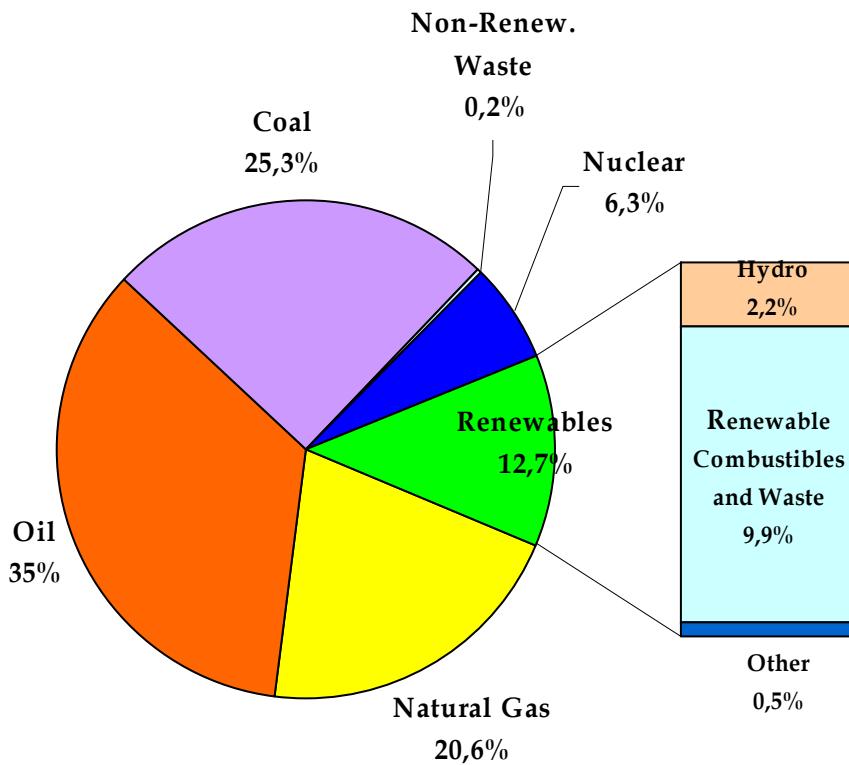
Il contributo delle rinnovabili

Radiazione solare



Il contributo delle rinnovabili

2005 Fuel Shares in World Total Primary Energy Supply



Other Renewables: Geothermal, Wind, Solar, Tide.

(Elaborazioni da dati IEA)

Il contributo delle rinnovabili

Le fonti rinnovabili, escluso il solare fotovoltaico, usufruiscono dei certificati verdi (CV).

I CV sono titoli emessi dal GSE come meccanismo di incentivazione della produzione di energia rinnovabile che supera il vecchio criterio di incentivazione tariffaria noto come Cip6.

La taglia del "certificato verde" è di 50 MWh

Fonte GSE

Il contributo delle rinnovabili

Valore dei Certificati Verdi (CV)

2004: 97,00 €/MWh

2005: 108,92 €/MWh

2006: 125,28 €/MWh

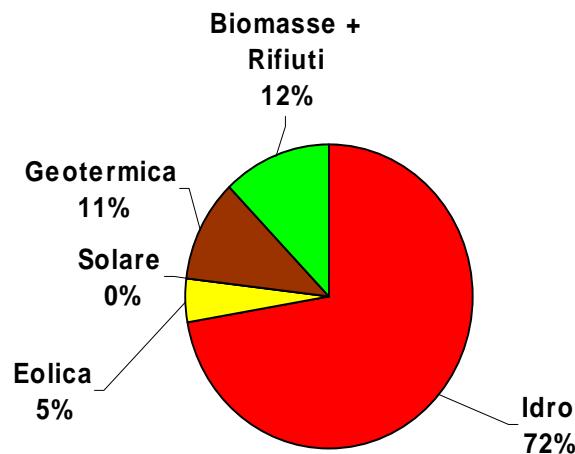
2007: 125,13 €/MWh

Fonte GSE

Il contributo delle rinnovabili

EE: contributo relativo delle FER in Italia

Fonte GSE



■ Idro ■ Eolica ■ Solare ■ Geotermica ■ Biomasse +Rifiuti

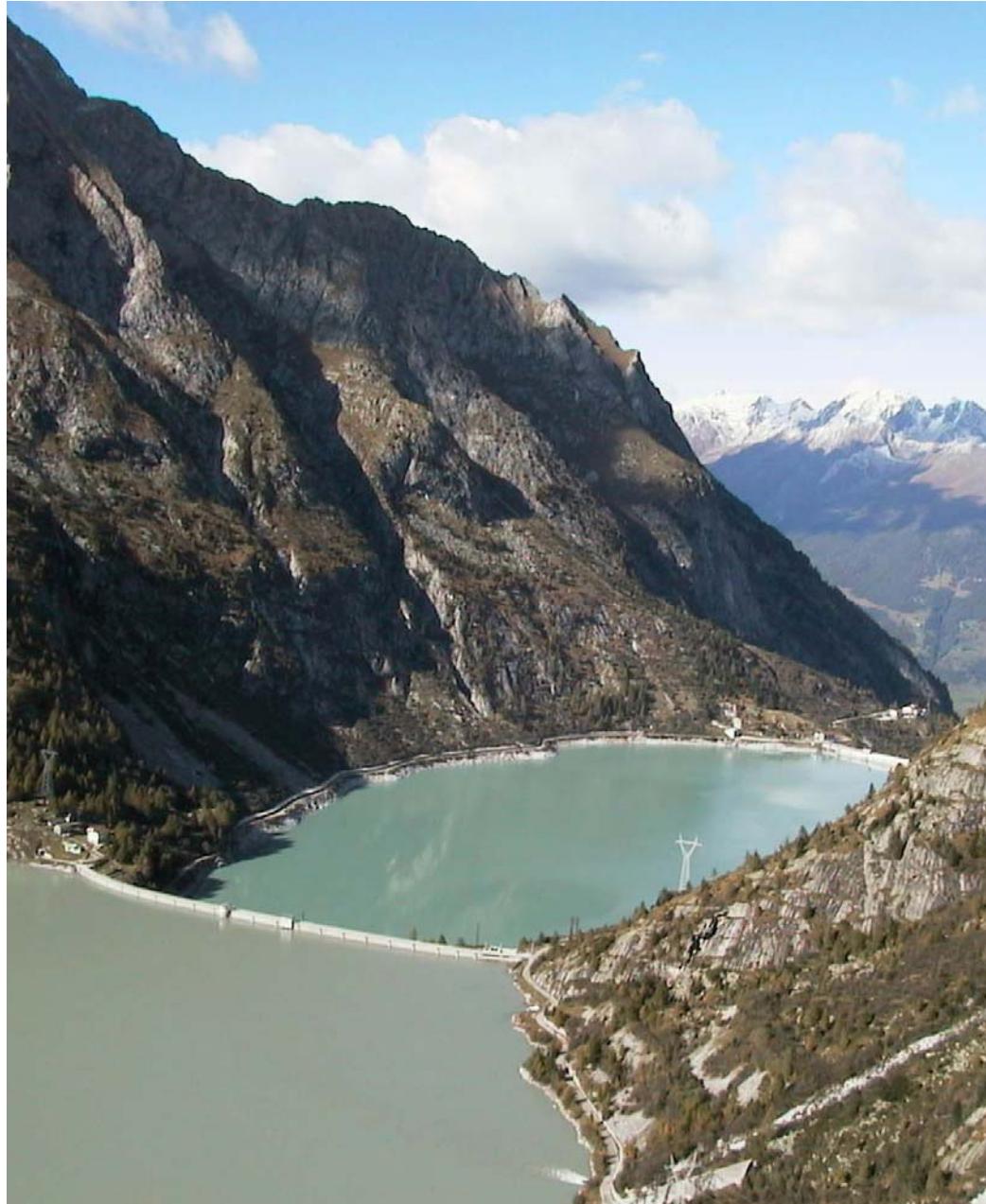
Il contributo delle rinnovabili

La struttura energetica di una nazione andrebbe costruita con gli stessi criteri con cui si struttura un portafoglio azionario.

Dovrebbe quindi basarsi su un mix ragionevolmente ampio di fonti con costi e rischi di approvvigionamento tra loro non correlati.

Le fonti rinnovabili devono quindi trovare una collocazione in questo quadro fornendo un contributo interessante ma che non deve essere sovrastimato.

Energia Idroelettrica



Energia idroelettrica

Tecnologia matura ed economicamente competitiva, richiede elevati investimenti

In Italia i siti idonei per la realizzazione di grandi impianti sono probabilmente più numerosi di quanto ufficialmente dichiarato.

Tuttavia difficilmente potranno essere utilizzati per la forte opposizione sociale.

Un certo spazio rimane ancora per il mini-idraulico.

Energia idroelettrica

- A fine 2006 il parco idroelettrico italiano aveva una potenza effettiva linda di 17412 MW con una produzione di 37 TWh ed era composto di un totale di 2093 impianti di :

n.	Classe di potenza
1173	0 – 1 MW
626	1 – 10 MW
294	>10 MW

(Fonte GSE)

- Anche se sarebbe possibile generare da fonte idroelettrica sino a 200 TWh/anno probabilmente non si potrà utilizzare molto più del 25 % del limite teorico anche con il ricorso ad impianti di piccola taglia.

Energia idroelettrica

Il principio di funzionamento delle centrali idrauliche si basa sulla trasformazione dell'energia potenziale dell'acqua in energia cinetica in grado di muovere un sistema *Turbina-Alternatore*.

Esistono vari tipi di turbine idrauliche il cui impiego dipende dal salto disponibile:

Pelton → grandi salti

Francis → medi salti

Kaplan → piccoli salti

Energia idroelettrica

La potenza fornita da un impianto idraulico è data dalla relazione:

$$\dot{L} = \eta(mg\Delta h)$$

Mini Idraulico

Con questo termine si indicano generalmente impianti idroelettrici ad acqua fluente di potenza inferiore ai 10 MW e spesso di poche centinaia di kW.

I piccoli impianti idraulici, rilanciati dallo sviluppo dei sistemi di controllo a distanza, hanno raggiunto un buon livello di sviluppo che garantisce elevate affidabilità e lunghe vite di impianto (30-50 anni).

Mini Idraulico

Gli elementi base dell'impianto sono l'opera per il convogliamento dell'acqua, la condotta forzata di adduzione alla turbina, il blocco turbina-generatore elettrico ed il sistema di controllo.

I salti idraulici di questi impianti sono modesti (inferiori ai 20 m) e per incrementare la potenza si tenta di utilizzare tutta la portata disponibile fatti salvi i limiti posti dal “deflusso minimo vitale”.

Mini Idraulico

DATI 2006

Fonte GSE

- 1799 impianti mini-idro in Italia (< 10 MW)
- 2468 MW di potenza effettiva linda
- 15 % dell'intero parco di generazione idroelettrica

Mini Idraulico

Anche se, come detto, questa fonte non potrà fornire un rilevante contributo al soddisfacimento della domanda di energia elettrica, è importante utilizzare al meglio le risorse disponibili in quanto in molti casi i costi dell'energia sono interessanti.

Infatti sebbene gli investimenti siano alti e molto variabili da sito a sito, 1500-3000 €/kW, l'elevato fattore di utilizzo (indicativamente 5000 - 4000 h/anno) e la lunga vita utile consentono di raggiungere costi di produzione competitivi: 40-90 €/MWh.

Mini Idraulico

Le procedure di autorizzazione prevedono l'ottenimento di una concessione per l'uso dell'acqua rilasciata dalla provincia.

Quando a livello locale non insorgano più o meno giustificate gelosie, per un bene sentito fortemente come pubblico, l'iter autorizzativo può risultare relativamente semplice.

**Dall'energia idraulica possiamo
quindi attenderci un contributo di
50-55 TWh al 2020**

Biomasse

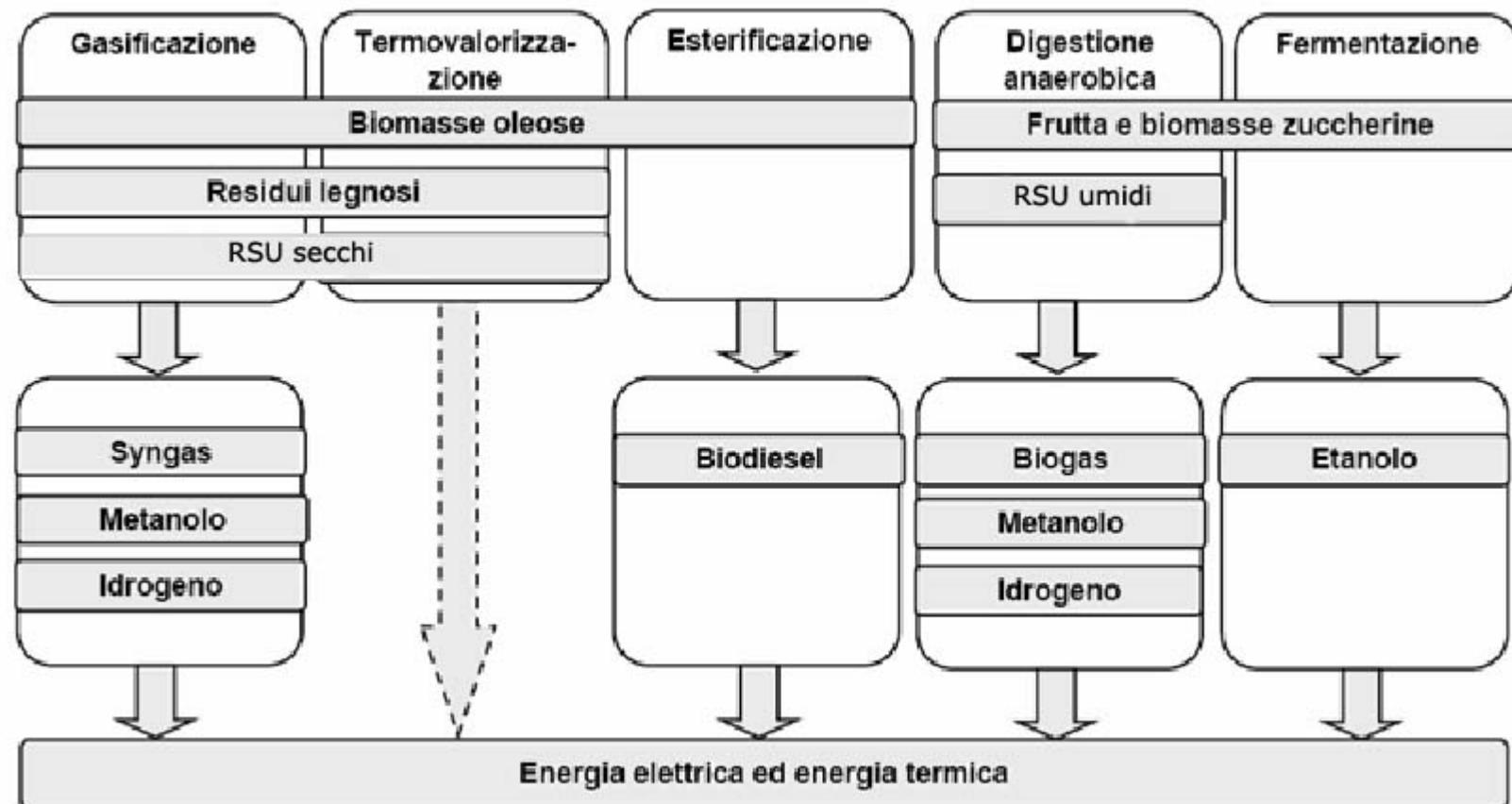


Biomasse

“Materia organica di origine animale o vegetale,
esclusa la materia organica di origine fossile”

Con questo termine si indica una famiglia di sostanze tra loro molto diverse che necessitano per la loro conversione di tecnologie differenti.

La conversione della biomassa



Biomasse

Considerando solo le BM impiegate in Italia nella generazione di elettricità la situazione italiana, sempre in base a dati IEA è la seguente:

Anno	2005	Tasso 90-05	TWh
MWe di cui:	1258		-
RSU (f. rinn.)	526	19%	-
BM solide	448	43%	-
Biogas	284	15%	-
EE TWh di cui:	6,1		
RSU (f. rinn.)	2,6	28%	19-25
BM + Biogas	3,5	40%	10-25

Biomasse

Non è facile valutare quale ulteriore contributo potranno dare le BM alla produzione elettrica nazionale.

Sulla loro evoluzione influiscono fortemente anche scelte di politica agricola e di gestione del territorio.

Una valutazione ottimistico realistica potrebbe essere il 5-7% del fabbisogno complessivo

Una forte incentivazione dei bio-combustibili potrebbe incrementare queste percentuali ma tale scelta può avere varie controindicazioni.

Biomasse

Gli impianti termoelettrici alimentati a BM sono tecnicamente dispacciabili e possono raggiungere fattori di utilizzo molto elevati.

Nel passato si rilevavano vari problemi sia per quanto concerne l'approvvigionamento del combustibile sia per l'insorgere di guasti frequenti; gli impianti alimentati a RSU, ad esempio, presentavano gravi problemi di corrosione.

La situazione è in evoluzione ed è ragionevole attendersi forti incrementi dell'efficienza e dei fattori di utilizzo

Biomasse

Per la conversione delle BM solide e della frazione organica degli RSU gli impianti più utilizzati sono le caldaie a griglia fissa o mobile e a letto fluido (95% degli impianti presenti in Italia).

Cominciano ad essere presi in considerazione i processi di gassificazione e di pirolisi.

Le taglie di impianto variano da pochi kW a decine di MW_t. Raramente viene superata la taglia di 50 MW_t per problemi sia autorizzativi sia connessi alla raccolta della BM.

Biomasse

I costi di investimento sono elevati e variano in un campo piuttosto esteso in funzione della taglia di impianto e del tipo di BM: 2000-3500 €/kW.

Nel caso delle BM il costo del kWh dipende, oltre che dai parametri già considerati per le altre fonti (investimento, fattore utilizzo, tasso di attualizzazione, gestione e manutenzione) anche dal prezzo della BM che ad esempio, se si considera legno cippato, può variare tra i 25-50 €/ton.

Biomasse

Quando invece si trattino rifiuti il costo del combustibile può addirittura essere negativo; la forbice tra i valori minimi e massimi è quindi molto ampia potendo variare tra 40 e 140 €/MWh.

Gli impianti a BM possono essere utilizzati in assetto cogenerativo incrementando l'efficienza energetica del processo.

Se i costi connessi alla rete termica non risultano troppo elevati, come avviene in alcune strutture industriali, la cogenerazione può risultare economicamente interessante.

Biomasse

Altri impieghi energetici

Oltre che per produrre EE le biomasse sono storicamente impiegate per generare calore sia con sistemi molto piccoli, quali stufe domestiche sia con grandi caldaie come avviene in alcuni sistemi di teleriscaldamento.

Dalle biomasse possono essere ricavati anche Etanolo o Oli impiegabili rispettivamente in motori ad accensione comandata o in ciclo Diesel.

Il contributo delle biomasse per questi due impieghi potrebbe giungere a 4,91Mtep. (Fonte Italia Energia 2007)

Biomasse

Per quanto riguarda l'iter autorizzativo le BM “vergini” e comunque quelle indicate nella relativa tabella del decreto Ronchi, se con taglia inferiore ai 50 MW fruiscono di una procedura semplificata e relativamente agevole che fa riferimento alla provincia.

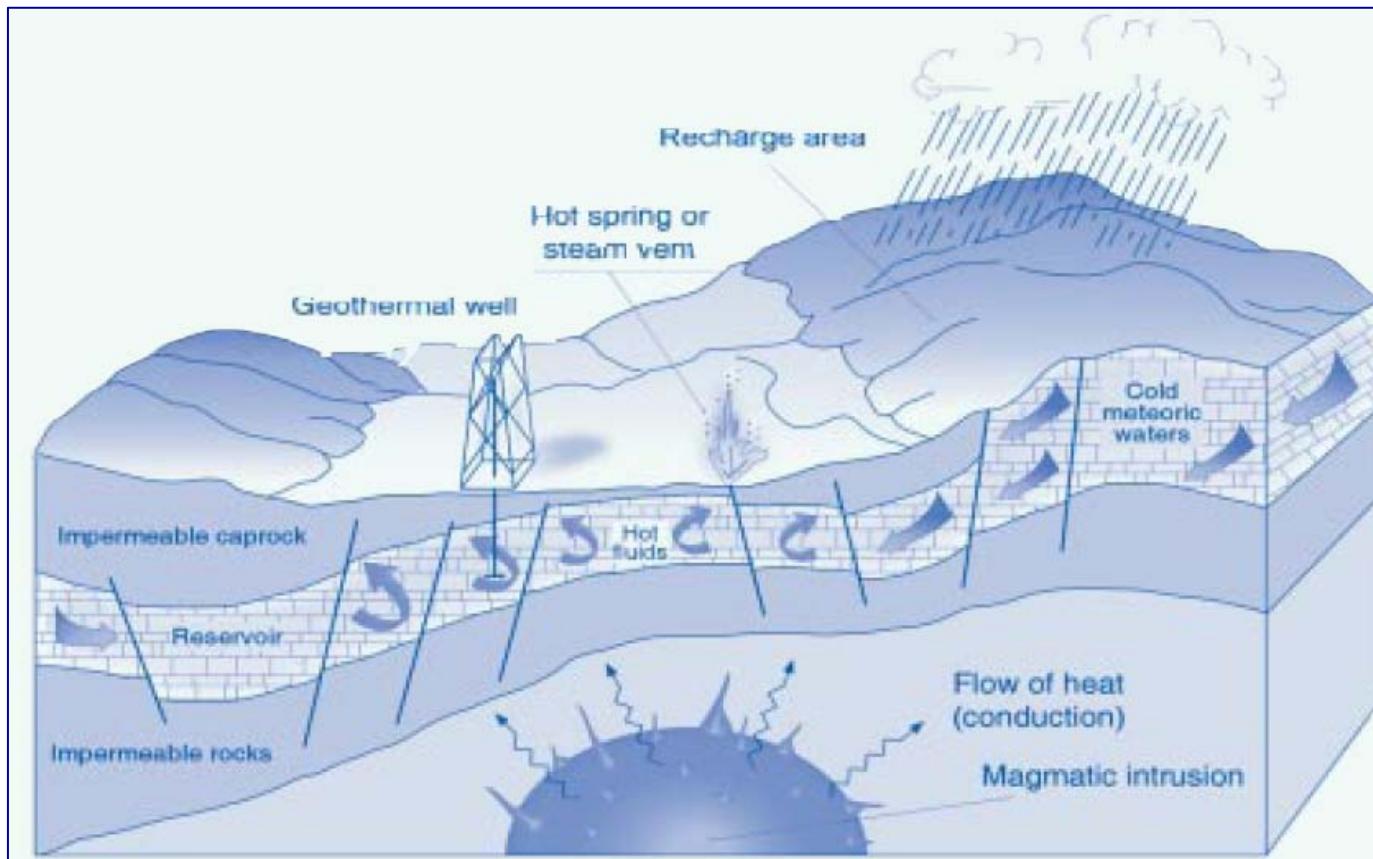
Per impianti di maggior potenza e rifiuti non contemplati dal citato elenco risulta necessaria un’Autorizzazione Ambientale Integrata di competenza regionale.

**Da biomassa e rifiuti possiamo
quindi attenderci un contributo di**

20-22 TWh al 2020

Usi termici + Trazione : 6-7 Mtep

Geotermia



Geotermia

Potenza flusso endogeno = $4,4 \times 10^{13}$ Watt

Potenza fossile = $1,39 \times 10^{13}$ Watt

Secondo GSE nel 2006 in Italia erano operativi 711 MW geotermici. La produzione linda di energia prodotta ammontava a 5527 GWh annui (circa 7000 h di funzionamento) Questi dati probabilmente pongono l'Italia al terzo posto, tra i paesi OECD, per lo sfruttamento della fonte geotermica preceduta da USA e Messico.

Italia ha il primato della produzione dalla fonte geotermica in EU-27. In Europa il calore geotermico è sfruttato prevalentemente per uso calore. L'unico paese che ha avviato un piano di sviluppo della geotermia ad alta entalpia oltre l'Italia è il Portogallo. (GSE)

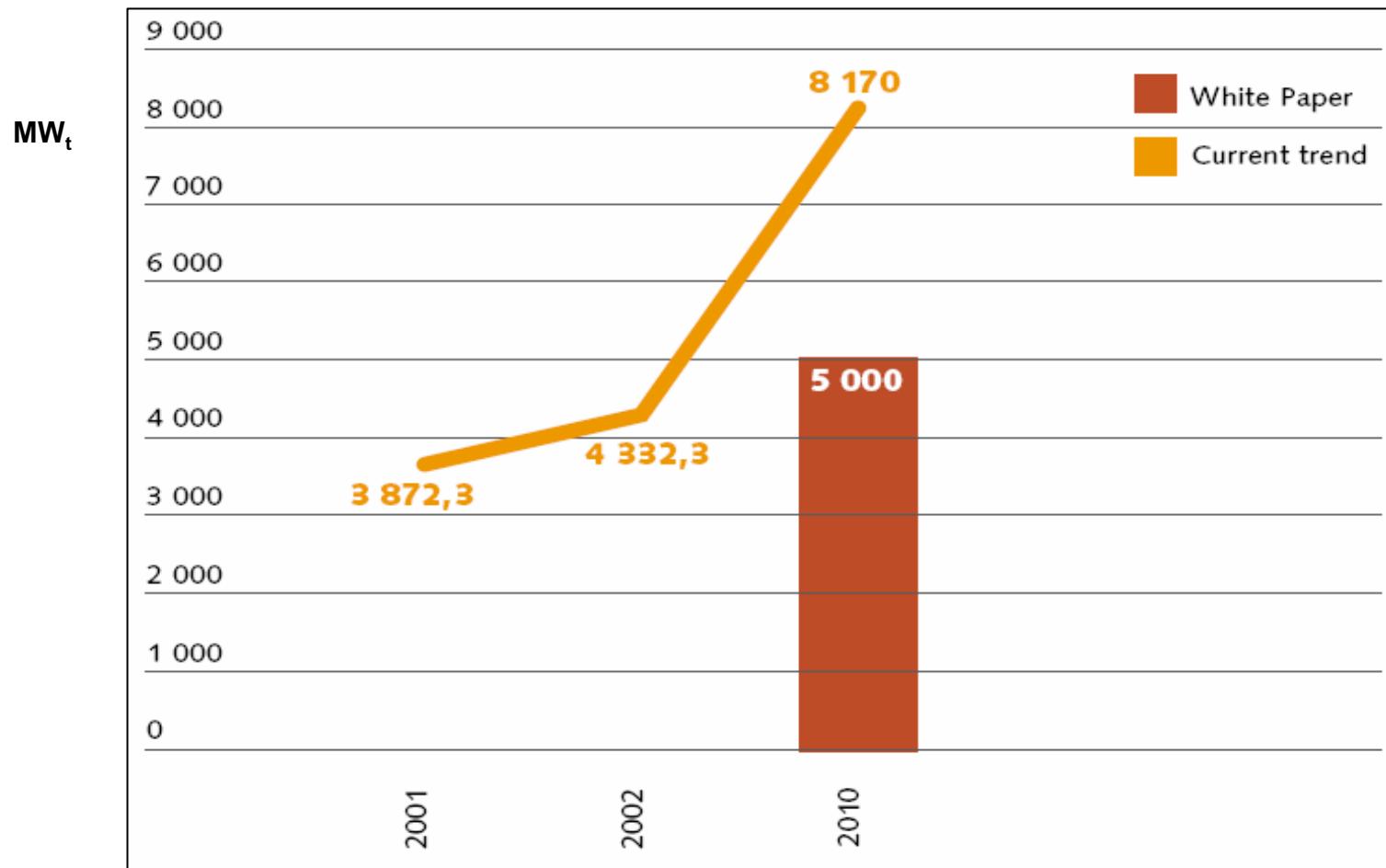
Geotermia

La tecnologia geotermica è matura per quanto riguarda lo sfruttamento di serbatoi contenenti vapore o acqua surriscaldata; molto interesse è pure rivolto allo sfruttamento dell'energia termica contenuta in rocce calde ma asciutte.

Si ritiene che la generazione elettrica da fonte geotermica potrà crescere anche in futuro ma sempre con tassi contenuti.

Il grafico seguente mostra invece le grandi potenzialità delle risorse a bassa entalpia per usi termici eventualmente abbinate a pompe di calore.

Geotermia



Geotermia

I pozzi geotermici possono raggiungere profondità di migliaia di metri e la loro trivellazione è la voce che più incide sui costi d'investimento.

I gruppi geotermici hanno normalmente potenze dell'ordine delle decine di MW_e ma difficilmente superano i 50 MW.

I costi unitari variano indicativamente tra i 2900 e 3800 € /kW (fonte Cesi Ricerca) e la trivellazione incide generalmente per più del 60% del costo totale.

Geotermia

Nonostante l'elevato costo di impianto, dovuto anche ai bassi rendimenti termodinamici (indicativamente 15 %), il costo del MWh risulta interessante collocandosi tra i 70 e 90 €/MWh.

Ciò è reso possibile dall'elevato fattore di utilizzo.

**Dall'energia geotermica possiamo
quindi attenderci un contributo di
7-8 TWh al 2020**

Usi termici: 1 – 3 Mtep

Energia Eolica



Energia Eolica

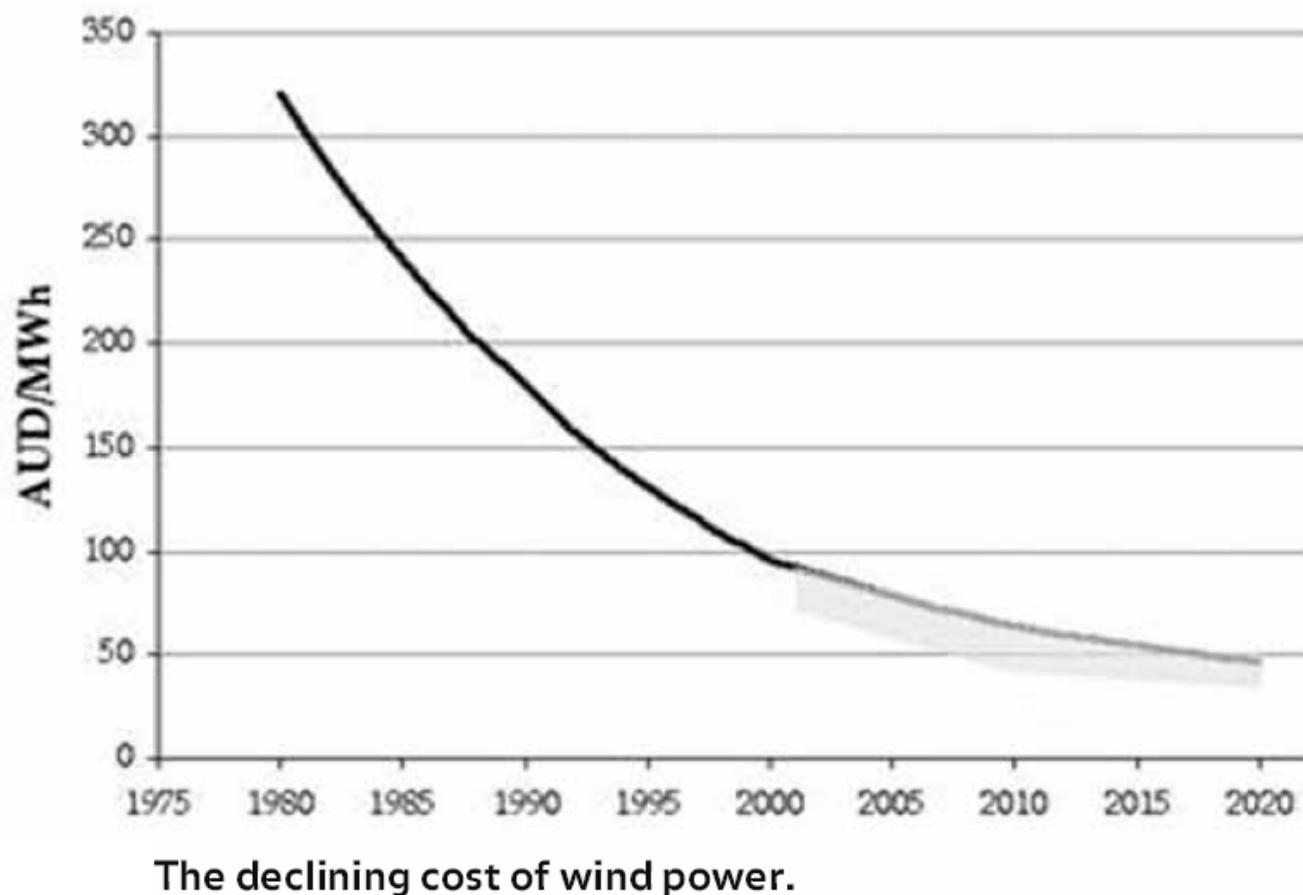
Potenza dei venti =0,5% Potenza irraggiata sulla Terra = $0,87 \times 10^{15}$ Watt

Potenza fossile = $1,39 \times 10^{13}$ Watt

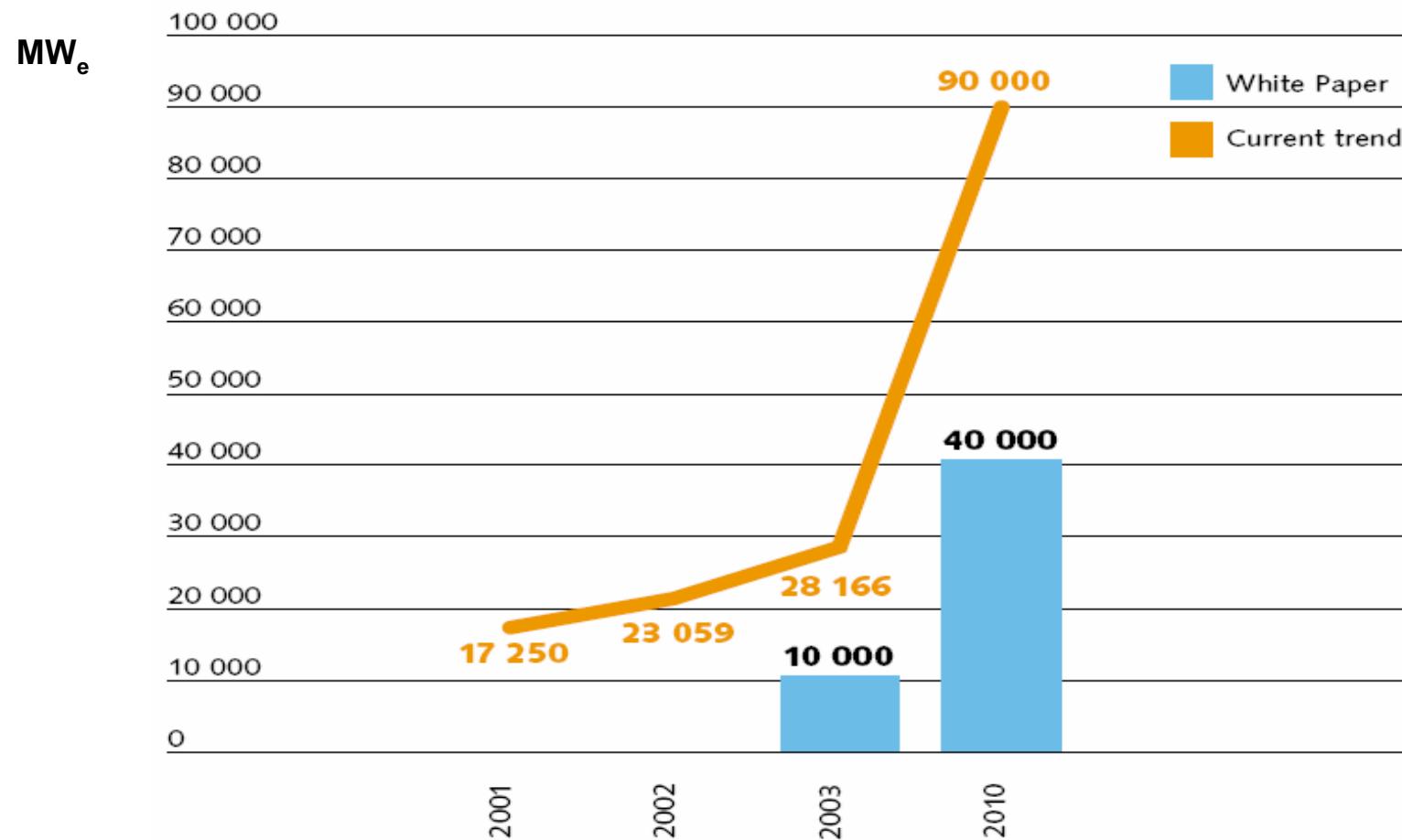
L'evoluzione degli aerogeneratori ha portato negli ultimi 30 anni, ad una riduzione del costo per kW installato dell'ordine del 75% ed ulteriori progressi sono attesi per i prossimi 10-15 anni.

Questo processo ha reso l'Energia Eolica (E.Eol) forse la più competitiva tra le nuove e ne ha favorito il forte sviluppo.

Energia Eólica



Energia Eolica



Energia Eolica

La potenza media delle turbine installate nel 2007 è risultata di 1,64 MW. Il numero di turbine istallate nel 2007 è lo stesso dal 2004 però con una significativa crescita della taglia media degli aerogeneratori.

Attualmente sono disponibili turbine con potenze variabili da pochi kW ad alcuni MW.

Le società Repower e Multibrid (D) hanno sviluppato unità da 5 MW che presentano rotori con diametri dell'ordine dei 120 m con torri d'altezza superiore ai 100 m.

Energia Eolica

I costi del kW installato variano significativamente da paese a paese e da impianto a impianto. Per l'Italia, facendo riferimento ad impianti di potenza di alcune centinaia di kW, il costo specifico può variare tra 1000 e 1500 €/kW.

Indicativamente tale cifra può essere attribuita per il 75% al costo della turbina e per il 25 % al Balance of Plant (BOP).

Energia Eolica

Il costo specifico è influenzato da vari parametri: taglia, trasporto, caratteristiche del sito, allacciamento alla rete.

Una variabilità ancora superiore si può riscontrare sul costo del kWh prodotto.

Tale costo infatti dipende fortemente dalle ore di funzionamento e dalla velocità media del vento.

Questo ultimo parametro è estremamente importante come evidenzia la seguente formula.

Energia Eolica

$$P = 0,593 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot V^3 \cdot \frac{D^2}{4}$$

Significative variazioni si riscontrano anche nelle ore equivalenti di funzionamento (kWh generati diviso la potenza nominale della turbina) come evidenzia la tabella successiva.

Energia Eolica

Paese	Stime Ore equivalenti
Canada	3000
Danimarca	2110
Finlandia	1460
Grecia	2115
Italia	1452
Olanda	1728
Nuova Zelanda	922
Portogallo	2299
Spagna	1715
Svezia	1746
Svizzera	647
Inghilterra	1430

Energia Eolica

In situazioni particolarmente favorevoli (in Irlanda ad esempio sono stati individuati siti in cui le ore di funzionamento equivalente raggiungono le 3500 ore annue) il costo dell'energia può risultare inferiore a 35 €/MWh.

In Italia le condizioni non sono certo così favorevoli ma comunque si può stimare che i costi varino tra 70 e 110 €/MWh.

Energia Eolica

I valori precedentemente indicati includono i costi di manutenzione che sono variabili nel tempo avendo un'incidenza del 1% del costo di impianto quando le installazioni sono nuove ma possono salire al 4,5 % dopo 15-20 anni di funzionamento (IEA).

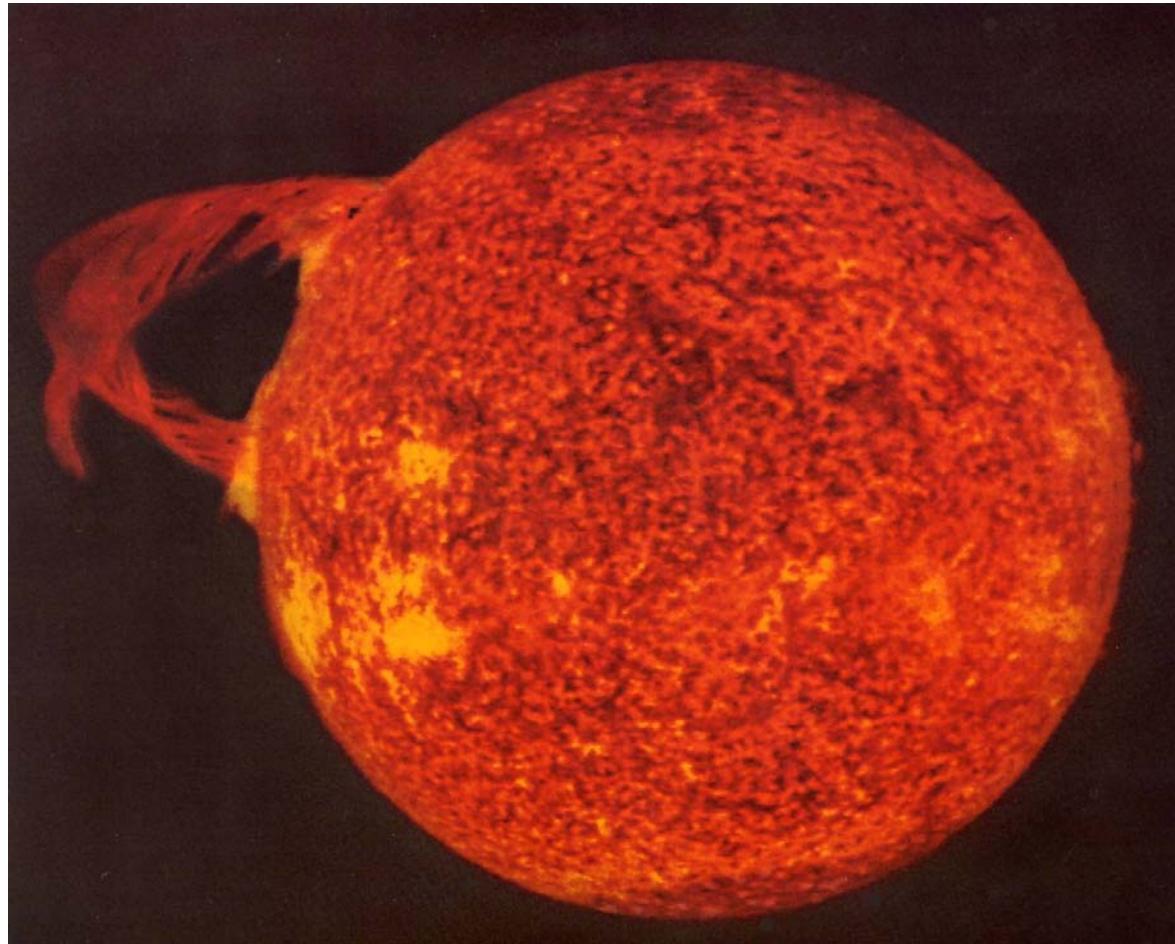
Energia Eolica

Le procedure autorizzative per l'installazione di un campo eolico possono essere piuttosto laboriose sia per quanto concerne i rapporti con le popolazioni e le autorità locali sia riguardo le autorizzazioni per l'allacciamento alla rete.

**Dall'energia eolica possiamo
attenderci un contributo di**

10-12 TWh al 2020

Energia solare



Energia solare



L'intensità delle radiazioni solari che arrivano ogni anno sulla superficie terrestre equivale a 90 mila miliardi di tonnellate di petrolio equivalente (TEP), Fuori dall'atmosfera terrestre abbiamo 1353 W/m² circa (1399 W/ m² il 21 dicembre; 1390 W/ m² il 21 giugno).

Sulla superficie terrestre si arriva a misurare 1000-1150 W/m² al variare delle condizioni meteo e del sito (radiazione globale= diretta + diffusa + riflessa).

Energia solare

Il Sole:

Diametro= $1,39 \times 10^9$ m; massa = 2×10^{30} kg

Distanza dalla Terra= $1,50 \times 10^{11}$ m

Temperatura superficiale media= 5762 K

Temperatura interna stimabile in 40×10^6 K

Potenza emessa= $3,8 \times 10^{26}$ Watt

Potenza irraggiata sulla Terra= $1,7 \times 10^{17}$ Watt

Potenza fossile = $1,39 \times 10^{13}$ Watt

Energia annua trasmessa alla Terra= 1500 milioni TWh

Energia solare

Tenendo conto del passaggio giorno notte e delle variazioni climatiche la potenza media che raggiunge il suolo italiano è di circa 137 W/m².

L'energia annua incidente sul nostro territorio è quindi pari a 42 miliardi Tep.

Indicativamente il consumo energetico italiano è di 200 milioni di Tep.

Energia solare

Le potenzialità dell'energia solare sono quindi molto alte (ma non illimitate).

Le barriere alla sua applicazione sono esclusivamente di natura economica.

Come quasi tutte le Risorse Energetiche Rinnovabili (RER), l'energia solare è una energia molto diluita e questo fattore è già una causa di costi elevati.

A ciò si aggiungono problemi tipici dell'attuale tecnologia FV.

Energia solare

La radiazione solare può essere sfruttata con metodologie tra loro molto diverse anche in base all'obiettivo desiderato.

Le tecnologie di utilizzo dell'energia solare si possono sinteticamente suddividere in 3 famiglie:

- Solare termico
- Solare fotovoltaico
- Solare termodinamico

Solare Termico

Convenzionalmente definiamo Solare Termico la conversione dell'energia solare in calore a bassa temperatura ($60 \div 100 ^\circ\text{C}$), ottenuta riscaldando un liquido che fluisce in piccoli tubi alloggiati in pannelli solari.

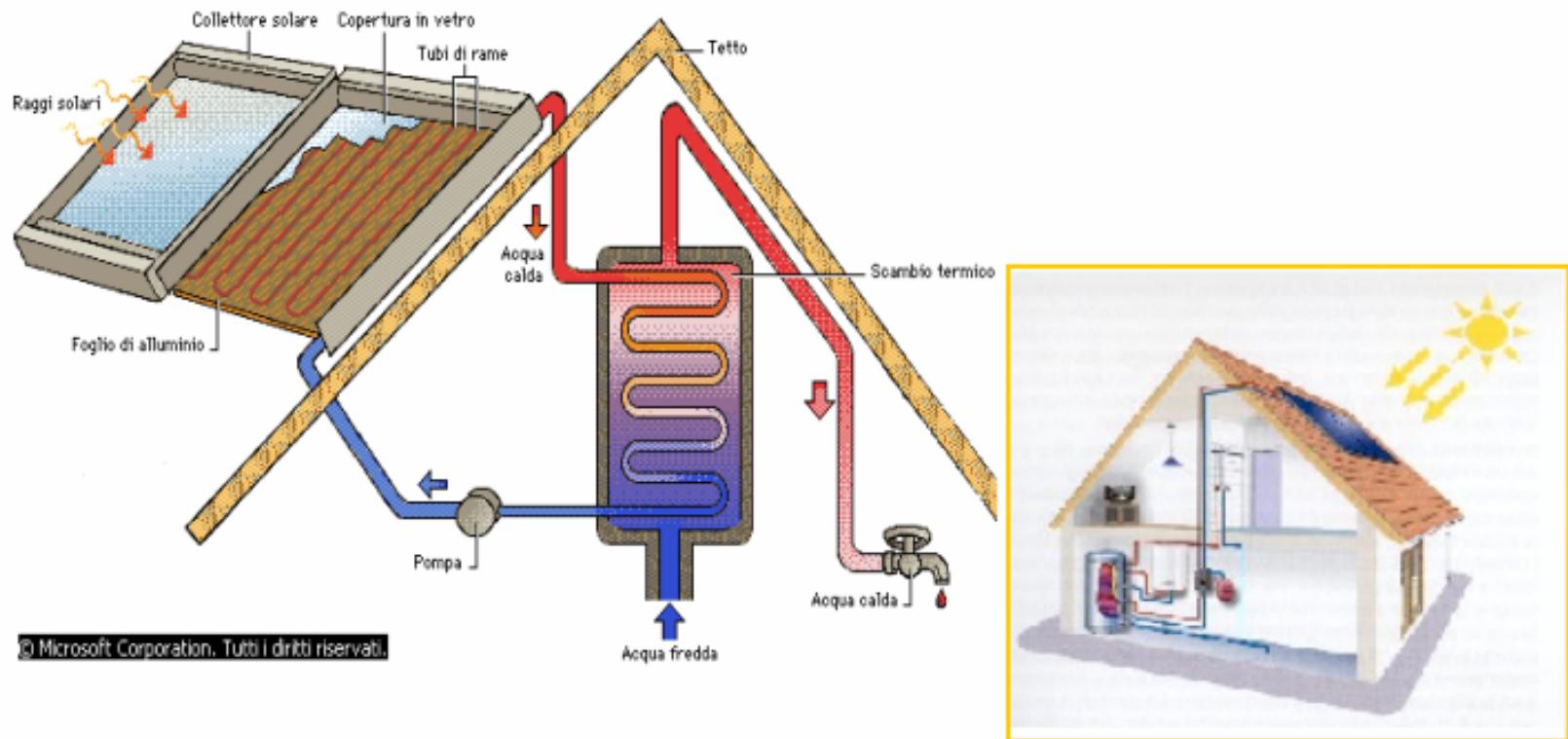
Probabilmente si tratta dell'unica tecnologia di sfruttamento dell'energia solare consolidata ed economicamente conveniente anche in assenza di particolari forme di incentivo; attualmente sono riconosciute parziali detrazioni fiscali. Un sviluppo del mercato potrebbe contribuire ad una riduzione dei costi.

Solare Termico

Questa tecnica può essere utilizzata per produrre acqua calda ad uso sanitario.

Purtroppo non risulta di facile applicazione per usi di riscaldamento civile, il che garantirebbe risparmi energetici molto significativi, per i problemi connessi all'accumulo dell'energia termica che andrebbe raccolta quando disponibile (soprattutto giornate estive) ed utilizzata quando utile (in particolare in giornate invernali).

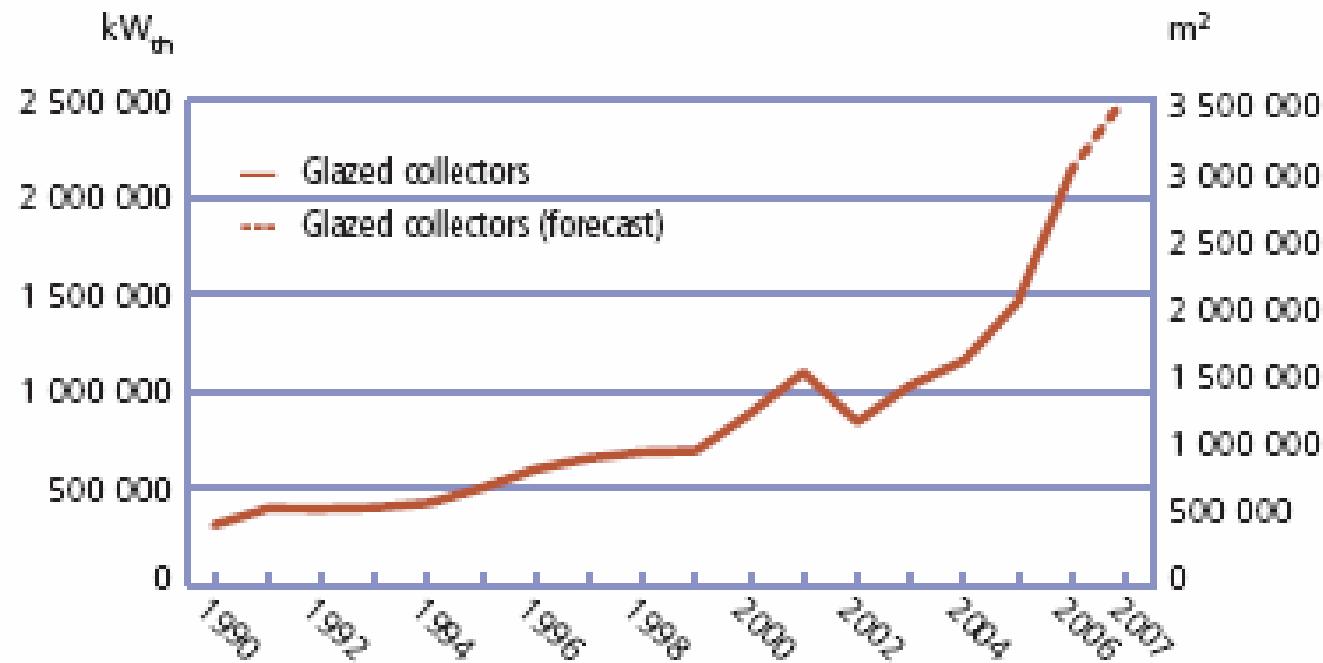
Solare Termico



© Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.

Solare termico

Solar Thermal Market in EU27+CH



Fonte: ESTIF

Solare Fotovoltaico



Stade de Suisse, 850 kWp, Switzerland, pic courtesy BKW/FMB

Solare Fotovoltaico

L'effetto fotoelettrico, su cui si basa la tecnologia FV, fu scoperto da Einstein circa 100 anni fa (nobel nel 1921) e la prima cella fu realizzata nel 1959.

Solare Fotovoltaico

Nel contesto Italiano si può valutare che per gli impianti connessi in rete i costi specifici siano compresi tra 6000 e 8000 €/kW.

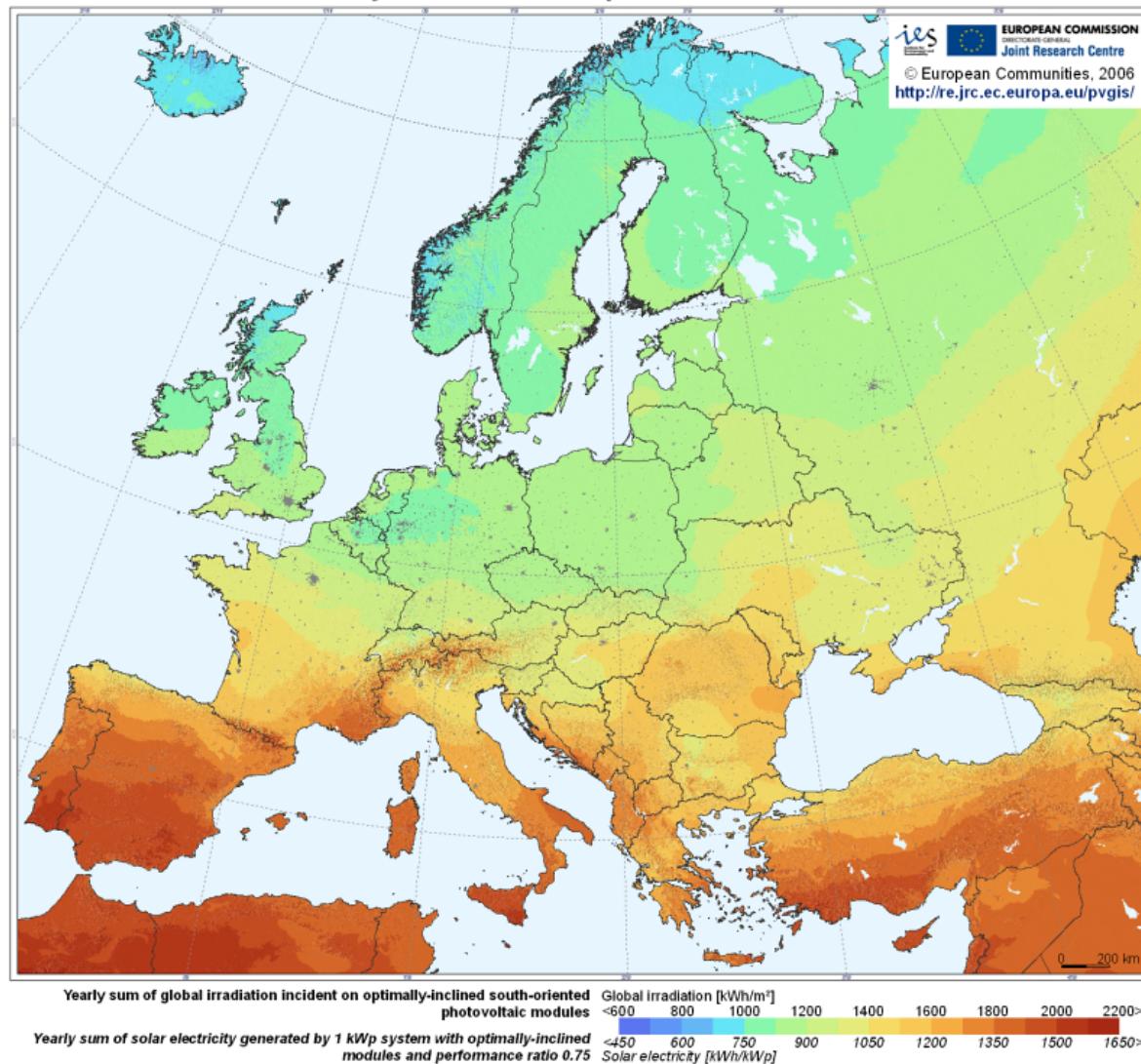
Costo dell'energia prodotta:

400 – 550 €/MWh

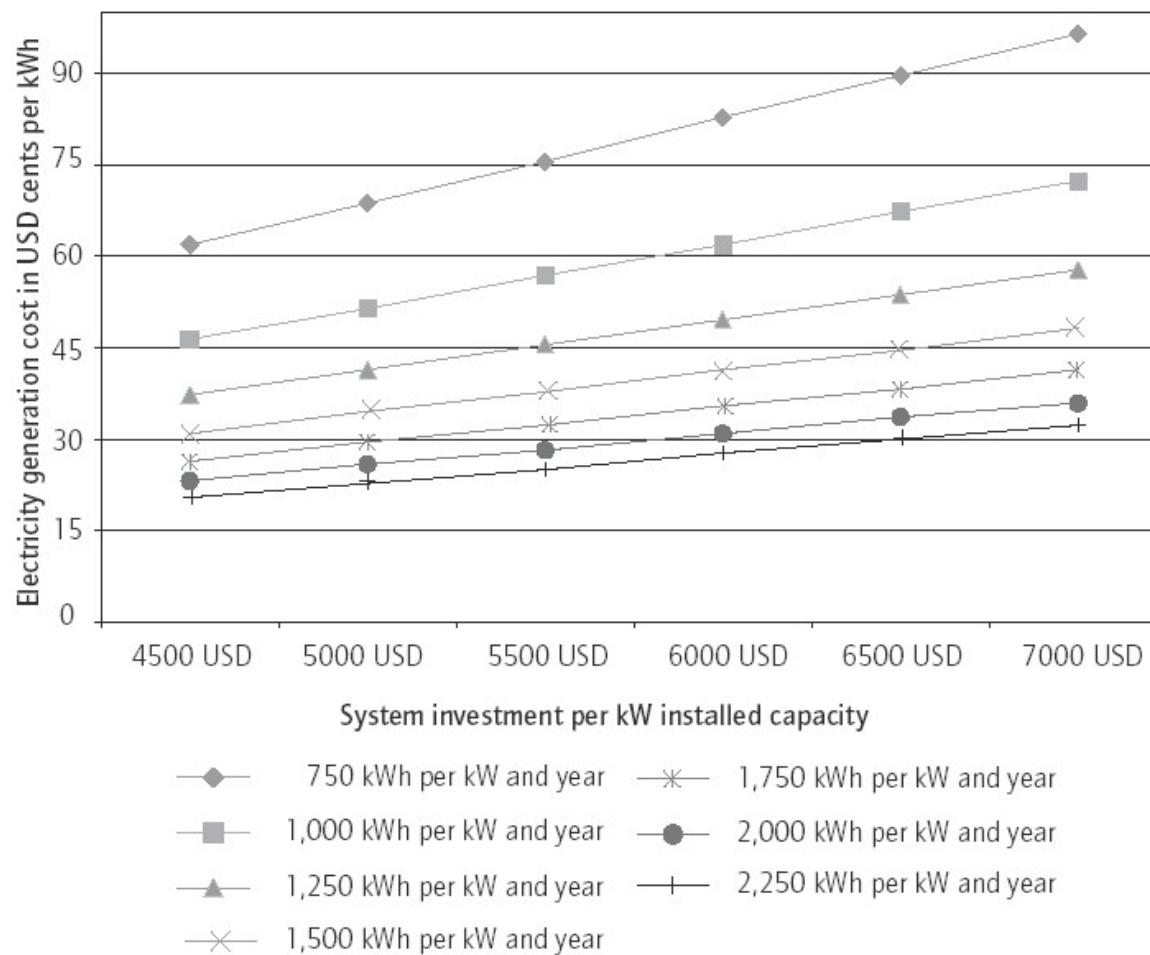
Il costo di impianti autonomi (stand alone) che possono operare anche scollegati dalla rete è di 12000-14000 €/kW.

Mappa irraggiamento

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Approximated Generation Costs for Solar Photovoltaics



Note: Based on system investment and annual electrical output, O&M costs are assumed to be 2% of system investment. Amortisation period is 15 years, and discount rate is 6%.

Source: NET Ltd., Switzerland.

Fonte: IEA, “Renewables for power generation”, 2003

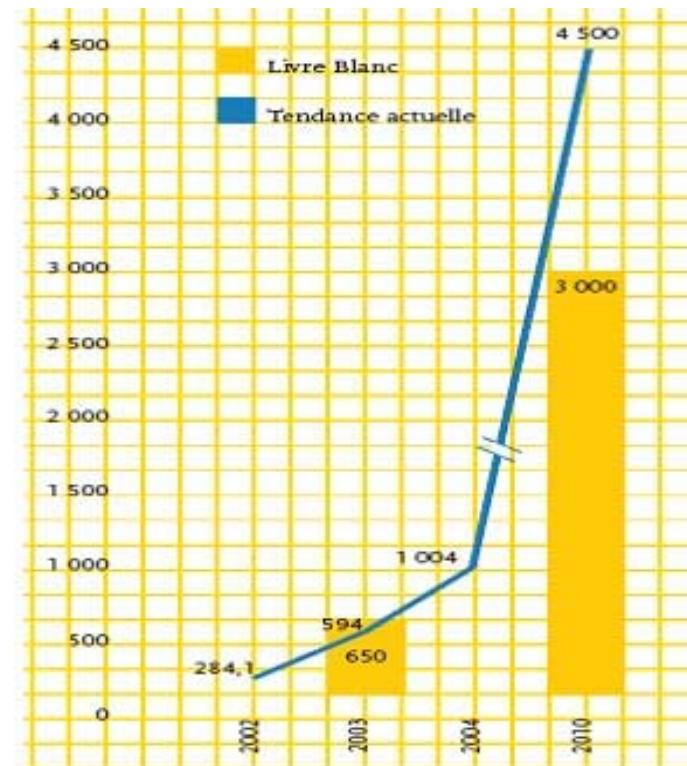
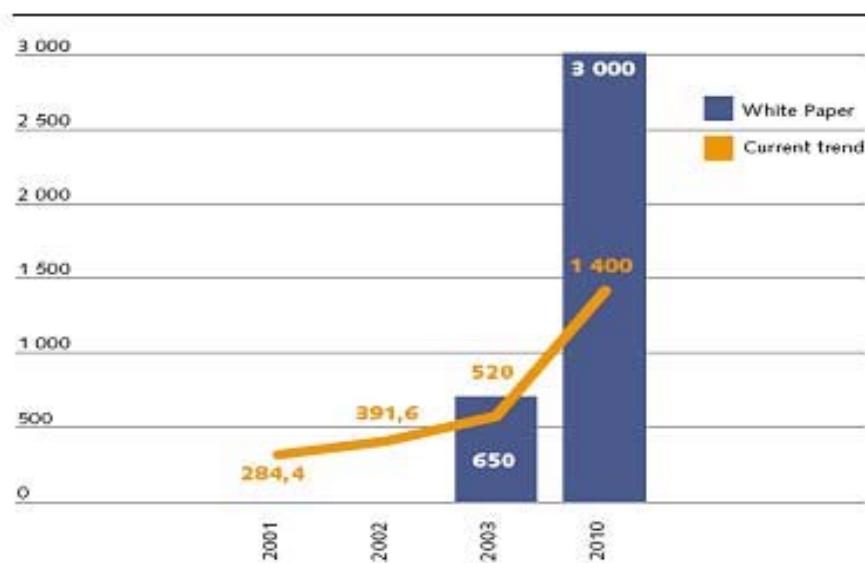
Solare Fotovoltaico

L'elevato costo di investimento ha frenato, negli scorsi anni, lo sviluppo del FV mantenendolo al di sotto degli obiettivi della UE.

L'introduzione di incentivi speciali, prima in Germania e successivamente in vari altri paesi europei tra cui Italia con il citato Conto Energia, hanno stimolato il mercato e le attuali produzioni superano le previsioni del libro bianco della UE.

Solare Fotovoltaico

Fotovoltaico in UE-15 (in MWp): attuale tendenza vs libro bianco.



Solare Fotovoltaico

Anche in Italia nel 2005 è stato emanato un decreto “Conto Energia” per sostenere con tariffe incentivanti la costruzione di nuovi impianti.

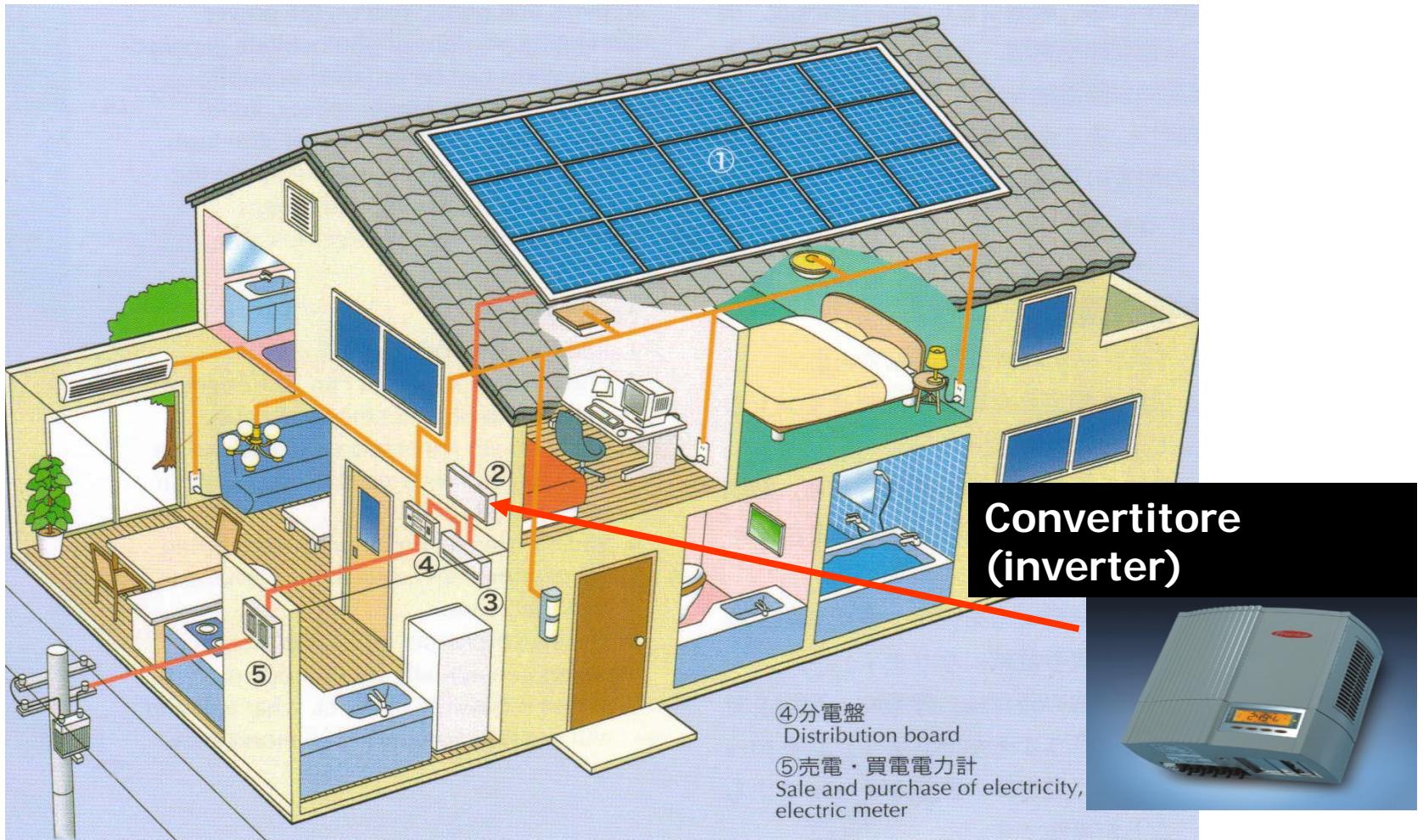
Solare Fotovoltaico

Tariffe previste dal “Conto Energia”

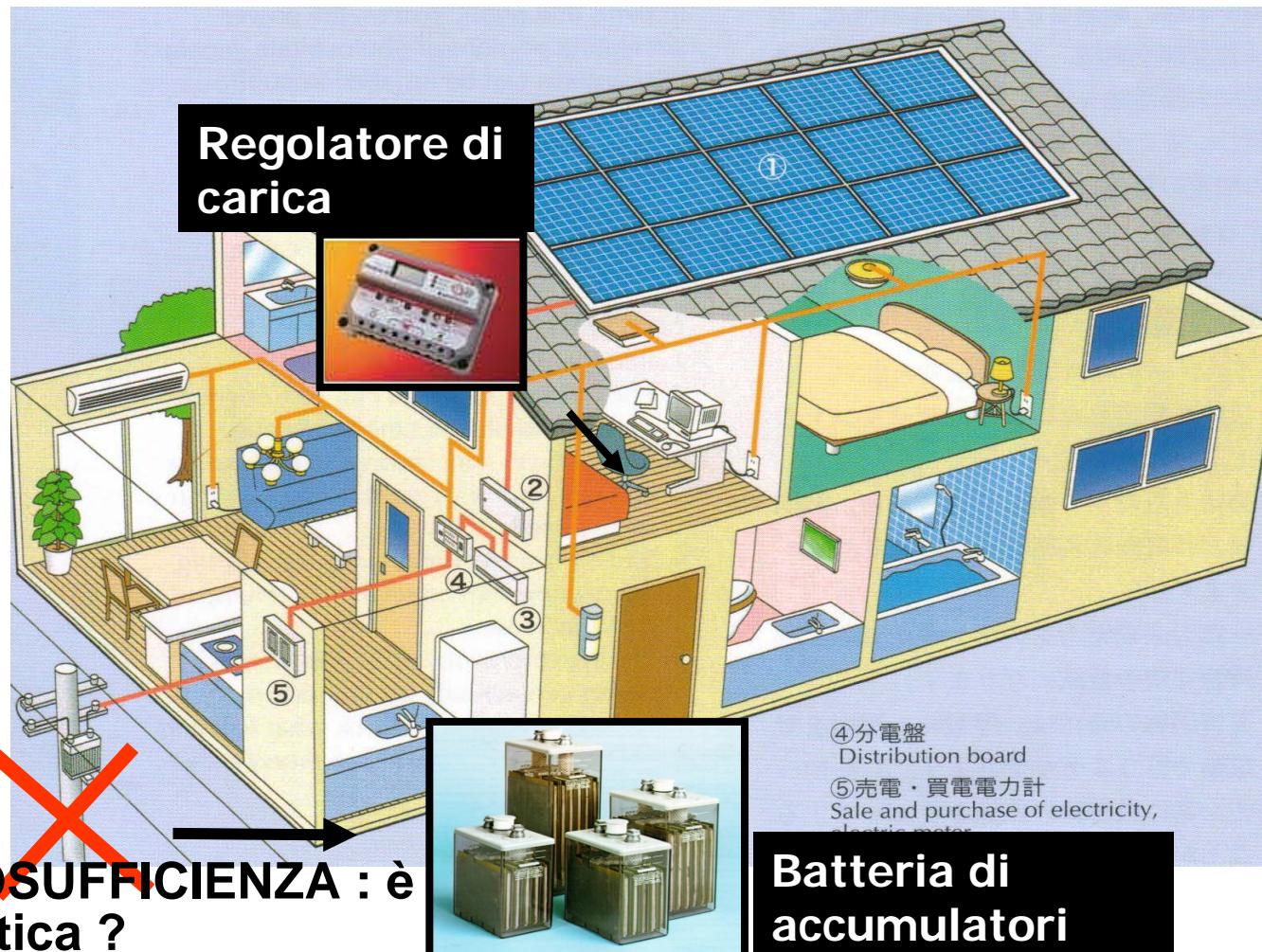
DM 19 Febbraio 2007

Potenza P (kW)	Tipo di Impianto		
	<i>Non integrato</i>	<i>Parzialmente integrato</i>	<i>Integrato</i>
1 ≤ P ≤ 3	0,4	0,44	0,49
3 < P ≤ 20	0,38	0,42	0,46
P > 20	0,36	0,4	0,44
	Valori in euro/kWh prodotto dall'impianto fotovoltaico		

Com'è fatto un TETTO FOTOVOLTAICO ?



Com'è fatto un impianto ISOLATO dalla rete?



Esempi di Impianti integrati



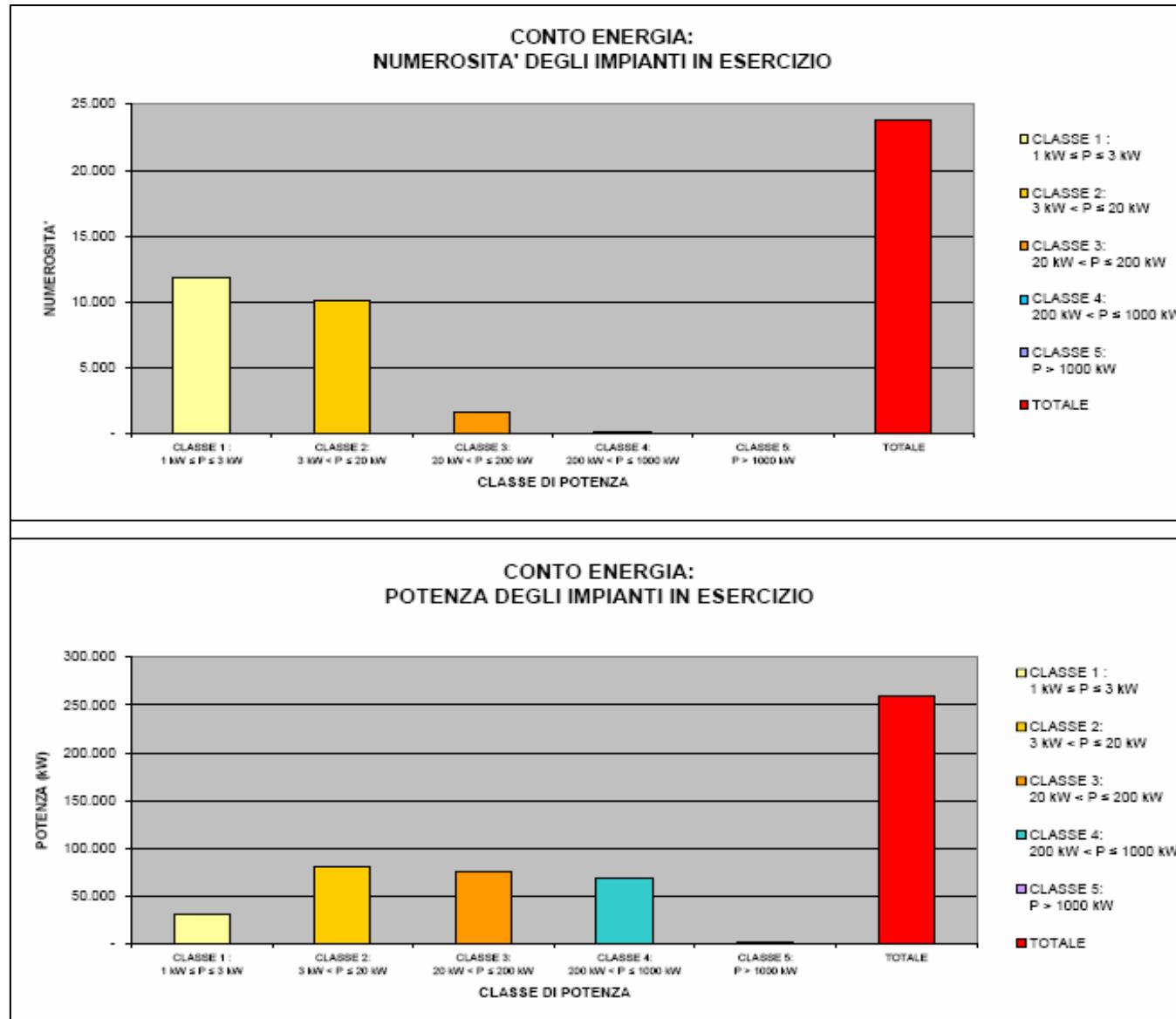
Esempi di Impianti parzialmente integrati



Esempi di Impianti non integrati



Solare Fotovoltaico



Fonte GSE Dicembre 2008

Solare Fotovoltaico

Si può stimare che nel 2008 l'onere per il sostegno al FV sia stato di poco inferiore a 100 M€ ma se per assurdo il nostro sistema elettrico fosse interamente basato sul FV il costo dell'energia elettrica sarebbe di circa 140 G€ e quindi pari al 10% del PIL.

L'effetto di scala potrà avere effetti benefici sul costo del kW FV al silicio cristallino? La risposta più probabile è NO!

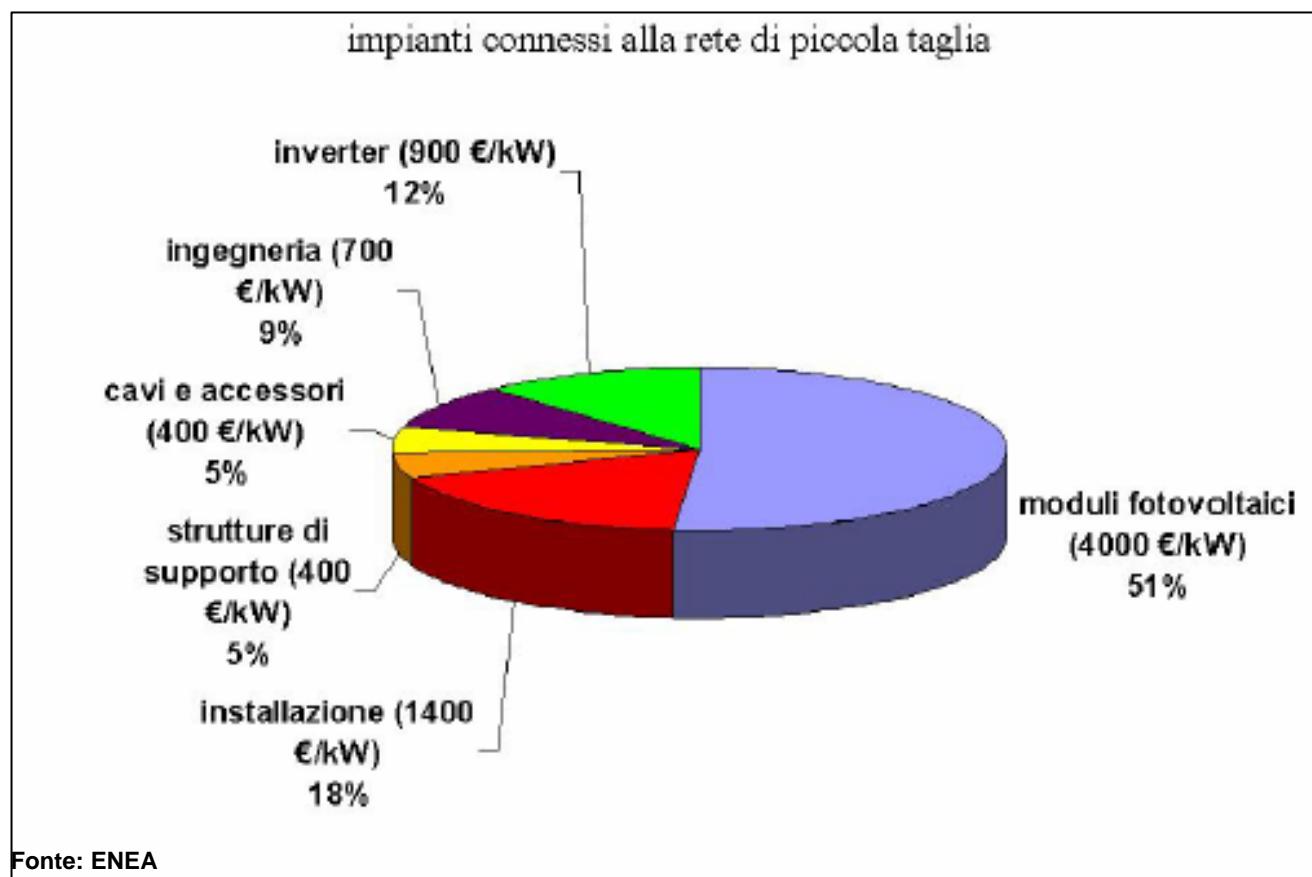
Solare Fotovoltaico

Le celle solari al silicio si basano infatti su una tecnologia consolidata ma complessa ed intrinsecamente costosa sulla quale gli effetti di scala potranno incidere poco.

L'esame degli andamenti dei prezzi nel tempo e l'analisi della Tecnologia FV fanno ritenere che le possibili riduzioni saranno largamente insufficienti per rendere il FV competitivo con le altre FER.

Solare Fotovoltaico

Distribuzione dei costi



Solare Fotovoltaico

Prezzi chiave in mano delle applicazioni tipiche in Italia

Category/Size	Typical applications and brief details	Current prices per W (to one decimal point)
OFF-GRID Up to 1 kW	Street lighting	10 - 14
OFF-GRID >1 kW		
GRID-CONNECTED Specific case	1-3 kW roof-mounted system	6,0 – 7,0
GRID-CONNECTED (distributed) Up to 10 kW		
GRID-CONNECTED (distributed) >10 kW		
GRID – CONNECTED (centralized, if relevant)	250 kW – 1 MW	5,0 – 6,0

Fonte Cesi Ricerca - ENEA

Solare Fotovoltaico

Tendenza dei prezzi del piccolo sistema tetto fotovoltaico (1-3 kW) in Italia

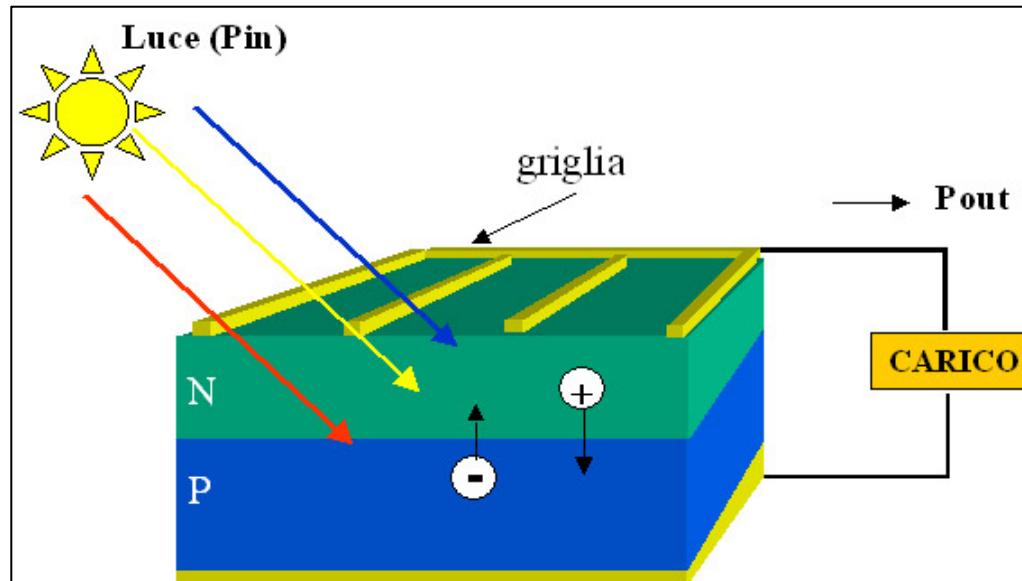
YEAR	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Price €/Wp	9,3	8,8	7,75	7,4	7,5	7,3	6,8	7,0	6,4	6,5

Fonte Cesi Ricerca - ENEA

Solare Fotovoltaico

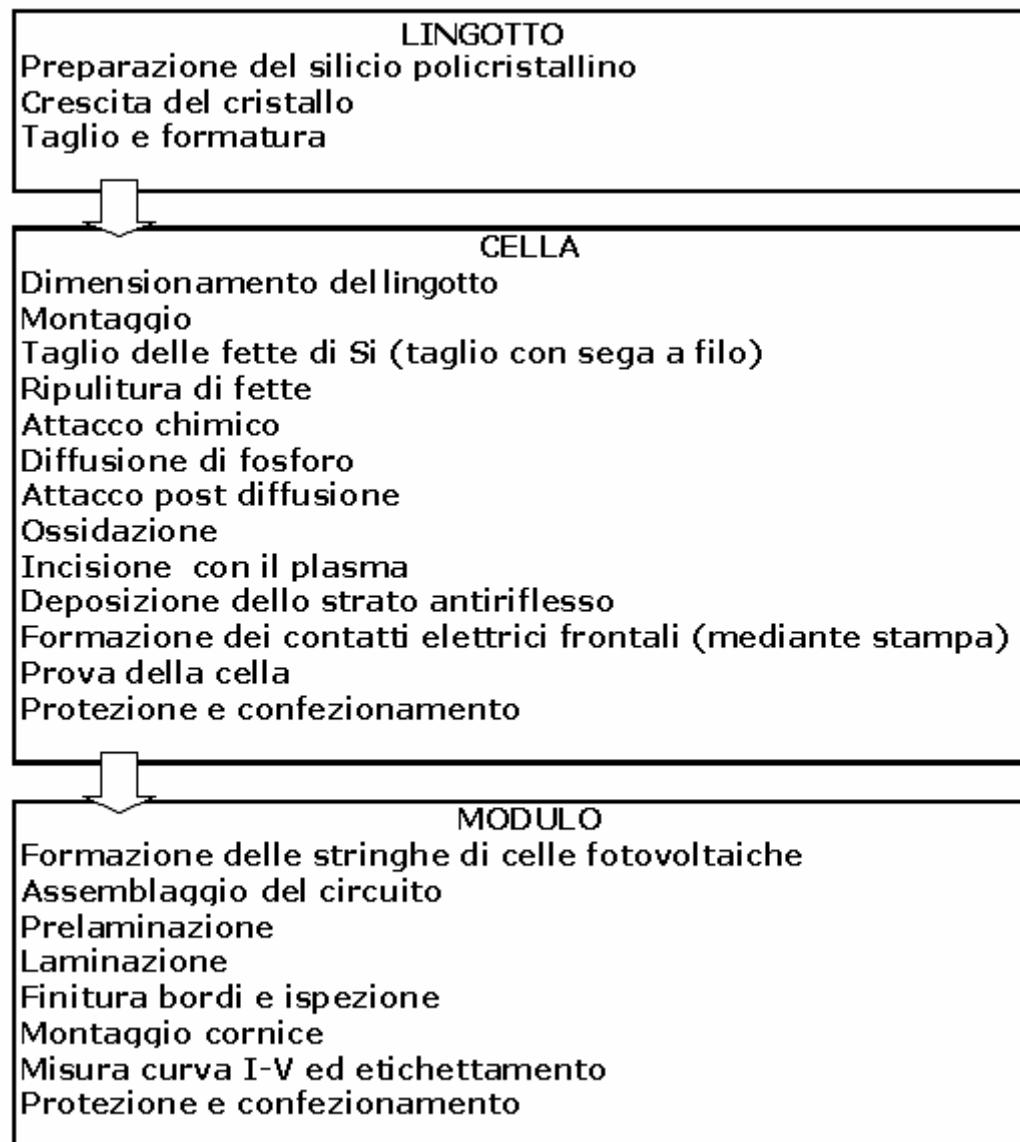
Se il FV rimarrà legato alla tecnologia del silicio (Si) mono o poli cristallino che attualmente copre più dell'85% delle installazioni, sarà impossibile che diventi una fonte anche solo minimamente competitiva salvo per nicchie di mercato. La presenza di incentivi rilevanti rimarrà quindi indispensabile.

La cella solare



La cella solare è un dispositivo che si basa sulla capacità di alcuni materiali semiconduttori, opportunamente trattati, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua senza bisogno di parti meccaniche in movimento. L'energia solare incidente (P_{in}) è convertita in energia elettrica utilizzabile (P_{out}). L'efficienza di conversione è definita dalla relazione: Efficienza = P_{out}/P_{in}

Preparazione modulo fotovoltaico



Solare Fotovoltaico

Trattandosi di una catena tecnologica molto lunga non è sufficiente ridurre solo i costi di alcuni anelli ma sarebbe necessario ottenere miglioramenti sulla maggior parte dei passaggi.

Tale ipotesi pare improbabile.

Solare Fotovoltaico

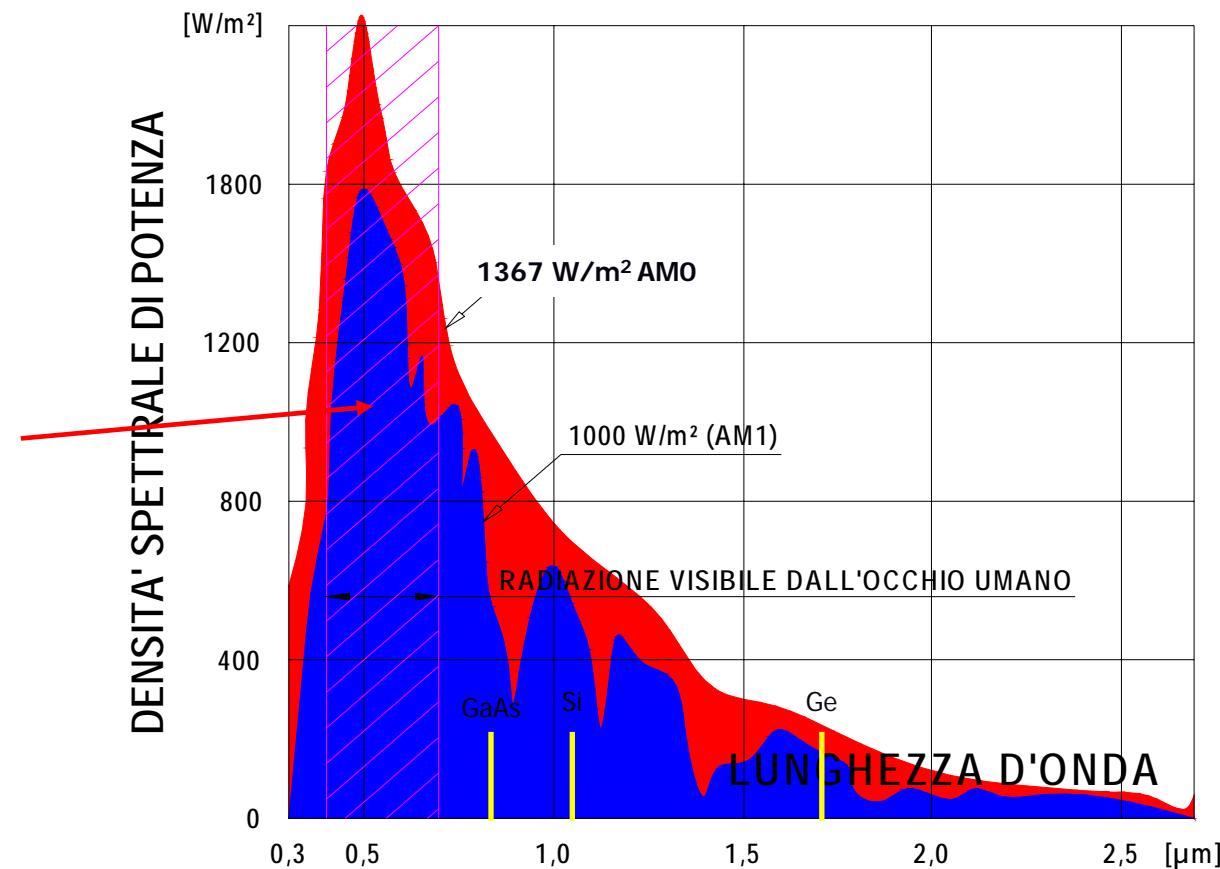
Anche la speranza di aumentare la competitività del FV al silicio aumentando il rendimento delle celle non ha particolari probabilità di successo.

All'aumento di rendimento dovuto ad un miglior sfruttamento dello spettro solare corrisponde infatti un più accentuato aumento dei costi, data la complessità del processo produttivo.

Fotovoltaico

Spettro solare al suolo

Visible
region



Fotovoltaico a Concentrazione

Prestazioni Celle Multi-Giunzioni

Q_j Current density about 2/3 that of Triple Junction

$$\text{Resistive losses} = I^2R = (2/3)^2 = 4/9$$

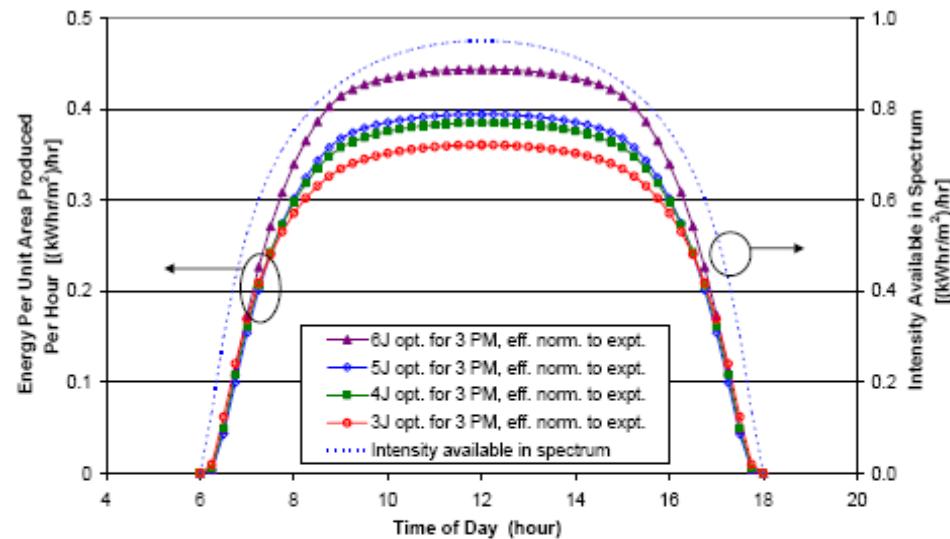
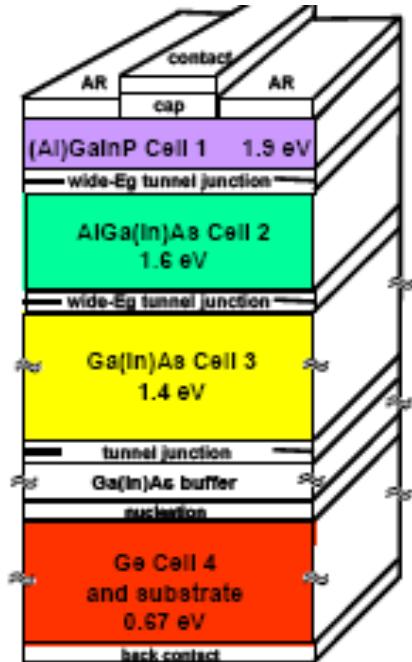
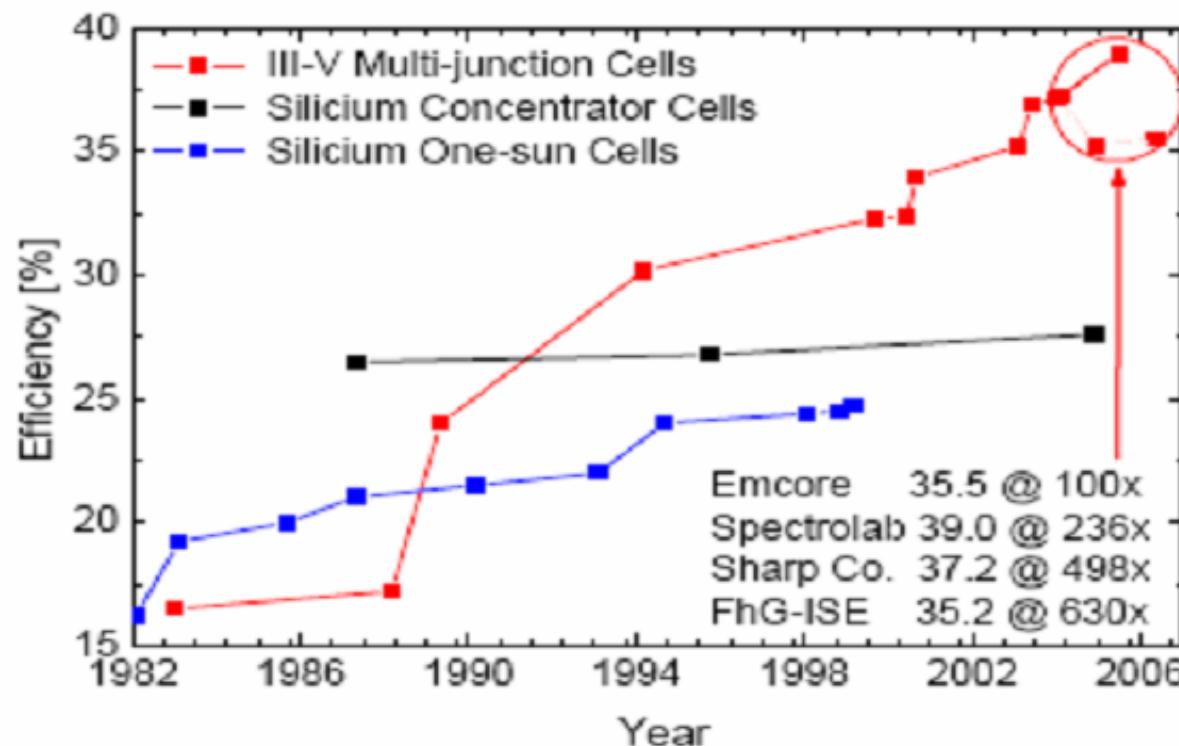


Figure 7. Energy production of multijunction cells with 3 to 6 junctions, with cell efficiency normalized to correspond to experimental values. Due largely to reduced series resistance losses, the energy production increases with each additional junction.

AM Spectrum variation are less important than resistive losses

Fotovoltaico



Efficienze dei tipi selezionati di celle solari (industria e laboratori). I valori in basso a destra sono organizzati secondo la concentrazione ottica.

Fotovoltaico

Sarebbe probabilmente più opportuno, invece di incentivare tecnologie con scarse prospettive, investire sullo sviluppo di nuovi materiali fotovoltaici con grandi programmi di ricerca nazionale, i cui risultati non sarebbero certi ma in caso di successo molto più utili della ripetizione di realizzazioni che oramai non aggiungono nulla alle conoscenze nel settore ed incrementano la importazione.

Fotovoltaico

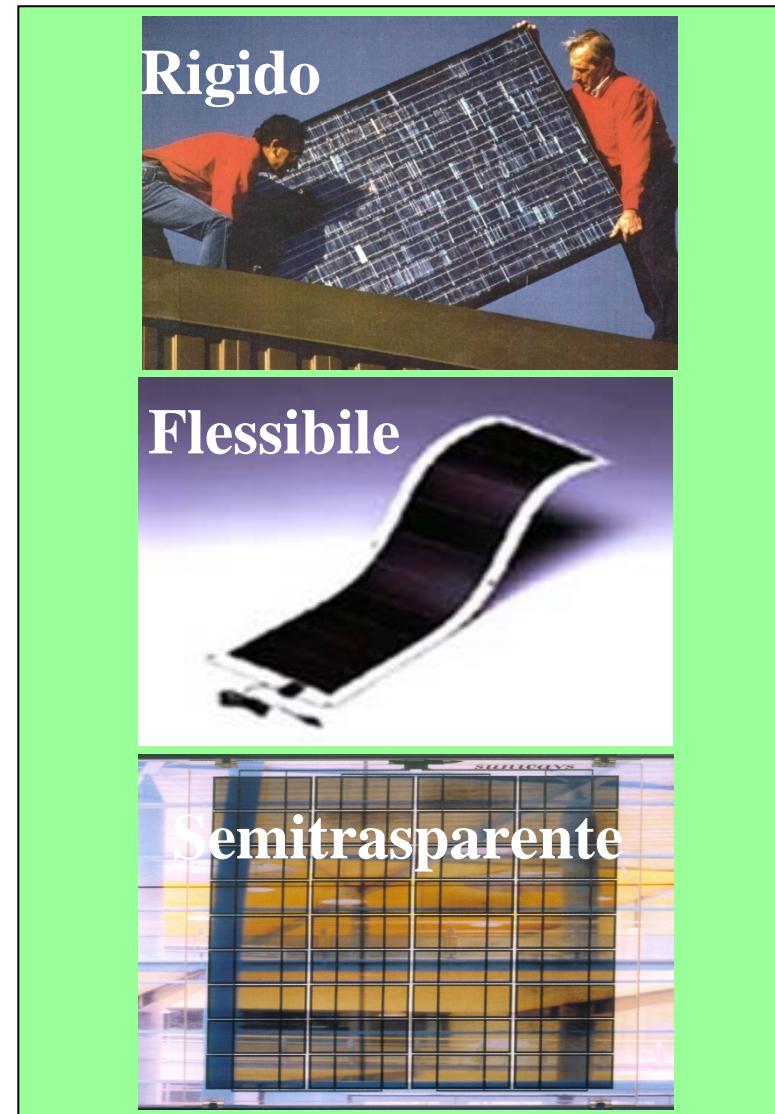
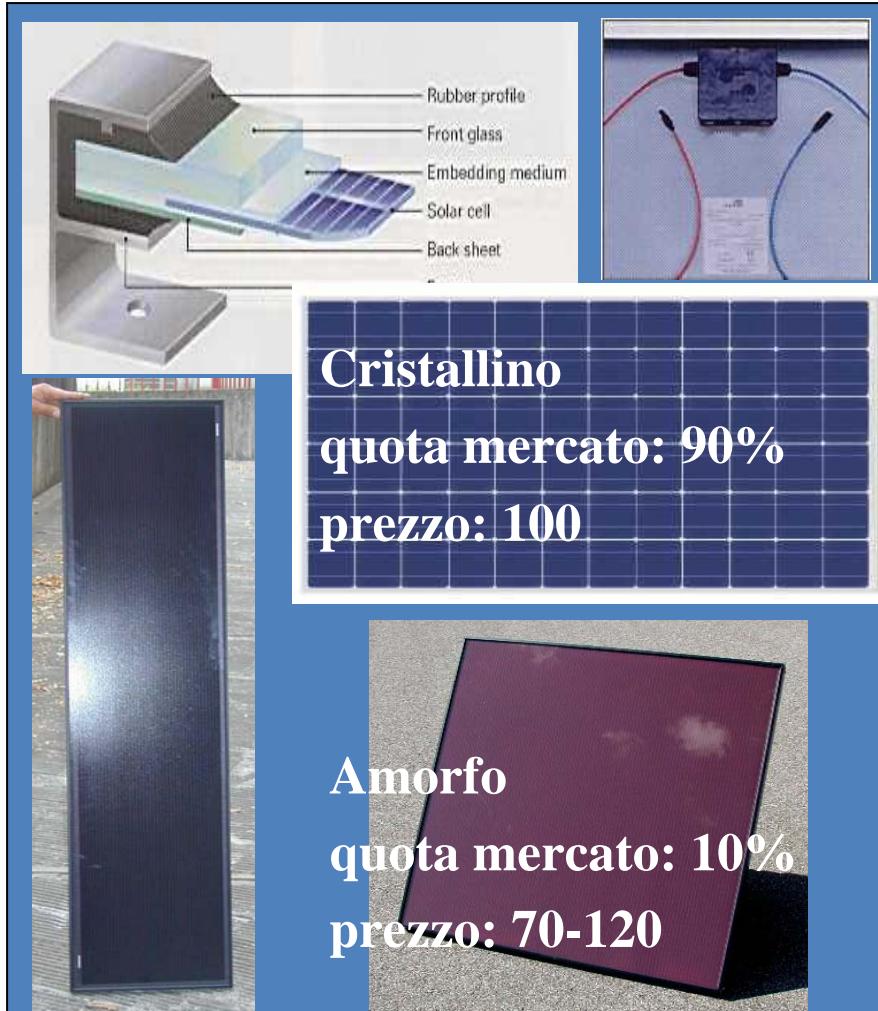
Pur tenendo sempre presente per i piccoli impianti la rilevante incidenza dei costi di sistema, che difficilmente potranno essere ridotti più di un fattore 2, esistono varie ipotesi tecnologiche per ridurre significativamente i costi dei pannelli: varie tipologie di celle a film sottile, celle con nano-materiali, celle organiche e sistemi a concentrazione.

Fotovoltaico

Con i film sottili si punta a ridurre i costi sviluppando processi automatizzabili ad elevata produttività riducendo la quantità di materiale semiconduttore utilizzato dato il piccolissimo spessore dello strato attivo.

Anche nei sistemi a concentrazione si riduce fortemente l'impiego di materiale pregiato sostituendolo con lenti o con specchi.

Dalla cella al modulo



Fotovoltaico

CPV companies



CPV companies: Amonix(1), Solar System (2), Daido Steel (3), Isofoton (4), Solfocus (5) Concentrix Solar (6), Pyron Solar (7), Sharp, SolarTech, and Sol3g (8)

Solare Termodinamico

Le tecnologie di concentrazione della luce solare consentono di raggiungere temperature elevate ed è quindi possibile realizzare anche impianti di generazione operanti secondo cicli termodinamici.

Le numerose soluzioni impiantistiche proposte, tutte basate su sistemi a concentrazione, mirano a generare calore ad alta temperatura da utilizzare in cicli termodinamici per la produzione di energia elettrica.

Solare termodinamico

Si tratta di una tecnologia ancora in fase di ricerca. Anche se sono già stati realizzati numerosi prototipi non risultano impianti operanti commercialmente o prodotti offerti sul mercato.

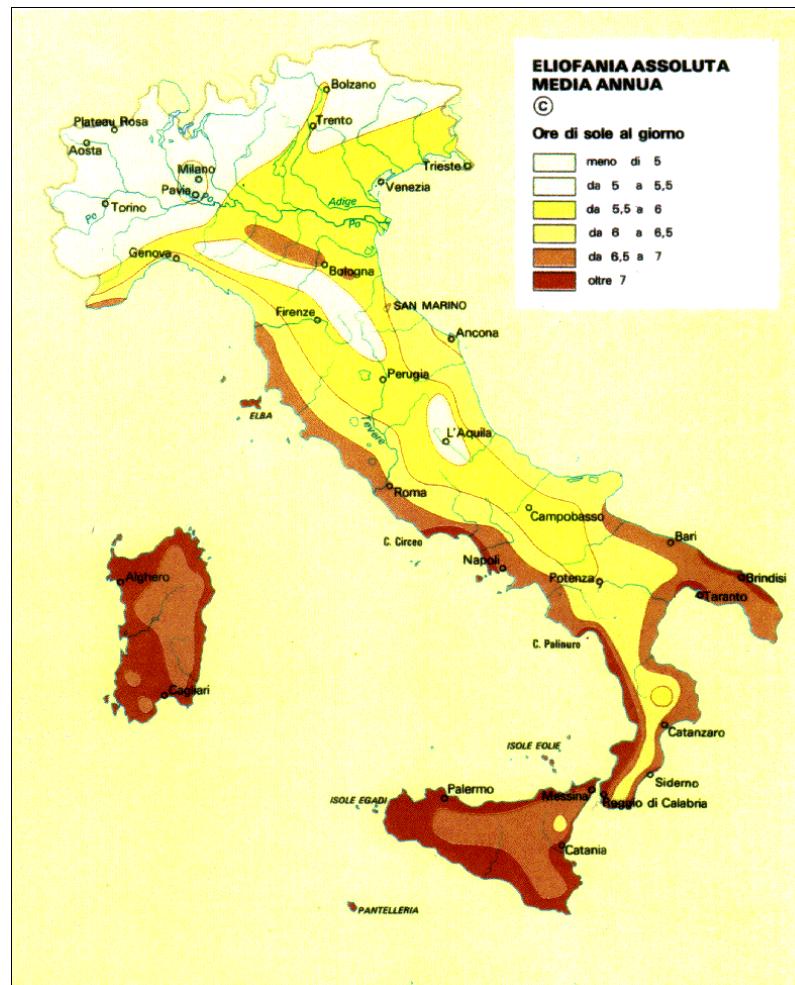
Gli impianti in esercizio o di prossima sperimentazione costituiranno comunque il banco di prova per future decisioni sugli investimenti nel settore. I principali progetti attualmente in fase di realizzazione utilizzano la tecnologia dei paraboloidi lineari e, in misura minore, quella a torre centrale

Solare termodinamico

A differenza dei pannelli FV piani che sfruttano l'irraggiamento globale (radiazione diretta+diffusa) i sistemi a concentrazione utilizzano solo la componente diretta ed il solare termodinamico è operativo solo a livelli di radiazione superiori a 300-400 W/m². Queste caratteristiche riducono fortemente le aree idonee all'istallazione di questo tipo di impianti.

Mappa di eliofania assoluta media annua

(Fonte: Atlante Tematico d'Italia TCI – CNR ed.1989)



Solare Termodinamico

Le tecnologie di concentrazione della luce solare consentono di raggiungere temperature elevate ed è quindi possibile realizzare anche impianti di generazione operanti secondo cicli termodinamici.

Le numerose soluzioni impiantistiche proposte, tutte basate su sistemi a concentrazione, mirano a generare calore ad alta temperatura da utilizzare in cicli termodinamici per la produzione di energia elettrica.

Solare termodinamico

Si tratta di una tecnologia ancora in fase di ricerca. Anche se sono già stati realizzati numerosi prototipi non risultano impianti operanti commercialmente o prodotti offerti sul mercato.

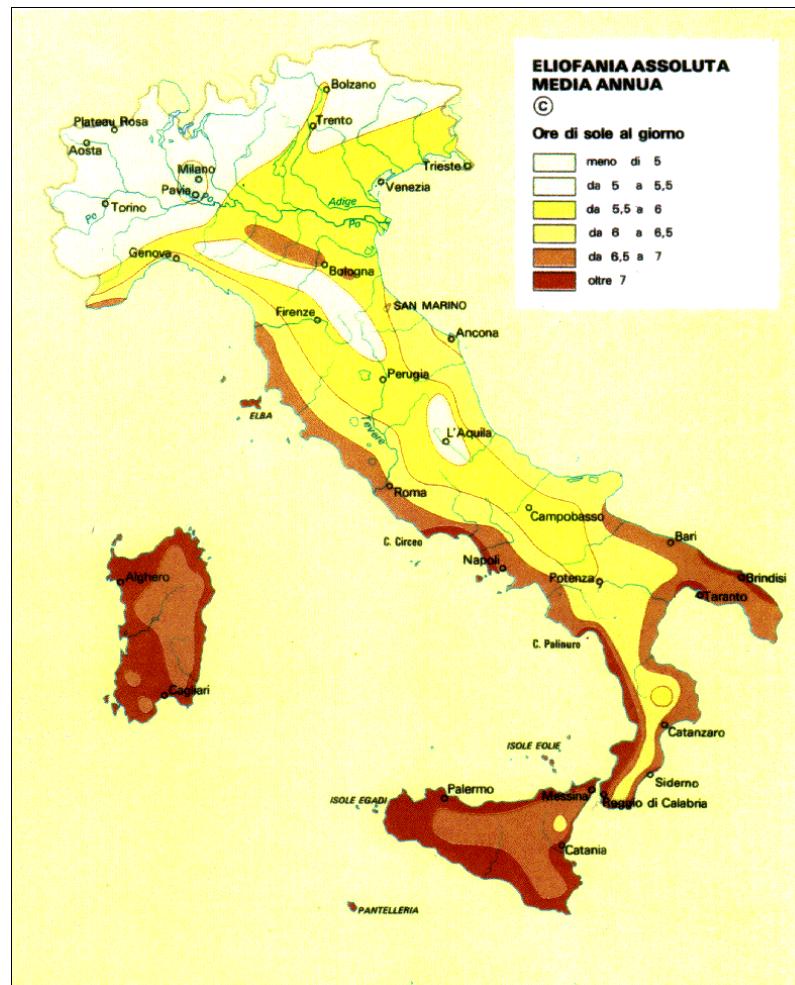
Gli impianti in esercizio o di prossima sperimentazione costituiranno comunque il banco di prova per future decisioni sugli investimenti nel settore. I principali progetti attualmente in fase di realizzazione utilizzano la tecnologia dei paraboloidi lineari e, in misura minore, quella a torre centrale

Solare termodinamico

A differenza dei pannelli FV piani che sfruttano l'irraggiamento globale (radiazione diretta+diffusa) i sistemi a concentrazione utilizzano solo la componente diretta ed il solare termodinamico è operativa solo a livelli di radiazione superiori a 300-400 W/m². Queste caratteristiche riducono fortemente le aree idonee all'istallazione di questo tipo di impianti.

Mappa di eliofania assoluta media annua

(Fonte: Atlante Tematico d'Italia TCI – CNR ed.1989)



Solare termodinamico

Componenti principali

- ✓ Sistemi di concentrazione della radiazione solare (specchi).
- ✓ Elemento ricevitore investito dalla radiazione solare concentrata. Fluido termovettore (asportazione del calore).
- ✓ Generatore di corrente elettrica (tipicamente da ciclo termodinamico a vapore).

Solare termodinamico

Collettori parabolici lineari

California



Solare termodinamico

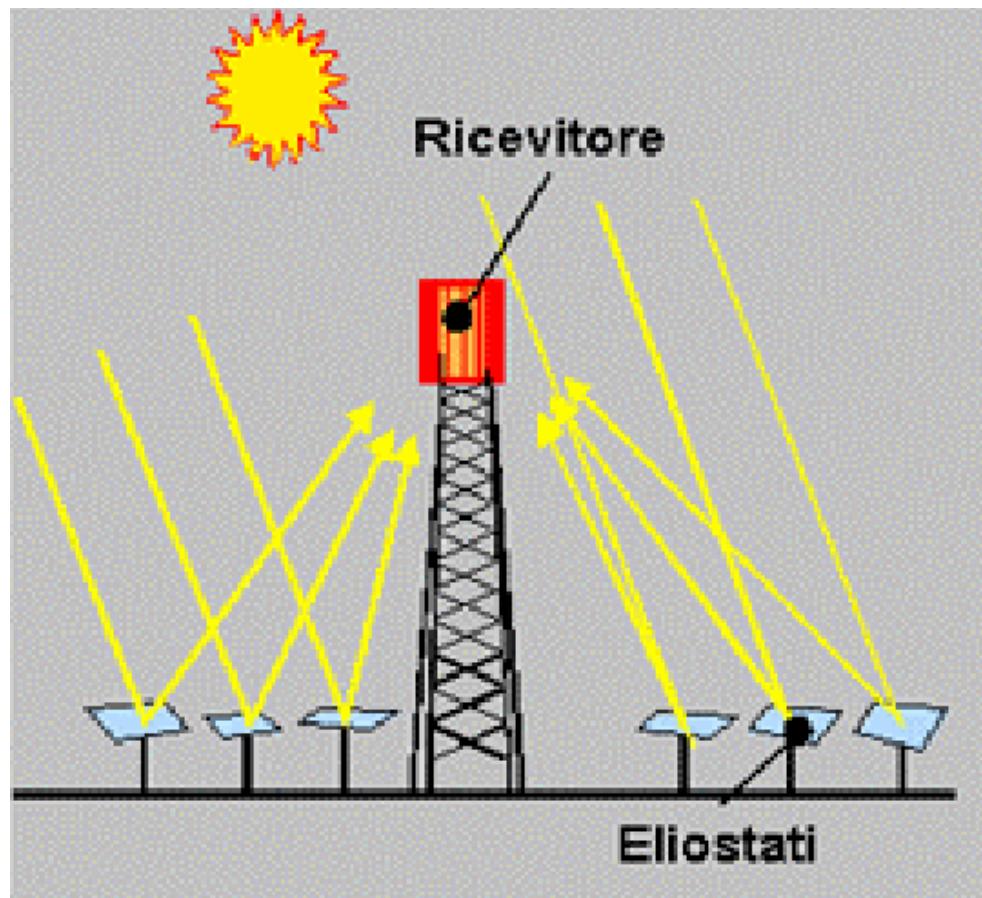
Collettori parabolici lineari

California



Solare termodinamico

Sistemi a torre



Solare termodinamico



Torre



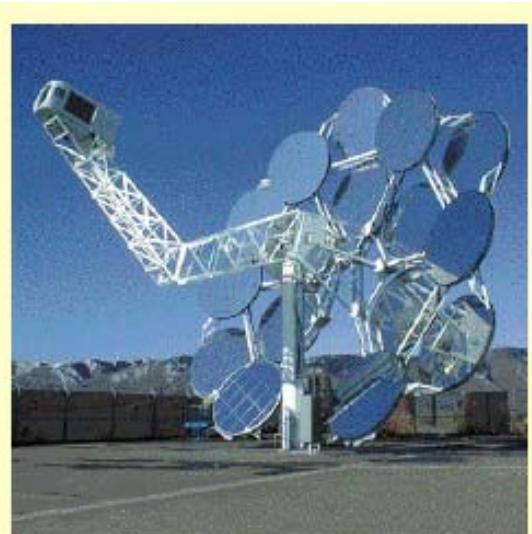
Gli eliotasti

Solare termodinamico

Sistemi a concentrazione puntiformi



Eurodish – CESI RICERCA



Modello a specchi piani



Modello a specchio parabolico

Solare termodinamico

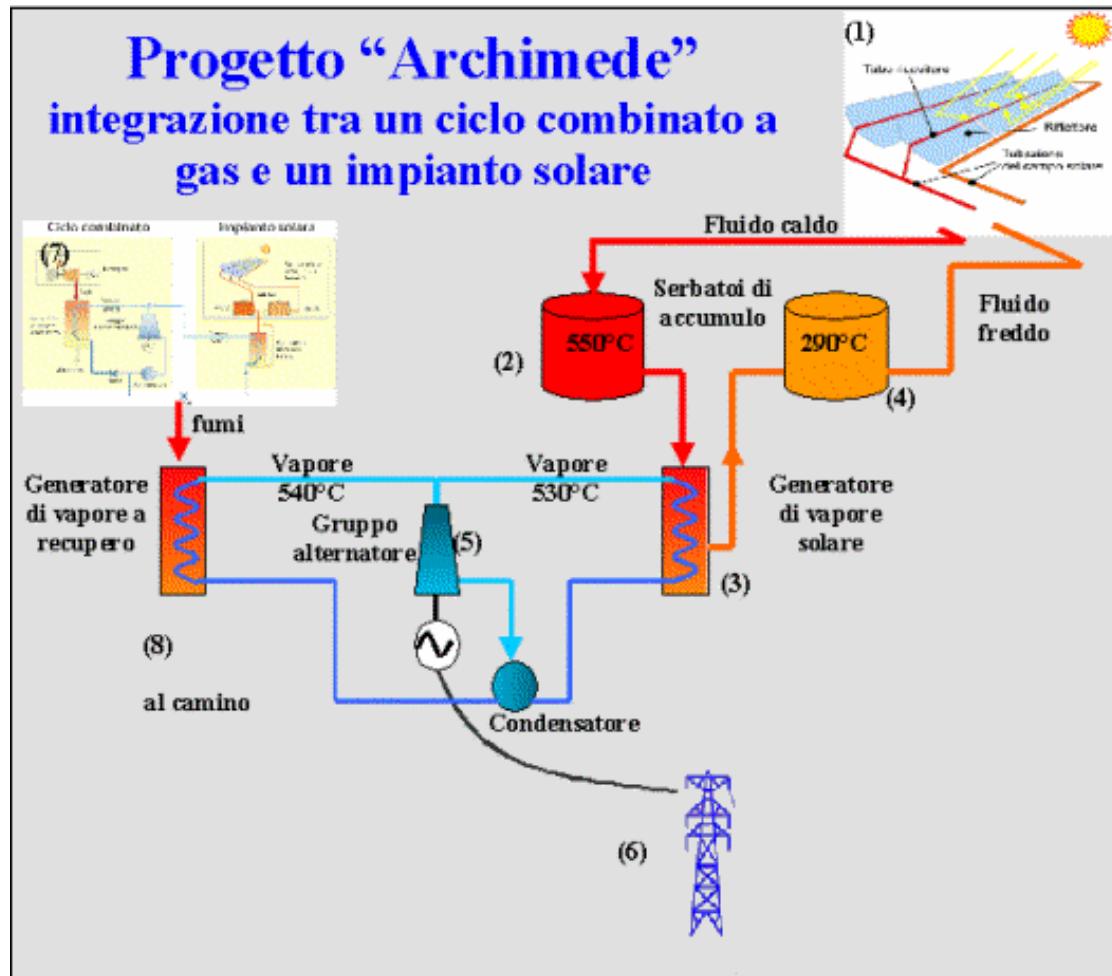
Il Progetto Archimede

Il Progetto Archimede (ENEA ed ENEL) consente l'integrazione tra un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico.

La centrale sfrutta la tecnologia del solare a concentrazione utilizzando come fluido termovetore primario una miscela liquida di nitrati di potassio e sodio può immagazzinare il calore.

Il calore viene accumulato per essere utilizzato successivamente, in funzione della richiesta di energia. In questo modo sono mitigati i problemi tipici delle fonti energetiche rinnovabili.

Solare termodinamico



Fonte: ENEA

Solare termodinamico

Il Progetto Archimede

Accumulo termico



Fonte: ENEA

Solare termodinamico

Il Progetto Archimede

Centrale ENEL di Priolo Gargallo (Siracusa)



Simulazione fotografica di un impianto solare integrato in una centrale a ciclo combinato

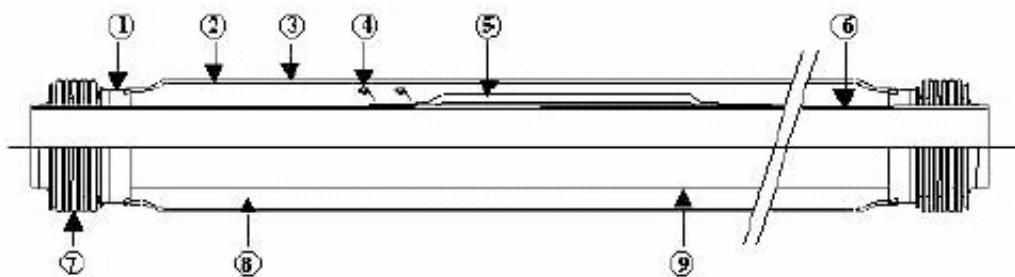
Solare termodinamico

Il Progetto Archimede

Il tubo ricevitore



1. Connessione tra vetro e metallo;
2. Contenitore di vetro (boro silicato), $p < 1 \text{ Pa}$;
3. Rivestimento anti-riflesso;
7. Soffietti compensatori di dilatazione;
9. Rivestimento ad assorbimento selettivo.



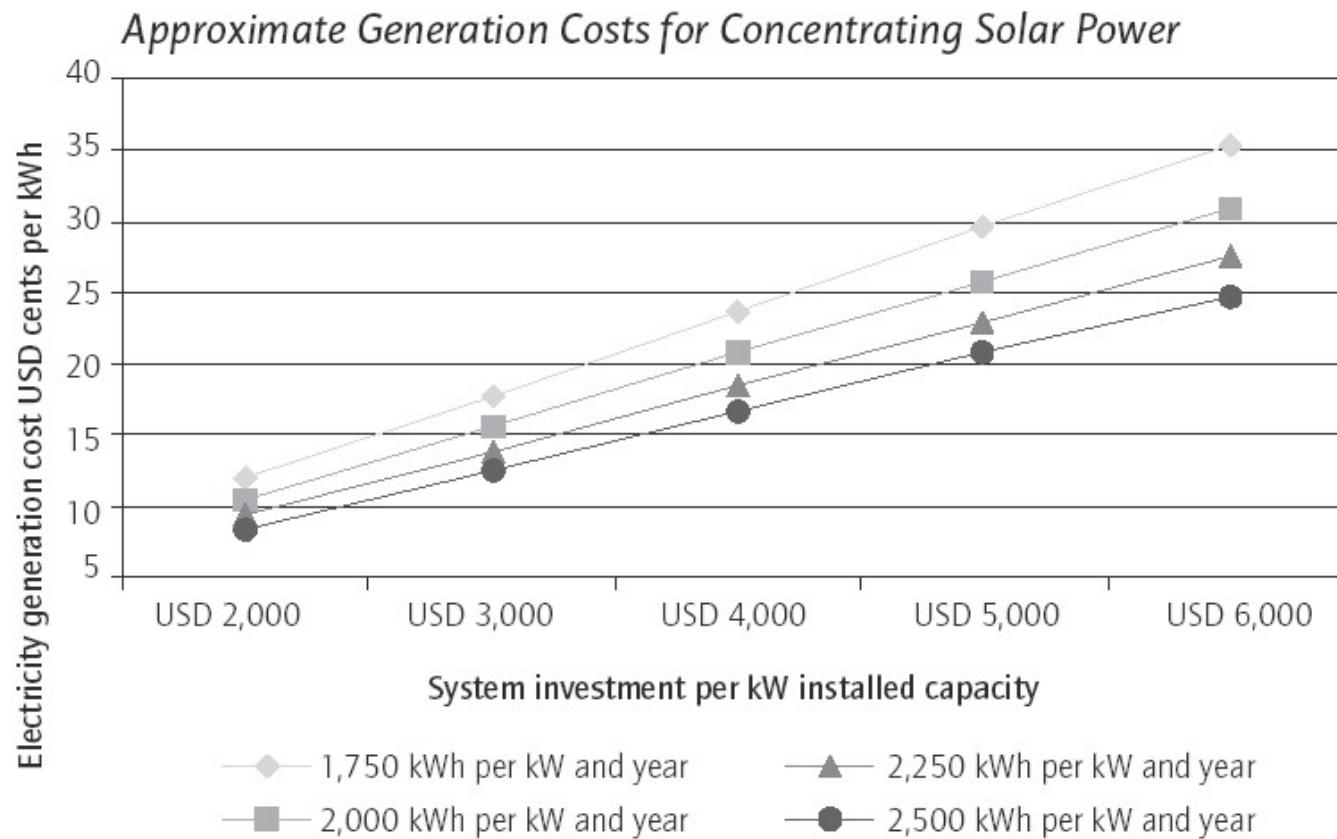
Solare termodinamico

Il Progetto Archimede

Grandezza	Unità di misura	Valore
Numero di specchi		360
Superficie totale degli specchi	m ²	199.000
Energia termica raccolta annualmente	GWh	179,4
Energia elettrica prodotta annualmente	GWh	59,2
Rendimento medio annuo	%	16,4
Potenza elettrica nominale	MW	20,8
Capacità di accumulo termico	MWh	600
Petrolio risparmiato annualmente	kg	13 milioni circa
Emissioni di CO ₂ evitate annualmente	kg	40 milioni circa
Costo previsto	€	50 milioni

Fonte: ENEA

Fotovoltaico a Concentrazione



Note: O&M costs are assumed to be 10 % of system investment. Amortisation period is 15 years, and the discount rate is 6%.

Sources: NET Ltd., Switzerland.

Fonte: IEA, "Renewables for power generation", 2003

**Dall'energia solare possiamo quindi
attenderci un contributo di
1,4 TWh al 2020
Usi termici : 1- 2 Mtep**

Il contributo delle rinnovabili

	TWh/anno	Mtep/anno	Mtep complessiva
Idroelettrico	50-55		4,30 - 4,70
Eolico	10-12		0,86 – 1,03
Radiazione Solare	1,4	1-2	1.12- 2,12
Biomasse-Rifiuti-BG	20-25	9-12	10,72- 14,15
Geotermia	7-8	1-3	1,60-2,69
Totali	88,4 - 101,4	11- 17	18,60 – 24,69

Avendo la CE optato per valutare l'energia degli usi finali è necessario adottare per la conversione da TWh a Mtep il rapporto 1/11,6.

Valutando che l'Italia nel 2020 avrà un consumo di energia negli usi finali di circa 168 Mtep e dovrà raggiungere una quota di rinnovabili del 17% l'apporto delle FER dovrebbe ammontare a 28 Mtep.

Conclusioni

Come si vede neppure nell'ipotesi più favorevole l'obiettivo potrà essere raggiunto pur con investimenti che potrebbero essere dell'ordine dei 70- 90 G€.

I nostri attuali meccanismi di incentivazione, indirizzati particolarmente a promuovere le FER "elettriche", sono nell'attuale quadro di riferimento inefficienti in quanto molto costosi rispetto ai risultati forniti.

Inoltre se anche miracolosamente raggiungessimo il fatidico 17 %, data la struttura del nostro sistema energetico, probabilmente non ottempereremmo alle richieste concernenti la riduzione della CO₂ e sarebbero quindi inevitabili ulteriori costi.

Conclusioni

Risulta indispensabile:

- esaminare attentamente la nuova situazione ed in base a tale analisi ristrutturare il sistema degli incentivi favorendo le rinnovabili termiche;
- rivedere le norme che regolano gli iter di autorizzazione dei nuovi impianti;
- impostare un piano di innovazione in campo energetico;
- sfruttare al massimo tutte le sinergie possibili tra lo sviluppo delle FER e la difesa del territorio.