

DOSSIER

Potenziale energetico rinnovabile
globale-metodi applicativi

POTENZIALE ENERGETICO RINNOVABILE GLOBALE - METODI APPLICATIVI Ricadute sull'informazione e educazione ambientale

Gregor Czisch* - Piero Blanchini**

INTRODUZIONE (Piero Blanchini)

Il futuro del pianeta e delle generazioni a venire dipende da un utilizzo consapevole e democratico dell'energia: non esistono ambiente, consapevolezza ambientale ed educazione ambientale che non si debbano necessariamente misurare con gli orizzonti della risorsa energetica. E questo perchè l'energia è allo stesso tempo vita ed elemento vitale, perchè essa scorre negli uomini come nell'universo, misura economica e progettuale d'ogni trasformazione sul pianeta.

Nell'area dell'Educazione Ambientale il tema delle fonti d'energia disponibili si pone al centro d'ogni attività di ricerca e d'ogni azione pratica a favore della natura; e le concrete ipotesi per un cambiamento reale ancorchè locale dei comportamenti denotano sempre un ineluttabile riferimento al "carburante delle cose". Perchè chiunque, anche il bambino più piccolo, comprende che senza l'energia non si può vivere. Senza l'energia non vi sono

movimenti, non v'è direzione, non vi sono obiettivi.

Eppure la ricerca attorno alle fonti energetiche rinnovabili risulta marginalizzata, come pure l'applicazione pratica di tutte quelle tecnologie che avrebbero potuto, nel corso degli ultimi cento anni, fornirci ben diversa eredità ambientale e garantirci una vivibilità degli ecosistemi antropici meno compromessa. Questo profondo limite culturale, questa sorta di "dipendenza morbosa" della catena energetica dei carboni fossili, incide fortemente sulla bassa coscienza naturalistica degli uomini.

Di fronte all'inquinamento diffuso ed invasivo che caratterizza ogni sistema urbanistico ed industriale, la forza del messaggio ambientalista si raffredda, entra per così dire in crisi.

Da questo punto di vista abbiamo raccolto negli anni numerose indicazioni d'un malessere esistenziale coniugato ad una profonda incoerenza filosofica: quanti di noi possono rinunciare all'automobile, ad un riscaldamento domestico dispendioso, ad uno stile di vita intrinsecamente legato allo spreco?

L'energia, in termini di costi e benefici, rappresenta, purtroppo la risorsa "sacrificabile": nella notte le città illuminate a giorno sono sicure, sono gioiose.

Le prospettive del tanto agognato "sviluppo sostenibile", la sua stessa essenza logica, appaiono zoppe di fronte a tali cambiali irrinunciabili: l'energia rinnovabile diventa mero gioco per intellettuali ed un interesse vagamente didattico. L'ener-

gia pulita, in ultima analisi, non sembrerebbe esserci perchè la sporcizia dell'uomo è la sua stessa ricchezza, è produzione, è forza lavoro, è "sensus sui".

Nel corso di questi anni d'attività dedicata alle scuole (in un ambito operativo caratterizzato dai dettami della tanto famosa quanto disattesa "Agenda 21") mi sono sempre chiesto quali prospettive teoriche e pratiche si potessero offrire a quei cittadini che hanno individuato il "principio dell'energia rinnovabile" quale fondamentale nodo sociologico per un modello culturale che promuova il rapporto integrato tra uomo ed ambiente. Ci chiedevamo, in altri termini, se l'Educazione Ambientale potesse diventare strumento di reale programmazione.

Un contributo fondamentale in tal senso è offerto dalla splendida ricerca in seguito proposta (qui tradotta dalla versione originale in inglese) che tratta, in forma interdisciplinare, l'analisi delle fonti energetiche rinnovabili su base extra-continentale.

Non si tratta solo d'una carrellata di tutte le tecnologie disponibili con riferimento alla loro effettiva utilizzabilità ed economicità, ma anche d'una analisi dei principi localizzativi che potrebbero ricostruire la mappa dei siti di produzione energetica su base mondiale, con una rete infrastrutturale di distribuzione che consenta di realizzare effettive economie di scala e d'abbattere efficacemente lo spreco di risorse fossili non rinnovabili.

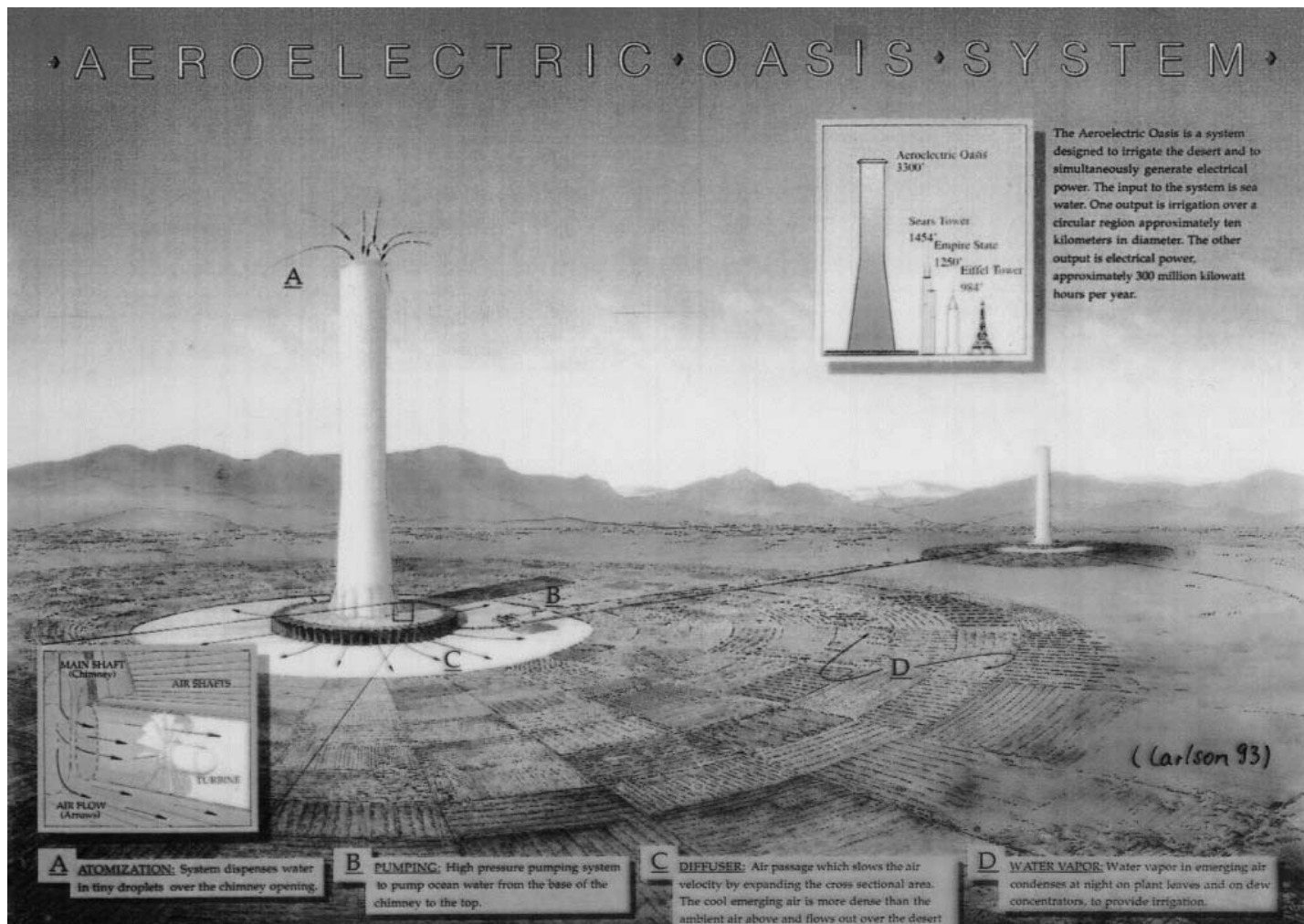
* Gregor Czisch, dipl. phys.
Ricercatore presso il "Dipartimento d'Informazione ed Economia Energetica" dell'Istituto für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) - Università di Kassel (GE)

** Piero Blanchini, architetto
Consigliere ingegnere presso la Regione FVG - Dir.Prov.SS.TT.PN
Esperto in Educazione Ambientale (Foundation for Environmental Education in Europe - FVG)

POTENZIALE ENERGETICO RINNOVABILE GLOBALE

METODI PER LE SUE APPLICAZIONI

Gregor Czisch



GENERALITA'

L'articolo tratta le risorse potenziali per la produzione d'energie rinnovabili su base mondiale. Le tecniche che verranno esaminate riguardano la produzione tramite apparati fotovoltaici, impianti d'energia termo-solare, impianti idroelettrici, termocombustione di biomasse, impianti ad energia geo-termica (*Hot Dry Rock Electricity Production*), torri energetiche ed energia eolica.

Per ognuna di queste opzioni analizzate si presenteranno le caratteristiche con riferimento allo specifico comportamento su base temporale ed ai costi prevedibili.

Potremo conseguentemente con-

statare come il fattore temporale subisca significativi cambiamenti in rapporto alla dimensione ed alla selezione delle aree di sfruttamento usate per la produzione energetica.

Toccheremo inoltre le problematiche di recupero e l'esigenza di stoccaggio, nonché l'aspetto legato alle possibilità di connessione infrastrutturale (grid connection).

In relazione a queste premesse si può anticipare che l'energia eolica appare la maggior risorsa energetica disponibile.

Infine proporremo un esempio sulla possibile combinazione di protezione del clima e aiuti per lo sviluppo.

Pannelli fotovoltaici

I pannelli fotovoltaici vengono normalmente montati in modo tale che l'orientamento della superficie del pannello sia parallela alla latitudine e l'angolo di pendenza equivalente alla latitudine rispetto al sole. La produzione in uscita viene calcolata tramite i dati del Centro Europeo per la Previsione del Tempo a Medio Raggio (ECMWF) con dati addizionali provenienti dal Centro Nazionale per la Previsione Ambientale (NCEP). Si considera che i pannelli abbiano un'efficienza pari al 14% in prossimità del picco di radiazione incidente con temperatura standard, ridotta all'efficienza del 13% per effetto delle perdite di sistema.

Con riferimento alla figura n.1A le condizioni più favorevoli vengono riscontrate nelle zone aride delle regioni montuose.

In tali aree la produzione potenziale è elevata più del doppio rispetto a quella che possiamo aspettarci nei paesi del Centro Europa.

In Polonia la produzione d'un sistema fotovoltaico rimane compresa nel range dei 130 kWh/m² a 900 Full Load Hours (FLH - Ore di pieno carico).

Nella foto n.2A si esemplifica il quadro europeo. La variazione stagionale di produzione energetica da pannelli fotovoltaici ad es. nel Nord della Germania come pure quella nel Nord della Polonia in Dicembre raggiunge solo il 10% di quello di Giugno. Nell'Europa Meridionale le fluttuazioni stagionali sono significativamente più basse. La variazione mensile di produzione d'energia fotovoltaica può essere studiata nei dettagli tramite la comparazione dei grafici della foto n.3A. Essi mostrano, per gli Stati membri dell'Unione Europea, disponibilità su base mensile che contrastano con il corrispondente consumo elettrico. Con eccezione di Mauritania e Senegal nel Sahara Meridionale tutte le altre regioni presentano un andamento anticiclico rispetto alla domanda.

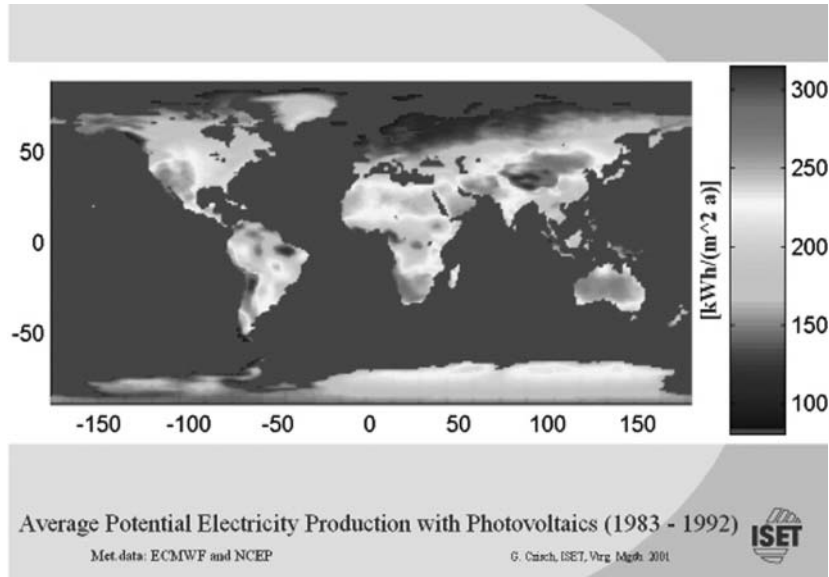
Sulla base delle ipotesi assunte nella parte alta della tabella n.4A i costi dell'energia FV sono calcolati in alcuni siti selezionati e riportati nella tabella inferiore.

Tali costi sono relativamente elevati, e tali da far ritenere che gli odierni investimenti siano un'opzione per quelle aree rurali ad alto potenziale prive di rete connettiva, laddove essi competono con altre tecnologie ancora più costose.

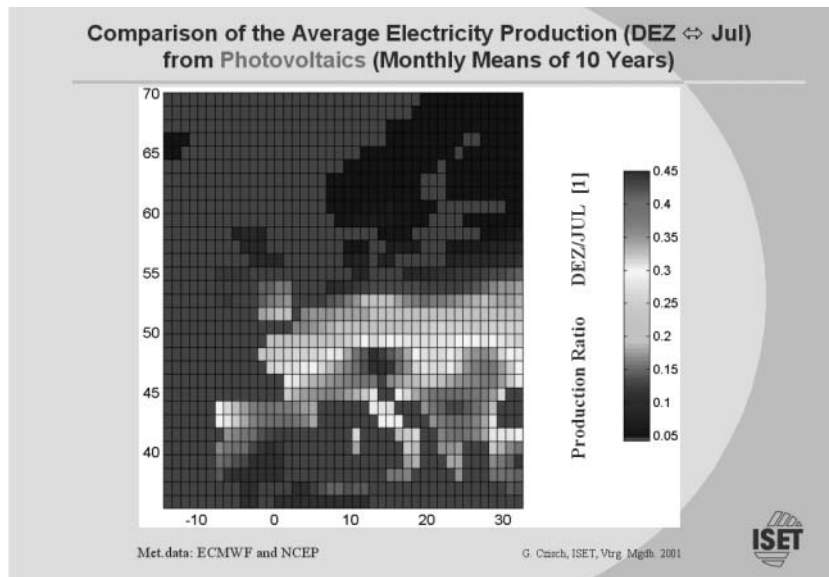
Energia termo-solare

La seconda disamina attiene al potenziale legato alla produzione da centrali ad energia termo-solare. In questo caso la radiazione solare diretta si concentra all'interno di

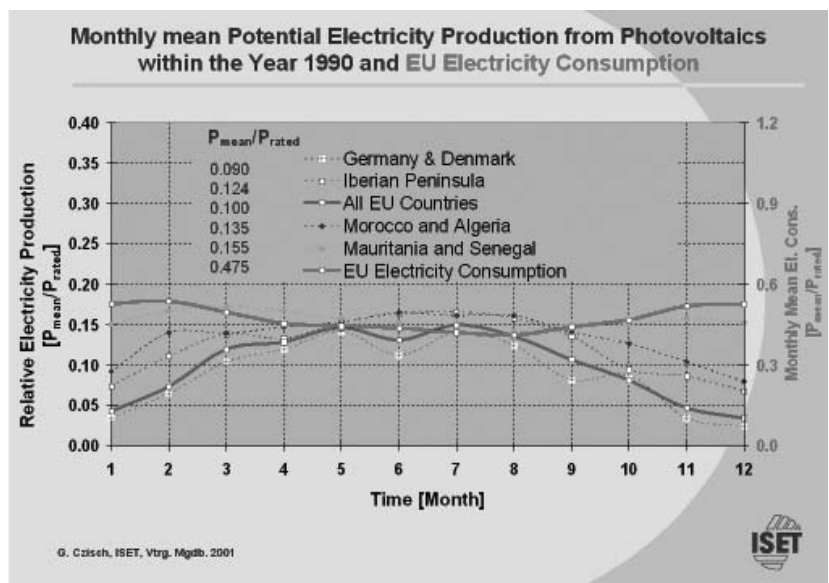
1 A



2 A



3 A



schermi pannelli allo scopo di scaldare un fluido successivamente utilizzato per alimentare una centrale elettrica convenzionale.

In rapporto alla tipologia dell'impianto il calore può essere trasformato in energia elettrica con un'efficienza pari approssimativamente al 32-38%.

Nella foto n.1B si mostra il potenziale energetico d'un campo a pannelli in una centrale termo-solare. Condizioni estremamente buone si riscontrano nel Sahara dove l'energia elettrica potenziale supera di 500 volte il consumo degli Stati membri dell'Unione Europea.

La variazione stagionale della produzione da impianti termo-solari è significativamente più bassa con il diminuire della latitudine.

Anche nel caso dell'energia termo-solare vale quanto prima affermato per l'anti-ciclicità di produzione potenziale e consumo in quasi tutte le regioni del globo (immagine 2B).

La rete elettrica europea interna e in collegamento ai territori nazionali è troppo debole per trasportare quantità significative d'energia elettrica a condizioni vantaggiose. Ciò è anche vero per i collegamenti all'Africa.

Ad es. (imm. n.3B la Capacità di Trasferimento della Rete (Net Transfer Capacity) dal Marocco alla Spagna, con i suoi 350 MW, e dalla Spagna alla Francia con una rete da 1000 MW, non permetterebbe un alto trasferimento d'energia. Ma come si può vedere dai calcoli in tabella n.4B la costruzione di reti di trasporto realizzate con le nuove tecnologie sembra essere del tutto fattibile da un punto di vista economico.

Nel presupposto economico basato sulle odierne tecnologie e sui prezzi attuali descritto nella parte alta della figura sono calcolati i costi di produzione dell'energia termo-solare in alcuni siti selezionati. I risultati sono riportati a sinistra sulla tavola.

4 A

Costs of Electricity Production from Photovoltaics

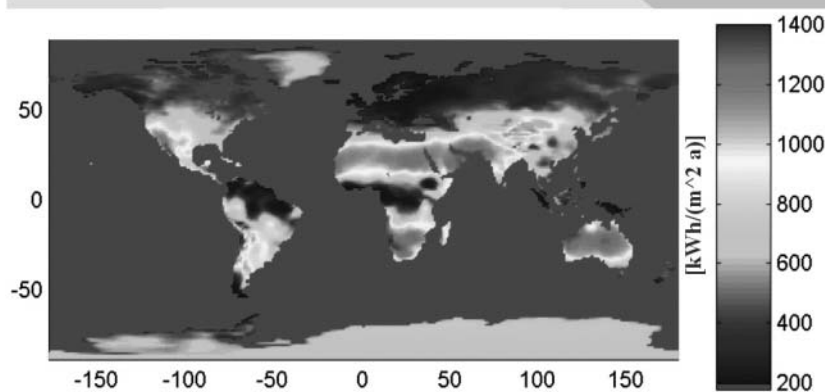
Photovoltaic	Assumptions	Costs
Total Investment		12000 [DM/kW _{el, rated}]
Life Time	20 [a]	
O & M	2% [% Investment /a]	
Interest	5% [%/a]	
Annual Costs		1203 [DM/(kW _{el, rated} a)]
η Modul	14% [%]	
η System	13% [%]	

Sites	Electrical Production		Cost of Electricity
	[kWh/(m ² a)]	[FLH]	[DPl/kWh]
Kassel GER	130	900	130
Brügge BEL	145	1000	120
Freiburg GER	155	1100	110
South of Atlas	230	1600	80
Assuan EGY	250	1800	70
Himalaja	300	2100	60

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



1 B



Heat Output of Solar Fields for SEGS (Solar Thermal Power Plants)

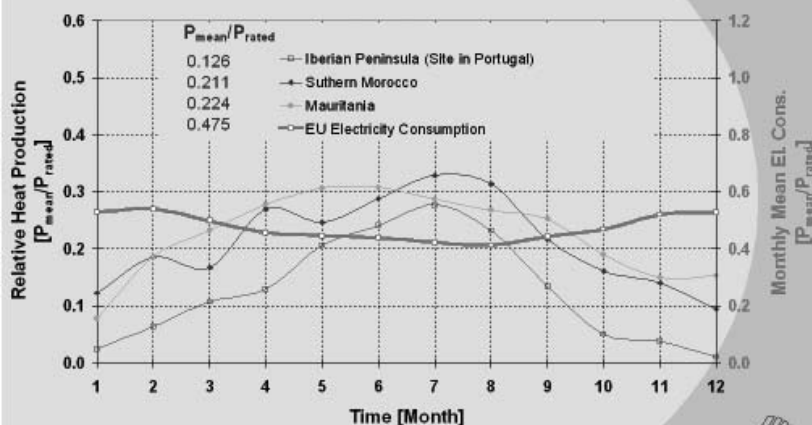
Met. data: ECMWF and NCEP

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



2 B

Monthly mean Heat Production of Solar Parabolic Troughs for SEGS Power Plants for the Year 1990 and EU Electricity Consumption



G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



Usando l'odierna tecnologia ad Alto Voltaggio DC (HVDC) per trasportare l'elettricità in Europa (p.e. Kassel GER) il costo dell'elettricità scenderebbe del 30% anche per la più grande distanza menzionata. Il costo dell'elettricità prevista per Kassel non sembra molto irragionevole. L'opzione d'importare energia termo-solare del Nord dell'Africa all'Europa risulta ancora più interessante se si riducono i costi per i campi solari, la parte più onerosa degli impianti SEGS (Solar Electric Generating Station). Una riduzione secca del 50% degli odierni costi è ipotizzabile non appena sarà acquisita la capacità da 7 GW delle SEGS a livello mondiale. Ciò ridurrà il costo dell'elettricità in Kassel fino appross. al 60% o sotto i 12 DPf/kWh.

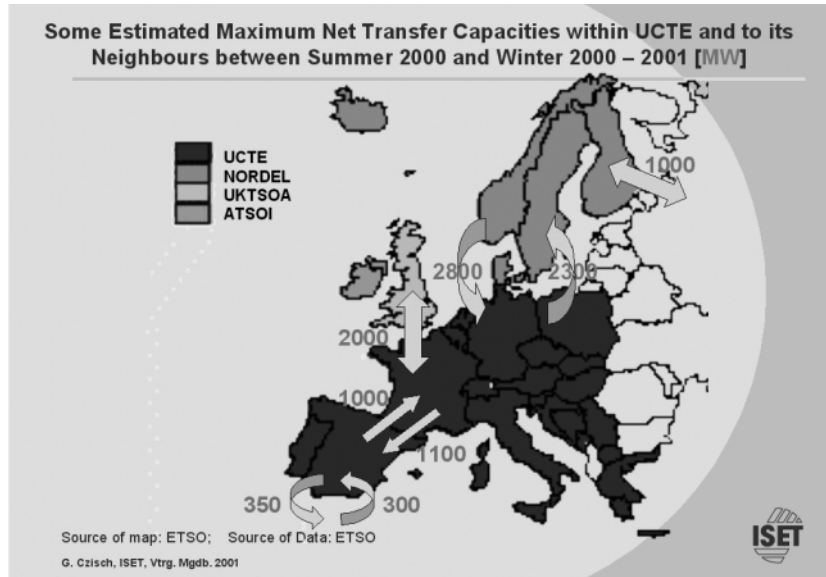
Energia idroelettrica

Distinguiamo innanzi tutto tra due tipi di diversa energia idroelettrica. La tipologia a scorrimento fluviale usa l'acqua nel momento in cui essa scorre nell'alveo ed ha minima possibilità di accumulo.

La tipologia che usa i bacini può viceversa accumulare riserve per molti mesi (v. immagine n. 1C. Pertanto questo tipo d'impianto decuplica la portata e la produzione d'energia e consente pertanto i gradi di libertà necessari anche per la compensazione alla variazione di flusso delle altre sorgenti o della domanda.

La tabella n.2C mostra la potenza, la capacità d'accumulo e la produzione annua delle Centrali Idroelettriche degli Stati dell'Europa Occidentale. All'interno di tutti gli Stati membri dell'U.E. la capacità d'accumulo è vicina al 10% della produzione totale d'energia.

Oggi il 19% della produzione elettrica su base mondiale deriva dall'idroelettrico. La Siemens prevede che tale percentuale scen-

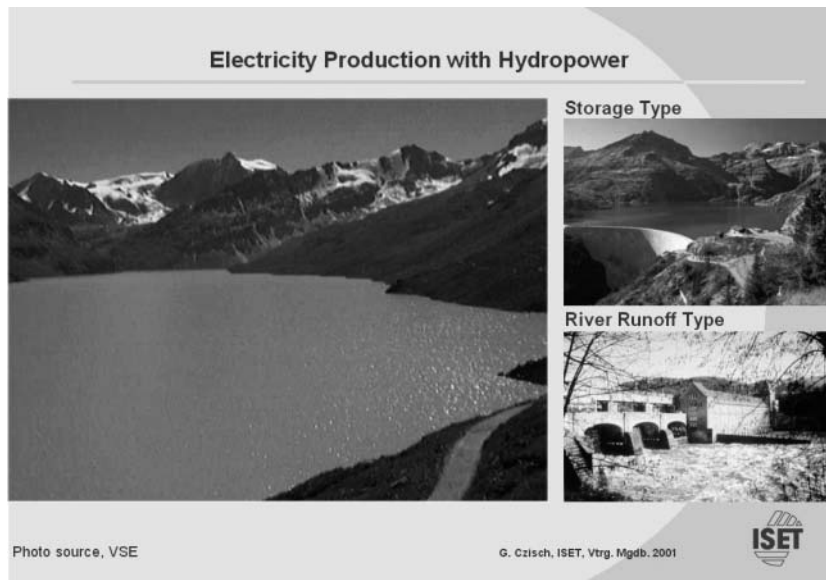


3 B

Costs of Electricity Production with SEGS Solar Thermal Power Plants

Site	Iberian Peninsula	Southern Morocco	Mauritania	Brügge Belgium	SEGS Solar Power Plant	Assumptions	Costs
Heat Production [kWh/m ²]	610	1140	1190	300	Solar Multiple	3.8	
Electrical Production (incl. 2 Weeks Resilience and 97% Availability) [FLH a]	3000	5570	5820	1470	Solar Field	370 (DMM ²)	6560 [DM/kWh _{net}]
Cost of Electricity at each Site [DPf/kWh]	27.9	15.0	14.4	56.9	Storage Capacity	14 (FLH)	
Distance to Kassel [km]	2900	4400	5300	500	Storage	130 (DM/kWh)	1680 [DM/kWh _{net}]
Sea Cable Length Included [km]	0	40	40	0	Thermal Power Plant	4000 (DM/kWh)	1050 [DM/kWh _{net}]
Cost of Transport [DM/(kW _e a)]	48	73	84	25	Plant Investment		6200 [DM/kWh _{net}]
Losses due to Transport	6%	13%	16%	2%	Live Time	25 (a)	
Cost of Electricity in Kassel [DPf/kWh]	31.3	18.7	18.8	59.6	Op & M Costs	2% (Percentage/N)	
					Insurance Costs	5% (Percentage/N)	
					Interest	5% (Percentage/N)	
					Power Plant	37% (N)	
					Storage	52% (N)	
					B. Production using Storage	70% (N)	
					HVDC-System Assumptions		
					Rated Power	5 (GW)	
					Voltage	+400 (kV)	
					Kind of HVDC Converter	Double Bipol	
					AC Voltage (kV)	110 (kV)	
					AC Frequency (Hz)	50 (Hz)	
					AC Power (MW)	140 (MW)	
					AC Losses (%)	10%	
					Live Time	25 (a)	
					Op & M Costs	1% (Percentage/N)	
					Interest	5% (Percentage/N)	

4 B



1 C

derà leggermente poiché l'incremento della domanda supera del 2,8% la crescita della produzione idroelettrica (immagine n.3C).

La Siemens stima che all'interno dell'Europa Orientale e Centrale circa la metà del potenziale idroelettrico esportabile è già sfruttato. All'interno del CIS (Confederazione degli Stati Indipendenti) sono ancora disponibili notevoli risorse.

La maggior parte del potenziale idroelettrico russo economicamente esportabile (imm.4C) è situato nelle parti orientali del territorio, ma anche all'interno delle regioni occidentali sono rimasti significativi serbatoi.

In Africa il potenziale idroelettrico economicamente esportabile è anche molto grande (imm.5C).

Biomasse

Nella tabella più in alto della figura n.1D sono esposti i potenziali per le biomasse a cura di Thomas Dreier (Tech. Univ. München). Il secondo potenziale delle biomasse è quello di residui e scorie, mentre il potenziale totale include la produzione possibile da biomasse su terre non utilizzate; all'interno dell'Europa Occidentale sono considerati idonei in tal senso anche il 15% dei terreni delle aziende.

Assumendo un'efficienza del 30% degli impianti energetici a biomasse le risorse secondarie sarebbero sufficienti ad abbattere un terzo del consumo elettrico polacco.

La tabella inferiore mostra un calcolo del costo dell'elettricità da biomasse. I costi d'investimento sono estremamente dipendenti dall'efficienza dell'impianto, dagli standard ambientali tipici d'ogni paese e dalla dimensione dell'impianto. I costi proposti possono riscontrare le condizioni in Germania. Anche il costo del combustibile varia molto. Ad es. alcune materie residue sono molto più economiche di quelle dell'esempio, altre possono avere costi ulteriori poiché contengono sostanze no-

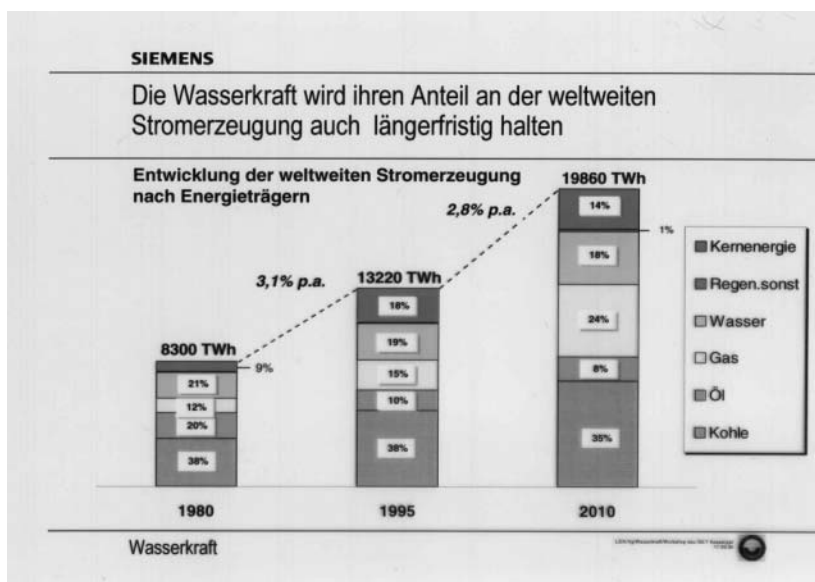
2 C

Storage Hydro Power in Europe:
Rated Power, Storage Capacity and Annual Energy Production

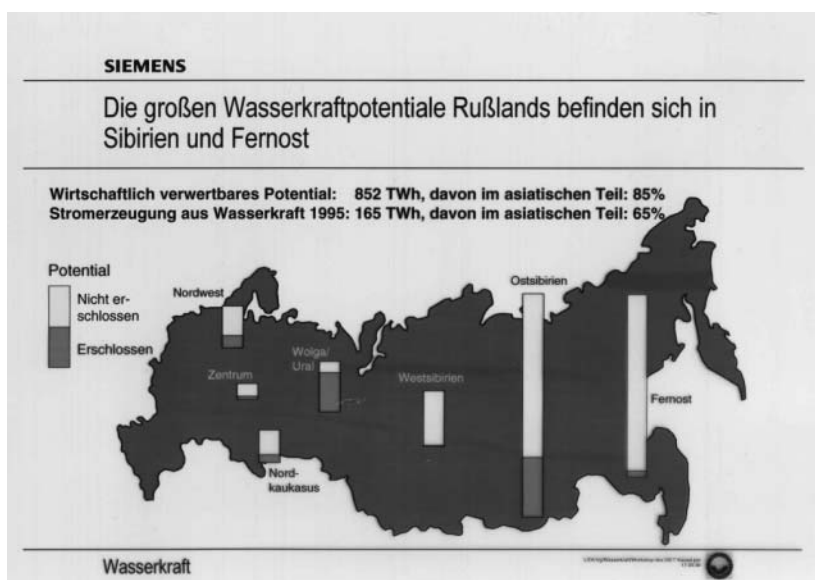
Data of UCTE 1998	Rated Power of Reservoir and mixed pumped Storage [GW]	Storage Capacity of Reservoir and mixed pumped Storage [TWh]	Annual Energy Prod. of Reservoir and mixed pumped Storage [TWh]
Slovenia/Croatia	1,4	1,8	?
Switzerland	8,2	8,4	18,0
Serbia and Montenegro	2,0	2,0	?
Portugal	2,1	2,6	4,2
Austria	5,6	3,2	7,0
Luxemburg	0,0	0,0	0,0
Italy	7,5	7,9	17,6
Greece	1,9	2,4	2,8
France	11,6	9,8	18,2
Germany	1,4	0,3	1,1
Belgium	0,0	0,0	0,0
Spain	7,7	18,4	16,7
Sum of UCTE	49	57	86
Data of NORDEL			
Norway	27,3	84,1	112,6
Finland	2,9	4,9	12,6
Sweden	16,2	33,7	63,6
Sum of NORDEL	46	123	189
Sum of NORDEL + UCTE	96	180	275

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001

3 C



4 C



cive per l'ambiente (ciò nuovamente influisce molto sui costi d'investimento). Il prezzo dato di 2.4 DPf/kWhth (Deutsche Pfening) sono compatibili con l'odierno costo della legna da ardere e possono anche essere raggiunti attraverso la produzione di biomasse per scopi energetici.

Produzione geotermica (Hot Dry Rock Electricity Production)

Il principio della tecnologia HDRTt è illustrata nell'immagine n.1E. Almeno due pozzi devono essere scavati fino ad una profondità di circa 4000 mt. Uno di questi due pozzi è utilizzato per pompare acqua nelle porosità della roccia, dove essa si surriscalda e viene convogliata tramite il secondo pozzo in un'unità termica che genera elettricità. L'HDRTt amplia l'utilizzo d'energia geotermica poiché sono molto rari i luoghi dove il vapore o l'acqua calda possono essere usati direttamente per alimentare impianti produttivi.

I costi dell'elettricità da impianti HDRTt dipendono molto dal gradiente della temperatura.

Nella figura n. 2E è rappresentato il tentativo di stimare i costi d'un caso di riferimento curato dall'Istituto per la Ricerca sull'Energia elettrica (EPRI).

Gradienti di temperatura alti quanto quello del caso-riferimento sono riscontrabili solo in poche zone della terra, mentre una differenza di temperatura di es. 170°K tra superficie ed una profondità di 4000m è molto più comune ma ancora molto restrittiva rispetto alle condizioni generiche. Queste condizioni potrebbero probabilmente consentire la produzione d'elettricità a 35 DPf/kWh.

Nell'immagine n.3E vediamo la profondità dello strato dove la differenza di 170°K rispetto alla superficie è raggiunta. Le ampie regioni in grigio uniforme sono quelle dove le più vicine misurazioni raccolte dalla Commissione In-

5 C




1 D

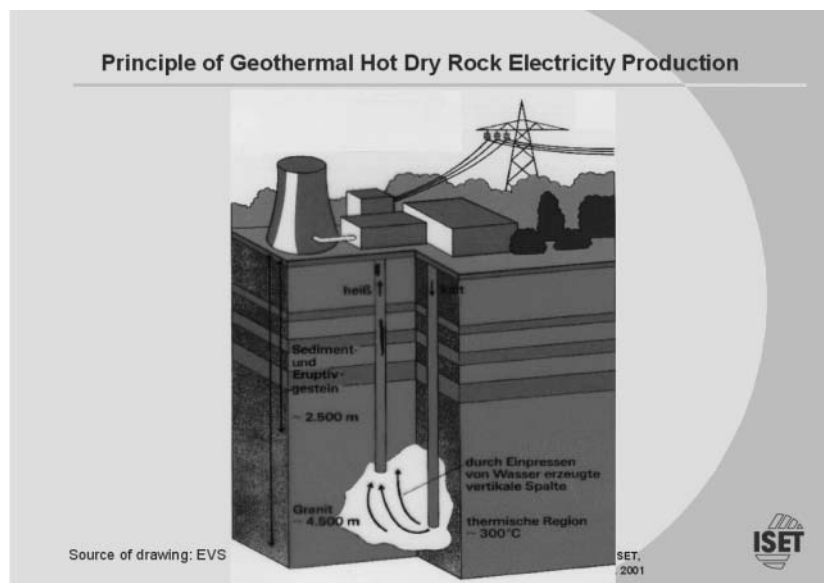
Biomass: Potential, Electricity Production and Costs of Electricity

Harvestable Biomass Potential [Dreier 2000]	Assumed	
	T _{Power Plant} ≙ 30%	
World:	sec 12,321 [TWh _{th} /a]	3,696 [TWh _{el} /a]
total	205,700 [TWh _{th} /a]	61,710 [TWh _{el} /a]
EU:	sec 1092 [TWh _{th} /a]	328 [TWh _{el} /a]
total	1954 [TWh _{th} /a]	586 [TWh _{el} /a]
BRD:	sec 184 [TWh _{th} /a]	55 [TWh _{el} /a]
total	368 [TWh _{th} /a]	110 [TWh _{el} /a]
Poland	sec 132 [TWh _{th} /a]	40 [TWh _{el} /a]
total	217 [TWh _{th} /a]	65 [TWh _{el} /a]
Biomass Power Plant	Input Data	costs
Rated Power	5 [MW]	
Investment (I)		4909 [DM/kW _{el}]
O&M ?	4% [% of I/a]	
Interest	5% [%/a]	
Live Time	20 [a]	
Avrg. Load	4000 [h _{Full Load} /a]	
Cost of Electricity without fuel		12 [DPf/kWh _{el}]
Example Wood	2.4 [DPf/kWh _{th}]	8 [DPf/kWh _{el}]
Total Cost of Electricity		20 [DPf/kWh_{el}]

G. Czisch, ISET Vtrg. Mgd. 2001



1 E



ternazionale per le Flussi di Calore (IHFC) sono distanti più di 300 km (aree non definite). Il blu più scuro corrisponde alle regioni nelle quali la distanza dello strato limite dei 170°K è più profondo di 6000 m.

Torri energetiche

Questa tecnologia non è ancora stata applicata in forma operativa ma è stata studiata per molti anni. La conclusione di questi studi è che sarà possibile costruire torri alte più di 1000 m e che ciò si potrà fare a costi tali da rendere questo tipo di produzione elettrica estremamente interessante. In particolare il comportamento "temporale" sembra risultare molto buono se comparato con altri metodi che dipendono dalle attuali condizioni climatiche. Il nome qui riferito è quello della "energy tower".

L'immagine n.1F mostra il principio del funzionamento della torre. Essa dovrebbe essere collocata in presenza d'un clima caldo e secco nonché a poca distanza (meno di 100 km da grandi serbatoi d'acqua (normalmente i mari). L'acqua è pompata all'apice della torre (camino) e quindi polverizzata in esso. In tale condizione essa evapora e ciò abbassa la temperatura dell'aria che conseguentemente aumenta la propria densità. La differenza di massa tra l'aria esterna ed interna è la potenza generatrice del moto all'interno del camino. L'aria in caduta viene usata per produrre elettricità tramite turbine. Si riportano come carico medio annuale le condizioni fuori costa per torri energetiche con un profilo preciso. I calcoli sono effettuati utilizzando i dati del ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecast) con un programma - codice sviluppato da Vadim Mezhibovski (Technion, Haifa, Israel).

Le ipotesi fuori costa dimostrano

Cost Estimation for Geothermal Electricity Production

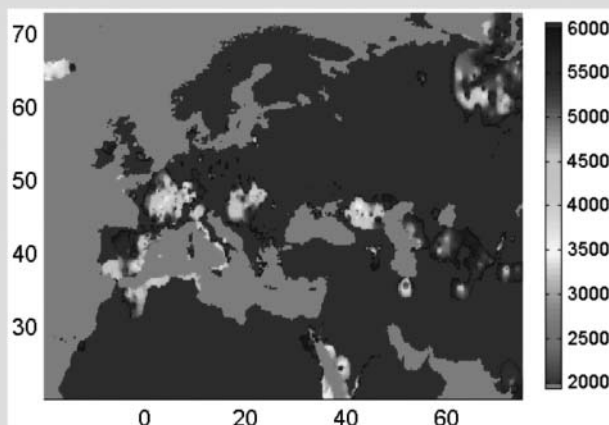
Geothermy	Assumptions	Costs
Total Investment		9500 [DM/kW _{el, rated}]
Live Time	20 [a]	
O & M Costs		380 [DM/(kW _{el, rated} *a)]
Interest	5% [%/a]	
Annual Costs		1140 [DM/(kW _{el, rated} *a)]
Drilling Depth	4 [km]	
Temperature Diff.	260 [K]	
Avrg. Load	80% [%]	
Cost of Electricity		16 [DPF/(kWh _{el})]
Reference Case: EPRI "Renewable Energy Technology Characterisations"		

Costs [DPF/kWh]	ΔT [K]					
Depth [m]	140	170	200	230	260	290
3000	50	30	22	17	14	12
4000	59	35	25	20	16	13
5000	71	42	30	23	18	15
6000	85	50	35	27	22	18

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



2 E



Geothermal Energy: Depth of the layer with ΔT=170K

Exclusion of: Regions with Depth > 6 km
Distances > 300 km to next measurement

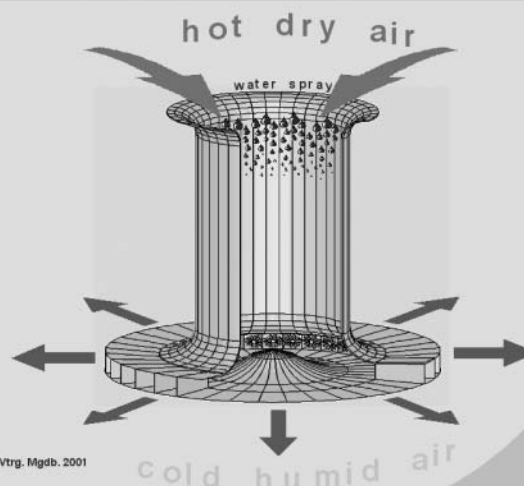
Data : IHFC; Data processing assisted by: B. Lehner, USF

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



3 E

Schematic Illustration of the Energy Tower's operation



G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001



1 F

molto bene che si possono reperire condizioni idonee alle torri energetiche. Qui né le perdite per trasporto né quelle per l'elevazione dell'acqua sino al piede della torre sono sommate. Le migliori localizzazioni si riscontrano sulle coste delle cinture desertiche, dove per esempio i venti Passat originano aria calda e secca.

In un'ottica europea le aree più interessanti sono quelle del Sahara Occidentale e del Golfo Persico. Ragionamento analogo vale per i siti selezionati nell'entroterra (immagine n. **3F**).

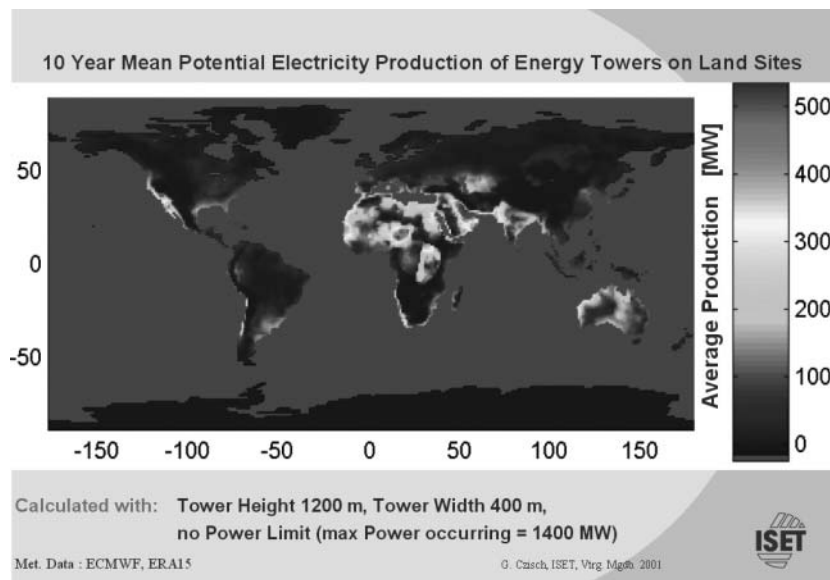
La variazione stagionale della potenza prodotta con le Torri Energetiche è significativamente più bassa con il diminuire delle latitudini.

Nell'immagine n. **4F** c'è un esempio del rapporto tra disponibilità della produzione elettrica annuale e produzione in Dicembre, p.e. sulla costa del Sahara centro occidentale troviamo una produzione che nei mesi cambia pochissimo. Il comportamento "temporale" delle Torri Energetiche risulta molto vantaggioso se comparato con altri sistemi d'energia rinnovabile: poiché l'aria secca è disponibile sia di giorno che di notte le oscillazioni giornaliere sono relativamente piccole.

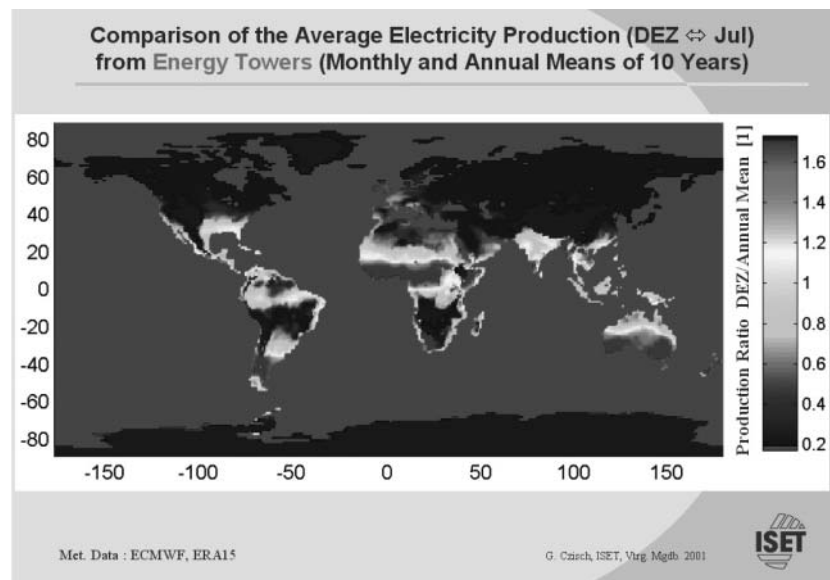
In siti ottimali come p.e. nella regione Golfo Persico il clima potrebbe consentire una certa produzione continua in ogni momento dell'anno. Ciò s'evince dalla curva di durata d'una Torre Energetica vicino a Abu Dhabi (imm. **5F**). Qui la produzione raggiunge il 40% della potenza media nel 78% del tempo di funzionamento nell'anno. Una produzione combinata di due Torri, es. una vicino a Elat ed una a 1300 km di distanza in Abu Dhabi, mostra che il comportamento temporale potrebbe essere ulteriormente migliorato.

Sulla base delle odierne tecnologie e prezzi per la distribuzione tramite sistemi basati sulla Corrente

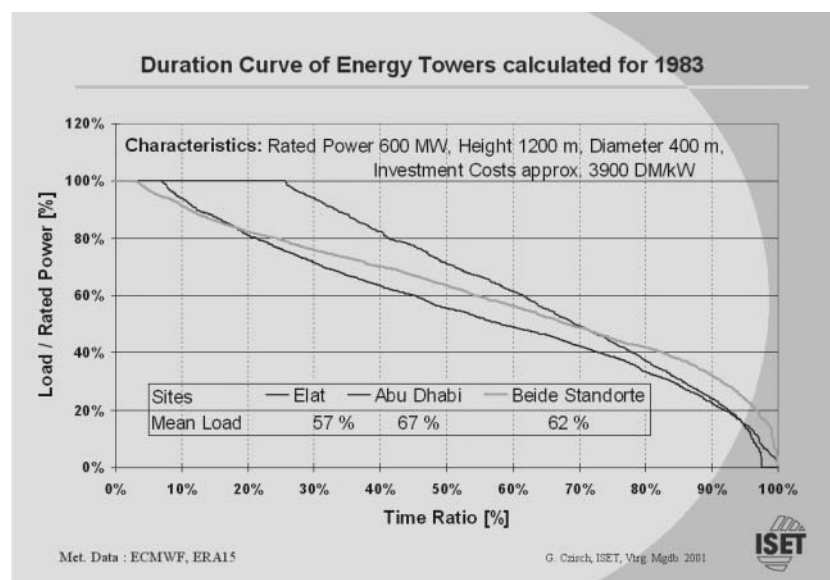
3 F



4 F



5 F



Diretta ad Alto Voltaggio (High Voltage DC) - figura n.6F - sono calcolati i costi dell'energia in due siti selezionati. La tabella in alto mostra i risultati per costi come pure quelli per l'elettricità trasportata nel Centro Europa (Kassel).

Quest'ultimo costo sembra essere molto interessante e giustificabile almeno dei tentativi per la costruzione d'un impianto pilota su scala ridotta.

Energia eolica

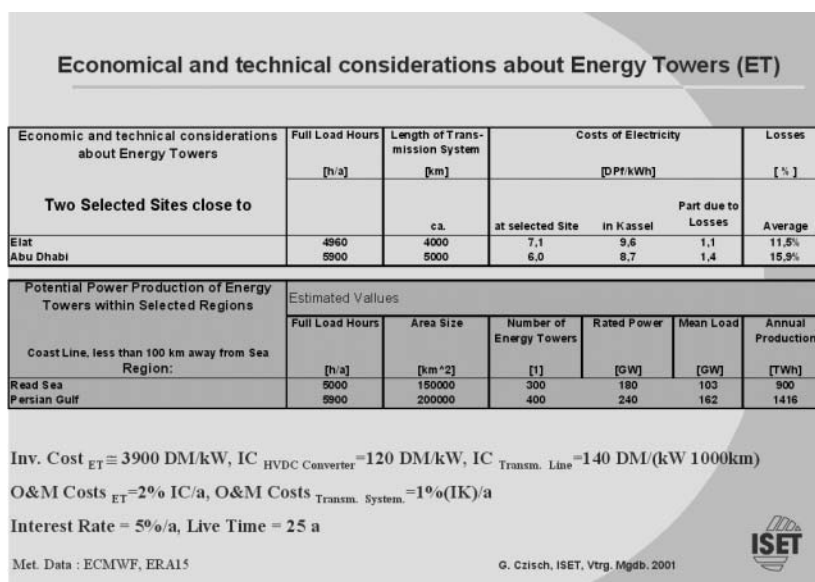
Al momento la potenza media più elevata delle Turbine a Vento (WT) disponibili sul mercato è di 2.5 MW, mentre sono in corso alcuni tentativi per sviluppare la loro potenza media fino a 5MW (imm. 1G) Nell'immagine n.2G viene calcolato dal ECMWF il potenziale della produzione da energia eolica espresso in FLH nel Centro Europa. La stessa Europa ha condizioni ventose buone. Ma l'applicazione è limitata a regioni con alta densità demografica. Anche in una cintura tra i 4000 km ed i 5000 km da Kassel ci sono buone condizioni di vento e nella maggior parte delle aree la densità è per esempio due ordini di grandezza inferiore a quella media della Germania.

Se ora guardiamo all'Europa (imm. 3G) ed ai paesi limitrofi scopriamo che la produzione potenziale all'interno dell'area, considerando solo siti con produzione potenziale superiore ai 1500 FLH, è circa 100 volte superiore rispetto al fabbisogno dell'U.E. e della Norvegia insieme.

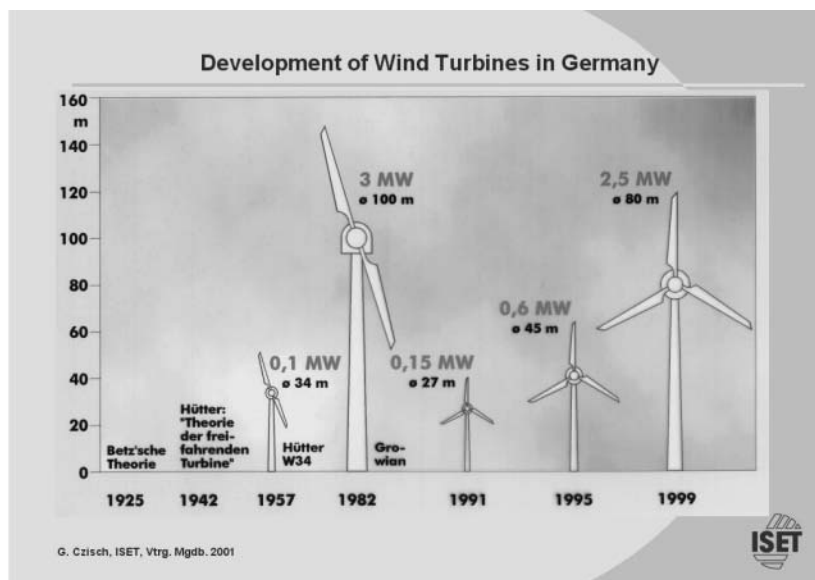
La stessa Europa presenta ottime condizioni sia nel Mare del Nord che sul Mar Baltico.

L'utilizzo d'energia eolica off-shore dipende da profondità relativamente basse del fondo marino. Oggi alcuni impianti eolici off-shore sono progettati in aree con profondità fino a 40 m. Pertanto sembra ragionevole selezionare aree dove la profondità non superi tale limite. Nella cartina n. 4G sono rappre-

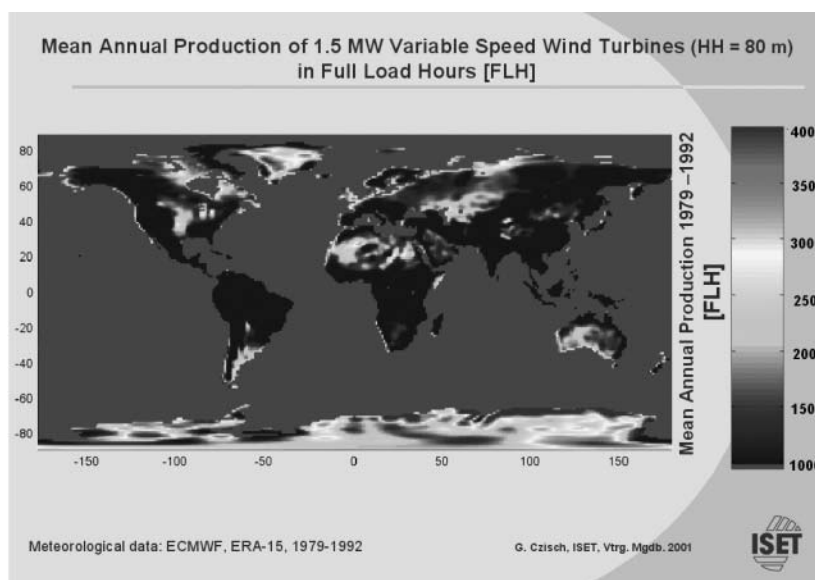
6 F



1 G



2 G



sentate le profondità inferiori a 55m per il Mare Baltico. L'area totale meno profonda di 50m è pari a 260.000 km². Con un parametro di 4MW/km² questo sarebbe sufficiente per produrre 1000 GW tramite realizzazione di turbine eoliche e pertanto (visti i margini) sarebbe possibile una selezione minuziosa dei migliori siti dove l'impatto ambientale negativo ed altri effetti sfavorevoli potrebbero essere minimizzati a condizioni di vento ottimali.

Nell'immagine n. 5G sono calcolati i costi per parchi eolici off-shore con potenza media di 150 MW e turbine da 1,5 MW l'una. Nei siti migliori, dove le condizioni di vento sono buone, il fondo del mare non è troppo profondo ed altre condizioni generali sono buone, il costo dell'elettricità è stimato tra 3 e 4 € c/kWh.

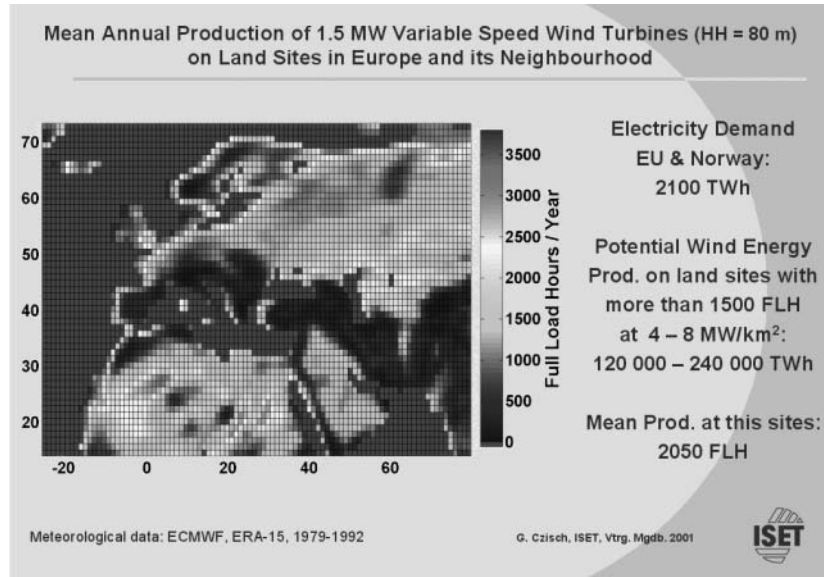
La variazione stagionale della produzione potenziale da energia eolica mostra variazioni sostanziali in funzione delle differenti regioni.

Si rileva che l'Europa è una regione caratterizzata da massimi di vento invernale e minimi di vento estivo. La costa sahariana occidentale mostra ad esempio la produzione inversa. In altre regioni la produzione in Giugno e Gennaio è simile.

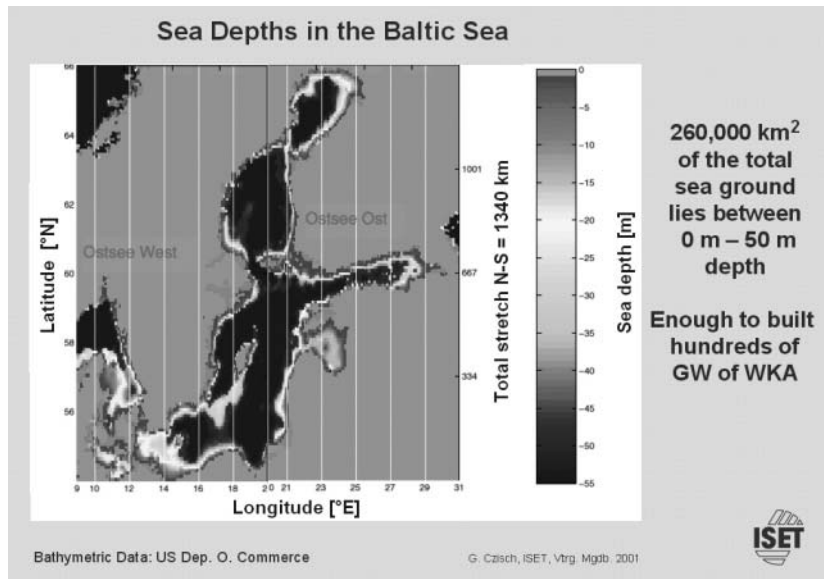
Nell'accluso diagramma n. 6G del comportamento spazio-temporale della potenza eolica si può notare la correlazione delle variazioni di potenza desunte da due turbine in rapporto alla media del tempo. Se ne deduce che le fluttuazioni dovute alla bassa correlazione all'interno d'intervalli brevi di alcuni minuti possono essere limate anche all'interno di grandi parchi eolici.

Il grafico n. 7G mostra la correlazione della variazione della produzione d'energia eolica riferita alla distanza tra le turbine. Questa è riferita a differenti medie temporali. Ad esempio la correlazione sui 5 minuti precipita praticamente a ze-

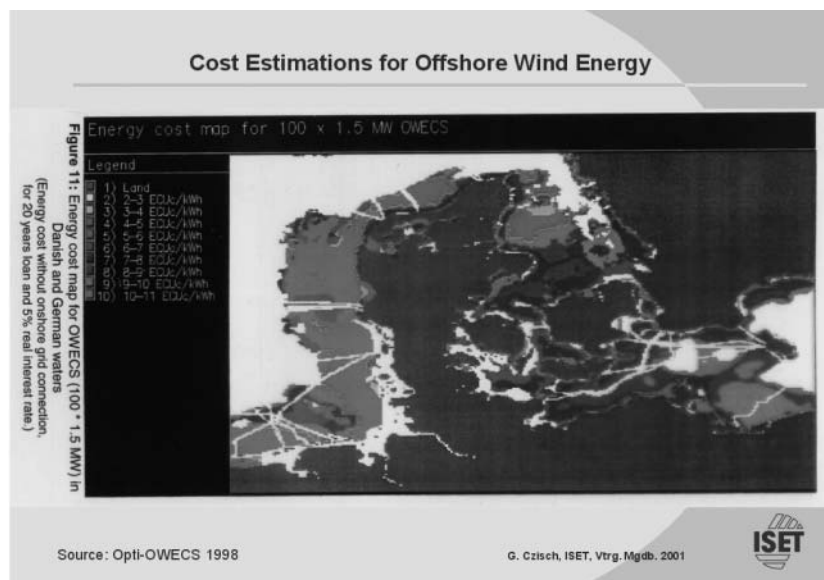
3 G



4 G



5 G



ro dopo una distanza breve come quella dei 5 km. Mentre i valori sulle 12 ore raggiungono un coefficiente di correlazione pari a 0,2 sulla distanza dei 500 km.

Vediamo ora il quadro Europeo (imm. 8G).

Dalla regione della precedente immagine abbiamo ricavato (foto n. 7G) sotto-regioni con buone condizioni di vento per studiare il comportamento temporale della loro energia eolica potenziale.

Si fa riferimento alla correlazione media della variazione di potenza rispetto alle distanze regionali.

Come possiamo vedere dalla media mensile, che nella figura 9G è una linea viola (con pallini), la correlazione media è pari praticamente a zero alla distanza di 2000 km. Ciò significa che considerevoli effetti d'appiattimento possono essere ottenuti non appena l'area di raccolta s'approssima a questa dimensione.

Si nota nel dettaglio che nella correlazione della media mensile della potenza eolica esiste inoltre una certa non-correlazione di natura sistemica (produzione - consumo) tra regioni. Pertanto l'idea di selezionare quest'ultime in modo da ottenere la miglior combinazione tra produzione e consumo energetico diventa scontata.

Come già detto (imm. 8G) la produzione potenziale nei siti con più di 1500 FLH è notevole, ed essi possono essere selezionati.

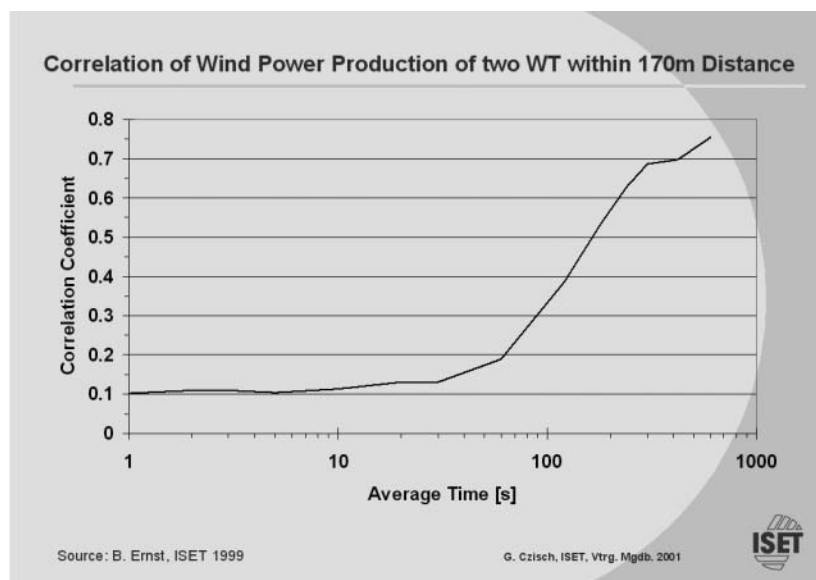
Un esempio:

- 1) Siti ottimali all'interno di UE e Norvegia
- 2) Regione del Jamal e Russia del Nord
- 3) Parti del Kazakistan
- 4) Marocco del Sud (in questa regione ci sono picchi significativi fino a 5000 FLH).
- 5) Mauritania

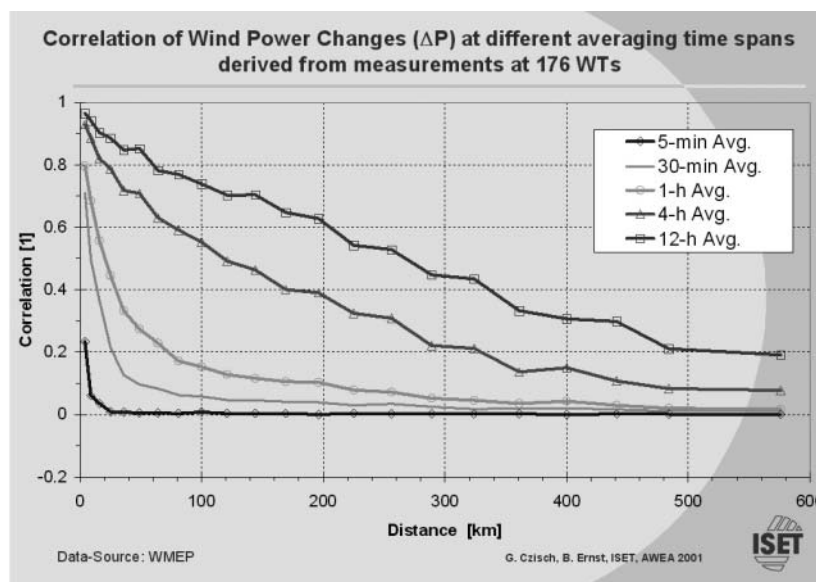
Per usare queste risorse dobbiamo avere un sistema di trasporto con alta capacità.

Da un punto di vista economico

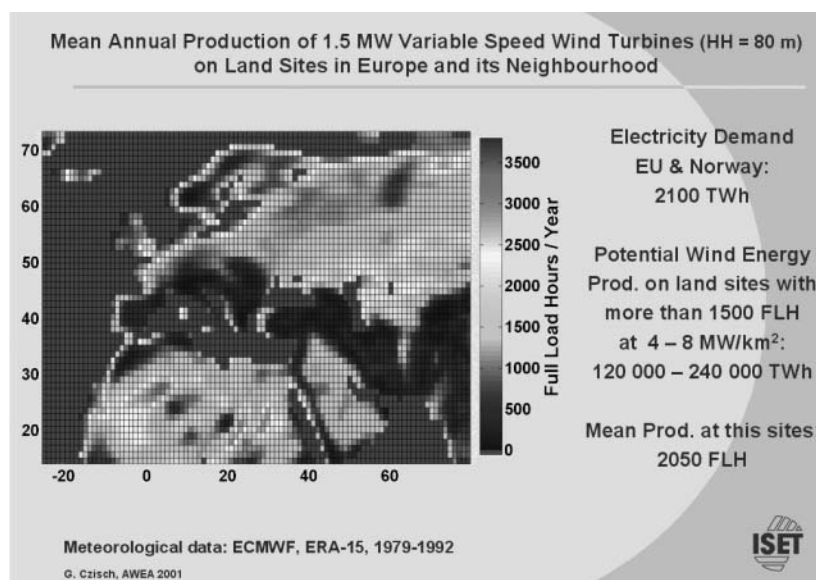
6 G



7 G



8 G



l'opzione dell'energia eolica è interessante anche quando si considera la nuova capacità di trasporto. La figura n.10 G mostra il calcolo per le regioni prescelte. I valori assunti quale riferimento per il trasporto possono essere ricavati dalla tavola in basso.

Come esempio riportiamo quello del Marocco del Sud. La produzione potenziale media è pari a 3400 FLH. Il costo all'interno della regione è di 3 € c/kW. Per trasportare l'energia a Kassel la lunghezza della linea HVDC dovrebbe essere di circa 4400 km con 40 km di cavo sottomarino. Il costo totale a Kassel è calcolato attorno a 4,5 € c/kWh. Pertanto 0,5 € c/kWh sono dovuti a perdite del 10%.

La produzione massima presente in Europa si rapporta alle dimensioni delle aree di raccolta, varia molto rispetto alla domanda ed è massima nei mesi invernali; lo stesso accade nel Marocco, dove tuttavia la produzione è massima in estate.

E' ovvio che l'utilizzo simultaneo di siti produttivi in regioni diverse può quindi rispondere molto meglio alla domanda.

Con la linea nera con triangolini della foto n. 11G si mostra la combinazione di cinque diverse regioni.

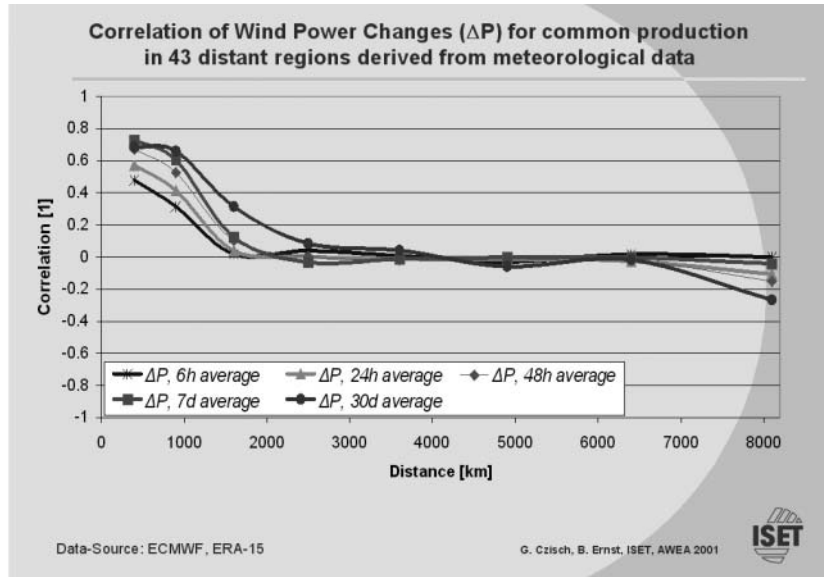
Mettendo a confronto, fig. n. 12G, la Curva di Durata dell'energia eolica in differenti aree vediamo che i massimi scendono con la dimensione. Mentre nelle sub regioni danesi e tedesche spesso la potenza nominale è raggiunta, il massimo in regioni più grandi decresce in modo significativo. Nel caso d'uso simultaneo in tutte le regioni il massimo è pari circa al 65%.

Consideriamo di voler ottenere una produzione base del 30%.

Durante l'anno abbiamo degli eccessi e delle carenze.

Ad esempio la regione più piccola produrrebbe un eccesso del 40% ri-

9 G



10 G

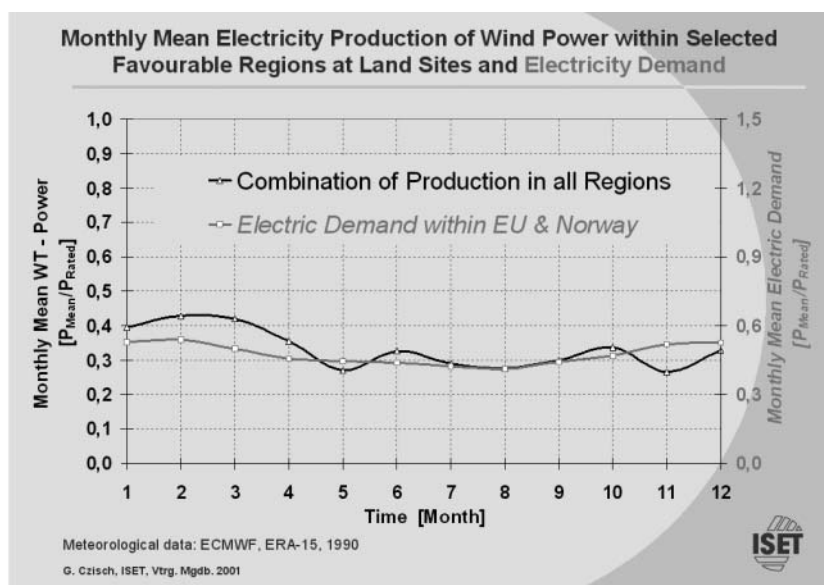
Cost Calculation for Wind Energy from Far Distant Regions

Region	Full Load Hours [h/a]	Distance to Kassel [km]			Costs [€/kWh]			Mean Losses [%]
		Land	Sea	Land & Sea	within the Region	in Kassel	Cost of Losses	
a) Northern Russia and Western Siberia	3100	4200	0	4200	3,1	4,4	0,5	10,4%
b) Kazakhstan	2600	4300	0	4300	4,1	5,9	0,7	10,2%
c) Southern Morocco	3400	4400	40	4440	3,0	4,5	0,5	10,4%
d) Mauritania	3000	4900	40	4940	3,2	4,8	0,6	10,8%

Underlying Assumptions			
Transportation System		Wind Parks	
HVDC Voltage	+/- 600 [kV]	Total Investment	1000 [€/kW]
Konverter Costs	2 * 60 [€/kW]	Annual O & M Costs relative to total investment	2 [%]
Converter Losses at full load	2 * 0,55 [%]	Real Interest Rate	5 [%]
Costs of Overhead Line	70 [€/kW * 1000 km]	Calculatory Lifespan	20 [a]
Costs of Sea Cable	700 [€/kW * 1000 km]		
Losses in Overhead Line and Cable at full load	4 [% / (1000 km)]		
Annual O & M Costs relative to total investment	1 [%]		
Real Interest Rate	5 [%]		
Calculatory Lifespan	25 [a]		

G. Czisch, ISET, Vtrg. Mgdb. 2001 Rated HVDC Power = Rated Wind Power = 5 GW

11 G



spetto alla somma della produzione fissata (somma dei mesi favorevoli) ma d'altro canto vi sarebbe anche una carenza del 36% (sommatoria dei periodi sfavorevoli).

Con l'uso simultaneo di sorgenti diverse la carenza scende al 9%.

Pertanto avremmo bisogno (imm. **13G - 14G**) comunque di questo 9% sotto forma di energia conservata e d'una potenza di riserva pari al 26% della capacità produttiva delle turbine eoliche (quando cioè dall'eolico si ricava solo il 4%).

Ciò potrebbe essere ottenuto tramite turbine a gas, il cui costo corrisponde a 250 €/kW. (Negli ultimi anni il mercato delle turbine a gas è cresciuto notevolmente e pertanto il prezzo nel 2001 risulta ora quasi doppio fino a 500 €/kW).

L'investimento per il sistema ausiliario (backup) è pari a circa il 7% di quello per le turbine eoliche.

Se ora noi consideriamo di produrre con energia eolica l'equivalente della domanda sappiamo che in relazione all'U.E. ed alla Norvegia dovremo installare, nel complesso delle regioni, 660 GW.

La curva di durata della figura n. **15G** rappresenta un potenza totale nominale di 465 GW ed una domanda di 1940 TWh. La massima potenza richiesta è di 295 GW, e la minima di 140 GW.

La differenza tra produzione eolica è domanda corrisponde alla linea verde. Il massimo surplus e deficit sono entrambi di 200 GW.

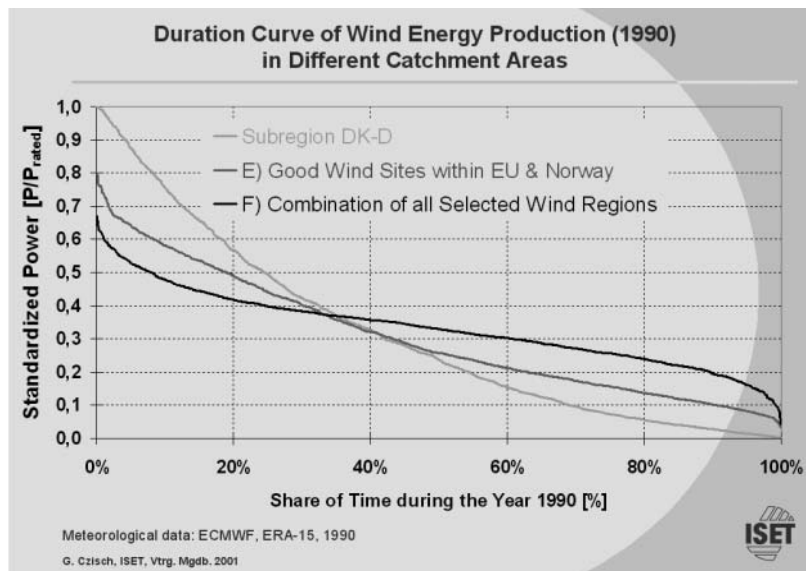
La carenza d'energia è pari al 14% della domanda.

In Europa esiste un sistema di accumulo con una potenza nominale ed una capacità d'accumulo relativamente alto.

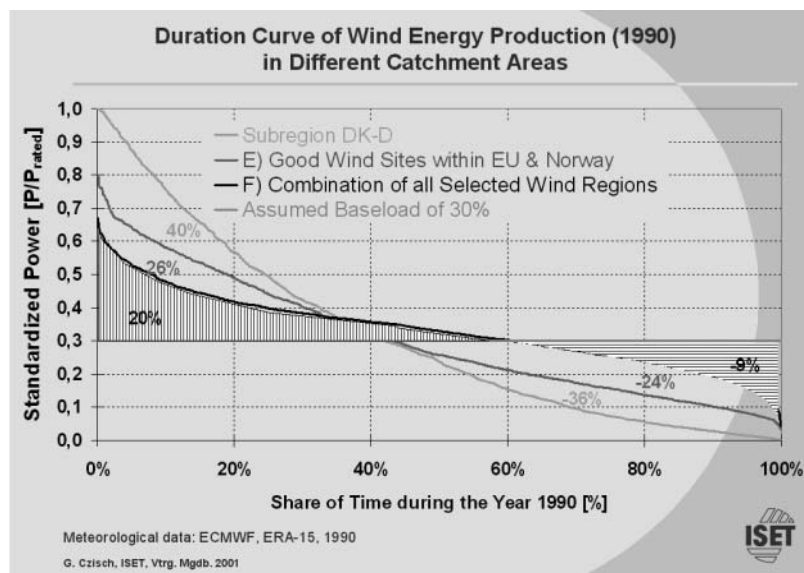
La produzione annuale d'accumulo da energia idroelettrica all'interno della nostra area di riferimento è pari al 15% della sua domanda. Pertanto essa è poco più alta della citata carenza d'energia da fonte eolica ed sufficiente (nella media) a consentire la compensazione.

Ma i 96 GW di potenza nominale

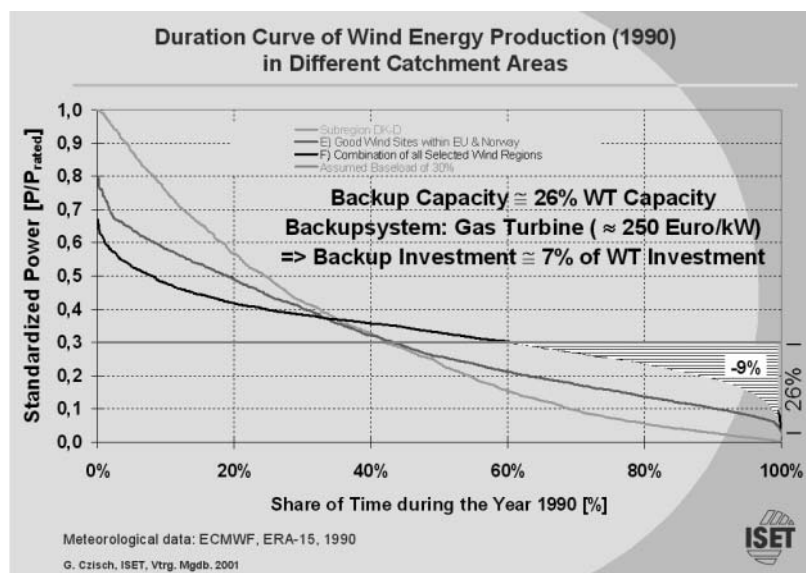
12 G



13 G



14 G



idroelettrica da accumulo sono troppo pochi per compensare il picco di mancanza d'energia (imm. **16G**). La differenza è ancora di 120 GW (nel momento maggiormente sfavorevole).

Ci sono alcune possibilità per recuperare la necessaria potenza di backup. Uno di questi è quello d'aumentare la potenza nominale per le riserve come a volte si fa per sopprimere alla capacità di massimo carico. Un'altra strada è quella d'utilizzare unità termiche che potrebbero essere alimentate tramite biomasse.

Esempio d'applicazione sostenibile

Per concludere si propone un breve esempio di come sia possibile coniugare riduzione dei gas CO₂ e aiuti per lo sviluppo. Ciò in rapporto ad una ipotetica partnership tra Germania e Marocco pensata per la costituzione d'un nuovo sistema di produzione elettrica.

La popolazione nel paese in via di sviluppo e pari a circa il 36% di quella della Germania.

In Marocco il consumo d'elettricità pro-capite è il 7% di quello tedesco.

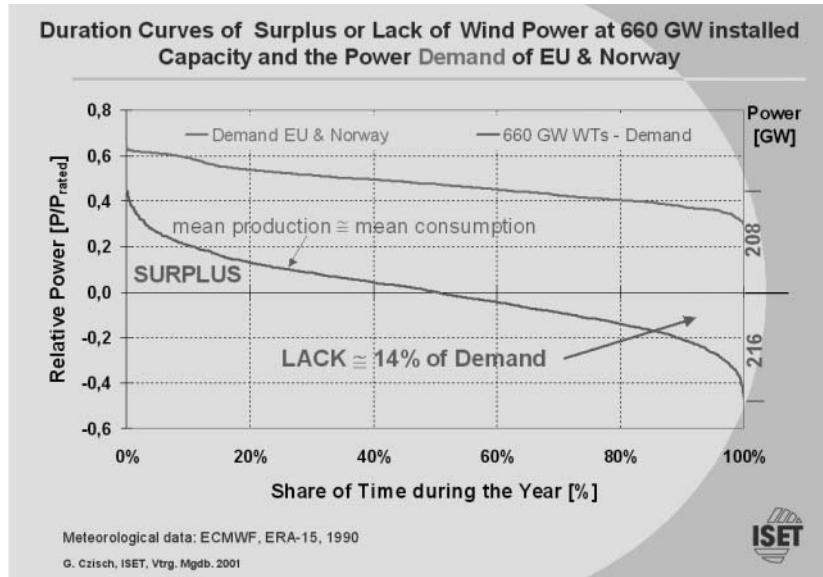
Il prodotto interno lordo (GDP - Gross Domestic Produkt) è pari all'1,7 di quello della Germania, dove si spende in elettricità il 2,2 del PIL, con un valore complessivo superiore a quello dell'intero Marocco.

Se l'U.E. decidesse di produrre il 10% della propria energia elettrica in Marocco (equivalente al 40% della Germania) l'investimento totale in parchi eolici sarebbe pari al solo 3,3% del GDP tedesco su base annua, ma contemporaneamente pari al doppio del GDP del Marocco.

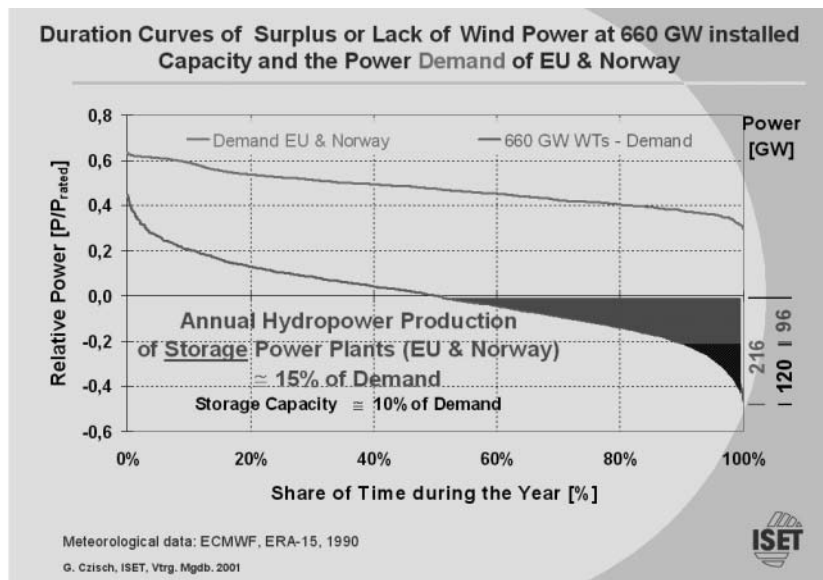
Pertanto la scelta consentirebbe d'ottenere energia a basso costo garantendo ad un paese in via di sviluppo un enorme aiuto economico dalle ricadute decennali. (**1H**)

(Traduzione P.B.)

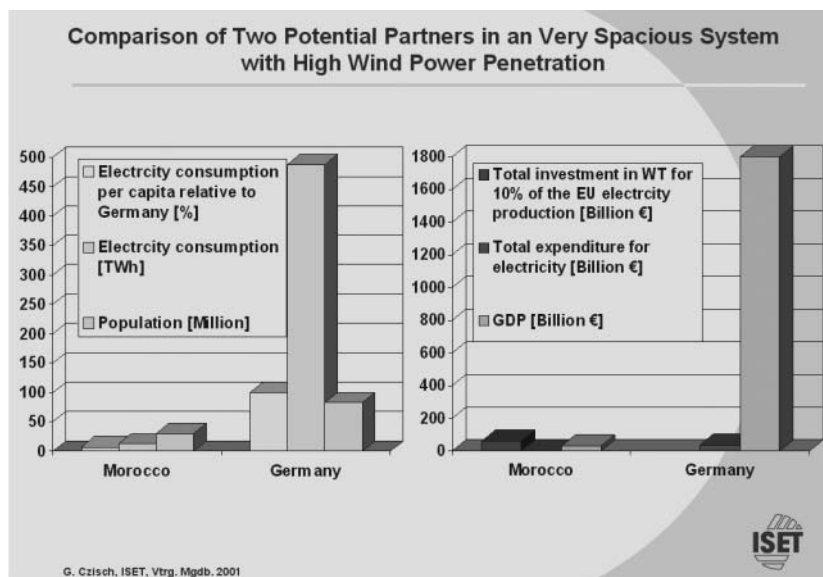
15 G



16 G



1 H



ARGOMENTI ESSENZIALI IN RELAZIONE ALL'INFORMAZIONE ED ALL'EDUCAZIONE AMBIENTALE

(Piero Blanchini)

1) La produzione d'energia rinnovabile è ecologicamente fondamentale ma può essere anche economicamente vantaggiosa.

2) I siti produttivi possono avere una collocazione strategica che non coincide con l'ubicazione della domanda sociale. Le politiche energetiche nazionali ed internazionali devono misurarsi con una reale possibilità di revisione strategica, su base mondiale, dell'utilizzo delle aree a maggior potenziale energetico.

3) La costituzione d'una rete infrastrutturale per la distribuzione d'elettricità da energia rinnovabile può determinare enormi risparmi qualora l'utilizzo delle moderne tecnologie per il trasporto su larga scala siano acquisite come standard mondiale (alte potenze di trasferimento).

4) Il tema della realizzazione d'impianti innovativi, quali ad es. le torri energetiche, introduce nuovi concetti d'impatto ambientale e paesistico, del tutto slegati dall'ordinario approccio urbanistico ed architettonico. Opere mastodontiche ma puntuali, collocate in aree selvagge o naturali, possono spingere ad una nuova definizione di "ecologia del paesaggio" che accetti il forte contrasto generato dalla tecnologia sostenibile quale esempio della corretta cambiale da pagarsi a favore del bene collettivo. L'indotto economico ed occupazionale prodotto dalla realizzazione di impianti benefici potrebbe costituire lo strumento per promuovere l'impatto tecnologico quale esempio d'una visibile azione positiva del progresso a favore dell'ecologia.

5) La simbiosi tra elementi fisici del pianeta ed attività dell'uomo garantirebbe un enorme contributo alla consapevolezza ecologica delle popolazioni: turbine installate in tor-

ri simili a montagne, enormi eliche che ci riportano ai romantici mulini a vento, distese di pannelli solari simili a coltivazioni di mais. La nuova coscienza delle civiltà del terzo millennio sarebbe quella della tecnologia che imita la natura e che con essa dialoga nella massima trasparenza.

6) Infine, relativamente al concetto d'efficienza nelle trasformazioni energetiche analizzate nel corso della ricerca va evidenziato un aspetto di fondamentale importanza ecologica.

In generale si considera come efficienza energetica il rapporto tra la quantità di energia consumata (normalmente un combustibile) e l'energia disponibile prodotta (ad esempio l'energia elettrica a servizio della collettività) al netto di tutte le perdite di sistema.

In termini economici il calcolo del rendimento d'un impianto produttivo tiene conto di tutte le spese necessarie alla realizzazione, gestione e dismissione dell'attività di generazione e distribuzione. Conseguentemente non fa molta differenza se il processo posto alla base della produzione energetica viene alimentato con risorse rinnovabili o fossili non rinnovabili.

Diversa appare la valutazione qualora affrontata in relazione ai costi ambientali. Infatti il calore prodotto dal sole tramite le radiazioni incidenti sul pianeta costituisce una fonte energetica ecologicamente diversa da quella derivante da una generica combustione artificiale, poiché esso non implica il deperimento dell'energia potenziale contenuta del combustibile fossile, risorsa finita, e neppure la produzione di scorie e gas inquinanti.

Da questa semplice osservazione s'evince che l'efficienza ecologica legata alla produzione d'energia

non può essere parametrata attraverso un bilancio economico o una mera valutazione di fattibilità tecnica. Dovremmo piuttosto ricorrere ad un parametro di natura composta; a titolo esemplificativo - costo del petrolio + costo ambientale (in senso lato) derivante dal suo sfruttamento.

Il costo sociale dei gas serra rientra ad esempio in questo secondo termine.

Il costo del combustibile, delle superfici occupate per il recupero dell'energia solare o, in senso ancora più lato, del danno ambientale prodotto dalle energie non rinnovabili sono, in altri termini, costi effettivi ancorchè non riconducibili allo stesso sistema di valutazione. E ciò perchè il conto economico abbraccia sistemi economico-sociali differenti ed ha ricadute temporali altrettanto disomogenee.

Sicuramente l'analisi qui offerta è di per sè sufficiente a dimostrare come su base tecnico-economica vi siano notevoli margini per un sempre maggiore utilizzo delle tecnologie rinnovabili. Ma in termini ecologici la priorità dello sfruttamento delle sole energie rinnovabili, unita al contenimento e alla razionalizzazione dei consumi, diventa del tutto fondamentale.

Come appare anche strategico che i serbatoi d'energia potenziale ecologica siano tutelati e gestiti in funzione dell'interesse della collettività locale e del più ampio sistema economico ad essi interconnesso.

L'articolo è consultabile in lingua originale al sito: <http://www.iset.uni-kassel.de/abt/w3-w/foalien/mag-deb030901/overview.html>

dal quale si possono anche raccogliere tutte le illustrazioni originali collegate al testo completo in inglese.

