

CAPITOLO VI

COSTRUZIONE DEGLI INDICATORI NEL PEARS

L'analisi dello stato attuale del sistema energetico della Sardegna ha condotto all'elaborazione di alcuni indicatori di stato che permettono di qualificare il sistema stesso in termini di efficienza globale e di intensità energetica.

L'intensità energetica del sistema isolano è valutata mediante l'omonimo indicatore costruito come rapporto fra il fabbisogno di energia primaria della Sardegna in un anno determinato ed il prodotto interno lordo della Sardegna nello stesso anno.

L'anno 2003 l'intensità energetica del sistema energetico della Sardegna risulta pari a :

Intensità energetica (anno 2003)	tep/PIL-M€'95	260,0	179,6
---	----------------------	--------------	--------------

Un altro indicatore dell'intensità energetica della Regione risulta dal consumo specifico di energia elettrica procapite, il suo valore per l'anno 2003 risulta:

Consumo specifico di energia elettrica pro capite (2004)	kWh/ab	7164,0	5236,0
---	---------------	---------------	---------------

Tab. 1- Dati sintetici di confronto dei sistemi energetici della Sardegna e dell'Italia (Rif. Tab 7- dello "Studio PEARS")

Le informazioni diffuse per l'anno 1999 dall'ENEA e dall'ANPA hanno permesso di creare un indicatore capace di "legare" tra loro i dati relativi alle emissioni di anidride carbonica con quelli relativi ai bilanci energetici analizzati (in particolare gli usi finali dei principali macrosettori e le trasformazioni di energia elettrica).

Sono stati calcolati gli indicatori di emissione di CO₂ riferiti ai consumi energetici per la Sardegna e per l'Italia. Questo indicatore, espresso in ton CO₂/tep, è molto importante perché fornisce per le diverse attività un indice di *emissione specifica per unità di energia*, il suo valore per l'anno 1999 è riportato nella tabella seguente:

EMISSIONI DI ANDRIDE CARBONICA (CO ₂) PER ATTIVITA' IN ITALIA E IN SARDEGNA NEL 1999					
Emissioni di CO ₂ [ton]	trasporti [****]	centrali termoelettriche	domestico terziario	Attività industriali [**]	A - Totale
sardegna	3337915	10558648	707812	5102427	19706802
italia	135675706	173400000	71155347	93307548	473538602
CONSUMI DI COMBUSTIBILI PER ATTIVITA' IN ITALIA E IN SARDEGNA NEL 1999					
Consumi energia [ktep]	trasporti [***]	centrali termoelettriche [*]	domestico terziario [***]	Attività industriali [***]	B - Disponibilità interna lorda [***]
sardegna	1332	2433	599	1414	6548
italia	41200	53900	41200	38500	182700
EMISSIONI DI ANDRIDE CARBONICA (CO ₂) PER ATTIVITA' RISPETTO AI CONSUMI DI COMBUSTIBILI IN ITALIA E IN SARDEGNA NEL 1999					
ton CO ₂ /tep	trasporti	centrali termoelettriche	domestico terziario	Attività industriali	C=A[tonCO ₂]/B[tep]
sardegna	2.51	4.34	1.18	3.61	3.01
italia	3.29	3.22	1.73	2.42	2.59
[*] Trasformazioni in energia elettrica del BER 1999 Sardegna e del BEN 1999 Italia					
[**] Produzione cemento + raffinerie + siderurgico + altre attività produttive					
[***] Usi finali del BER 1999 Sardegna e del BEN 1999 Italia					
[****] Trasporti su strada + trasporti marittimi + traffico aereo + trasporti (altro)					

Tab. VI.2 - Indicatori regionali e nazionali di consumo energetico e di emissioni di CO₂ (Elab. da Fonte ENEA e ANPA)

Tra gli indicatori di stato agenti sull'ambiente adottiamo l'emissione di CO₂ specifica, non perché l'unica ma perché soggetta al rispetto del Protocollo di Kyoto.

L'indicatore di stato delle emissioni di CO₂ relative alla produzione di energia elettrica del comparto Sardo, Ico₂, assume i valori riportati nella tabella 3 seguente:

Emissioni dello scenario dello SVILUPPO DELLA GENERAZIONE ELETTRICA			2004		2010		2014	
			con I.A.F.E.R.	senza I.A.F.E.R.	con I.A.F.E.R.	senza I.A.F.E.R.	con I.A.F.E.R.	senza I.A.F.E.R.
MtonCO ₂ +	Fabbisogno Interno Fabb. Int. + Esport.	Razionale	10.454	11.104	8.4342	10.865	8.6316	11.087
			11.053	11.757	12.573	14.951	12.77	15.183
		Tendenziale	10.454	11.104	9.6053	11.974	10.504	12.875
			11.053	11.757	13.74	16.089	14.636	17.008
MtonCO ₂	- Evitate	Razionale	0.70408		2.4677		2.5	
		Tendenziale	0.70408		2.4677		2.5	
Emissioni Specifiche								
kgCO ₂ /MWh	Fabbisogno Interno Fabb. Int. + Esport.	Razionale	830	892.22	664.55	856.04	658.29	845.54
			835.97	899.85	678.12	806.37	673.47	800.74
		Tendenziale	835	892.22	669.37	834.45	666.3	816.74
			835.97	899.85	680.23	796.51	677.19	786.92
Emissioni complessive ¹ Regionali								
MtonCO ₂	Fabbisogno Interno Fabb. Int. + Esport	Razionale	20.795	21.445	21.448	23.885	21.8	24.264
			21.394	22.098	26.11	28.591	26.461	28.979
		Tendenziale	20.795	21.445	22.927	25.338	24.232	26.665
			21.394	22.098	27.584	30.052	28.888	31.388
MtonCO ₂ Equivalent. ²	Fabbisogno Interno Fabb. Int. + Esport	Razionale	25.697	26.347	25.358	27.795	25.71	28.174
			26.296	27	30.02	32.501	30.371	32.889
		Tendenziale	25.697	26.347	26.837	29.248	28.142	30.575
			26.296	27	31.494	33.962	32.798	35.298
1 Macrosettori: Trasporti, Civile, Raffinerie, Industria, Agricoltura-Pesca, Produzione di Elettricità								
2 sono sommati ai Mton di CO ₂ i Mton di CO ₂ equivalenti dovuti alle emissioni di CH ₄ e N ₂ O. Le emissioni di CH ₄ e N ₂ O sono state mantenute costanti durante lo scenario (3.91Mton)								

Tab. VI.3 - L'indicatore di stato delle emissioni di CO₂

Lo stato di occupazione del territorio da parte di strutture del sistema energetico può essere descritto mediante una serie di indicatori dedicati.

A tal riguardo, le linee elettriche di trasporto dell'energia costituiscono certamente l'elemento maggiormente diffuso sul territorio che ne modifica il paesaggio e spesso ne limita fortemente l'uso, sopra tutto quando si tratta delle linee AT. Gli indicatori realizzati per tenere conto di questi aspetti dell'alterazione ambientale sono i seguenti:

- indicatori di linea (I_l) come rapporto tra la lunghezza di linea (L_{tot}) e la superficie provinciale o regionale (S_p o S_r):

$$I_l = L_{tot} / S_r;$$

- indicatori di supporto (I_p) come rapporto tra il numero di pali o tralicci (N_p) e l'area di territorio provinciale o regionale $I_p = N_p / S_r$.

ENERGIA EOLICA

Le installazioni di impianti di generazione eolica possono essere valutate in termini di benefici ed effetti negativi mediante una serie di indicatori specifici.

L'obiettivo del set di indicatori proposti è quello di permettere una obiettiva valutazione della qualità dello sfruttamento della risorsa consentendo di valutare quali margini di sviluppo ci siano e quali i limiti ambientali e di sistema.

Dal punto di vista energetico un parametro rilevante è certamente la produttività elettrica del sito in GWh/(a·MW). Il valore assunto da questo indicatore permette di calcolare le emissioni nocive evitate in tonCO₂/a.

L'impatto sull'ambiente in termini di modifica del paesaggio può essere valutato numericamente mediante un indicatore di visibilità estetico-paesaggistica misurabile in gradi di angolo piano o di angolo solido.

La potenza specifica del generatore eolico, misurata mediante l'indicatore di taglia MW/macchina, permette di valutare il grado di sfruttamento di un'area.

La valutazione delle modifiche fisiche apportate da un impianto eolico all'area sede dell'installazione è possibile grazie all'introduzione di due indicatori di modifica del suolo:

“indicatore di volume di suolo modificato I_{gv} ” (accompagnato dalla natura della modifica) ed un “indicatore di profondità della interazione I_{gp} ”.

La generazione eolica risulta avere *emissioni materiali* nulle pertanto *gli indicatori di emissione* di funzionamento hanno i seguenti valori:

- indicatori di emissione solida $I_{sol} = 0$
- indicatore di emissione liquida $I_{liq} = 0$
- indicatore di emissione di gas $I_{gas} = 0$

Tuttavia si deve tenere conto dell'energia da combustibili fossili o nucleari assorbita durante la costruzione delle macchine e dell'impianto, l'“investimento energetico” (energy Payback), che con il metodo LCA attribuisce un piccolo valore di emissioni ripartito nel tempo di vita dell'impianto di almeno 20 anni. Poiché gli impianti eolici hanno un tempo di restituzione dell'investimento energetico inferiore ad un anno (non superiore a 6 mesi per le potenze unitarie maggiori di 1000 kW) ne consegue che la emissione dovuta alla costruzione è inferiore ad 1/40 della totale emissione evitata nel ciclo di funzionamento dell'impianto.

b) indicatori socio-economici:

produzione economica con il calcolo delle esternalità; posti di lavoro; salubrità del posto di lavoro.

Per quanto riguarda i calcoli dei costi delle diverse forme di energia per avere la possibilità di confrontarli specialmente con le fonti meno inquinanti, bisognerebbe fare il calcolo delle esternalità, cioè dei costi esterni

al processo industriale, dei costi della salute delle persone, dei costi del degrado chimico fisico del suolo, dell'aria, dell'acqua. Anche il beneficio sociale dei posti di lavoro che una tecnologia può dare è inficiato nella valutazione del suo reale beneficio se non si tiene conto del costo delle malattie, del costo del danno all'ambiente.

Ad esempio è noto che a parità di potenza una centrale elettrica a carbone dà un maggior numero di posti di lavoro di una centrale a metano ad alto rendimento, ma le implicazioni sanitarie dovute alle condizioni di salubrità del posto di lavoro e le emissioni nocive in generale non vengono introdotti nella valutazione dei costi di produzione della Energia elettrica.

c) indicatori territoriali

Occupazione del territorio in conformità alla programmazione (destinazione d'uso dei suoli, rispetto dei PTP e dei PUC). Rispetto delle zone vincolate (ZPS, SIC, Parchi naturali...); distanza dalle strade e dalle aree urbane; è opportuno definire indicatori di occupazione del territorio.

Un indicatore territoriale di stato definito come rapporto tra il numero totale di macchine installate e la superficie della Regione non ha significato fisico perché le macchine sono raggruppate in pochi parchi eolici in un numero piccolo di territori comunali.

E' più rappresentativo un indicatore territoriale che dice il grado di occupazione dei territori comunali:

$$I_n = \text{numero di parchi} / \text{numero dei comuni che li ospitano}$$

Anche significativo è un indicatore I_d che dà una misura della densità locale delle eoliche:

$$I_d = \text{numero di macchine} / \text{numero di parchi}$$

Dai dati del SIVIA, al mese di giugno 2004 risultano avere avuto "esito positivo di VIA Verifica-STP" n. 15 parchi eolici per 537 MW con 412 eoliche (su territori di 20 Comuni);
perciò gli indicatori sopra definiti presentano i seguenti valori:

$$I_n = 15 \text{ parchi} / 20 \text{ Comuni}$$

Con un indicatore di occupazione del Territorio regionale espresso da:

$$(I_t)R = 20 \text{ Comuni con impianti} / 377 \text{ Comuni}$$

Nello stato del dicembre 2005 se consideriamo i n.8 nuovi parchi eolici ed i vecchi parchi significativi come Monte Arci, Villacidro, Campanedda, Monte Uccari, si trovano per gli indicatori territoriali i seguenti valori:

$$I_n = 16 \text{ impianti} / 16 \text{ Comuni}$$

$$(I_t)R = 16 \text{ Comuni con impianti} / 377 \text{ Comuni}$$

d) indicatori estetico-paesaggistici

sono definiti in modo da consentire una valutazione dei seguenti argomenti:

estensione dell'angolo di ingombro visivo lordo sul piano orizzontale e su quello verticale; visibilità da siti di pregio paesaggistico; visibilità dal centro storico urbano; colorimetria; visibilità a distanza; accettabilità

culturale da parte della popolazione fondata sulla coscienza della tutela della salute e dei rischi per l'equilibrio del Pianeta.

Nel caso degli impianti eolici già realizzati in Sardegna un esempio per la valutazione estetica è dato dalle fotografie 1 e 2 seguenti; in particolare si osservi che le due eoliche della fig.1 avendo 60 metri di altezza e diametro ed una potenza di 1750 kW, equivalgono a sei eoliche della fig.2 che hanno dimensioni di 47 metri e potenza 600 kW. E' significativo dal punto di vista paesaggistico il fatto che nello stesso angolo visuale della fig.2 si sarebbero viste anziché 8 o 12 macchine soltanto 3 o 4 rispettivamente.



Fig. VI.1 - Impianto ENEL di Fiume santo (eoliche da 1750 kW)

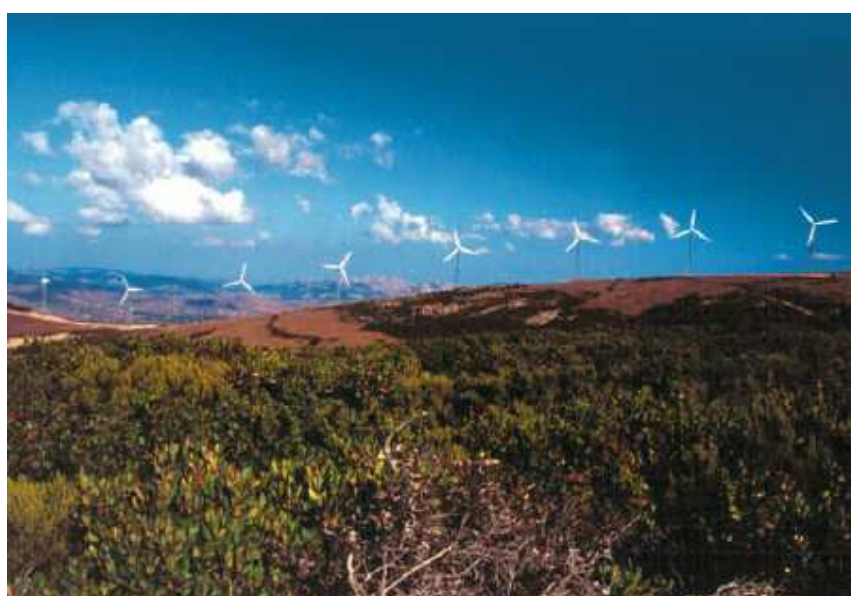


Fig. VI. 2 - Impianto IVPC di Bortigiadas (eoliche da 650 kW)

Sistema Industriale (le condizioni di stato)

Allo scopo di mettere in risalto le peculiarità dei consumi energetici della Sardegna ed in particolare quelli del settore industriale, sono stati esaminati alcuni indicatori economici e tecnico-economici della Sardegna confrontati con quelli medi nazionali. Gli indicatori sono tratti dalle pubblicazioni dell'ENEA: Rapporto Energia e Ambiente 2005 - Vol.2 - I DATI e dai volumi del Sistema Informativo Energetico Regionale (S.I.E.R.). Nelle tabelle che seguono si riportano i consumi energetici finali pro capite in tep/abitante, i consumi elettrici finali pro capite in MWh/abitante, il consumo energetico per addetto nell'industria in tep/addetto, il consumo elettrico per addetto nell'industria in MWh/addetto, l'intensità energetica del valore aggiunto dell'industria in tep/M€'95, l'intensità elettrica del valore aggiunto dell'industria in tep/ M€'95.

Per quanto riguarda i consumi energetici finali pro capite (Tab. 4), si può notare che col passare degli anni, il valore regionale inizialmente leggermente superiore si è man mano discostato dal valore medio nazionale nel verso dell'aumento; nel 2001 risulta un consumo energetico medio (per abitante) pari a 4,4 (tep/abitante) contro 3,2 dell'Italia. I consumi elettrici finali della Sardegna (per abitante) si mantengono costantemente superiori a quelli medi italiani di circa 1300-1400 kWh/abitante, come si mostra nella tab. 5, così come i consumi energetici per addetto nell'industria (tab. 6), con valori più che doppi rispetto alla media nazionale, e i consumi elettrici per addetto nell'industria (tab. 7); anche questo indicatore vale più del doppio della media nazionale. Stesso discorso per l'intensità energetica del valore aggiunto, dell'industria (tab. 8). Ma il dato più significativo è l'intensità elettrica del valore aggiunto nell'industria: il valore regionale è triplo rispetto al nazionale.

Questo significa che per ogni unità energetica impiegata negli usi finali del settore industriale della Sardegna, il valore aggiunto che si ottiene è pari ad un terzo di quello medio nazionale. Tutto ciò come noto, è conseguenza diretta della presenza nell'Isola di un'industria di tipo *energy intensive*; questo aspetto verrà ripreso e analizzato meglio nel successivo paragrafo.

Anno	Consumo energetico per abitante [*] (tep/abitante) SARDEGNA	Consumo energetico per abitante [*] (tep/abitante) ITALIA
1990	3,2	2,9
1991	3,4	2,9
1992	3,3	2,9
1993	3,5	2,9
1994	3,8	2,9
1995	3,7	3,0
1996	3,8	3,0
1997	4,0	3,0
1998	3,8	3,1
1999	4,0	3,2
2000	4,2	3,2
2001	4,4	3,2
2002		3,3
2003		3,3
[*] disponibilità lorda/abitanti		

Tab. VI. 4 – Consumo energetico per abitante (dati comparativi Sardegna-Italia)

Anno	Consumo elettrico per abitante [*] (kWh/abitante) SARDEGNA	Consumo elettrico per abitante [*] (kWh/abitante) ITALIA
1990	5.184	3.767
1991	5.423	3.840
1992	5.322	3.907
1993	5.171	3.927
1994	5.528	4.053
1995	5.531	4.159
1996	5.657	4.189
1997	5.655	4.312
1998	5.580	4.429
1999	5.779	4.531
2000	5.927	4.718
2001	6.060	4.792
2002		4.932
2003		5.020
[*] Consumo finale di energia elettrica/abitanti		

Tab. VI. 5 – Consumo elettrico per abitante (dati comparativi Sardegna-Italia)

Anno	Intensità energetica per unità di lavoro nell'industria (tep/unità di lavoro) SARDEGNA	Intensità energetica per unità di lavoro nell'industria (tep/unità di lavoro) ITALIA
1995	12,5	5,5
1996	14,3	5,4
1997	17,2	5,5
1998	15,4	5,6
1999	14,4	5,7
2000	13,1	5,8
2001	11,6	5,8

Tab. VI. 6 – Intensità energetica per unità di lavoro nell'industria (dati comparativi Sardegna-Italia)

Anno	Intensità elettrica per unità di lavoro nell'industria (MWh/unità di lavoro) SARDEGNA	Intensità elettrica per unità di lavoro nell'industria (MWh/unità di lavoro) ITALIA
1995	52,9	17,7
1996	55,7	17,8
1997	54,4	18,4
1998	51,9	18,7
1999	53,1	19,0
2000	54,3	20,0
2001	51,1	20,0

Tab. VI. 7 – Intensità elettrica per unità di lavoro nell'industria (dati comparativi Sardegna-Italia)

Anno	Intensità energetica del valore aggiunto del settore industriale (tep/M€'95) SARDEGNA	Intensità energetica del valore aggiunto del settore industriale (tep/M€'95) ITALIA
1995	314,7	141,1
1996	374,3	139,2
1997	432,2	140,7
1998	402,8	140,5
1999	374,7	143,1
2000	339,0	143,0
2001	307,2	143,7
2002		140,7
2003		143,2

Tab. VI. 8 – Intensità energetica del valore aggiunto del settore industriale (dati comparativi Sardegna-Italia)

COSTRUZIONE DEGLI INDICATORI NEL PEARS

Definizione degli indicatori

La definizione degli indicatori di programma, di tendenza e di obiettivo è rappresentata graficamente nella figura 3. Il tempo zero preso come riferimento, indica l'anno di riferimento per il programma di tipo nazionale o internazionale che delinea l'evoluzione da perseguire dell'indicatore in esame; per esempio se l'indicatore diagrammato fosse l'emissione di anidride carbonica, l'anno zero sarebbe il 1990, infatti il protocollo di Kyoto prevede la riduzione al 2010-2012 delle emissioni di anidride carbonica dei paesi aderenti rispetto alle emissioni del 1990. Il valore assunto dall'indicatore al termine del periodo oggetto di pianificazione è rappresentato dal valore "obiettivo" e la curva (rappresentata in rosso) che unisce il valore di "anno zero" con il valore "obiettivo", rappresenta lo sviluppo perseguito dal piano "superiore". L'anno di partenza per il processo pianificatorio è rappresentato dall'anno t_0 , nel quale l'indicatore diagrammato assume il valore di "stato iniziale". La curva che unisce lo stato iniziale con l'obiettivo al tempo t_f rappresenta l'andamento pianificato dell'indicatore. Si tenga presente che il valore obiettivo della pianificazione regionale può non coincidere con il valore obiettivo della pianificazione "superiore".

Gli scostamenti dell'indicatore nell'anno in esame dal valore tendenziale e dal valore del programma "superiore" rappresentano rispettivamente il valore dell'impatto tendenziale e dell'impatto di programma.

La curva che unisce il valore all'anno zero con il valore di stato iniziale indica l'andamento tendenziale prevedibile per l'indicatore, dando un'informazione su quello che presumibilmente accadrebbe se non intervenissero le azioni di piano. L'anno generico t_n è caratterizzato nel grafico in figura da un valore dell'indicatore che si discosta sia dall'andamento programmato a livello superiore sia dall'andamento pianificato, generando così una pressione quantificabile graficamente come scostamento verticale dalla curva obiettivo.

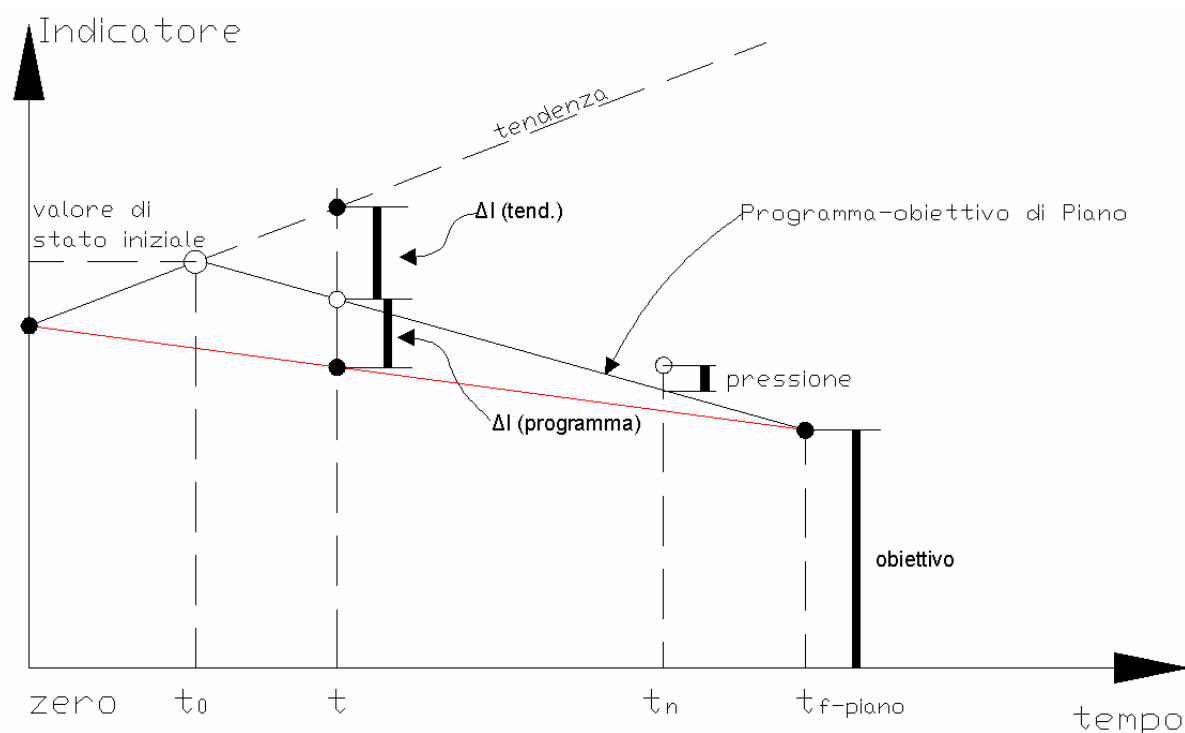


Fig. VI. 3 - Rappresentazione grafica del significato degli indicatori nel processo di stesura del PEARS

Definiamo gli Indicatori di Piano – Indicatori di Programma – Indicatori Obiettivo

Facciamo riferimento all'Indicatore di emissione totale di CO₂ :

$(I_{CO_2})_T$ = massa di CO₂ emessa in un anno dal Sistema Energetico Regionale

Esempio per la Sardegna:

$$(I_{CO_2})_T (1990) = 16,7 \text{ Mton/a}$$

Indicatore di emissioni di gas clima-alteranti complessivi misurati in kg di CO₂ equivalenti come potenzialità di riscaldamento globale (GWP) secondo la tabella di equivalenza del Protocollo di Kyoto (tab. 9):

$$(I_{CO_2})_{T,eq} = \text{massa totale emessa in un anno di gas-serra in unità equivalenti a CO}_2$$

SOSTANZA (GAS)	I_{CO_2eq} come (GWP)
CO ₂	1,0
Metano CH ₄	21
Ossido Nitroso N ₂ O	310
Hidro Fluoro Carburo	11.700
HFC 32	2800
HFC 125	1300
HFC 134 a	3800
HFC143a	140
HFC152a	2900
HFC227Ca	2900

HFC236fa	6300
HFC4310 mee	1300
CF4	6500
C2F6	9200
C4F10	7000
C6F14	7400
SF6	23900

Tab. VI. 9 – GWP di alcune sostanze gassose (Fonte IPCC 1996)

Gli indicatori di emissione specifica di CO₂ sono importanti per la valutazione delle tecnologie e della efficienza energetica del singolo impianto.

L'andamento teorico dell'Indicatore di programma assunto dal PEARS è rappresentato nella fig.3 alla retta Ao-M che consiste nel prendere atto che inseguire l'obiettivo di Kyoto spettante in pieno all'Italia è velleitario ed inopportuno per la Sardegna, potrebbe essere nocivo per l'equilibrio socio-economico. Pertanto si adotta un "Obiettivo di Piano" che rappresenta l'impegno a non abbandonarsi all'andamento tendenziale dell'Indicatore di CO₂ e ad assumere l'impegno, cioè l'obiettivo, di riportare entro il 2010 il valore dell'Indicatore a quello che aveva nello stato iniziale nel 2003-04, nonostante il fabbisogno annuo di Energia vada crescendo.

Non sembri questa adozione del PEARS una rinuncia senza motivi al perseguimento pieno dell'Obiettivo di Kyoto (-6,5%), che in effetti spetta all'Italia intera ed all'Europa; infatti è già questo un "Obiettivo di Piano" molto impegnativo per una economia della Sardegna caratterizzata da una struttura industriale che assume il compito nel quadro della economia nazionale di "polo del Cloro, polo dello Zinco, polo dell'Alluminio primario"; tutte industrie di base ad alta intensità di assorbimento elettrico (le industrie metallurgiche e di base assorbono in Sardegna più del 40% degli usi elettrici finali).

Per consolidare lo stato socio-economico e promuovere lo sviluppo è necessario garantire stabilità e crescita agli Indicatori socio-economici rappresentati da:

- Indicatore di occupazione = numero di occupati nel settore
- Indicatore di produzione economica = Prodotto interno lordo (PIL)

Per ottenere la crescita di questi due Indicatori è necessario che le industrie siano competitive e per esserlo bisogna che dispongano di Energia a basso costo e basso prezzo.

Tenendo conto insieme agli obiettivi ambientali anche dei suddetti obiettivi socio-economici sono stati analizzati numerosi scenari o ipotesi di sviluppo del Sistema Energetico Regionale, con particolare riguardo al comparto di generazione elettrica. I risultati indicano che con il contributo delle FER e delle azioni di URE si può riuscire a stabilizzare l'Indicatore (I_{CO2})_T delle emissioni di CO₂ ma non si può raggiungere l'Obiettivo teorico di Kyoto.

A conferma di questo fatto nello “Studio per il PEARS” viene analizzato uno scenario ipotetico nel quale si suppone di sostituire le centrali a metano NGCC alla Centrale a carbone sulcis; il risultato dal punto di vista fisico ambientale sembra interessante perché l'Indicatore CO₂ si avvicina al valore teorico di Kyoto (vedi Cap. XXIV dello “Studio”); ma il metano non consente i risultati economici, per il prezzo della Energia elettrica, e sociali, per la potenzialità occupativa della “miniera-centrale integrata”, che si possono conseguire con il carbone sulcis secondo il programma previsto dalla legge n.80/2005.

In conclusione il PEARS adotta un “Obiettivo di Piano” che viene espresso dall’Indicatore di emissione di CO₂ totale (I_{CO_2})_T (sia per il sistema energetico complessivo, sia per il comparto di generazione elettrica) che presenta un andamento temporale che partendo dal valore dello stato iniziale del varo del piano tenda per il 2010 ad un valore inferiore (o al più uguale) a quello dell’Indicatore di stato nel 2002-03.

COSTRUZIONE DEGLI INDICATORI NEL PEARS

Definizione degli indicatori CO₂ per il sistema energetico generale e per il comparto di generazione elettrica.

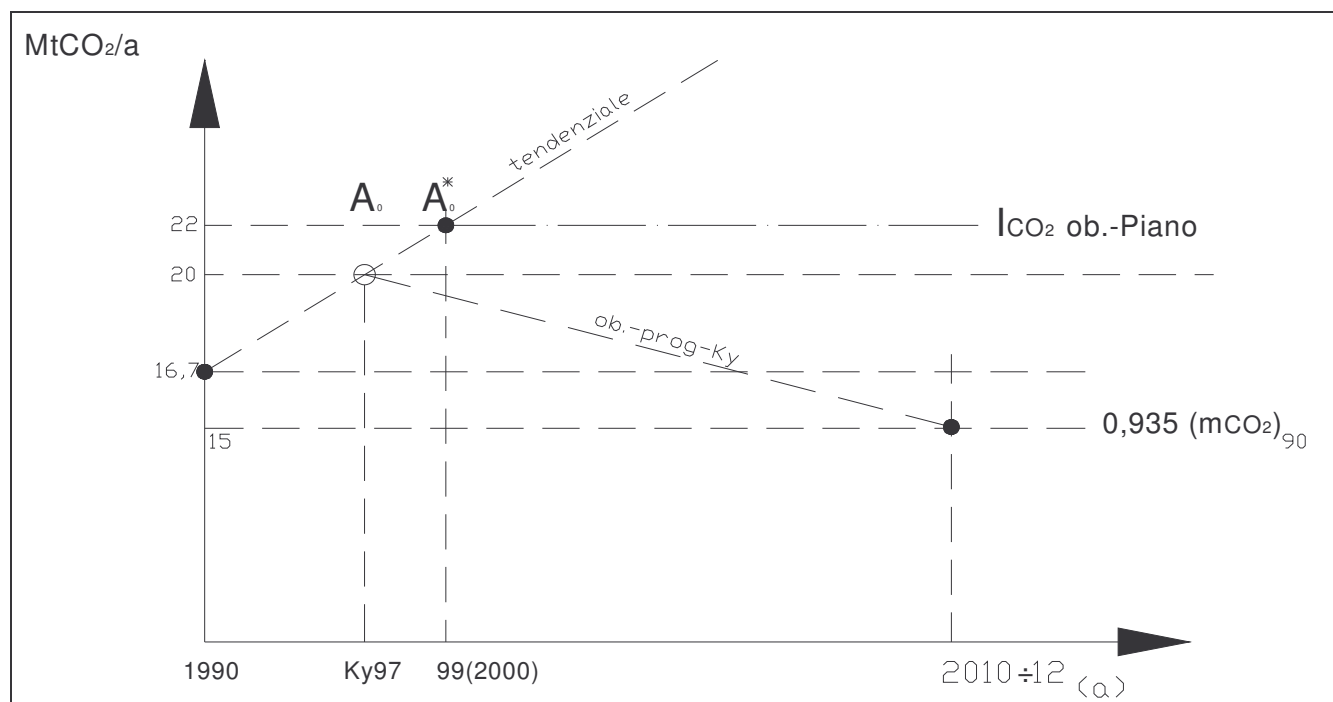


Fig. VI. 4 - Indicatore di emissione totale di CO₂

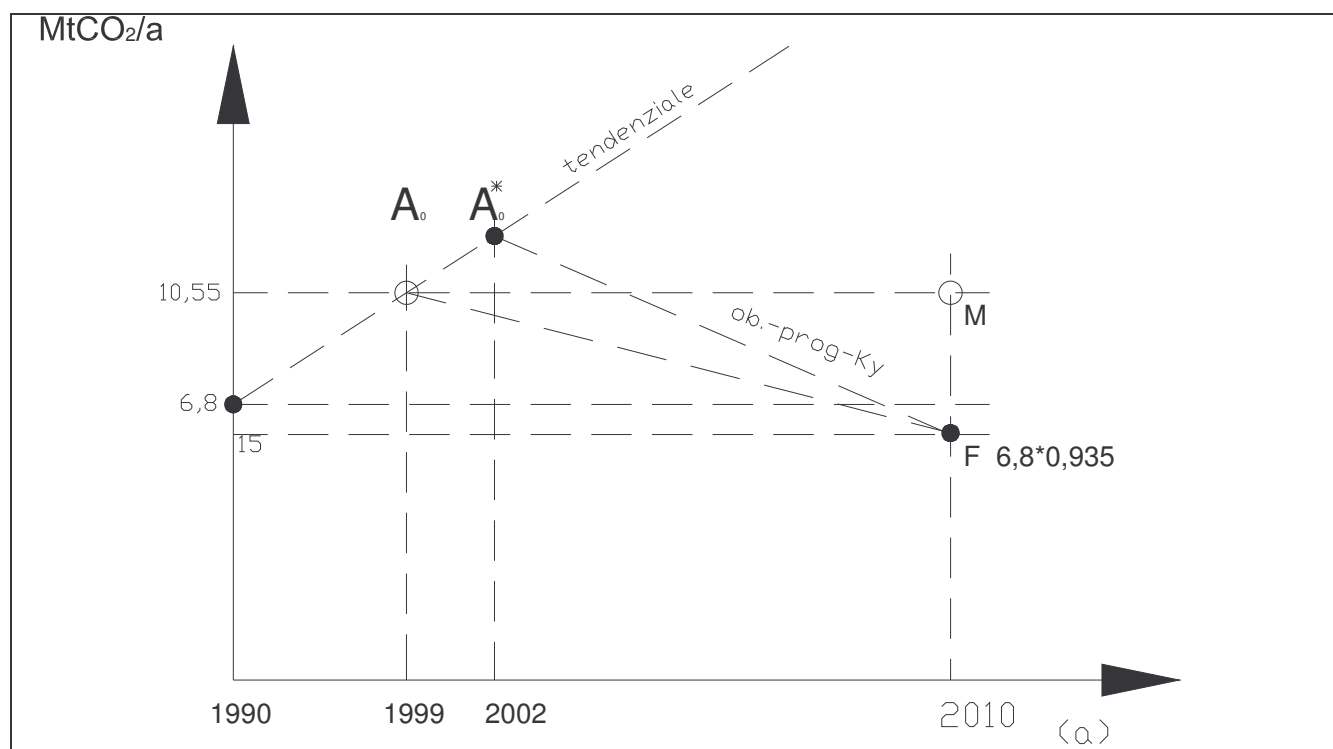


Fig. VI. 5 - Indicatore di emissione di CO₂ per il comparto di generazione elettrica

Utilizzo del metodo DPSIR nel processo di pianificazione energetica

La componente ambientale è stata utilizzata nel processo di pianificazione energetica come elemento fondante per la scelta degli indirizzi di pianificazione.

Le proposte elaborate nello studio per il PEARS rispondono a specifiche e concrete esigenze del sistema energetico regionale non necessariamente legate alla tutela dell'ambiente o al suo miglioramento; per questa ragione si è scelto di utilizzare una metodologia fondata sull'uso degli indicatori che consenta di determinare qualitativamente e quantitativamente le implicazioni ambientali delle scelte.

La metodologia adoperata ai fini della definizione e classificazione degli indicatori segue il modello DPSIR proposto ed adottato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente.

Il modello DPSIR (Determinanti - Pressioni - Stato - Impatti – Risposte) rappresenta un valido strumento nel processo di confronto delle possibili scelte, nel processo di valutazione degli effetti delle decisioni adottate ed infine permette di determinare se e quali risposte debbano essere messe in atto una volta che la fase di monitoraggio evidenzia discrasie fra gli obiettivi perseguiti ed i risultati raggiunti.

Un esempio concreto della metodologia seguita viene descritto sinteticamente nel seguito in modo da meglio evidenziare i passi fondamentali del processo decisionale.

L'emissione di CO₂ del comparto di generazione elettrica

- la configurazione e la consistenza del comparto di generazione elettrica nell'anno di riferimento costituiscono il "determinante" della "pressione" sull'ambiente che può causare o meno "impatto";
- il dato di emissione annua di CO₂ fornito dall'ANPA per l'anno di partenza dello studio costituisce lo "stato" delle emissioni;
- l'obiettivo internazionale di riduzione delle emissioni di CO₂ impone un obiettivo a livello nazionale;
- il PEARS propone un obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ compatibile con gli altri obiettivi prioritari basato anche sull'assenza di una ripartizione dell'obiettivo nazionale alle regioni;
- si definisce una linea di programma che pianifica la variazione delle emissioni di CO₂ dal valore dello "stato" iniziale al valore "obiettivo";
- si determina il valore presunto delle emissioni in un anno determinato in base all'andamento tendenziale;
- se il valore delle emissioni eccede il valore programmato per quell'anno significa che c'è un impatto per cui si propone una risposta tale che vari il valore del determinante (es. viene aumentata la percentuale di Fonti di Energia Rinnovabile nel paniere delle fonti di approvvigionamento);
- se la modifica del determinante comporta una diminuzione della pressione tale che l'impatto si annulli, la risposta si ritiene efficace e diventa proposta di piano, in caso contrario si mettono in campo tutte quelle "risposte" che permettano di ridurre la pressione fino ad annullare l'impatto e riportare il valore delle emissioni a quello programmato per raggiungere l'obiettivo stabilito (es. si pianifica la conversione a Metano di gruppi ad olio combustibile);

Il metodo descritto risulta quindi di tipo iterativo dinamico, la sua applicazione oltre che per valutare e determinare le scelte di piano è stata poi programmata per valutarne gli effetti mediante un sistema di monitoraggio degli indicatori.

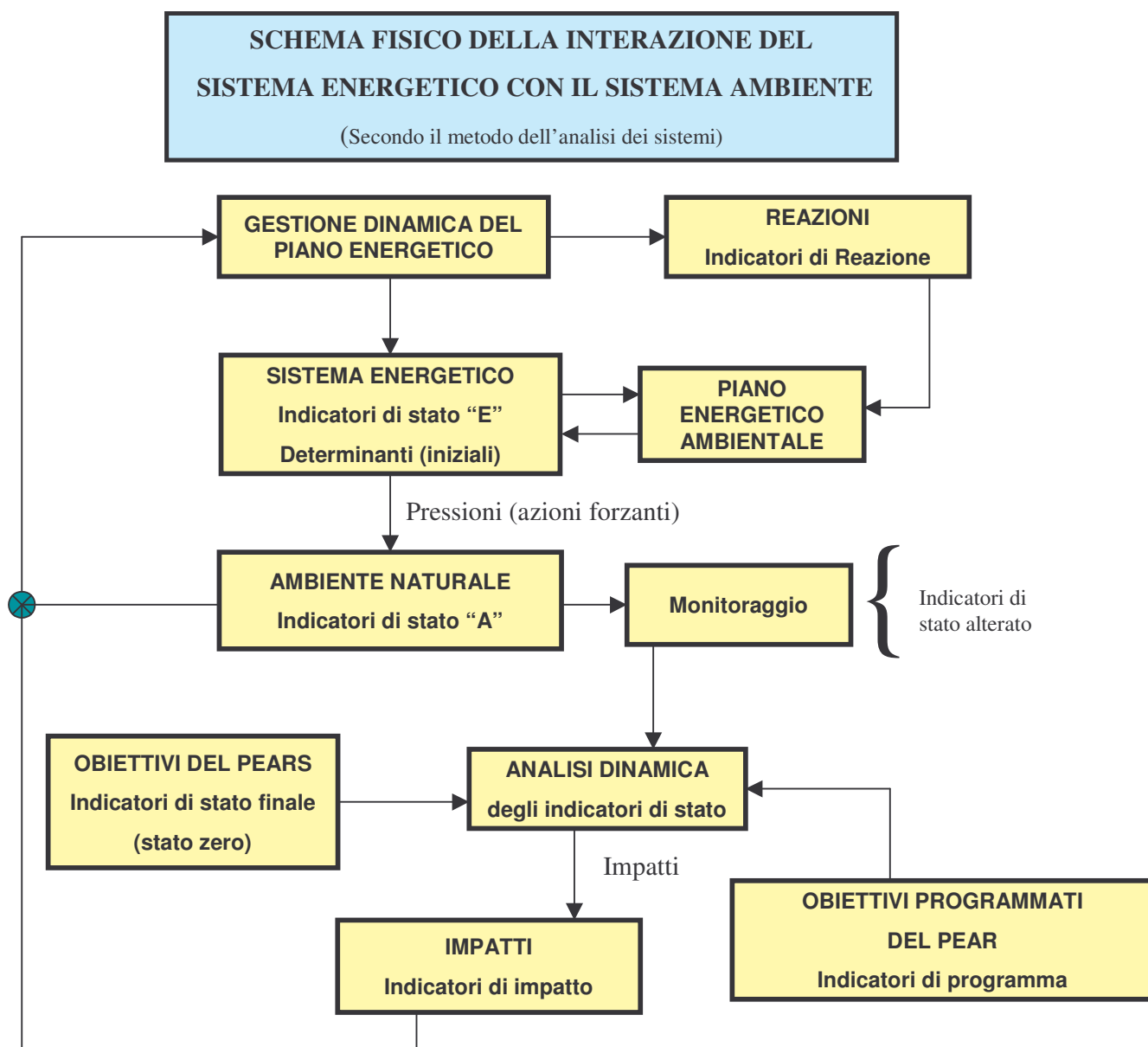


Fig. VI. 6 – Schema fisico illustrante l'interazione del sistema energetico con il sistema ambiente secondo il metodo dell'analisi dei sistemi

Definizione dell'“impronta ecologica” superficiale

Definiamo l'indicatore “impronta ecologica superficiale” come l'area di superficie del suolo allo stato naturale che viene alterata e occupata da un impianto, incluse le infrastrutture accessorie.

Tutte le attività umane, anche quelle agricole, come una vigna, un campo di grano, un insediamento urbano, causano l'alterazione di una superficie di territorio che in origine era coperta di vegetazione e di humus e sede di organismi viventi nel sottosuolo e nel soprasuolo. Chiamiamo questa alterazione “impronta ecologica di superficie” e la misuriamo in unità di area, ad es. ha oppure km².

Indicatore di pressione “impronta ecologica di superficie” totale = Y km²

Se l'alterazione ambientale non è evitabile, ovvero non sanabile, ovvero non compensabile, la stessa “impronta ecologica” costituisce un “Indicatore d'impatto”.

Per poter confrontare diverse strutture impiantistiche, come diversi impianti di generazione elettrica, è necessario definire un Indicatore specifico (di pressione o d'impatto): “Impronta ecologica specifica” riferita o alla unità di potenza nominale dell'impianto o meglio alla produzione annua specifica [GWh/a].

Indicatore “Impronta ecologica specifica” : $y \cdot \frac{ha}{GWh} \cdot oppure \cdot y \cdot \frac{ha}{MW_e}$

Se gli impianti di produzione sono della stessa tecnologia (es. termoelettrico a carbone), si può adottare l'unità di misura ha/MWe, ma per confrontare un impianto termoelettrico con uno eolico, poiché la potenza nominale è associata ad un numero di ore annue di funzionamento diverso per le diverse tecnologie, risulta più significativo utilizzare la unità di misura [ha/GWh/a].

Ad esempio un impianto termoelettrico a carbone da 1 MW può produrre fino a 8 GWh/a, mentre un impianto eolico della stessa potenza nominale può produrre 2÷3 GWh/a.

Concludendo definiamo:

Indicatore di pressione (impatto) “Impronta ecologica di superficie specifica”

$$I_{IES} = y \cdot \frac{ha}{\frac{GWh}{a}} = \frac{Area \cdot di \cdot superficie \cdot naturale \cdot occupata [ha]}{Potenza \cdot elettrica \cdot nominale * n^{\circ} \frac{h}{a} \left[\frac{GWh}{a} \right]}$$

Se la realizzazione dell'impianto richiede lo sbancamento del suolo per profondità significative (ad es. superiore a 2 m) si può definire l'indicatore: “impronta ecologica di sottosuolo” totale misurato in km³ o il valore specifico da misurare come km³/MW ovvero km³/GWh/a.

Per la miniera di carbone questo indicatore ha significato.

Questo indicatore può essere equivalente all'indicatore di impatto “idrogeologico”.

Per costruire l'indicatore di “impronta Ecologica di superficie” è importante definire il modo di calcolare l'area occupata dall'impianto. Per essere chiaro è utile esemplificare per diversi tipi di impianto:

impianto idroelettrico: l'area della valle sulle pendici delle colline sotto il livello massimo dell'acqua; sommato alla superficie delle strutture della diga, alle strutture dell'edificio della centrale idroelettrica ed agli altri accessori stradali.

Impianto termoelettrico: tutta l'area all'interno della recinzione dell'area della centrale, incluse le strade di accesso (escluso la strada pubblica) incluse le opere portuali per lo scarico del carbone, il molo, il carbonile, incluse le aree di prelievo del calcare per la desolforazione e per la preparazione della calce idrata, inclusa l'area per la dimora dei fanghi, dei gessi e delle ceneri.

Impianto a biomassa: somma dell'area occupata dall'impianto incluso il piazzale di manovra e di accumulo del legname, le strade appositamente realizzate (non preesistenti), somma delle aree dedicate a colture energetiche di specie non autoctone, o aree sottratte al bosco o a macchia naturale.

Impianti ad energia solare: si assume area uguale a zero se coincide con aree di tetto o di pensiline o strutture industriali dedicate ai processi o accessori- L'area uguale all'area di terreno totale lorda occupata, cioè incluse le strisce di terreno tra gli schieramenti dei pannelli solari, incluse le strade realizzate specificatamente per accedere all'impianto; incluse le aree degli edifici di servizio; l'area non può contenere cespugli o alberi.

Impianti ad energia eolica: l'area è costituita dalle strade di accesso dedicate (non già esistenti), dalla somma delle aree delle piazzole e dei plinti, area della stazione di trasformazione, area in pianta dei tralicci ad AT. Questa definizione tiene conto del fatto che le eliche girano a quote soprassuolo superiori a 40 m e distano tra loro alcune centinaia di metri, per cui l'area esterna del piazzale può essere lasciata allo stato agricolo preesistente o allo stato di bosco naturale.

Impianto ad energia mare motrice: area totale della superficie del mare occupata dalle superfici metalliche di captazione delle onde. Area totale compresa tra la diga foranea e la linea di battigia per gli impianti utilizzando la marea. Non prendiamo in esame gli impianti sottomarini per sfruttare l'energia delle correnti perché causano un'alterazione della dinamica del bio-marino troppo elevata deviando o rallentando le correnti apportatrici di ossigeno e nutrimento.

Tipo di impianto di generazione elettrica	Indicatore di pressione	
	Impronta ecologica specifica	
	[ha/GWh/a]	[ha/MW]
Impianti termoelettrici a combustibile fossile*	0.012	0.086
Impianto idroelettrico con diga e bacino dedicato a E.E.	12	16
Impianto Termoelettrico a biomassa ligneo-cellulosica**	143	1000
Impianto ad energia solare FV (grande potenza)	1,9	3
Impianto ad energia eolica (grande potenza)	0,01	0,01
Impianto a forza mare-motrice		
*Non si sta tenendo conto dell'area alterata dalla miniera **Considerando tutta l'area coltivata ad eucaliptus come "alterata"		

Tab. VI. 10- Indicatori "Impronta ecologica di superficie" per diversi impianti di produzione di Energia elettrica

Indicatore “impronta ecologica di sottosuolo”

Se l'impianto energetico influisce su un volume di sottosuolo, come un impianto geotermico ed altera il campo geotermico con conseguenti alterazioni dei corpi idrici, dello stato di sollecitazioni meccaniche, etc... si può definire un Indicatore di Impronta ecologica di sottosuolo come:

$$(I_{eco})_{sts} = X \text{ m}^3 \text{ alterati}$$

analogamente per confrontare diverse fonti di energia e diverse tecnologie è utile definire anche l'Indicatore specifico:

$$[(I_{eco})_{sts}]_{kW} = X \text{ m}^3 / \text{MW}; \quad [(I_{eco})_{sts}]_{kWh} = Y \text{ m}^3 / \text{MWh}$$

Ad esempio un impianto a pompa di calore che utilizza il sottosuolo come sorgente di calore nel ciclo invernale può raffreddare il suolo a temperature inferiori a quelle di sopravvivenza delle uova o delle larve di molti insetti; l'impatto ambientale di tipo biologico potrebbe risultare grave; nella letteratura specifica del settore delle pompe di calore “geotermiche” esistono valutazioni quantitative di questi effetti.

Indicatore “impronta paesaggistica”

Poiché non del tutto chiara sempre la distinzione tra ecologia per gli aspetti sostanziali ed estetica del paesaggio, è utile distinguere l'Impronta ecologica vera, quella che descrive una alterazione chimico-fisica-biologica in termini di ingombro spaziale, da quella impronta che è soltanto di tipo panoramico – paesaggistico; pertanto definiamo l'Indicatore “Impronta paesaggistica” la superficie, o l'angolo piano sull'orizzonte, o l'angolo solido, che prospetticamente risulta occupato dall'impianto artificiale rispetto allo stato panoramico-paesaggistico originario, partendo da un assegnato punto di visione “P”.

Anche in questo caso per la comparazione di diverse soluzioni adottabili è utile definire l'Indicatore di Impronta paesaggistica specifica (per unità di potenza installata, o per unità di Energia prodotta).

Il valore dell'indicatore si calcola come segue:

dato il Punto P di osservazione, si proiettano sul piano orizzontale dal punto P gli estremi dell'arco di orizzonte occupati, anche senza continuità, dalle entità elementari costituenti l'intervento artificiale;

$$(I_{paes})_{or} = x^\circ; \quad [(I_{paes})_{or}]_{MW} = Y(^\circ)/\text{MW}$$

Indicatori speciali per la utilizzazione della Energia da Biomassa

Poiché coltivare una pianta o una essenza erbacea costa lavoro umano ed uso di energia diretta sul campo, in forma indiretta contenuta nei concimi e negli antiparassitari, poi ancora nel trasporto dal terreno all'impianto di trasformazione, potrebbe succedere che l'Energia totale impiegata nei processi di coltivazione

superi l'Energia solare che la fotosintesi ha accumulato nella pianta; Inoltre proprio perché in questi processi di produzione vengono utilizzati in generale combustibili fossili, si generano emissioni nocive; pertanto è importante applicare anche a questa fonte di Energia i metodi analitici del <Investimento energetico> e del <Life Cycle Assessment (LCA)>.

Perciò è senza dubbio utile definire il seguente indicatore:

Indicatore di utilità energetica (o di energia utile) [MJ/MJ], numericamente determinato come segue.

Rapporto tra la energia assorbita dal processo di produzione e l'Energia resa nella combustione:

$$Ie.u. = (Energia lorda estratta dalla biomassa)/(Energia totale impegnata per la produzione) [MJ/MJ]$$

L'Energia lorda estratta dalla biomassa secca è costituita dal potere calorico superiore della unità di massa del materiale (paglia, legno, olio,...).

Il valore dell'indicatore può essere <1,0 oppure >1,0; la coltura della biomassa è conveniente soltanto se:

$$Ie.u. >> 1,0$$

Questo indicatore è di grande importanza perché serve per verificare il contributo effettivo che l'uso della biomassa in sostituzione dei combustibili fossili produce sull'ambiente.

Secondo alcuni recenti studi i biocarburanti forniscono energia in quantità superiore a quella necessaria per la produzione: circa il doppio nel caso del bioetanolo derivato dalla barbabietola da zucchero e il triplo per il biodiesel derivato dall'olio di colza; pertanto il saldo energetico è positivo. Esistono, tuttavia, altri studi che contestano tale risultato, mettendo sotto accusa in particolare la fase di preparazione della coltura, durante la quale si ha un forte impiego di concimi e fertilizzanti.

Secondo tale studio, condotto dalle Università di Cornell e Berkley, la produzione di bioetanolo da mais consuma circa il 29% in più di petrolio, ossia il processo di conversione utilizza un 29% in più di energia di quella che poi produce; analogamente nel caso del biodiesel le piante di soia richiedono il 27% di energia in più di quella fornita dal carburante e i girasole addirittura il 118% in più. L'energia in ingresso è quella dovuta per far crescere le piante (compresa la produzione di pesticidi, e fertilizzanti, l'alimentazione delle macchine agricole e dei sistemi di irrigazione, e il trasporto) e per fermentare e distillare l'etanolo.

$$Ie.u. = (1/1,29) << 1,0$$

Tali studi sono peraltro relativi ad una situazione, quella degli USA, che fa ampio ricorso a fertilizzanti azotati, con una media di 250/300 unità di azoto per ettaro, contro le 120 dell'Europa: per dare un'idea delle esigenze energetiche dell'agricoltura moderna, la produzione di un chilogrammo di azoto per fertilizzante richiede l'equivalente energetico di circa 1,4 -1,8 litri di gasolio.

La figura 7 riporta i risultati ottenuti da diversi autori nel corso degli ultimi anni circa il bilancio energetico per il bioetanolo da mais, bilancio espresso come rapporto tra energia ottenuta dal biocarburante e l'energia consumata per produrlo; il bilancio è favorevole quando *Indicatore di utilità energetica* è maggiore dell'unità. Come si vede i risultati sono contrastanti.

Altri studi pongono l'attenzione su alcune criticità evidenziate col metodo della LCA (Life Assessment Cycle); in particolare si attribuisce al settore dei biocarburanti la responsabilità di un maggior impatto in termini di "acidificazione ed eutrofizzazione" locale, rispetto all'impiego dei tradizionali combustibili fossili; permane il netto miglioramento in termini globali di riduzione di gas ad effetto serra, come da protocollo di

Kyoto, ma in parte viene contraddetto il protocollo di Goteborg del dicembre 1999, che mira a ridurre proprio le emissioni acidificanti in atmosfera.

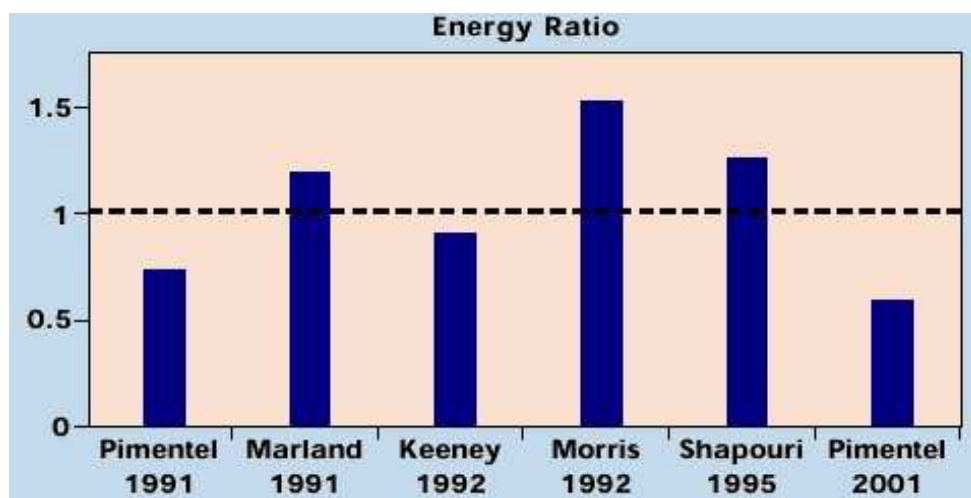


Fig. VI. 7 - Bilancio energetico per il bioetanolo da mais, secondo vari autori (fonte www.progettomeg.it)

Biofuel	Use of fossil fuels	Green-house effect	Acidi-fication	Eutro-phication	Summer smog
Triticale	+	+	+/-	-	+
Willow	+	+	-	-	+
Miscanthus	+	+	-	-	+
Rape seed oil methyl ester (RME)	+	+	-	-	+/-
Sunflower oil methyl ester (SME)	+	+	-	+/-	+/-
ETBE from sugar beet	+	+	-	-	+/-
Traditional firewood	+	+	+/-	-	+
Wheat straw	+	+	-	-	+
Biogas from swine excrements	+	+	-	-	+
+ advantage for biofuel - advantage for fossil fuel +/- insignificant or ambiguous result					

Tab. VI. 11 - Confronto tra utilizzo di biocarburanti e combustibili fossili (fonte CTI-energia e ambiente)

È indubbio tuttavia che i biocarburanti sono fortemente dipendenti dalle condizioni meteo stagionali, oltreché dai fertilizzanti e dall'irrigazione; quest'ultimo punto in particolare può rappresentare un limite nella produzione isolana, dal momento che siamo ciclicamente soggetti a periodi di forte siccità.

La politica agricola comunitaria, introducendo la pratica del "non food", ossia della coltivazione agricola non più finalizzata alla produzione di alimenti per l'uomo e gli animali, ma atta a fornire materia prima dalle quale ricavare energia sotto forma di carburanti, ritiene di poter ovviare alla crisi economica che avvolge il settore; in questo modo, tutti i terreni che sono stati messi a riposo a causa delle eccedenze alimentari registrate all'interno della stessa UE possono essere ancora coltivati, anzi è auspicabile che lo siano.

L'instaurarsi del mercato "non food" comporta tuttavia il rischio di un'eccessiva forzatura nella produzione, stimolando l'ampio ricorso a fertilizzanti chimici i quali, come detto, rischiano di rendere negativo il bilancio energetico globale, gravando pesantemente sull'ambiente; pertanto occorrerà, da parte dell'Amministrazione regionale, stabilire norme precise che regolino il settore, al fine di evitare tale paradosso.