

# Analisi e Mergetica in ambiente GIS per la valutazione della sostenibilità ambientale: il caso studio del Comune di Roccamonfina

P. P. Franzese\*, A. Riccio\*\*, A. Scopa\*

\* Dipartimento di Produzione Vegetale - Laboratorio di Ecodinamica - Università della Basilicata, Potenza

\*\* Istituto Matematica, Fisica ed Applicazioni - Università Parthenope, Napoli

## Introduzione

Alcune tra le più diffuse metodiche di analisi ambientale sono caratterizzate da un mero approccio qualitativo nella valutazione degli ambienti naturali sottoposti a pressione antropica. Tale impostazione concettuale determina un'erronea valutazione del **capitale naturale** il quale, privo di un valore di scambio e di prezzo di mercato, risulta spesso sottostimato, se non addirittura escluso, dalle valutazioni.

Lo studio e la risoluzione dei problemi ambientali richiedono, invece, lo sviluppo di analisi e valutazioni di carattere scientifico, prodotte cioè sulla base di dati e risultati quantitativi e riproducibili, che siano nel contempo in grado di considerare sia la somma dei valori economici che di quelli ecologici, poiché l'ambiente, nella sua accezione più ampia, non è altro che il risultato delle interazioni fra valori naturali ed antropici<sup>1</sup>.

Il fine ultimo di un approccio di tal genere è quello di accedere ad indici numerici sintetici e mappe cartografiche di sintesi, consentendo al decisore politico un'agevole interpretazione dei risultati ed il conseguente sviluppo di linee guida per la programmazione di una corretta politica ambientale.

Nel campo delle valutazioni ambientali è oggi possibile ottenere tali risultati grazie all'applicazione dell'**analisi eMergetica**, metodologia termodinamica messa a punto da Odum nel 1996.

Il contesto culturale di riferimento (almeno per quanto concerne le discipline economiche) per tale approccio è certamente quello dell'**Economia Ecologica**, moderna interdisciplina che affronta il problema dei vincoli biofisici del pianeta, superando l'oramai obsoleto approccio caratteristico dell'**Economia dell'Ambiente**, fondato sull'applicazione coattiva delle norme di comando e controllo<sup>2</sup>.

Nell'Economia Ecologica il sistema economico-produttivo (caratterizzato in economia classica da una visione antropocentrica e riduzionistica e sempre considerato come un sistema indipendente) viene visto come un sottosistema termodinamicamente aperto del più ampio sistema ecologico (Ruth, 1993).

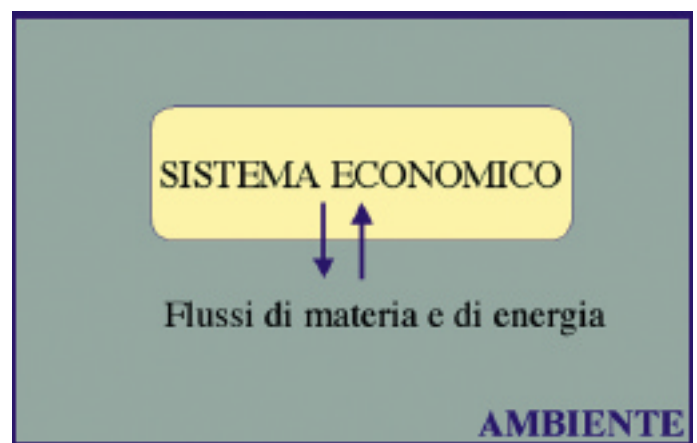


Fig. 1 - Feedback tra sistema economico-produttivo e ambiente.

La presa di coscienza circa questa "inclusion gerarchica" comporta *de facto* l'impossibilità di una crescita infinita della produzione, in quanto il sistema economico-produttivo risulta strettamente dipendente dagli *input* di risorse derivanti dal sistema naturale (Fig. 1).

Tale teoria prevede inoltre lo studio e la stima del valore ecologico ed economico dei servizi svolti dall'ambiente e del capitale naturale (Costanza, 1997).

I calcoli svolti in tal senso da Costanza (1997) hanno permesso la stima del "**valore economico**" di alcuni servizi ambientali.

Ad esempio, un albero di 50 anni produce nella sua vita 31.000 \$ di ossigeno, 62.000 \$ di riduzione dell'inquinamento, 31.000 \$ di controllo dell'erosione, 37.000 \$ di riciclaggio, mentre il suo "**valore di mercato**", come legna da ardere, legname da costruzione e produzione di carta, risulta infinitamente inferiore.

Le contabilità nazionali e locali spesso non tengono conto di questa grossa differenza e pertanto sottostimano considerevolmente il capitale naturale.

Per tali ragioni è quindi indispensabile una revisione dei model-

li di sviluppo e di analisi ambientale, al fine di poter integrare nelle valutazioni il capitale naturale con pari dignità tra gli altri fattori della produzione: il capitale prodotto dall'uomo ed il lavoro. (Daly, 1981).

Il presente lavoro ha interessato il territorio comunale di Roccamonfina (CE), rilevante sottoinsieme dell'omonimo Parco Regionale. Tale comprensorio geografico presenta emergenze naturalistiche, geologiche ed archeologiche di grande pregio (Celicco, 1983), che rendono l'area un sito di estremo interesse per le sue bellezze naturali e per la sua valenza storico-archeologica.

Questi punti di forza del comprensorio studiato determinano una non facile gestione del territorio, il quale presenta esigenze e problemi molto diversificati che richiedono un'accurata analisi delle sue variabili ambientali, economiche e socio-demografiche. L'obiettivo specifico del caso studio è consistito nel rilevamento *G.I.S.* e nell'analisi termodinamica delle principali risorse ambientali che caratterizzano il territorio comunale di Roccamonfina, valutate attraverso l'integrazione dell'analisi *eMergetica* con *software* di simulazione ed analisi spaziale (Franzese *et al.*, 2003).

## GIS analysis

Il sistema informativo geografico "*GIS-Roccamonfina*" è stato realizzato nella fase iniziale dello studio con lo scopo di creare un sistema in grado di rilevare le risorse ambientali (naturali ed antropiche) che insistono nel territorio del Parco Regionale di Roccamonfina, facendo particolare riferimento al comprensorio vulcanico di Roccamonfina ed all'omonimo territorio comunale. Tale sistema è stato inoltre utilizzato per l'analisi spaziale delle suddette risorse e come supporto nella realizzazione dell'analisi *eMergetica* del Comune di Roccamonfina. Il primo *step* affrontato è stato quello della realizzazione di una base cartografica ed aereofotografica *raster*, dalle quali sono stati successivamente estratti per vettorializzazione numerosi *layer* tematici. Le basi *raster* sono state prodotte mediante la georeferenziazione di quattro Carte Topografiche Programmatiche della Regione Campania e quattro foto aeree, tutte nella scala di 1:25000. Il *software* utilizzato per la costruzione del "*GIS-Roccamonfina*" è *ArcView-GIS* (ESRI).

Le operazioni di georeferenziazione delle basi *raster* sono avvenute con l'ausilio del *software cad* "*Microstation*", in quanto *ArcView* esegue una trasformazione affine<sup>3</sup> anomala, che impone termini nulli per i parametri di rotazione della carta. Tale problema è stato superato georeferenziano le carte e le foto due volte: la prima con il *software Microstation* mediante trasformazione affine e la seconda attraverso *ArcView-GIS*.

Agli elementi geometrici vettoriali dei *layer* prodotti (punti, curve, poligoni) sono stati associati *database* tematici georeferenziano, nei quali sono stati riportati gli attributi che caratterizzano i tematismi in questione. La sovrapposizione dello sfondo *raster* e dei *layer* vettoriali ha permesso infine la caratterizzazione urbanistica, fisiografica ed ambientale del territorio del Parco, consentendo inoltre l'analisi spaziale quantitativa delle sue risorse ambientali<sup>1</sup>.

Oltre alla mappa cartografica ed aereofotografica, è stata geore-

<b>LAYER RASTER</b>	<b>N° e/o Tipo di elemento raster</b>
Mappa Cartografica	N° 4 tavole 1:25000
Mappa Aereofotografica	N° 4 foto aeree 1:25000
Carta Geolitologica + Sez.	N° 2 tavole 1:25000
<b>LAYER VECTOR</b>	<b>N° e/o Tipo di elementi vettorializzati</b>
Confine Parco	N° 1
Zonizzazione	Zona A, B, C.
Confine Comune Rocca	N° 1
Curve di livello	N° 51
Punti quotati isolati	N° 156
Edifici	N° 534
Strade	Comunali
Antenne radio	N° 3
Invasi	N° 1
Uso del suolo	N° 7 tipologie
TIN	Modello 3D del suolo
3D-SCENE	Vista 3D del TIN

Fig. 2 - Layer raster e vector prodotti in ArcView.



Fig. 3 - Vulcano di Roccamonfina, foto aerea: si distinguono la caldera, i duomi lavici e l'abitato di Roccamonfina.

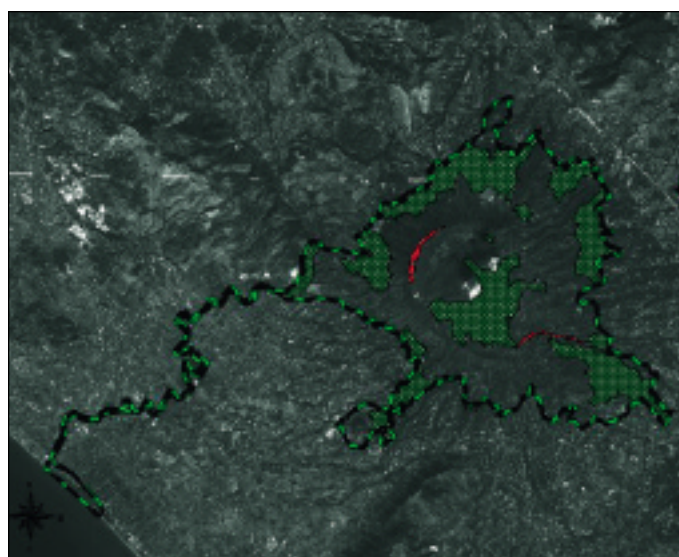


Fig. 4 - Parco Regionale di Roccamonfina: zonizzazione.



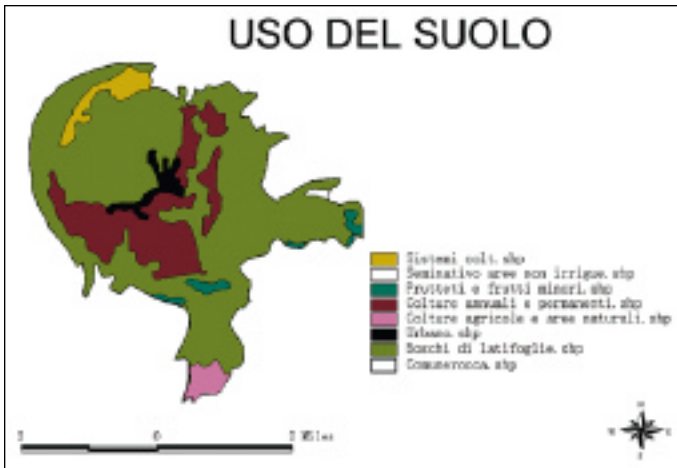


Fig. 5 - Carta dell'uso del suolo.

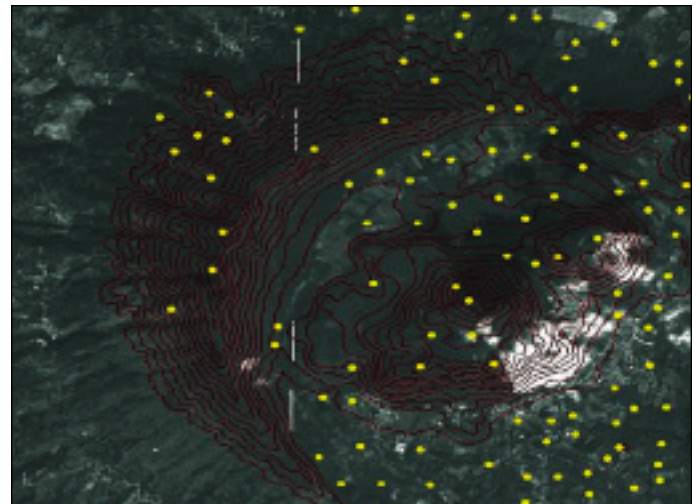


Fig. 6 - Curve di livello e punti quotati isolati.

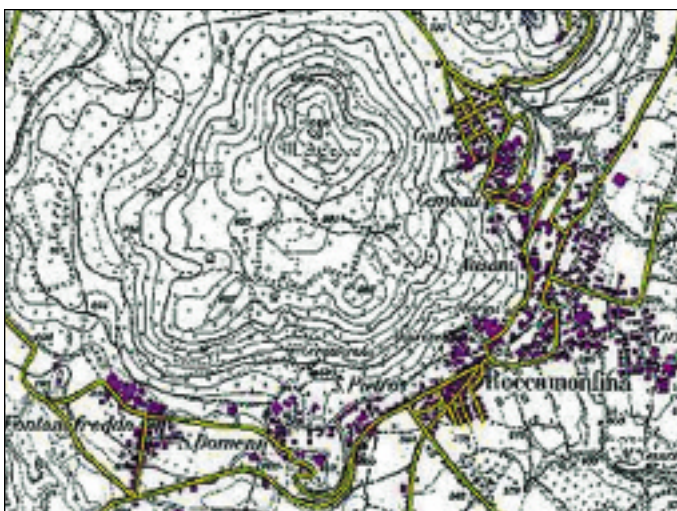


Fig. 7 - Edifici e strade comunali.

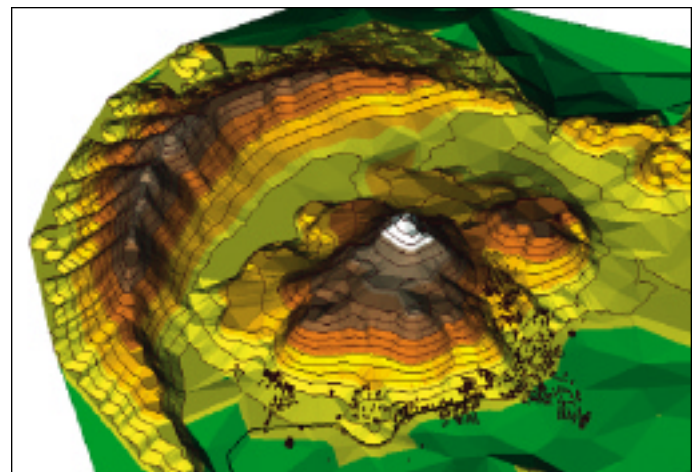


Fig. 8 - Modello tridimensionale del suolo, 3D Scene.

ferenziata una **carta dell'uso del suolo** (che prevede sette differenti tipologie di uso) relativa al territorio comunale di Roccamonfina ed una **mappa geolitologica** inerente la caldera dell'omonimo vulcano.

Ad ogni elemento vettoriale dei tematismi inerenti le curve di livello e i punti quotati isolati è stato attribuito un valore di quota altimetrica ed un codice identificativo. La successiva interpolazione triangolare delle quote altimetriche ha permesso la realizzazione del **TIN** (*Triangulated Irregular Network*) e la visualizzazione attraverso il **3D-scene** (Burrough *et al.*, 1998). Successivamente molti dei tematismi vettoriali bidimensionali (strade, edifici, ecc.) sono stati convertiti in file vettoriali **3D** ed "applicati" al modello tridimensionale del suolo. Tale procedimento ha consentito una buona ricostruzione virtuale del territorio in esame, almeno per quanto attiene le sue caratteristiche morfologiche e spaziali.

Va precisato che tali elaborati sono ben lontani dal cogliere la reale complessità dell'ambiente naturale, nondimeno, però, essi possono costituire un valido strumento di supporto alle decisioni per politici e tecnici impegnati nella pianificazione ambientale.

**Emergy analysis**

Negli ultimi anni si è registrato un notevole sviluppo dei **mo-**

**delli di analisi termodinamica**, applicati sempre più spesso sia ai sistemi produttivi, che a quelli territoriali. Tra questi, **l'analisi e Mergetica** rappresenta l'approccio metodologico più recente nella disciplina delle valutazioni energetiche e della sostenibilità ambientale.

L'analisi eMergetica è una metodologia termodinamica in grado di fornire un quadro scientifico circa il grado di organizzazione, la complessità e le caratteristiche di sostenibilità economica ed ambientale di un dato sistema (Tiezzi *et al.*, 1999). In particolare nelle applicazioni di carattere territoriale, il computo di un bilancio eMergetico in grado di contemplare in modo quantitativo variabili economiche, ecologiche e termodinamiche, permette una valutazione non riduzionistica del sistema, analizzando lo stesso attraverso una metodologia dal carattere olistico e sistemico (Franzese, 2002).

In questo studio l'analisi eMergetica viene applicata al Comune di Roccamonfina, per il quale è già stato precedentemente realizzato un sistema informativo geografico dedicato. L'interazione tra GIS ed analisi eMergetica ha lo scopo di agevolare l'elaborazione di quei dati ambientali non censiti negli archivi statistici ufficiali (ISTAT, ANCITEL, ecc.) e di migliorare le funzioni di analisi spaziale, nonché la visualizzazione dei risultati. Il *flowchart* in Figura 9 riporta la sequenza dei passi di calcolo dell'intero studio ed evidenzia l'integrazione dell'analisi eMer-

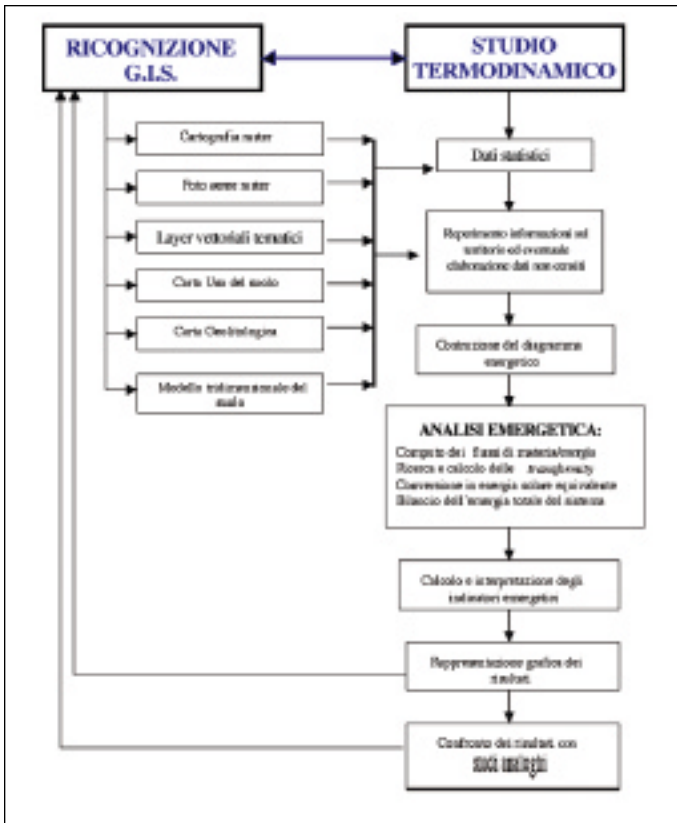


Fig. 9 - Analisi eMergetica in ambiente GIS del Comune di Roccamonfina: passi di calcolo.

getica in ambiente GIS.

Le fasi principali che hanno caratterizzato l'applicazione dell'analisi eMergetica possono riassumersi in:

- 1) Individuazione dei confini del sistema territoriale.
- 2) Modellizzazione del sistema termodinamico per mezzo di un diagramma energetico generale (*risorse economiche e naturali*).
- 3) Calcolo dei flussi di materia/energia.
- 4) Conversione dei suddetti flussi in energia Solare Equivalente (o eMergia).
- 5) Bilancio dell'eMergia totale usata dal sistema.
- 6) Calcolo degli indicatori di sostenibilità ambientale.

Il primo passo per realizzare questo tipo di analisi è quello di individuare i confini del sistema, che nel *case study* corrispondono ai confini amministrativi comunali di Roccamonfina.

La delimitazione del territorio d'indagine (ovvero del sistema termodinamico investigato) consente il computo ed il successivo bilancio dei flussi di materia e di energia che attraversano i confini del sistema.

Successivamente, si rappresenta il sistema mediante un diagramma di flusso. In tale diagramma, realizzato grazie ad un **linguaggio energetico simbolico** elaborato da Odum (1996), si schematizzano i confini del sistema (indicati da un rettangolo), le forzanti energetiche esterne (mediante cerchi), i produttori, i consumatori, i depositi ed i feedback tra gli elementi suddetti, ognuno rappresentato da una specifica simbologia (Fig. 10).

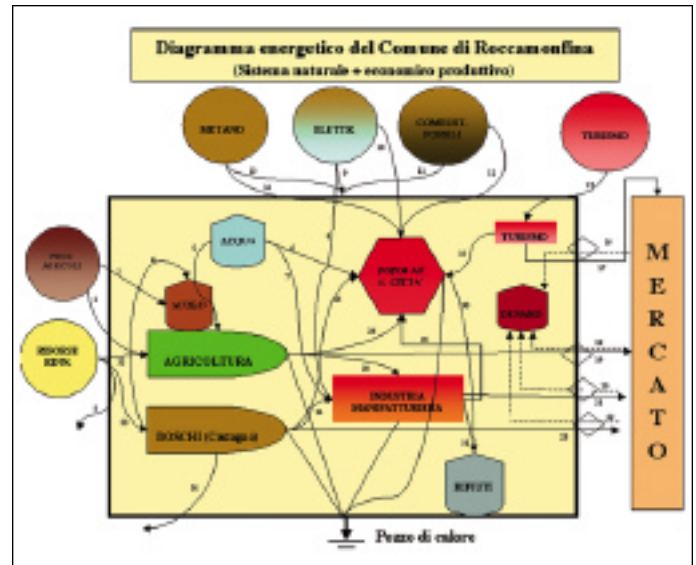


Fig. 10 - Diagramma eMergetico generale del Comune di Roccamonfina.

Il diagramma energetico fornisce uno schema del sistema analizzato che agevola l'implementazione della *check list* dei flussi di materia/energia.

Il bilancio di massa di tali flussi, la conversione in energia ed in energia solare equivalente, richiedono un'approfondita conoscenza del sistema, nonché una notevole mole di dati.

I dati utilizzati nel caso studio si riferiscono a: dati statistici ISTAT, banca dati comunale ANCITEL, dati prodotti dalle analisi effettuate tramite il **GIS-Roccamonfina**, dati di letteratura. Tutti i dati utilizzati si riferiscono a valori e medie annue (anno 2000), al fine di mediare eventuali fluttuazioni stagionali. I valori dei flussi di materia/energia, la conversione in energia solare equivalente per mezzo dei fattori di *transformity*, il bilancio eMergetico e l'estrazione finale degli indici eMergetici, sono evidenziati nelle Tabelle 1, 2 e 3 riportate di seguito.

Nella Tabella 1 il prodotto tra le quantità di energia di ogni singolo *input* e le relative *transformity* genera i valori di eMergia per ogni *input*. Nella Tabella 2 vengono accorpate i flussi di eMergia rinnovabile, non rinnovabile ed importata, per produrre in ultima analisi un valore di eMergia totale del sistema ed alcuni degli indicatori eMergetici più rappresentativi. Infine, nella Tabella 3, i valori di tali indici calcolati per il Comune di Roccamonfina sono confrontati con quelli relativi a studi analoghi, con diverse scale spaziali (Provincia di Modena, Toscana, Italia)<sup>5</sup>.

I valori di **densità di eMergia** ( $2,54E+12$  sej/m<sup>2</sup>/anno) e di **eMergia pro-capite** ( $2,06E+16$  sej/pers./anno) forniscono una misura dello *standard* di vita medio del Comune in termini di disponibilità potenziale di risorse e beni. Il valore estremamente elevato del **rendimento eMergetico** (8,98) indica una elevata frazione di *input* derivanti da risorse naturali locali ed una bassa richiesta di *input* esterni al sistema, necessari per lo sfruttamento di quelli naturali.

Tale indice può in pratica essere inteso come una misura della capacità di un processo di sfruttare le risorse fornite gratuitamente dall'ambiente, a parità di *input* dal sistema economico. Il valore molto basso del rapporto di **investimento eMergetico** (0,12) conferma l'elevato consumo di risorse locali all'interno



Input	Quantità	Unità di misura	Solar Transformity (sej/unità)	Energia solare (sej/anno)	Tipo
<b>Risorse Locali Rinnovabili</b>					
Energia solare	1,30E+17	J/anno	1,00E+00	1,30E+17	L.R.
Pioggia - Pot. Chimico	6,42E+13	J/anno	1,82E+04	1,17E+18	L.R.
Pioggia - En. Geopotenziale	1,02E+14	J/anno	1,05E+04	1,07E+18	L.R.
Vento - Energ. Cinetica	2,72E+14	J/anno	1,50E+03	4,08E+17	L.R.
Calore geotermico	5,29E+13	J/anno	3,44E+04	1,82E+18	L.R.
Legno (Riscaldamento)	1,26E+14	J/anno	3,49E+04	4,40E+18	L.R.
Acqua	3,42E+11	g/anno	8,99E+04	3,07E+16	L.R.
Prod. Agricole e Forestali	3,56E+13	J/anno	8,43E+05	3,00E+19	L.R.
<b>Risorse Locali non Rinnovabili</b>					
Erosione del suolo	1,15E+13	J/anno	6,25E+04	7,19E+17	L.N.
Lavoro umano	4,28E+12	J/anno	7,38E+06	3,16E+19	L.N.
<b>Risorse non Rinnovabili Importate</b>					
Elettricità	2,79E+13	J/anno	2,00E+05	5,58E+18	F.N.
Gas naturale	3,08E+13	J/anno	4,80E+04	1,48E+18	F.N.
Comb. derivati dal Petrolio	2,54E+13	J/anno	6,60E+04	1,68E+18	F.N.

Tab. 1 - Flussi di eMergia calcolati per il Comune di Roccamonfina <sup>4,5</sup>

<b>BILANCIO EMERGETICO</b>		
LR, Somma degli input locali rinnovabili (2, 5, 6, 7, 8, 10% del 10)		= <b>4,06E+19</b> sej/anno
LN, Somma degli input locali non rinnovabili (9, 90% del 10)		= <b>2,92E+19</b> sej/anno
F, Somma degli input importati non rinnovabili (11, 12, 13)		= <b>8,74E+18</b> sej/anno
U,	<b>EMERGIA TOTALE USATA</b>	<b>7,85E+19</b> sej/anno
<b>INDICATORI DERIVATI DALL'ANALISI EMERGETICA</b>		
- Densità di eMergia	(U / area)	<b>2,54E+12</b> sej/m <sup>2</sup> /anno
- eMergia pro-capite	(U / abitanti)	<b>2,06E+16</b> sej/pers./anno
- Rendimento eMergetico (EYR)	(U / F)	<b>8,98</b>
- Rapporto di impatto ambientale (ELR)	(LN + F) / LR	<b>0,93</b>
- Rapporto di investimento eMergetico (EIR)	(F / LR + LN)	<b>0,12</b>
- Indice di sostenibilità ambientale (ESI)	(EYR / ELR)	<b>9,66</b>

Tab. 2 - Bilancio eMergetico e Indici eMergetici

FLUSSI E INDICI	Roccamonfina (2000)	Prov. Modena (1997)	Toscana (1991)	Italia (1991)
<b>Flusso di eMergia</b>				
EMergia Totale/anno	<b>7,85E+19</b>	1,32E+22	1,13E+23	1,41E+24
<b>Indici eMergetici</b>				
Densità di eMergia (sej/m <sup>2</sup> /anno)	<b>2,54E+12</b>	4,92E+12	4,91E+12	4,69E+12
EMergia pro-capite (sej/pers./anno)	<b>2,06E+16</b>	2,18E+16	3,20E+16	2,49E+16
Rendimento eMergetico	<b>8,98</b>	1,37	1,68	1,79
Rapporto di investimento eMergetico	<b>0,12</b>	2,71	1,48	1,27
Rapporto di impatto ambientale	<b>0,93</b>	20,73	11,09	10,70
Indice di sostenibilità ambientale	<b>9,66</b>	0,066	0,1515	0,1673

Tab. 3 - Confronto degli indici eMergetici con studi analoghi a diverse scale spaziali.

del Comune. Il sistema territoriale risulta quindi poco dipendente dall'esterno in termini generali, anche se completamente dipendente dalle importazioni per quanto riguarda gli approvvigionamenti energetici (gas, elettricità, petrolio). Il buon grado di autonomia rispetto alle risorse locali (acqua, legno, produzioni forestali, risorse rinnovabili in genere) e la realtà di un agroecosistema poco antropizzato e dal carattere tradizionale, determina comunque un minor consumo degli import esterni, e quindi

in ultima analisi un impatto ambientale più che compatibile con la capacità portante del sistema. Tutto ciò è confermato da un valore molto basso del rapporto di impatto ambientale (0,93) che indica uno scarso stress sull'ambiente. Infine, l'elevato valore derivato dal calcolo dell'indicatore di **sostenibilità ambientale** (9,66) attesta la concomitanza dei due aspetti: basso stress ambientale e uso razionale delle risorse locali.

## Conclusioni

Nel diagramma energetico generale costruito per il Comune di Roccamonfina sono stati riportati 34 flussi di materia/energia, che costituiscono gli elementi principali della dinamica energetica locale.

Durante la fase di calcolo, alcuni flussi sono stati accorpati, come ad esempio i diversi consumi di energia elettrica, combustibili fossili, acqua e gas naturale. Altri invece sono stati omessi dal bilancio in quanto esigui, o non quantificabili a causa della mancanza di dati disponibili. E' questo il caso degli *input* chimici in agricoltura e dell'industria manifatturiera che risulta pressoché assente, in quanto la quasi totalità della produzione forestale (castagne e nocciole) viene esportata in altri settori produttivi della Campania. Il comparto agricolo-forestale è basato sulla monocultura del castagno con tecniche di agricoltura tradizionale a basso impatto ambientale. I boschi cedui di castagno non necessitano infatti né di tecniche intensive ad alto *input* chimico, né di una elevata meccanizzazione. Inoltre la pratica agricola del *cover crops*, adottata in modo diffuso, contribuisce alla riduzione dei fenomeni di erosione del suolo. Le piccole superfici destinate alle colture orticole sono prevalentemente a carattere familiare e pertanto risultano poco trattate con additivi chimici e prodotti fitosanitari. Il quadro che si prospetta è quindi quello di un territorio ecologicamente integro, in quanto esente da insediamenti produttivi ad alto impatto ambientale e costituito da un agroecosistema legato ad un tipo di coltura decisamente eco-compatibile. Per quanto riguarda le fonti energetiche, il sistema comunale di Roccamonfina presenta una dipendenza totale da fonti esterne circa il consumo di gas, elettricità e combustibili fossili. Risulta invece indipendente per il consumo di legna ad uso riscaldamento, che interessa il 70 % delle famiglie. Il taglio programmato dei boschi fornisce un apporto costante e rinnovabile di legname (circa 8392 Mg\*anno<sup>-1</sup>), consentendo un minor consumo delle risorse non rinnovabili. Anche per le risorse idriche il Comune di Roccamonfina presenta caratteristiche di autonomia, grazie alle numerose falde acquifere e sorgenti naturali che costellano l'omonima caldera vulcanica. La risorsa idromineraria costituisce assieme al patrimonio boschivo una preziosa risorsa naturale, come testimonia anche la presenza dello stabilimento "Ferrarelle" nella vicina località di Riardo. La superficie agricola utilizzata (discretamente parcelizzata) è quasi interamente privata e l'*export* della produzione di castagne fornisce un *feedback* economico che oscilla tra 2,5 e 4 milioni di euro\*anno<sup>-1</sup>. Tanto premesso, appare evidente che la salvaguardia del territorio comunale e del suo capitale naturale si impone per fini etici, ecologici, ma anche economici.

In altre parole, considerata la struttura del tessuto socio-economico e le caratteristiche ambientali della zona, la tutela del territorio comunale e delle relative risorse ambientali risulta essere strettamente connessa con il preservamento di un reddito economico locale caratterizzato da elevate caratteristiche di sostenibilità.

Dai valori degli indici *eMergetici* e dalla loro interpretazione risulta evidente che il Comune di Roccamonfina costituisce un caso inconsueto di elevatissima sostenibilità ambientale. Questo scenario è dovuto essenzialmente ad una serie di fattori concomitanti, tra cui: ridotto numero di abitanti, territorio ecologicamente integro, assenza di industria pesante, marginale attività

manifatturiera, elevata produttività agricolo-forestale (nocciole e castagne) e relativa esportazione in grado di assicurare un discreto tenore di vita alla popolazione locale, bassa meccanizzazione agricola, *input* chimico quasi assente, contenuta importazione di risorse non rinnovabili, elevata disponibilità di risorse locali rinnovabili. Queste caratteristiche ambientali e socio-economiche fanno del Comune di Roccamonfina un ambito territoriale a bassissimo impatto ambientale, con ottime caratteristiche di sostenibilità. Praticamente un sito ideale per la richiesta delle certificazioni **EMAS e ISO 14001**, che sempre più spesso interessano contesti territoriali, oltre che impianti produttivi<sup>6</sup>.

## Note:

- 1) In questo studio per **risorse ambientali** si intende sempre la somma di quelle antropiche e naturali, in quanto l'ambiente risulta definito dalla somma di un ambiente fisico naturale ed un ambiente antropico costruito dall'uomo.
- 2) **Norme di comando e controllo:** tasse ambientali e limiti di emissione.
- 3) **Trasformazione affine:** rototraslazione con variazione anisotropa di scala e scorrimento angolare. Formula generale del tipo:  
 $x_1 = Ax + By + C$   
 $y_1 = Dx + Ey + F$   
 dove B e D rappresentano i termini di rotazione.
- 4) **R:** risorse rinnovabili; **N:** risorse non rinnovabili; **L:** risorse locali; **F:** risorse importate dall'esterno.
- 5) **Riferimenti per le Transformity:**
  - Odum H. T., "Environmental Accounting - Emergy and Environmental Decision Making" - John Wiley 1996.
  - Ulgiati S., Odum H. T., Bastianoni S., "Emergy use, environmental loading and sustainability. An emergy analysis of Italy" - Ecological Modelling 73 (1994) 215-268.
  - Ulgiati S., Odum H. T., Bastianoni S., "Emergy analysis of Italian Agricultural System. The role of energy Quality and Environmental Inputs" - Trends in Ecological Physical Chemistry - Elsevier 1993.
- 6) **EMAS ed ISO 14001:** normativa internazionale per la certificazione ambientale. Vedi il caso del Comune di Varese Ligure.

## Bibliografia

- 1) Odum H.T., (1996), "Environmental accounting. Emergy and Environmental Decision Making", J.Wiley.
- 2) Ruth M., (1993), "Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics"- Kluwer.
- 3) Costanza R. *et al.* "The value of the world's ecosystem services and natural capital" - Nature vol. 387, (1997).
- 4) Daly H. E., (1981), "Lo stato stazionario" - Sansoni.
- 5) Celico P., "Idrogeologia dei massicci carbonatici" in Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno 4/2 - Roma 1983.
- 6) Franzese P. P. *et al.*, (2003) "Valutazione della sostenibilità ambientale: verso un approccio ecodinamico" Biologi Italiani - Anno XXXIII n°7.
- 6) Burrough P.A. & McDonnell R.A., (1998) "Principles of Geographical Information Systems" - Oxford University Press.
- 7) Tiezzi E., Marchettini N., (1999), "Che cos'è lo sviluppo sostenibile?" - Donzelli Roma.
- 8) Franzese P. P., (2002), "Analisi eMergetica in ambiente G.I.S. nel Parco Regionale di Roccamonfina: un approccio ecodinamico"- Tesi di Laurea in Scienze Ambientali - Napoli 2002.