

CLASSIFICAZIONE DI VOCAZIONALITA' ALL'IMPIEGO DI ENERGIE RINNOVABILI MEDIANTE GRID MULTI-LAYER

D. Statuto, A. Tortora, P. Picuno

Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale - DITEC - Università degli Studi della Basilicata

Riassunto. Le energie rinnovabili rappresentano una valida alternativa alle fonti energetiche tradizionali, in quanto non compromettono la disponibilità di risorse naturali e non immettono nell'atmosfera sostanze climalteranti e nocive. Grazie alla sua morfologia, orografia ed alle caratteristiche del patrimonio agricolo e forestale la Regione Basilicata ben si presta ad essere considerata un serbatoio di energia pulita.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di individuare la vocazionalità del territorio lucano rispetto a ciascuna delle varie fonti di energia rinnovabile, in particolare individuando aree potenzialmente più idonee alla produzione di energia solare, eolica e da biomasse mediante l'impiego di Grid Multi-Layer. Le analisi delle caratteristiche del territorio sono state realizzate attraverso opportune elaborazioni GIS che hanno condotto alla realizzazione di una banca dati territoriale restituita sotto forma di un raster grid capace di contenere tutte le informazioni necessarie per la definizione della vocazionalità energetica.

Il Grid Multi-Layer realizzato permette di valutare l'idoneità energetica del territorio rispetto alle varie fonti di energia considerate, costituendo così un valido supporto nella programmazione delle politiche energetiche regionali, in grado di garantire una più consapevole opera di pianificazione e gestione del territorio.

Parole chiave: Energie rinnovabili, GIS, Grid Multi-Layer

Summary. Renewable energy represents a common valid alternative to fossil fuels due to both its low environmental impact and low gas emission (especially CO₂). Basilicata Region (in the South of Italy), due to its morphology, orography and agricultural and forestry heritage, could be considered an efficient energy reserve. The aim of this research is to identify, using a Grid Multi-Layer approach, if specific agricultural and forest areas are suitable for renewable energy production of the Regionl land, referring to solar energy, wind energy and biomasses. Land properties were analyzed processing data with GIS technology, achieving a territorial database in the form of a raster grid, able to contain all the informations for the evaluation of the energy suitability.

The obtained Grid Multi-Layer allows to evaluate the eligible energy of land for the different energy source considered, and provide an excellent support for planning of the local energy policies, ensuring proper planning and land management.

Key words: Renewable Energy, GIS, Grid Multi-Layer

1. Introduzione

La domanda di energia, nei paesi occidentali e in quelli in via di sviluppo (*Yue and Wang, 2006*) è in costante crescita, ma i cambiamenti cli-

matici, unitamente alla riduzione dei giacimenti fossili, hanno fatto sì che l'attenzione si rivolgesse sempre più verso le risorse energetiche rinnovabili. Esse possono contribuire a ridurre la dipendenza dei paesi dalle importazioni energetiche e contemporaneamente ridurre l'emissione di gas-serra. L'approvvigionamento e la natura strategica delle bioenergie va inquadrata nel contesto del territorio agricolo-forestale coinvolto nel meccanismo di produzione delle stesse, infatti la gestione delle risorse va pianificata attraverso un'analisi integrata delle potenzialità del territorio. Il presente lavoro è finalizzato alla realizzazione, mediante uno studio territoriale approfondito delle caratteristiche della regione, di un *Grid Multi-Layer*, che contiene tutte le informazioni necessarie al fine di identificare la vocazionalità energetica rispetto alle diverse fonti di energia rinnovabile indagate (Tiba et al., 2010).

Le bioenergie considerate e per le quali è stata valutata la maggiore idoneità ambientale sono:

- l'energia eolica,
- l'energia solare,
- l'energia da biomassa forestale,
- l'energia da biomassa agricola.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di Studio

L'area oggetto di studio, sulla quale è stata condotta l'indagine volta all'identificazione della vocazionalità energetica, è l'intero territorio della Regione Basilicata. Il territorio della Basilicata risulta in gran parte montuoso (47%) e collinare (45%), per cui ben si presta, soprattutto nelle aree di crinale, all'istallazione di aerogeneratori per la produzione di energia eolica. Le zone collinari e pianeggianti, soprattutto quelle esposte a sud, possono essere sfruttate per l'istallazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia da solare. E' stato condotto uno studio per valutare le aree potenzialmente idonee alla produzione "sostenibile" di biomasse legnose a fini energetici dato che la superficie forestale della Basilicata è di 354.895 ha con un relativo indice di boscosità pari al 35.6%. Per quanto riguarda invece la produzione di biomassa derivante da colture energetiche, il territorio della regione classificato come superficie agricola utilizzata (SAU) è pari al 77%.

2.2 Base dati territoriale

Le analisi per la definizione della diversa idoneità energetica sono state eseguite partendo dal *Modello Digitale del Terreno (DTM)* della Re-

gione e, utilizzando specifici *tools*, è stato possibile calcolare *Esposizione e Pendenze (Aspect e Slope)* (Hoesen and Letendre, 2010), fattori importanti nell'individuazione dei criteri di valutazione. Per ciascuna forma di energia rinnovabile considerata sono stati valutati diversi fattori che hanno contribuito alla definizione della diversa vocazionalità energetica territoriale. Per individuare le aree idonee alla produzione di energia eolica è stato fatto riferimento all'atlante eolico del CESI, per la definizione delle aree maggiormente vocate all'installazione di pannelli fotovoltaici e per l'individuazione delle superfici agricole da destinare alle coltivazioni energetiche (il sorgo in questo lavoro), sono state considerate le aree destinate ai seminativi, mentre per la valutazione della biomassa forestale i dati di partenza sono stati ricavati dalla Carta Forestale. Infine, nella restituzione dei risultati, sono state escluse dalla identificazione della vocazionalità le Aree Protette, oltre che i siti archeologici con un buffer di 1 km, le aree franose e le aree a rischio inondazione.

2.3 Elaborazioni

Le diverse elaborazioni GIS sono state eseguite per identificare l'idoneità energetica delle diverse fonti: eolica, fotovoltaica, forestale e da biomassa.

Energia eolica

L'individuazione delle aree più idonee alla produzione di energia eolica è stata possibile utilizzando la griglia dell'*Atlante Eolico*. In particolare, per poter valutare i siti potenzialmente idonei all'installazione di un aerogeneratore, sono stati considerati i seguenti parametri:

- velocità media del vento;
- pendenza;
- assenza di copertura forestale.

Dalla griglia dell'atlante sono state selezionate le celle nelle quali il valore di velocità media del vento, ad un'altezza di 25 m. dal suolo, risulta superiore o uguale a 5,5 m/s; per poter restringere il campo e selezionare dei siti facilmente accessibili e poco acclivi, sono stati considerati solamente i territori in cui il valore di pendenza è compreso tra 6 e 16° ed inoltre sono state escluse dall'elaborazione anche le aree forestali. Dall'intersezione di questi elementi risulta che il territorio regionale che meglio si adatta alla produzione di energia eolica è collocato essenzialmente nella parte settentrionale. Considerando il numero di celle idonee e che ciascuna cella ha una dimensione pari a 20x20m, la superficie idonea alla produzione di energia eolica è pari a 31.650 ha. Inoltre, come risulta dall'atlante eolico, la producibilità media del territorio considerato è pari a 2000 MWh/a.

Energia da solare fotovoltaico

L'individuazione di aree vocate allo sfruttamento dell'energia solare mediante pannelli fotovoltaici posizionati su terreno agricolo è stata ottenuta considerando:

- esposizione dei versanti;
- terreni pianeggianti;
- pendenze poco elevate
- superfici agricole.

Le estensioni territoriali idonee all'istallazione di pannelli fotovoltaici sono state ottenute utilizzando l'esposizione dei versanti, scegliendo le sole aree classificate SUD e i terreni pianeggianti (FLAT). I terreni idonei all'istallazione degli impianti risultano quelli con una pendenza compresa tra 0 e 30°, dato che l'inclinazione del pannello fotovoltaico può essere controllata attraverso idonei supporti che però non possono eccedere determinati limiti. Le superfici agricole selezionate per l'analisi sono state ottenute dall'uso del suolo considerando le aree classificate "agricolo" e "pascoli". Dall'intersezione di questi criteri e mediante le operazioni *raster calculator* risultano vocate all'istallazione di pannelli fotovoltaici circa 107.400 ha.

Energia da biomassa forestale

Dai dati della Carta Forestale risulta che i boschi hanno una superficie pari a 354.895 ha. Le considerazioni a scala regionale riguardano innanzi tutto le categorie fisionomiche, si nota una netta prevalenza dei querceti mesofili e meso-termofili, che rappresentano il 51,8% della superficie forestale complessiva (*Dati Podis 2006*). Il bosco costituisce un elemento centrale nel sistema territoriale ed ambientale della regione, svolgendo molteplici funzioni, quali la protezione del suolo, la salvaguardia della biodiversità, la produzione di legno e la produzione di biomassa per energia. A tal fine è stata stimata la quantità di biomassa legnosa convertibile in energia tramite un confronto tra la biomassa attualmente estratta dai boschi e un'ipotesi di sviluppo energetico derivante dalla migliore gestione e manutenzione dei soprassuoli forestali.

La disponibilità della biomassa è stata calcolata al lordo della legna già impiegata per fini energetici o in altre filiere, utilizzando le formule seguenti:

$$L.tq [m^3/ha] = (S. t.) * (P. m.) * \left(1 - \frac{U}{100}\right)$$

$$T.L. [t ss/a] = (T.l.tq) * (M.v.ss) * \left(1 - \frac{U}{100}\right)$$

Dove:

- L. tq = Legna tal quale: espressa in m³/ha
- S. t. = Superficie tagliata: rappresenta la superficie forestale interessata da interventi di taglio (espressa in ha)
- P. m. = Produttività media del bosco: espressa in m³/ha
- U. = Umidità media delle piante: espressa in %
- T. L. = Totale Legna: espressa come tonnellate di sostanza secca disponibile per anno (t ss/a)
- T. l. tq = Totale Legna tal quale: espressa in m³/ha
- M. v. ss = Massa volumica sostanza secca: relativa a ciascuna specie e derivante da tabelle di massa volumica: espressa in t/m³.

Sulla base di dati statistici quali superficie forestale, superficie tagliata (*dato ISTAT 2009*) e di parametri di calcolo medi (produttività 200 m³/ha, massa volumica pari a 0,7 t/m³ e umidità della legna 45%), è stata calcolata la disponibilità (*t/anno di ss*) di **biomassa legnosa** attualmente convertibile in energia.

Tab. 1. Stima quantitativo biomassa disponibile anno 2009

Sup. boschiva rea- le (ha)	Superficie tagliata (ha/anno)	Legna tq (mc/ha)	Totale legna ss (t/a)
354.895	3.892	321.090	123.619

Considerando invece l'ipotesi di sviluppo energetico della filiera legno, è stata stimata una percentuale di superficie da destinare al taglio pari al 2% per le fustaie, 4% per i cedui e 3% per i popolamenti transitori.

I criteri utilizzati per stimare le produttività dei vari boschi e derivanti dall'analisi del territorio e dalla carta forestale sono stati:

- pendenza inferiore al 70%;
- accessibilità;
- accidentalità;
- percentuale di copertura.

Inoltre sono stati attribuiti anche valori diversi di massa volumica a seconda delle categorie fisionomiche presenti; dall'intersezione dei diversi fattori appare evidente che il quantitativo di biomassa calcolato è nettamente maggiore nell'ipotesi di sviluppo energetico rispetto alla biomassa derivante dalla superficie tagliata nell'anno 2009.

Tab. 2. Stima quantitativo biomassa disponibile in ipotesi di sviluppo energetico

Stima biomassa legnosa in ipotesi di sviluppo energetico				
Categorie fitosionomiche di I livello	Sup. totale (ha)	Superficie tagliata (ha/anno)	Legna tq (mc/ha)	Totale legna ss (t/a)
Fustaia	111.240	2.225	244.728	94.220
Ceduo	152.228	6.089	334.901	128.937
Popolamenti transitori	32.190	966	53.113	20.449
Totale			632.743	243.606

Energia da biomassa derivante da coltivazioni energetiche

Riguardo le colture energetiche, l'obiettivo, anche in questo caso, è stato quello di valutare l'adattabilità del territorio alla coltivazione di una specie vegetale idonea alla produzione di biomassa. Come coltura di riferimento è stata presa in esame il **sorgo da fibra** (*Sorghum bicolor L. Moench*). Al fine di valutare l'adattabilità di questa coltura al territorio della Regione Basilicata, sono stati considerati i terreni definiti come "Seminativi non Irrigui" con pendenza inferiore al 20%. Inoltre sono stati analizzati una serie di parametri pedologici, climatici e ambientali; i valori sono stati standardizzati attribuendo un indice che esprime i gradi di limitazione (da 0 a 100, dal peggiore al migliore), inoltre, per ciascuna caratteristica diagnostica è stato attribuito un peso, che va da 0 a 1, in base all'importanza del parametro come fattore limitante per la specie. Nella tabella 3 sono riportati i vari parametri classificati secondo i requisiti del sorgo.

Una volta assegnati gli indici e i pesi ai vari criteri diagnostici è stata effettuata la combinazione pesata dei vari parametri attraverso funzioni di *Raster Calculator*.

Dalla combinazione dei parametri è stato possibile individuare le aree della regione potenzialmente idonee alla coltivazione del sorgo, l'estensione complessiva calcolata si attesta su circa 232.488 ha. Le rese in biomassa del sorgo sono comprese tra le 20 e le 35 tonnellate di sostanza secca per ettaro.

3. Risultati

Dalle analisi condotte, in merito a ciascuna possibile forma di energia rinnovabile, appare evidente come l'intero territorio regionale ben si presta alla produzione di energia sostenibile. Per quanto riguarda l'energia eolica, si può considerare una producibilità media annua pari a 2000 GWh/anno per aerogeneratore e un'occupazione del 3% del ter-

Tab. 3. Classificazione dei criteri diagnostici del territorio per il Sorgo da Fibra

SORGO									
Drenaggio		Tessitura (classe)		CaCO ₃		pH		Piovosità (mm) (Giu-Ago)	
peso	0,1	peso	0,2	peso	0,05	peso	0,1	peso	0,5
	Indice		Indice		Indice		Indice		Indice
Impedito	0	A-AS-AL	70	Bassa	100	5,6 - 6,5	90	< 32	0
Mediocre	30	F-FL-L	100	Media	40	6,6 - 7,3	100	32 - 40	30
Buono	80	FS	100	Elevata	10	7,4 - 7,8	90	40 - 50	50
Rapido	90	FSA-FA-FLA	100	Molto Elevata	0	7,9 - 8,4	90	50 - 70	70
		S-SF	90			>8,4	60	> 70	80

ritorio potenzialmente vocato, in tal modo viene stimata l'istallazione circa 23.750 turbine eoliche con una produzione media annua di circa 47.500.000 GWh/anno. Per la determinazione della quantità di energia producibile da pannelli fotovoltaici, si può far riferimento al calcolo della radiazione solare restituito dall'ENEA, nell'ambito del "Grande Progetto Solare Termodinamico", il quale fornisce un valore medio di radiazione globale annua, stimato pari a 2108 KWh/m². E' stato inoltre considerato un fattore riduttivo del 50% per considerare anche le aree di servitù, di servizio e opere di connessione. Dall'analisi delle biomasse forestali, nell'ipotesi di sviluppo energetico ed ipotizzando di cippare tutta la biomassa legnosa ottenuta, con un P.C.I. medio generale di 4,3 kWh/kg, si ottiene la potenzialità termica. L'equivalente elettrico è stato stimato considerando un rendimento di generazione elettrica del mix elettrico italiano del 37% (*Provincia di Latina*).

$$(T.B.d. * P.C.I.) * 37\% = P.E. (GWh/a)$$

Dove:

- T. B. d. = Totale Biomassa disponibile: espressa in t/a
- P. C. I. = Potere Calorifico Inferiore del legno : espresso in kWh/kg
- P. E. = Potenziale Elettrico: espresso in GWh/a

Per il Sorgo da fibra invece, si considera un P.C.I. medio di 17 GJ/t e un fattore di conversione 1 GJ pari a 0,277 MWh

$$P. ss \left[\frac{t}{a} \right] * P. C. I. * 0,277 = D. E. \left[\frac{MWh}{a} \right]$$

$$D. E. \left[\frac{MWh}{a} \right] * T. p. v. = P. E. \left[\frac{GWh}{a} \right]$$

Dove:

- P. ss = Produzione di sostanza secca: espressa in t/a
- P. C. I. = Potere Calorifico Inferiore del sorgo: espresso in Gj/t
- D. E. = Densità Energetica: espressa in MWh/a
- T. p. v. = Territorio Potenzialmente Vocato: espresso in ha
- P. E. = Potenziale Elettrico: espresso in GWh/a

I risultati di produttività sono indicati nella tabella seguente:

Tab. 4. Produttività energetica da diverse fonti rinnovabili

Eolico

Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Territorio Idoneo (ha) (3%)	Disponibilità territorio per macchina (ha)	Numero Macchine	Producibilità Media Annuale (GWh/anno)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
31.650	950	0,04	23.750	2.000	47.500.000

Fotovoltaico

Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Territorio Idoneo (ha) (50%)	Producibilità Media Annuale (KWh/ha)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
107.400	53.700	21.080.000	1.131.999.000

Biomassa Forestale

Totale Biomassa Disponibile (t/a)	Potenziale Termico (MWh/t/a)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
243.606	1.047.505	387,577

Sorgo da Fibra

Produzione totale (t/ha)	Produzione s.s. (t/ha)	P.C.I. (GJ/t)	Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Densità Energetica (MWh/ha)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
25	8	17	232.488	37,67	8.758

I valori sintetizzati nella tabella 4 evidenziano un notevole squilibrio fra le varie tipologie di fonti energetiche analizzate. Tutto ciò può essere spiegato attraverso alcune semplici considerazioni:

- nel contesto del presente lavoro sono state considerate solo ed esclusivamente le caratteristiche morfologiche delle aree, senza prendere in

- considerazione le peculiarità agricole di gran parte delle produzioni nell'area nord-nordest ove si produce una qualità di frumento duro molto appetito dalle industrie alimentari;
- esattamente nella direzione opposta, invece, è accaduto per quel che riguarda la stima della biomassa forestale. Infatti, per questo tipo di bioenergia sono stati adottati criteri molto restrittivi al fine di salvaguardare la naturalità delle aree forestali, in considerazione che la gran parte di esse ricade in aree protette.

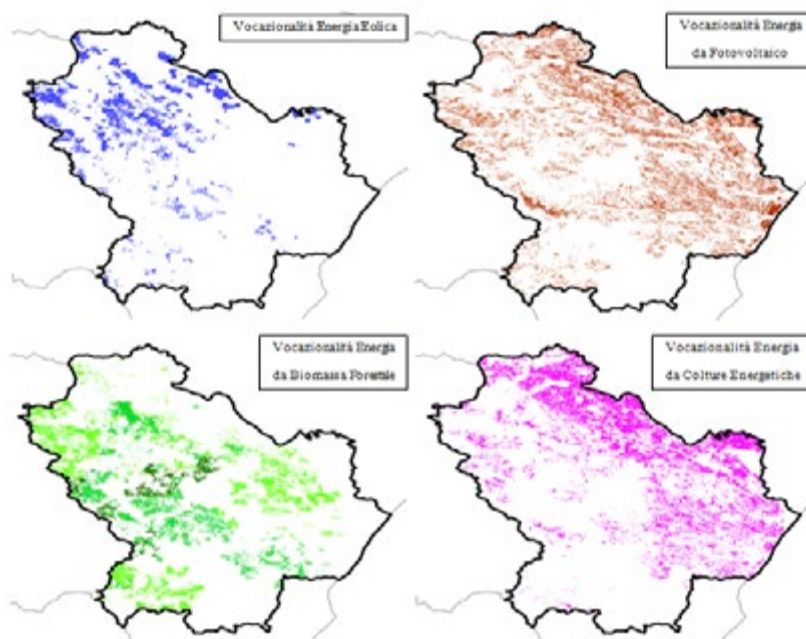


Fig.1. Vocazionalità energetica della Basilicata rispetto alle diverse fonti di energia rinnovabile.

4. Conclusioni

L'obiettivo del presente lavoro era quello di stimare le potenzialità del territorio della Regione Basilicata in merito alle fonti di energia rinnovabile, valutandone la diversa propensione territoriale. Utilizzando il *Grid Multi-Layer* è possibile individuare quale risulta la forma di energia rinnovabile più idonea sulla base delle caratteristiche morfologiche, pedologiche e climatiche della zona.

Come era facilmente immaginabile l'eolico, e soprattutto il fotovoltaico, hanno una produttività estremamente alta, tale da indurre a pensare che esse siano sempre le fonti energetiche da preferire. In una prospettiva di compatibilità ambientale e soprattutto nel rispetto delle risorse naturali, però, non va trascurato l'apporto che le biomasse, sia forestali che agricole, possono generare nel rilancio e sviluppo del settore primario.

Per di più, oltre alle quattro fonti di energia alternativa esaminate, lo studio potrebbe venire esteso considerando anche altre fonti alternative di energia, quali ad esempio i rifiuti agricoli (sfalci, potature, residui di raccolta, ma anche materiale plastico post-consumo, deiezioni animali, residui dei processi di lavorazione di industrie agro-alimentari, ecc.), che nonostante non abbiano le potenzialità delle altre fonti "prioritarie" esaminate, contribuirebbero ulteriormente all'affermazione del settore agro-forestale anche in materia di energie consentendo, al contempo, di contribuire alla soluzione di problemi ambientali connessi al loro smaltimento.

Infine, il sistema GIS proposto potrebbe essere facilmente evoluto in uno strumento dinamico, quale un DSS, capace di considerare il progresso tecnologico, i valori economici ed ambientali, gli andamenti stagionali, ecc. (tutti fattori variabili nel tempo) per consentire scelte strategiche consapevoli ed aggiornate. I benefici potrebbero essere quantificati non solo come vantaggi economici ma anche rispetto alla salvaguardia delle risorse ambientali in un'ottica di sviluppo sostenibile, e soprattutto, per un rilancio dell'economia del settore agro-forestale.

Bibliografia

- Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, ENEA, (2005). Grande Progetto Solare Termodinamico.
- Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano S.p.A., CESI, (2002). Atlante eolico dell'Italia.
- Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, CRA, (2006). Energie da biomasse agricole e forestali: miglioramento ed integrazione delle filiere dei biocarburanti e della fibra per la produzione di energia elettrica e termica - Bioenergie.
- ISTAT, (2009). Rilevazione sulle Superfici Tagliate e sui Prelievi Legnosi in Foresta, Tavola F05 - Numero e Superficie delle Tagliate, Istat, Roma.
- ISTAT, (2011). 6° Censimento Generale dell'Agricoltura, Tavola 8 - Aziende, Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e Superficie Totale (SAT) periodo 2010-2000, Istat, Roma.
- Istituto Nazionale di Economia Agraria, INEA - Sede Regionale per la Basilicata, (2006). Carta Forestale della Basilicata.

- Studio per la pianificazione energetico-ambientale della Provincia di Latina, (2008). Provincia di Latina, Volume 1 Tomo II Parte IV. <http://www.provincia.latina.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/3094>
- Tenerelli P., (2008). Analisi Territoriale delle Risorse Agro-Energetiche, Tesi di Dottorato in Ingegneria del territorio e dell'ambiente agro-forestale, Università degli studi di Bari.
- Tiba C., Candeias A.L.B., Fraidenraich N., de S. Barbosa. E.M., de Carvalho Neto P.B., de Melo Filho J.B., (2010). A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil, *Renewable Energy* 35, pp. 2921-2932.
- Van Hoesen John, Letendre Steven, (2010). Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning, *Renewable Energy* 35, pp. 2114-2122.
- Yue Cheng-Dar, Wang Shi-Sian, (2006). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan, *Energy Policy* 34, pp. 730-742.