

C. Balocco, G. Grazzini

Dipartimento di Energetica, Università degli Studi di Firenze, Via Santa Marta 3 – 50139 Firenze

Riassunto

L'adozione di una nuova tecnologia o di un mix (combinazione di diverse tecnologie innovative) per il risparmio energetico e l'uso razionale dell'energia con particolare attenzione alle risorse rinnovabili, è un processo molto complesso, anche a scala ridotta cioè a scala urbana, comunale. Conseguentemente è difficile valutare quanto, come ed in che tempi l'innovazione di cui si tratta viene adottata con successo, quindi risulta efficace. L'innovazione non è implicitamente connessa alla conoscenza: una tecnologia innovativa può essere conosciuta da tempo, ma non adottata a causa di un ambiente (politico, economico, sociale, culturale) non favorevole.

In questo lavoro presentiamo un metodo che consente di definire e valutare diversi scenari di intervento per un piano d'azione finalizzato all'uso razionale dell'energia con particolare attenzione alle rinnovabili a scala urbana.

Il metodo si basa sull'applicazione della teoria dell'informazione. Si è definita la sostenibilità energetica in base all'impatto ambientale degli usi dell'energia, espresso in termini di variazione dell'entropia prodotta in ambiente, comparata alla variazione dell'entropia legata al flusso naturale dell'energia solare. L'entropia viene calcolata tenendo conto dei fabbisogni energetici degli edifici e delle temperature di utilizzo. Il confronto fra i diversi interventi viene effettuato usando l'entropia dell'informazione di Shannon. La variazione di entropia prodotta in ambiente dal sistema può essere letta come informazione trasmessa attraverso il confine del sistema stesso e legata alla sua capacità di riconoscerla ed utilizzarla. Gli interventi sostenibili, saranno quelli con la minore entropia.

Introduzione

L'organizzazione urbana sociale e spaziale, l'insieme delle reti e delle infrastrutture così come le aree edificate sono sistemi complessi che dal punto di vista della termodinamica scambiano flussi di materia e di energia con l'ambiente e possono essere analizzati sia attraverso il Primo che il Secondo Principio. Componenti basilari dei sistemi urbani sono le persone, il territorio, gli edifici, l'insieme delle infrastrutture fisiche e naturali, la rete di servizi e di dispositivi tecnici, gli impianti che interagiscono con il contorno a sua volta definito da altri sistemi complessi. Ogni tipo di processo richiede energia e questo comporta la sua degradazione per trasformare materiali in stati più utili per le strutture dei sistemi urbani e supportare le loro funzioni. Le relazioni tra la trasformazione di materia, l'uso dell'energia, la produzione di entropia, la generazione di scarti (calore e materia) e l'inquinamento possono essere analizzati attraverso l'approccio fornito dalla termodinamica: l'analisi termodinamica richiede molta attenzione nella definizione del confine del sistema in termini di spazio e tempo e la conoscenza della forma e della natura dei processi che avvengono al suo interno. Molti progetti di ricerca e studi nel settore hanno applicato il secondo principio della termodinamica all'analisi dei sistemi urbani, soltanto pochi utilizzano l'approccio suggerito dall'entropia di Shannon [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Le applicazioni della teoria dell'informazione di Shannon in differenti campi sono note [1, 3, 8, 10, 11, 12]. Ciò è dovuto alla possibilità di definire e quantificare la connessione tra l'informazione e l'entropia termodinamica. Il problema base di tutte queste applicazioni riguarda il confronto, l'analisi e l'interpretazione dei risultati.

In questo articolo per definire un metodo utile alla valutazione della sostenibilità di interventi o di loro combinazioni volti all'uso razionale dell'energia in un'area urbana edificata, utilizziamo la metodologia proposta da Butera [13, 14, 15].

Definiamo la sostenibilità energetica [16] come basso impatto ambientale nell'uso continuato dell'energia.

La valutazione delle variazioni dell'entropia termodinamica di un sistema, legate alle irreversibilità dei processi, può essere espressa come una misura della variazione dell'entropia negativa (neg-entropia) o informazione del sistema stesso. La connessione tra flussi di entropia e di neg-entropia, mostra che uno dei più interessanti aspetti dell'analisi dei sistemi urbani energetici è il concetto di risorsa. Per un qualsiasi sistema termodinamico, le risorse sono flussi di neg-entropia. Questa lettura deriva dall'applicazione della teoria dell'Informazione alle dinamiche di sistemi complessi seguendo l'approccio suggerito da Brillouin [17, 18] e si ritrova nell'area dei sistemi fisici ed ecologici [3, 11, 12]. La metodologia suggerita da Butera [13, 14, 15] è stata utilizzata per l'analisi ed il confronto di diverse soluzioni di intervento o combinazioni di soluzioni progettuali specifiche da attuarsi su un'area urbana edificata, finalizzate all'uso razionale delle risorse energetiche. La loro sostenibilità energetica è stata quindi misurata in termini di bassa entropia prodotta.

Il contesto

L'entropia di Shannon può essere usata per quantificare gli effetti di alcune soluzioni progettuali di intervento sugli edifici e sugli impianti di un'area urbana, valutando i cambiamenti nella struttura e nella sostenibilità energetica di quest'ultima.

Da un punto di vista termodinamico ciò significa individuare e valutare differenti soluzioni di intervento che comportano basso impatto ambientale e quindi più grande sostenibilità energetica [16]. Per il secondo principio della termodinamica l'universo o qualsiasi sistema isolato spontaneamente tende a stati con più alta entropia, ma sottosistemi non isolati di esso possono evolvere verso stati ad entropia minore: tali sono ad esempio le piante che costituiscono sistemi complessi ricchi di informazione, e i combustibili fossili che provengono da processi altrettanto complessi di trasformazione delle piante. I combustibili fossili sono usualmente utilizzati come risorse non rinnovabili, ma dovrebbero essere utilizzati solo per quegli usi finali per i

quali la qualità dell'energia immagazzinata (informazione o neg-entropia) è completamente utilizzata.

La differenza tra la produzione di entropia dovuta ad interventi alternativi sugli edifici ed impianti, che può essere anche interpretata come effetto dell'influenza antropogenica sulla struttura e sulle funzioni di un sistema urbano, sono state utilizzate per stabilire la loro sostenibilità energetica. Azioni volte alla programmazione ed al risparmio energetico comportano una importante riduzione del flusso di entropia dovuta alle irreversibilità [19, 20].

La sostenibilità energetica è strettamente connessa alla più bassa produzione di entropia di un qualsiasi progetto e quindi alla più alta entropia negativa (neg-entropy) o informazione del sistema in cui questo deve essere attuato.

Esiste la necessità di un riconoscimento da parte del sistema, delle risorse energetiche rinnovabili e strettamente legate al territorio e all'ambiente, e delle relative tecnologie, perchè questo rappresenta il miglioramento e/o valorizzazione della sua capacità di utilizzarle e di trasferirle anche nell'intorno (informazione o neg-entropia). Ad esempio l'energia solare e la potenza dovuta al vento diventano risorse energetiche soltanto quando il sistema è strutturato per sfruttarli.

Questa condizione richiede una migliore utilizzazione dei materiali e delle risorse energetiche da parte del sistema e corrisponde alla crescita di informazione che esso incorpora. Il concetto di risorsa, per la teoria dell'Informazione, è connesso al concetto di riconoscimento e metabolizzazione da parte del sistema, cioè il flusso di entropia negativa che attraversa il suo confine. I sistemi ed il loro ambiente sono caratterizzati da cambiamenti strutturali ed energetici che li rendono capaci di riconoscere nuove fonti di informazione ricavate dall'ambiente: in altre parole l'ambiente cambia con il sistema, o è percepito come differente dal sistema stesso. Ogni sistema in rapporto dinamico con l'ambiente è in conflitto con quell'eccesso di materia, di energia e di informazione che non possono essere metabolizzate od immagazzinate: esso deve separare ciò che riconosce come flusso di neg-entropia da ciò che non riconosce come tale, cioè lo scarto e il rumore. Intendiamo quindi per sostenibilità energetica la crescita di informazione complessiva di un sistema dovuta all'adattamento del contenuto informativo di una fonte energetica al contenuto informativo richiesto dalla sua utilizzazione finale: quando questo non accade non c'è alcuna possibilità di parlare di uso razionale dell'energia con bassa produzione di entropia in ambiente e quindi per il secondo principio è appropriato parlare di spreco [1, 17, 21, 22].

Poiché la fonte neg-entropica che alimenta il sistema Terra è l'energia solare, la reale sostenibilità può essere ottenuta se la produzione di entropia è più bassa rispetto al flusso di neg-entropia proveniente dal Sole [23].

Il metodo

In riferimento all'applicazione della teoria dell'Informazione come proposta da Butera [14,15] ed utilizzando l'approccio di Brillouin [17,18] proponiamo un metodo di valutazione e confronto di soluzioni ed interventi progettuali che mirano all'applicazione di tecnologie di risparmio energetico sui sistemi edificio-impianto nell'ottica della sostenibilità energetica di un'area urbana.

La modellazione che si basa sulla tecnica matriciale attraverso la programmazione di fogli di calcolo collegati è lo

strumento utilizzato nel metodo che proponiamo e che chiameremo metodo di sostenibilità entropica ESM. Parte fondamentale del metodo riguarda la definizione dell'obiettivo di un progetto e l'identificazione dei componenti del sistema urbano studiato coinvolti ed interessati a questo. La valutazione degli interventi o mix di soluzioni progettuali per la sostenibilità energetica e quindi la conservazione integrata dell'energia e la razionalizzazione del suo uso può essere realizzata andando a calcolare l'entropia di Shannon per ciascuna interazione tra attori, azioni e fattori coinvolti. Il progetto preso in considerazione, che ha come obiettivo la diffusione ed applicazione sui sistemi edifici-impianti, di tecnologie per il risparmio energetico e di strategie (azioni) per la conservazione integrata dell'energia e l'uso delle rinnovabili, coinvolge diverse combinazioni ed insiemi di attori operanti in settori differenti e di altrettanti fattori che rappresentano gli elementi condizionanti l'esito di ogni azione ed interessanti sia l'area edificata e/o suddivisa in zone sia l'insieme dei sistemi e sotto-sistemi impiantistici.

Parte cruciale del metodo ESM è l'identificazione dei fattori che influenzano ciascuna azione e degli attori che direttamente o indirettamente sono coinvolti. E' stata costruita una matrice azioni-fattori/attori per ciascun segmento in cui risultano collegati energia/applicazione/tecnologia.

Gli attori possono essere singoli individui, soggetti autonomi, gruppi sociali, istituzioni o rappresentanze (ad es. il direttore dell'impresa di costruzioni, il capo cantiere, il direttore dei lavori, manovalanza specializzata e non specializzata, i diversi fornitori) che intervengono ed agiscono direttamente o indirettamente in un processo o progetto di intervento, possono comunque operare all'interno o all'esterno, ed infine possono anche essere diversi se riferiti ad un'azione specifica. La tabella n.1a mostra le azioni, quella n.1b gli attori e i fattori che sono coinvolti in una programmazione energetica urbana. I fattori condizionano ed indirizzano l'attuabilità delle azioni. Si sono considerati come fattori variabili e parametri di carattere strettamente termodinamico connessi al fabbisogno energetico degli edifici. In particolare sono stati considerati combinazioni di interventi volti alla riduzione del consumo di energia per il riscaldamento degli edifici ed alla conservazione integrata dell'energia con l'applicazione di tecnologie per l'impiego delle risorse rinnovabili.

L'insieme delle azioni, dei fattori e degli attori coinvolti nel progetto di programmazione energetica sono stati accorpati in differenti, ma interconnessi segmenti che collegano energia/applicazione/tecnologia. La tecnica matriciale usata nel metodo ESM, richiede come secondo passo, una valutazione quantitativa circa l'intensità delle interazioni azioni/attori e fattori. Di solito questa fase viene risolta attraverso valutazioni ottenute con metodi di campionamento statistico ad interviste dirette di consulenti edili e di esperti del settore impiantistico ed edilizio. Queste valutazioni vengono quindi utilizzate per assegnare un giudizio all'interno di un campo definito (o peso) a ciascuna interazione. La valutazione quantitativa dell'importanza relativa delle interazioni tra azioni e fattori, in altre parole permette di definire in che misura un fattore implica ciascuna azione e quanto incide su essa; ovvero quale fattore risulterà più o meno critico per ciascuna azione.

Nel nostro metodo l'intensità delle interazioni azioni/fattori (implicazioni) è stata misurata con l'assegnazione di pesi; ciascun peso è stato trattato come probabilità di un'interazione tra azione e fattore considerati (tab.2). In questo modo è possibile valutare l'informazione o neg-entropia (complessità)

di ogni azione e di ogni fattore in accordo a quanto mostrato in tabella 3.

I pesi che abbiamo utilizzato sono gli indicatori termodinamici della sostenibilità dell'uso dell'energia in un'area urbana edificata, definiti in un recente lavoro [16].

Attraverso l'applicazione del secondo principio della termodinamica sono stati ricavati due parametri adimensionali, ety ed ety_F . Il primo, ety , esprime il rapporto tra la variazione di entropia dovuta alle dispersioni termiche dell'edificio ΔS_b , e la variazione di entropia al guadagno energetico solare dell'area considerata ΔS_s . Il secondo, ety_F , è invece definito dal rapporto tra la variazione di entropia generate dal sistema di riscaldamento che può utilizzare diverse fonti energetiche, $\Delta S'_b$, e la variazione di entropia dovuta al guadagno solare dell'area. Questi due parametri entropici sono:

$$ety = \frac{\Delta S_b}{\Delta S_s} \quad (1)$$

e

$$ety_F = \frac{\Delta S'_b}{\Delta S_s} \quad (2)$$

Questi due parametri antropici sono assunti come "pesi" quando le interazioni tra azioni e fattori ne comportano la variazione. Negli altri casi viene utilizzato come peso la valutazione di esperti.

Alla fine il valore dell'informazione trasmessa, della equivocazione e dell'ambiguità, come pure il valore dell'informazione del messaggio e della relative risposta, sono stati calcolati per ogni azione ed ogni fattore, in accordo con quanto riportato nello schema di tabella 3. Come mostra la tabella 3 $P(j,i)$ è la probabilità che l'azione j -esima (messaggio) venga ricevuta e percepita con un valore del peso $V_{j,i}$ dal fattore/attore i -esimo. La probabilità è fornita dal seguente rapporto:

$$P_{j,i} = \frac{V_{j,i}}{\sum_{j=1}^z V_{j,i}} \quad (3)$$

Le interazioni tra azioni e fattori formano una probabilità condizionale che fornisce informazione condizionale (tab.3). Considerando quindi tutte le possibilità per le azioni j e per i fattori i , $P(j,i)$ rappresenta la probabilità di connessione dell'evento

$$H(j,i) = -K \sum_{j,i} P(j,i) \ln P(j,i) \quad (4)$$

Il coefficiente positivo dell'entropia, che corrisponde al coefficiente K nell'equazione dell'entropia di Shannon [4], corrispondente all'equazione (4), è fornito da:

$$K = \left(\frac{\sum_{i=1}^z V_{j,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}} \right) \quad (5)$$

Una volta calcolata l'informazione associata rispettivamente a j ed i , la probabilità condizionale che fornisce l'informazione condizionale di ciascuna interazione tra azione/fattore viene calcolata con:

$$H(i) = -K \sum_j P(j,i) \ln P(j,i) \quad (6)$$

I principali parametri possono dunque essere direttamente calcolati come segue [4,5]:

entropia di tutte le azioni

$$H_{\Sigma j} = \sum_j^n H(j) \quad (7)$$

entropia di tutti i fattori

$$H_{\Sigma i} = \sum_i^z H(i) \quad (8)$$

L'entropia di ciascuna azione considerata riguarda sia la struttura che l'intensità delle interazione tra tutti i fattori/attori e le azioni. Per azioni possibili molto indipendenti che hanno uguale probabilità condizionale, l'incertezza (incidenza della scelta o criticità) è più alta. Pertanto H è un indicatore di complessità e sostenibilità: rappresentando i risultati con diagrammi a barre, è possibile individuare le possibili interazioni tra azioni e fattori più complesse e quindi con il più alto contenuto di innovazione (contenuto informativo o neg-entropia). Queste rappresentano le azioni sulle quali sarebbe opportuno intervenire prioritariamente e più intensamente.

Conoscendo l'entropia condizionale di ciascuna interazione tra azioni e fattori, è possibile calcolare l'equivocazione e l'ambiguità connesse:

equivocazione

$$Eq(j) = - \sum_i^z P(j,i) H_{\Sigma i} \quad (9)$$

ambiguità

$$Am(i) = - \sum_j^n P(j,i) H_{\Sigma j} \quad (10)$$

L'informazione totale trasmessa è fornita dall'equazione:

$$T = H_{\Sigma j} - H(i) = H_{\Sigma i} - H(j) \quad (11)$$

Un parametro molto utile da utilizzare come strumento decisionale, specie nell'ambito di un progetto di programmazione energetica, è la ridondanza R di tutte le interazioni tra azione e fattore (processi e fasi progettuali), definita da [5, 17, 18]:

$$R = 1 - \frac{H(j,i)}{H_0} \quad (12)$$

dove $H(j,i)$ è il valore attuale dell'informazione dell'area considerata e H_0 è il valore massimo of $H(j,i)$ come valore ottenuto quando tutti i fattori e tutte le azioni sono equiprobabili. Elevata ridondanza implica alto valore di incertezza nelle interazioni e quindi bassa probabilità di attuazione di un

progetto, a meno che il sistema di interazioni degli attori abbia imparato a far fronte ad essa.

I valori di informazione dei singoli messaggi (azioni) e delle risposte (dai fattori) sono indici molto importanti. Essi consentono di individuare i fattori o gli attori e le azioni connesse, che potrebbero risultare più critiche per l'intero progetto. La distribuzione dei valori di ridondanza per diverse zone urbane consente di valutare l'esito dell'intera programmazione energetica anche pensando a fasi temporali diverse: bassi valori di ridondanza indicano la possibilità di alta efficienza ed efficacia dell'implementazione di un piano di risparmio energetico e quindi alta probabilità di successo.

Per questo motivo, il primo obiettivo di un progetto di risparmio energetico e di uso razionale dell'energia a scala urbana, dovrebbe essere la valutazione dell'intensità di quelle interazioni azioni/fattori che permettono di minimizzare la ridondanza (cioè massimizzare l'informazione trasmessa) e quindi l'identificazione delle azioni più critiche e meno sostenibili.

Conclusioni

Il metodo ESM proposto in questo articolo, basato sull'applicazione della teoria dell'Informazione, può risultare uno strumento utile alla valutazione di differenti misure alternative, interventi o loro combinazioni ottimali e programmi che puntano al trasferimento/diffusione di nuove tecnologie per il risparmio energetico e la conservazione integrata dell'energia con particolare attenzione alle rinnovabili. Questo metodo permetterebbe ad ogni fase progettuale di controllare l'esito di interventi e soluzioni applicative volte alla riduzione dei consumi ed al controllo dell'impatto ambientale. ESM fornisce inoltre una scala omogenea per la valutazione di diverse scelte di intervento, ed un criterio razionale per collegare ed integrare queste stesse valutazioni. Questo metodo non è uno strumento deterministico ma gestionale e decisionale; quindi di valutazione ex-ante per piani di azione di risparmio e razionalizzazione energetica. In particolare il metodo ESM applicato ad aree urbane diversamente edificate, fornisce un criterio razionale per confrontare complesse soluzioni tecnologiche che comportano la riduzione delle irreversibilità dei processi e quindi l'aumento dell'efficienza e della sostenibilità.

Simbologia

Am	ambiguità (eq.10)
Eq	equivocazione (eq.9)
ety	parametro adimensionale (eqs.1-2)
H	entropia di Shannon (informazione o neg-entropia) [bit]
K	coefficiente dell'entropia di Shannon (eq.5)
n	numero (tutte le azioni)
P	probabilità
R	ridondanza (eq.12)
S	entropia [J/K]
T	informazione totale trasmessa (eq.11)
V	peso o punteggio
z	numero (riferito a tutti i fattori/attori)

Pedici

0	massimo
b	edificio
F	riferito alla temperature di combustione
i	fattore/attore
j	azione
s	Sole

Bibliografia

1. Gray R.M., Entropy and information theory, Internal report, Information Systems Laboratory Electrical Engineering Department, Stantford University, New Yor, 1990.
2. Phipps M., Information theory and landscape analysis, Proc.Int.Congr. Netherlands Society for Landscape Ecology, Veldhoven, The Netherlands, April 6-11, 1981.
3. Ruth Matthias, Information, order and knowledge in economic and ecological systems: implications for material and energy use, Ecological Economics, 13, pp. 99-114, 1995.
4. Shannon C.E., Weaver W., The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, 1963.
5. Cover T.M., Joy A.T., Elements of Information Theory, New York, Wiley, 1991.
6. Chapman G.P., The application of information theory to the analysis of population distribution in space, Economical Geography 46 (2), suppl. pp.317-331, 1970.
7. Martín M.A., Rey J.M., Taguas F.J., An entropy-based heterogeneity index for mass-size distributions in Earth science, Ecological Modelling, vol. 182, (3-4), pp.221-228, 2005.
8. Takura Y., A statistical measure of complexity with nonextensive entropy, Physica A, Statistical Mechanics and its Applications, vol 340, (1-3), pp.131-137, 2004.
9. Steinborn W., Svirezhev Y., Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study, Ecological Modelling 133, pp. 247-257, 2000.
10. Ulanowicz R.E., Information theory in ecology, Computers and Chemistry Research Review, 25, pp. 393-399, 2001.
11. Wilson E.O., Sociobiology – The new synthesis, Zanichelli, Bologna, 1983.
12. Barras et al., An operational urban development model of Cheshire, Environmental Planning 13, pp. 115-234, 1971.
13. Barbera G., Butera F.M., Diffusion of innovative agricultural production systems for sustainable development of small islands: a methodological approach based on the science of complexity, Environmental Management vol.16, n.5, pp.667-679, 1989.
14. Butera F.M., Ex ante evaluation of the implementation of the Community Strategy and Action Plan on Renewable Energy Sources, Final Report MEDEA, Agenzia Mediterranea per le Energie Rinnovabili e l'Acqua, 1999.
15. Butera F.M., Conflicts between physics and architecture in solar systems optimization, 2nd European Conference on Architecture, EC, Proceedings of an International Conference held at Paris, France 4-8 December, 1989.
16. Balocco C., Grazzini G., Thermodynamic parameters for energy sustainability in urban areas, Solar Energy, Vol.69, n.4 pp.351-356, 2000.

17. Brillouin L., Scientific Uncertainty and Information, Academic Press, New York, 1964
18. Brillouin L., Science and information theory, Academic Press, New York, 1962.
19. Afgan N. A., Carvalho M.G., Hovana N.V., Energy system assessment with sustainability indicators, Energy Policy 28, pp. 603-612, 2000.
20. Manzini F., Martinez M., Choosing an energy future: the environmental impact of end use technologies, Energy Policy 27, pp.401-414, 1999.
21. Hammond G.P., Towards sustainability: energy efficiency, thermodynamic analysis and the two cultures, Energy Policy, pp.1789-1798, 2004.
22. Ayeni M.A.O., The city system and the use of entropy in urban analysis, Urban Ecology, 2, pp.33-53, 1976.
23. Kreider J.F., Thermodynamic availability of sun energy, Energy Policy, vol.11 (1), pp.91, 1983.

Tab.1a Azioni, in un progetto di risparmio e conservazione integrata dell'energia da attuarsi in un'area urbana edificata

AZIONI	
Abbreviazione	Descrizione
A	Edifici (numerosità e caratteristiche di forma)
A1	Volume edificato totale
A2	Variazione della porosità dell'area urbana edificata
A3	Modificazione della tipologia di copertura del suolo (variazione dell'albedo)
B	Interventi per guadagni termici passivi e solare termico
B1	Isolamento dell'involucro edilizio (coibentazione aggiuntiva di muro, tetto e pavimento)
B2	Interventi su finestre e serramenti o sul tipo di vetro (introduzione di vetri-camera e sostituzione degli infissi)
B3	Tecnologie solari passive
B4	Sostituzione impianto di riscaldamento (per tutti gli edifici) con caldaie ad alta efficienza
B5	Sostituzione del generatore di calore con basse temperature di utilizzo
B6	Produzione di acqua calda per usi domestici
B7	Sistemi collettivi nell' area urbana
B8	Riscaldamento degli ambienti nell'area urbana
B9	Impianto di teleriscaldamento all'interno dell'area urbana
B10	Condizionamento dell'aria nell'area urbana
B11	Industrie che usano calore nell'area urbana
B12	Collettori solari
C	Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili
C1	Installazione di sistemi fotovoltaici sui tetti
C2	Installazione di sistemi fotovoltaici integrati nelle facciate degli edifici
C3	Installazione di micro-turbine eoliche negli edifici
C4	Forma aerodinamica degli edifici
D	Cogenerazione CHP
D1	Sistemi di microcogenerazione integrati CHP all'interno di uno o più quartieri
D2	Sistemi di cogenerazione di media taglia CHP all'interno di uno o più quartieri
D3	Sistemi di cogenerazione di larga taglia CHP all'interno di uno o più quartieri
D4	Sistemi di riscaldamento autonomo per gli edifici di alcune aree e/o quartieri
D5	Sistemi di riscaldamento centralizzato per gli edifici di alcune aree e/o quartieri
D6	Impianti di teleriscaldamento
D7	Grandi impianti centralizzati per uno o più quartieri
E	Geotermia
E1	Usi termici diretti all'interno di uno o più quartieri

Tab.1b Fattori, Attori coinvolti in un progetto di risparmio e conservazione integrata dell'energia da attuarsi in un'area urbana edificata

ATTORI	
BFD	Direttore dell'azienda/società di costruzioni
AM	Direttore amministrativo / imprenditore
YF	Capocantiere
MB	Proprietario dell'edificio
In	Capomastro/installatore
Wr	Manodopera semplice/operaio
SWr	Manodopera specializzata/operaio specializzato-tecnico
MR	affittuario di macchinari ed attrezzature
BPD	Prodotti e materiali edili, forniture per impianti ed apparecchi
EPM	Manutenzione di impianti ed attrezzature
ESC	Società/azienda di fornitura di energia e/o servizi
EMa	Mercato energetico
Pme	Esperti di monitoraggio dell'inquinamento
CbO	Proprietari/inquilini e/o utilizzatori degli edifici
MM	Mezzi di comunicazione di massa
PP	Promotore di iniziative/progetti
FATTORI	
LCMc	Clima locale e microclima
BMS	Dimensione dell'area urbana edificata
Sma	Coefficiente di albedo del suolo
BE	Coefficiente di fabbisogno energetico termico medio dell'edificio dovuto a caratteristiche geometriche, tipologiche e alle proprietà termofisiche delle superfici disperdenti
TBV	Volume edificato totale per ciascun quartiere
BFF	Fattore di forma dell'edificio espresso dal rapporto tra superficie involucrate-disperdente ed il volume
BGF	Fattore finestra espresso dal rapporto tra la superficie vetrata o trasparente ed il volume
Bex	Utilizzazione della biomassa (compostaggio, scarti, etc)
Erwa	Disponibilità di energia e di risorse energetiche rinnovabili
PoL	Livello di inquinamento
EST	Tecnologie di risparmio energetico
Inc	Incentivi (economici e finanziari)
Mk	Marketing
R&D	Ricerca e sviluppo

Tab. 2 – Assegnazione dei pesi a ciascuna interazione Azione-Fattore

Fattori o Attori					
Azioni	A	B	i	z	$\sum_{(i=A...z)} V_i$
1	$V_{1,A}$	$V_{1,B}$	$V_{1,i}$	$V_{1,z}$	$\sum_{i=1}^z V_{1,i}$
2	$V_{2,A}$	$V_{2,B}$	$V_{2,i}$	$V_{2,z}$	$\sum_{i=1}^z V_{2,i}$
j	$V_{j,A}$	$V_{j,B}$	$V_{j,i}$	$V_{j,z}$	$\sum_{i=1}^z V_{j,i}$
n	$V_{n,A}$	$V_{n,B}$	$V_{n,i}$	$V_{n,z}$	$\sum_{i=1}^z V_{n,i}$
$\sum_{(j=1...n)} V_j$	$\sum_{j=1}^n V_{j,A}$	$\sum_{j=1}^n V_{j,B}$	$\sum_{j=1}^n V_{j,i}$	$\sum_{j=1}^n V_{j,z}$	$\sum_{j,i=1}^{n,z} V_{j,i}$

Tab. 3 – Entropia condizionale delle Azioni (messaggi j_1, j_2, \dots, j_n) e dei Fattori (risposte i_A, i_B, \dots, i_z)

Fattori o Attori					
Azioni	A	B	i	z	H(i)
1	$P_{1,A}$	$P_{1,B}$	$P_{1,i}$	$P_{1,z}$	$-\left(\frac{\sum_{i=1}^z V_{1,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{i=1}^z P_{1,i} \ln P_{1,i}$
2	$P_{2,A}$	$P_{2,B}$	$P_{2,i}$	$P_{2,z}$	$-\left(\frac{\sum_{i=1}^z V_{2,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{i=1}^z P_{2,i} \ln P_{2,i}$
j	$P_{j,A}$	$P_{j,B}$	$P_{j,i}$	$P_{j,z}$	$-\left(\frac{\sum_{i=1}^z V_{j,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{i=1}^z P_{j,i} \ln P_{j,i}$
n	$P_{n,A}$	$P_{n,B}$	$P_{n,i}$	$P_{n,z}$	$-\left(\frac{\sum_{i=1}^z V_{n,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{i=1}^z P_{n,i} \ln P_{n,i}$
$H_{\Sigma j}$	$-\left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{j,A}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{j=1}^n P_{j,A} \ln P_{j,A}$	$-\left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{j,B}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{j=1}^n P_{j,B} \ln P_{j,B}$	$-\left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{j,i}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{j=1}^n P_{j,i} \ln P_{j,i}$	$-\left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{j,z}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{j=1}^n P_{j,z} \ln P_{j,z}$	$-\left(\frac{\sum_{j=1}^n V_{j,A}}{\sum_{j,i}^{n,z} V_{j,i}}\right) \sum_{j=1}^n P_{j,A} \ln P_{j,A}$