

L'APPROCCIO MACBETH PER LA DEFINIZIONE DEI DISTRETTI URBANI SOSTENIBILI*

Francesca Abastante

Dipartimento DIST

Politecnico di Torino

Viale Mattioli 39, 10125,

Torino, Italia

francesca.abastante@polito.it

Isabella M. Lami

Dipartimento DIST

Politecnico di Torino

Viale Mattioli 39, 10125,

Torino, Italia

isabella.lami@polito.it

Patrizia Lombardi

Dipartimento DIST

Politecnico di Torino

Viale Mattioli 39, 10125,

Torino, Italia

patrizia.lombardi@polito.it

Jacopo Toniolo

Dipartimento DIST

Politecnico di Torino

Viale Mattioli 39, 10125,

Torino, Italia

jacopo.toniolo@polito.it

Abstract

The paper shows a multicriteria evaluation model in order to rank different development scenario if an historical district in Turin (Italy). The scenarios aim to a reduction in energy consumption and CO₂ emissions allowing a more efficient use of the energy resources. The simulation assessment provided refers to an European project named DIMMER (District Information Modelling and Management for Energy Reduction) and starts assuming that the highest energy consumption of buildings comes from the operative phase (80%). The methodology applied for the assessment of the scenarios is MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). MACBETH is an Additive Value Model method requiring a non numerical approach in order to build a quantitative values model. The methodology is here applied from a public decision-maker's point of view with the aim of finding the most probable energy development scenario. The simulation of decision-making process is divided into three phases: 1) analysis of the decision problem and structuring the MACBETH model; 2) weighting of the elements at stake following the pair-wise comparison required by the methodology; 3) analysis for the results.

KEY WORDS: *ICT, DIMMER project, Energy efficiency, Multicriteria, MACBETH approach.*

1. Introduzione

Le ICT sono riconosciute come un elemento cruciale per affrontare il problema del cambiamento climatico. Sensori pervasivi e sistemi di controllo sono infatti in grado di controllare in modo efficiente l'intera catena energetica. Al contempo, strumenti di modellazione 3D, di visualizzazione e di interazione consentono di definire un modello per gli utenti e di ottenere feedback in tempo reale per promuovere comportamenti ad alta efficienza energetica. Nell'intento di sbloccare le potenzialità di queste tecnologie, il Politecnico di Torino ha dato l'avvio al progetto Europeo DIMMER (District Information Modelling and Management for Energy Reduction; dimmer.polito.it), finanziato nell'ambito del 7° Pro-

gramma Quadro. Gli obiettivi principali del progetto riguardano: i) interoperabilità di produzione/consumo di energia a livello di quartiere, condizioni ambientali e dati di feedback degli utenti; ii) sfruttamento di interfacce visive e web-based efficaci per fornire un feedback pervasivo e in tempo reale sull'impatto energetico dei comportamenti degli utenti; iii) integrazione di modelli architettonici (BIM) con dati in tempo reale e la loro estensione a livello distrettuale (DIM); iv) nuovi modelli di business per gli operatori energetici e i "prosumer" definiti secondo le caratteristiche dei consumi energetici dei vari soggetti. Il sistema DIMMER integra quindi modelli BIM con modelli 3D estendendoli alla scala di quartiere. Attraverso dati raccolti in tempo reale tramite sensori e attraverso feedback degli utenti gli edifici oggetto di stu-

* Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei quattro autori.

LaborEst n.10/2015

dio vengono analizzati e correlati al fine di poter fornire feedback in tempo reale sui comportamenti legati all'energia. Per validare il sistema DIMMER sono stati individuati nell'ambito del progetto due quartieri pilota situati a Torino (IT) e a Manchester (UK). Entrambi sono caratterizzati dalla mixité urbana che si traduce nella presenza di edifici privati e pubblici (campus universitari, scuole). Poiché il maggior consumo di energia degli edifici, in riferimento all'intero ciclo di vita, si verifica durante la fase operativa (circa 80%), il progetto pone particolare attenzione agli edifici esistenti e storici. Il caso studio descritto in questo paper riguarda il quartiere pilota di Torino denominato "Crocetta", per il quale sono state formulate diverse ipotesi di trasformazione finalizzate a una consistente riduzione sia dei consumi energetici, sia delle emissioni di CO₂, consentendo una più efficiente politica di distribuzione di energia. Il paper presenta una simulazione di processo decisionale strutturato attraverso la metodologia MACBETH [1] al fine di confrontare ipotesi di scenari di trasformazione energetica del quartiere rispetto allo stato di fatto.

2. Strutturazione del processo decisionale

2.1. L'approccio MACBETH

MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) è una metodologia di analisi multicriteriale (Multicriteria Decision Analysis - MCDA) basata sull'Additive Value Model [2;10;11;12] la quale richiede un approccio di tipo non numerico a partire dal quale si è in grado di costruire un modello di valori quantitativi [1;3]. La metodologia richiede soltanto giudizi di natura qualitativa rispetto alle preferenze del decisore, (DM) aiutando nello sviluppo di un processo di apprendimento interattivo e nell'elaborazione di elementi per l'ordinamento e la selezione di soluzioni, [4] evitando così il fenomeno di "disagio cognitivo" [5] che potrebbe verificarsi nel dover esprimere le proprie preferenze attraverso giudizi numerici. L'approccio consente, inoltre, di analizzare il problema decisionale scomponendolo in aspetti

fondamentali (nodi criteri) e in aspetti di importanza secondaria o sui quali, al momento della valutazione, non si hanno a sufficienza informazioni (nodi non criteri). I nodi criteri e non criteri possono essere quindi strutturati in uno schema ad albero (albero dei valori) il quale rappresenta il problema decisionale nella sua complessità. Per ogni nodo criterio è possibile scegliere fra due tipologie di basi di comparazione: i) diretta, in cui le opzioni vengono direttamente comparate a coppie; ii) indiretta, in cui l'attrattività relativa delle opzioni viene pesata indirettamente attraverso la definizione di livelli di performance e livelli soglia definiti da normativa, o grazie alla letteratura di settore. I giudizi qualitativi attribuiti in ogni matrice di comparazione a coppie sono tradotti in giudizi numerici attraverso una funzione di valore consentendo così il raggiungimento di un ordinamento di priorità delle opzioni sulla base dell'attrattività delle stesse.

2.2. Applicazione della metodologia

La metodologia è applicata in questo studio adottando il punto di vista di un decisore pubblico con lo scopo di individuare lo scenario di sviluppo energetico futuro più plausibile nella prospettiva di una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ per il quartiere Crocetta a Torino (Italia). La simulazione del processo decisionale condotto può essere suddivisa in tre fasi: i) analisi del problema decisionale e strutturazione del modello MACBETH; ii) valutazione attraverso il procedimento di comparazione a coppie previsto dalla metodologia; iii) analisi dei risultati ottenuti. È stata quindi studiata e analizzata la conformazione architettonica attuale del quartiere allo scopo di individuare le caratteristiche degli edifici presenti nell'area. Esiste infatti una stretta correlazione fra l'età degli edifici e le relative prestazioni energetiche [6]. Sulla base della legislazione energetica nazionale [7;8;9;10;11] si è pertanto proceduto, suddividendo il patrimonio esistente nell'area (circa 3.800 edifici, fonte: CSI) in funzione dell'anno di realizzazione degli immobili i quali sono stati raggruppati nei clusters descritti nella seguente Tabella (vedi Tab.1).

DATI A DISPOSIZIONE	UNITA' DI MISURA	CLUSTERS			
		A	B	C	D
Anno edificazione	Data	<1946	1946-1971	1971-1991	>1991
Quantità di edifici per ogni cluster	%	51	40	8	1
Volume riscaldato	m ³	9000	6000	20000	7000
Consumi (riscaldamento) annui	MWh/anno	288	207	622	171
Emissioni CO ₂ annue	ton / anno	65,1	46,7	140,6	38,7
Costo energia	€/MWh	120,00	120,00	130,00	90,00
Costo annuo	€/anno	34.560,00	24.800,00	80.888,89	15.400,00
Potenza termica utile	kW	230	150	440	130
Tipologia terminali radianti	alta-media-bassa temperatura	alta	alta	media	bassa
Disponibilità locali tecnici	alta-media-bassa disponibilità	bassa	bassa	media	media

Tab.1 - Clusters di edifici presenti nell'area di studio

Rigenerazione Urbana, PPP, Smart Cities

A partire dei clusters descritti, sono state declinate tre ipotesi di scenari di sviluppo energetico per il quartiere in esame (vedi Tab. 2).

Scenario 0 - Stato di fatto					
Cluster	Tipologia di generazione del calore	%	Costi di investimento	Risparmio annuo	Riduzione emissioni CO2
A	Generatore a gas non a condensazione	38%	-	-	-
	Generatore a gas a condensazione	37%			
	Teleriscaldamento	25%			
B	Generatore a gas non a condensazione	37%	-	-	-
	Generatore a gas a condensazione	34%			
	Teleriscaldamento	29%			
C	Generatore a gas non a condensazione	39%	-	-	-
	Generatore a gas a condensazione	39%			
	Teleriscaldamento	22%			
D	Generatore a gas non a condensazione	40%	-	-	-
	Generatore a gas a condensazione	41%			
	Teleriscaldamento	19%			
	Generatore a biomassa	0%			
	Pompa di calore aria/acqua	0%			
	Pompa di calore acqua/acqua con sonde geotermiche	1%			
Pompa di calore acqua/acqua con acqua di falda	0%				
Scenario 1 - Scarsa disponibilità economica e diffusione massiccia del teleriscaldamento					
A	Generatore a gas non a condensazione	0%	1.162.800 €	1.339.5466 €	2.524 Ton
	Generatore a gas a condensazione	37%			
	Teleriscaldamento	63%			
B	Generatore a gas non a condensazione	0%	555.000 €	458.800 €	864 Ton
	Generatore a gas a condensazione	34%			
	Teleriscaldamento	66%			
C	Generatore a gas non a condensazione	0%	421.200 €	1.135.680 €	1.974 Ton
	Generatore a gas a condensazione	39%			
	Teleriscaldamento	61%			
D	Generatore a gas non a condensazione	0%	144.000 €	73.920 €	186 Ton
	Generatore a gas a condensazione	40%			
	Teleriscaldamento	59%			
	Generatore a biomassa	0%			
	Pompa di calore aria/acqua	0%			
	Pompa di calore acqua/acqua con sonde geotermiche	1%			
Pompa di calore acqua/acqua con acqua di falda	0%				
TOTALE			2.283.000 €	3.007.945 €	5.547 Ton
Scenario 2 - Alta disponibilità economica e diffusione ridotta del teleriscaldamento					
A	Generatore a gas non a condensazione	0%	17.442.000 €	4.018.637 €	7.570 Ton
	Generatore a gas a condensazione	75%			
	Teleriscaldamento	25%			
B	Generatore a gas non a condensazione	0%	5.920.000 €	1.376.400 €	2.591 Ton
	Generatore a gas a condensazione	71%			
	Teleriscaldamento	29%			
C	Generatore a gas non a condensazione	0%	8.283.600 €	3.407.040 €	5922 Ton
	Generatore a gas a condensazione	78%			
	Teleriscaldamento	22%			
D	Generatore a gas non a condensazione	0%	1.472.400 €	230.280 €	579 €
	Generatore a gas a condensazione	75%			
	Teleriscaldamento	19%			
	Generatore a biomassa	2%			
	Pompa di calore aria/acqua	1,5%			
	Pompa di calore acqua/acqua con sonde geotermiche	1,5%			
Pompa di calore acqua/acqua con acqua di falda	1%				
TOTALE			33.118.000 €	9.032.357 €	16.663 €

Tab. 2 - Descrizione degli scenari di sviluppo futuro

LaborEst n.10/2015

Lo scenario 0 rappresenta lo stato di fatto. L'assunzione di base dello scenario è che esso non sia sostenibile sul lungo periodo a causa dell'obsolescenza operativa e delle elevate emissioni inquinanti dei sistemi di generazione del riscaldamento che sono stati installati prima dell'anno 2000.

Lo scenario 1 rappresenta un'ipotesi di bassa disponibilità economica futura. Secondo questa prospettiva ci si attende che gli abitanti, di fronte alla necessità di sostituire i vecchi impianti di generazione del riscaldamento, preferiscano l'allacciamento alla rete del teleriscaldamento, che rappresenta l'alternativa più economica nel breve periodo, ma che, a causa del sistema monopolistico di gestione, rischia di rivelarsi non conveniente sul lungo periodo.

Dal punto di vista della creazione di posti di lavoro, è dimostrato che le centrali di teleriscaldamento diminui-

scono le opportunità lavorative per un indotto locale, se comparate con la riqualificazione di centrali termiche con generazione in situ.

Lo scenario 2 illustra invece un'ipotesi di maggiore disponibilità economica nel breve-medio termine. In questa situazione si ipotizza, infatti, che gli utenti sceglieranno di adottare tecnologie di generazione dell'energia con costi di investimento maggiori, ma più economiche sul medio-lungo periodo, come di fatto è dimostrato essere avvenuto nel corso dell'ultima decade.

È importante evidenziare che tali scenari sono ipotetici e, pur essendo verosimili perché basati sull'analisi del contesto reale, sulla normativa e sulla letteratura di settore, sono però estreme semplificazioni di una situazione reale. In linea con la metodologia [1; 3], sono stati individuati quattro nodi criteri e due nodi non criteri descritti nella seguente Tabella (vedi Tab. 3).

NODI CRITERI	DESCRIZIONE	UNITA' DI MISURA
Costi di investimento	Costo totale per la modifica del sistema di generazione	Euro (€)
Risparmio economico annuo	Risparmio legato al minor consumo di combustibile, o al suo minor costo (in caso di modifica del vettore energetico)	Euro (€)
Diminuzione delle emissioni di CO2	Diminuzione delle emissioni inquinanti legata alle minori emissioni dei nuovi generatori o al cambio del vettore energetico	Ton CO2
Creazione di posti di lavoro	Indicazione di quanto lo scenario incida sull'offerta di lavoro	Scala ordinale
NODI CRITERI	DESCRIZIONE	UNITA'
Impatto politico/accettazione sociale	Impatto in termini di accettabilità degli scenari di sviluppo da parte della società misurato in termini ordinali	Scala ordinale
Costi di manutenzione	Costi legati alla manutenzione del nuovo sistema di generazione	Euro (€)

Tab. 3 - Aspetti problematici del problema decisionale (Nodi criteri e nodi non criteri)

A causa della scarsità di informazioni disponibili in questa fase della valutazione, gli aspetti legati ai costi di manutenzione e all'accettazione sociale degli scenari sono stati considerati nel modello come nodi non criteri.

Gli aspetti considerati nel modello sono stati organizzati nell'albero dei valori (vedi Fig. 1).

Per ogni nodo criterio sono state definite le basi di comparazione: per i nodi costi di investimento, risparmio economico annuo e creazione di posti di lavoro si è deciso di utilizzare una base di comparazione diretta (Opzioni) mentre per la diminuzione delle emissioni di CO₂ si è optato per una base di comparazione indiretta qualitativa. Per quest'ultimo criterio di valutazione sono stati quindi individuati tre livelli di performance generali stabiliti attraverso le vigenti normative [EPBD 2012] e tra questi sono stati indicati i livelli soglia superiore e inferiore (vedi Tab.4).



Fig. 1 - Albero dei valori

Rigenerazione Urbana, PPP, Smart Cities

2.3. Analisi e valutazione

Lo sviluppo del modello prosegue con la compilazione delle matrici di confronto a coppie per ogni criterio decisionale. Le matrici assumono forme diverse secondo la base di comparazione scelta in precedenza per i criteri. A titolo di esempio si riportano due matrici: in Figura 2 è illustrata la matrice riferita al criterio Costi di investimento mentre in Figura 3 è illustrata la matrice riferita al criterio diminuzione delle emissioni di CO₂.

LIVELLI DI PERFORMANCE	TONNELLATE DI CO ₂
1 - (Soglia superiore)	20.000
2 - Livello pari a circa il 10% di diminuzione (robusto statisticamente)	10.000
3 - (Soglia inferiore)	5.000

Tab.4 - Livelli di performance per la valutazione del nodo criterio Diminuzione delle emissioni di CO₂

Costi di investimento				
	SCEN1	SCEN0	SCEN2	Current scale
SCEN1	no	weak	extreme	100.00
SCEN0		no	strong	66.67
SCEN2			no	0.00

Consistent judgements

Fig. 2 - Matrice dei giudizi per il criterio costi di investimento

Diminuzione delle emissioni di CO ₂				
	20000	10000	5000	Current scale
20000	no	strong	extreme	100.00
10000		no	mod-strg	42.86
5000			no	0.00

Consistent judgements

Fig. 3 - Matrice dei giudizi per il criterio diminuzione delle emissioni di CO₂

In base alle informazioni a disposizione, sono stati attribuiti i seguenti giudizi rispetto al criterio dei costi di investimento: lo *Scenario 1* è debolmente preferito allo *Scenario 0*, lo *Scenario 0* è fortemente preferito allo *Scenario 2*, lo *Scenario 1* estremamente preferito allo *Scenario 2*.

Nella matrice dei giudizi di Figura 3 vengono comparati a coppie i livelli di performance definiti in precedenza. Sono stati quindi attribuiti i seguenti giudizi: un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di 20.000 ton è fortemente preferito a un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di 10.000 ton; un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di

20.000 ton è estremamente preferito a un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di 5.000 ton; un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di 10.000 ton è moderatamente preferito a un intervento che consenta una diminuzione delle emissioni di 5.000 ton.

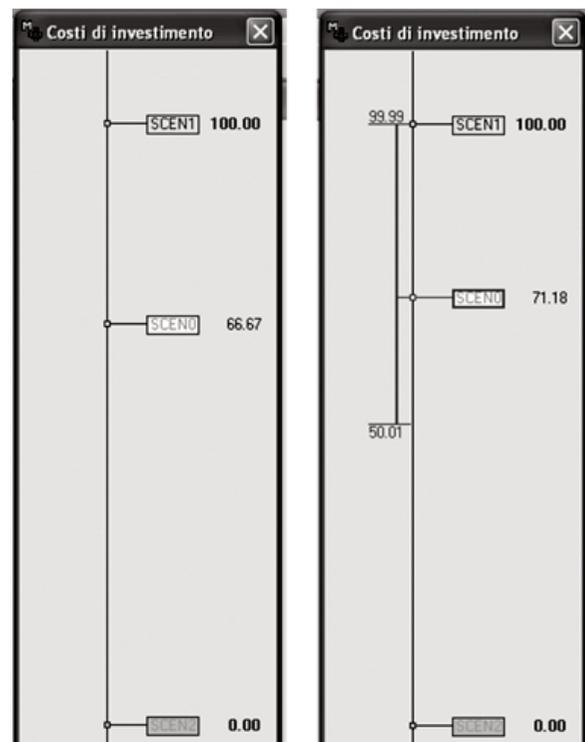


Fig. 4 - Aggiustamento della scala di priorità proposta per il criterio costi di investimento

Tali giudizi sono basati sulla performance relativa degli interventi. Una diminuzione di 5.000 ton rappresenta infatti circa il 5% delle emissioni totali del campione considerato. Tale diminuzione è considerata il livello minimo statisticamente affidabile affinché il calcolo sia rappresentativo.

Una diminuzione del 10% è un valore statisticamente più robusto, mentre il 20% rappresenta sostanzialmente il target di riduzione delle emissioni prefissato dalla UE entro il 2020.

I giudizi ordinali riportati nelle matrici di confronto sono stati tradotti nella corrispondente scala di priorità cardinale [1]. Poiché tale scala non è univoca, potrebbe rivelarsi necessario un processo di aggiustamento per rappresentare correttamente le preferenze del decisore senza intaccare i giudizi qualitativi assegnati nelle matrici (vedi Fig. 4).

Seguendo lo stesso procedimento sono stati infine attribuiti i giudizi qualitativi alla matrice di confronto fra i criteri del modello i quali sono stati tradotti in scala numerica (vedi Fig. 5).

LaborEst n.10/2015

	[JOBS]	[CO2 Sav]	[INV-COST]	[COST-SAV]	[all lower]
[JOBS]	no	moderate	mod-strg	v. strong	positive
[CO2 Sav]		no	moderate	strong	positive
[INV-COST]			no	moderate	positive
[COST-SAV]				no	positive
[all lower]					no

Fig. 5 - Matrice dei giudizi dei criteri

Dopo aver completato l'attribuzione dei giudizi e dei pesi richiesta dalla metodologia, i risultati relativi di ogni criterio sono stati aggregati tramite formula additiva per ottenere un ordinamento di priorità delle ipotesi di scenari energetici (vedi Fig. 6).

Options	Overall	INV-COST	COST-SAV	CO2 Sav	JOBS
[all upper]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
SCEN2	71.64	0.00	100.00	68.00	100.00
SCEN1	20.36	100.00	60.00	-1.71	0.00
SCEN0	10.66	71.18	0.00	-42.86	25.00
[all lower]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Weights :		0.1818	0.0455	0.3182	0.4545

Fig. 6 - Risultati finali

Il criterio più importante risulta essere la possibilità di creazione di *posti lavoro* (45%) seguito dal criterio *riduzione delle emissioni di CO₂* (31%), *costi di investimento della trasformazione* (18%) e *risparmio economico annuo* (4,5%). Tali risultati sono verosimili dal punto di vista di un decisore pubblico, che si suppone presterebbe maggiore attenzione agli interessi della collettività piuttosto che alle risorse economiche del singolo utente. Emerge quindi che lo scenario di sviluppo energetico futuro più plausibile per il quartiere "Crocetta" risulta essere lo *scenario 2* (Alta disponibilità economica e diffusione ridotta del teleriscaldamento - 71,64%) seguito dallo *scenario 1* (Scarsa disponibilità economica e diffusione massiccia del teleriscaldamento - 20,36%) e dallo *scenario 0* (Stato di fatto - 10,66%).

3. Conclusioni e sviluppi futuri

Lo studio presentato in questo contributo, relativo ad una iniziale ed ipotetica simulazione di processo decisionale a scenari di trasformazione energetica di un quartiere residenziale di Torino, è stato sviluppato con l'obiettivo di illustrare l'operatività e il supporto offerto in fase di decisione dalla metodologia MACBETH. L'approccio, come già detto, ha il vantaggio di offrire una simulazione di valori quantitativi in base a dati di preferenza di natura qualitativa. In particolare, il modello consente lo sviluppo di un processo di apprendimento interattivo, evitando il disagio,

spesso riscontrabile in processi decisionali multicriteriali, di richiedere preferenze e giudizi espressi in forma numerica [11].

Benché la sperimentazione sia ancora in corso ed il caso rappresenti una prima sommaria simulazione, le opportunità di implementazione futura del modello sono chiaramente evidenziate dall'applicazione relativa alla riqualificazione energetica a livello distrettuale proposta dal contesto decisionale del progetto Europeo DIMMER.

Bibliografia

- [1] Bana e Costa C.A., Oliveira R.C., "Assigning priorities for maintenance, repair and refurbishment in managing a municipal housing stock". European Journal of Operational Research 138, pp. 380-391, 2002
- [2] Belton V., "Multi-criteria problem structuring and analysis in a value theory framework". In: Gal T., Stewart T., Hanne T. (a cura di), Multicriteria Decision Making, Advances in MCDM - Models, Algorithms, Theory, and Applications. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers, 1999
- [3] Bana e Costa C.A., Chagas M.P., "A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments". European Journal of Operational Research 153, pp. 323-333, 2004
- [4] Von Winterfeldt D., Edwards W., "Decision Analysis and Behavioral Research". New York. Cambridge University Press (1986)
- [5] Fasolo B., Bana e Costa, C.A. (2009), "Tailoring value elicitation to decision makers' numeracy and fluency: expressing value judgments in numbers or words". London. London School of Economics
- [6] Fracastoro G.V., Serraino M., "Analisi statistiche delle prestazioni energetiche del parco edilizio della provincia di Torino". L'energia in Provincia di Torino, 19 marzo 2009
- [7] Legge n° 373, "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici degli edifici", 30 marzo 1976
- [8] Legge n°10, "Norme di attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo di fonti rinnovabili di energia", 9 gennaio 1991
- [9] Direttiva 2002/91CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sul rendimento energetico nell'edilizia, 16 dicembre 2002
- [10] Direttiva 2010/31 EC del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia, 19 maggio 2002
- [11] Bottero M., Lami I.M., Lombardi P., "Analytic Network Process: la valutazione di scenari di trasformazione urbana e territoriale". Alina, Firenze, 2008As
- [12] Figueira J., Greco S., Ehrgott M., "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys". Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 2005