

Un modello multicriterio "fuzzy" per la valutazione degli interventi di riqualificazione urbana

Pierluigi Morano*

1. Complessità e incertezze dell'analisi multicriterio

Le tecniche multicriterio (Hwang C.L. e Yoon K., 1981; Nijkamp P. e Voogd H., 1989; Rizzo F., 1990) si presentano congruenti con il carattere multidimensionale della valutazione dei piani e dei progetti di riqualificazione urbana, dovendo essere considerata una pluralità di obiettivi derivanti da istanze di natura diversa -economica, sociale, etica, ecologica- e consentendo le tecniche medesime un'ampia rappresentazione del quadro socio-economico, istituzionale ed ambientale, all'interno del quale il soggetto pubblico dovrà assumere la decisione dell'intervento.

Nelle operazioni di riqualificazione urbana, l'analisi multicriterio interviene in un processo nel quale alla definizione -da parte della Pubblica Amministrazione- degli obiettivi e delle azioni, segue la predisposizione dei progetti che formano la materia delle valutazioni richieste per il confronto e la scelta dell'alternativa da realizzare¹.

Nonostante si sia dimostrata un valido strumento di supporto alle decisioni, l'analisi multicriterio per molti aspetti si rivela ugualmente inadeguata alla valutazione dei progetti. Nella rappresentazione e misura degli effetti immateriali degli interventi, scale di merito, articolate con punteggi o con espressioni linguistiche, risultano vaghe ed imprecise anche ai fini dell'ordinamento delle alternative per la scelta della soluzione da realizzare. La imperfetta conoscenza della realtà e la carenza delle

* Pierluigi Morano, ingegnere, Ricercatore di Estimo nel Politecnico di Torino.

1) Lo schema del processo decisionale è di solito così articolato:

- definizione delle linee di azione strategica, da parte della Pubblica Amministrazione, e individuazione degli obiettivi dell'intervento,
- redazione delle alternative di progetto,
- valutazione del grado di perseguimento degli obiettivi delle soluzioni di progetto,
- quantificazione del peso che la Pubblica Amministrazione e/o gli attori sociali interessati attribuiscono ai singoli obiettivi,
- confronto dei risultati ottenuti dalla valutazione delle alternative progettuali, conseguente ordinamento delle alternative e scelta della soluzione da attuare.

informazioni accrescono l'ambiguità dei criteri di valutazione². La trasformazione dei dati in modo da renderli implementabili con algoritmi matematici, riduce l'apporto conoscitivo e la qualità dell'informazione. L'uso -nelle situazioni più articolate- di modelli "complessi" di valutazione multicriterio, mostra il duplice limite di richiedere una notevole quantità di informazioni e di operare attraverso meccanismi non sempre di facile comprensione per i soggetti interessati dall'intervento.

2. La logica fuzzy

Nel campo della ricerca tecnico-scientifica, da alcuni anni si è andato diffondendo l'impiego di logiche "non standard", in particolare della logica fuzzy (Zadeh L.A., 1965; Kaufmann A., 1975; Dubois D. e Prade H., 1980) che nasce come ricerca della verità fattuale, quale è nella complessità delle situazioni reali, contrapposta alla "verità scientifica" rappresentata dalla matematica tradizionale³.

Nei processi decisionali, gli strumenti delle logiche non standard vengono utilizzati non tanto per oggettivare le valutazioni, quanto per impostare procedure coerenti con le assunzioni adottate dai soggetti esperti e per fornire agli operatori un supporto logico-formale sul quale formulare modelli trattabili analiticamente (Zimmermann H.J., 1991; Xing Li H. e Yan V.C., 1995; Chen S. e Hwuang C.L., 1992; Munda G., 1997). Inoltre, come in altri processi, anche nell'assunzione delle decisioni nulla è assoluto. Tra il valore 0, che non giustifica affatto la scelta, ed il valore 1, che la giustifica totalmente, vi può essere un qualunque valore intermedio che la giustifica "in una certa misura" ed è ragionevolmente posto a base della decisione. Questo paradigma è abbastanza vicino al modo naturale di ragionare del decisore e consente di prendere in

2) La misura degli effetti di un progetto va allora considerata -Realfonzo A.: *Relazione introduttiva* al Convegno sul paesaggio, Capri 1994- come parte del *circolo ermeneutico*, come fase del processo di valutazione ed interpretazione dei progetti e dei piani e delle loro conseguenze, svolta sulla base dell'esperienza, della cultura e della sensibilità dell'analista.

3) I fatti dell'economia - scrive Rizzo F. in *Valore e valutazioni*, FrancoAngeli editore, Milano 1999, pag. 760- non sono bianchi o neri, ma in certa misura sono bianchi e neri cioè fuzzy, vaghi, sfumati. La scienza economica "normale" tratta fatti grigi o fuzzy come se fossero fatti di tipo bianco o nero della matematica tradizionale e in tal modo li falsifica e deforma. Il principio di polivalenza fuzzy implica che si ha a che fare con una logica a più valori, tali da formare uno spettro, un *continuum*, tra la falsità e la verità.

considerazione, accanto a problemi di scelta, anche problemi di classificazione e di ordinamento multicriteriale, ormai sempre più frequenti nelle applicazioni operative⁴. Gli strumenti delle logiche non standard si sono dimostrati utili nello studio delle scienze sociali, nelle quali l'indeterminatezza semantica e la insufficienza delle informazioni sono fattori ricorrenti e l'incertezza gioca un ruolo rilevante (Donnarumma A., 1997).

In ambito nazionale, studi sull'applicazione della logica fuzzy all'analisi multicriteriale per la valutazione di progetti di intervento sul territorio e l'ambiente sono di epoca recente ed hanno riguardato gli aspetti della quantificazione del peso degli obiettivi e la misura degli effetti qualitativi⁵ ed incerti delle soluzioni di progetto, trattati attraverso formalizzazioni basate sull'algebra degli insiemi sfocati (Bernetti I., 1994; Marinelli A., Casini L. e Bernetti I., 1995; Zanolì R., 1996; Rosato P. e Faggiani A., 1999; Manganelli B., 2000).

3. Scopo del lavoro

Dalla nostra letteratura, meno investigato risulta invece l'aspetto della logica fuzzy connesso alla capacità di simulare il modo di pensare approssimato dell'uomo. L'opportunità offerta dai sistemi costruiti sulla logica fuzzy di riprodurre ed incorporare in modelli formali, facendo uso di espressioni del linguaggio naturale, le regole logiche seguite dal decisore nel compiere le valutazioni, è di certo particolarmente importante proprio per la fase più delicata del processo decisionale, quella del confronto dei risultati delle analisi e della scelta della soluzione da realizzare; fase, peraltro, nella quale l'attenzione degli operatori è

4) Matarazzo B. nella *Presentazione* del volume *Valore e valutazioni* di Rizzo F., op. cit.

5) Nella riqualificazione urbana, la misura degli effetti qualitativi dei progetti è legata alle finalità stesse degli interventi i quali si pongono obiettivi di riuso funzionale degli ambiti degradati, di eliminazione delle varie forme di obsolescenza e di inquinamento, di valorizzazione del paesaggio e della naturalità dei siti, di recupero –più in generale– della qualità dell'ambiente come requisito essenziale per ogni ipotesi di sviluppo. Si tratta di temi stimolati dalla crescente sensibilità che la collettività manifesta per le problematiche derivanti dall'uso incontrollato delle risorse naturali, che rendono ineludibile la questione dello sviluppo sostenibile ed equilibrato delle città e del territorio ed indirizzano a strategie e ad interventi integrati capaci di perseguire obiettivi di natura economica, sociale, ambientale e culturale. Vedi Commission of the European Communities (CEC): *Green Paper on the Urban Environment*. Luxembourg 1990. Ancora, si veda in Fusco Girard L.: *Risorse architettoniche e culturali: valutazioni e strategie di conservazione*. FrancoAngeli editore, Milano 1987.

focalizzata non solo sulla coerenza dei criteri di scelta, ma anche sulla trasparenza del processo.

Su questi aspetti, nei paragrafi che seguono, sono applicati principi e algoritmi della logica fuzzy e della teoria degli insiemi sfocati. Scopo del lavoro è la costruzione di un modello multicriterio-fuzzy destinato alla valutazione dei progetti di riqualificazione urbana, caratterizzati dalla partecipazione di pluralità di attori (politici, tecnici e sociali) per i quali la chiarezza e la trasparenza del processo valutativo rivestono un ruolo primario. La mancanza, infatti, o l'insufficienza di questi requisiti - assieme ai conflitti di interesse - è tra le cause più frequenti del rallentamento e talora dell'arresto della procedura.

Specificamente, col modello che si propone, si intende migliorare la trasparenza delle fasi in cui il decisore opera la valutazione della priorità da attribuire alle alternative di intervento, a partire dalle indicazioni fornitegli dagli attori sociali e dagli esperti della riqualificazione.

Nell'analisi multicriterio, la valutazione delle priorità è simulata ricorrendo a modelli matematici ottimizzanti. Strumenti che, se costituiscono una garanzia dell'oggettività del processo decisionale, rischiano di diventare - per i soggetti non esperti - delle "scatole nere" che producono soluzioni (Rosato P. e Faggiani A., 1999). Invero, il processo di valutazione del decisore si sviluppa, nella realtà, secondo regole logiche e meccanismi "interni" che traggono origine da esperienze analoghe già vissute (Zadeh L.A., 1975; Kosko B., 1995) e che possono essere esplicitati solo ricorrendo al linguaggio naturale.

Il modello multicriterio-fuzzy che viene delineato nel lavoro, rende operative tali condizioni. Attraverso un sistema fuzzy permette di formalizzare le regole logiche del decisore, utilizzando variabili linguistiche ed espressioni del linguaggio comune. Così che, i criteri decisionali adottati risultano chiari e di immediata comprensione per tutti i soggetti interessati, con ricadute di valenza positiva sulla trasparenza del processo e sulla legittimazione delle scelte⁶.

6) Sulla importanza del punto di incontro tra atteggiamento scientifico e necessità euristica nei processi decisionali, alle pagg. 113-114 del testo di Mollica E.: *Principi e metodi della valutazione economica dei progetti di recupero*. Rubettino Editore, Soveria Mannelli 1995, si legge: "L'intuizione ha una parte fondamentale nelle decisioni e nei comportamenti delle persone. L'atteggiamento nell'azione non può essere soltanto logico, poiché all'influenza dei sentimenti deve essere attribuito un effetto primario, senza il quale non vi sarebbero più azioni volontarie bensì automatismi e tropismi. L'uomo, per mantenere la propria indipendenza all'interno dei meccanismi sempre più complessi che deve governare, ha bisogno di *ingenium*. L'atteggiamento più conveniente sembra essere, pertanto, quello che si compone di intuizione e di logica".

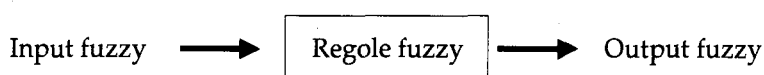
Il modello, inoltre, per le prerogative proprie della logica fuzzy, consente di gestire buona parte dei fattori incerti ed ambigui dei progetti. Si presenta flessibile ed aperto a modifiche, coerentemente con la natura iterativa dei processi decisionali nei quali eventi vari (economici, sociali, normativi, politici) possono modificare il contesto di riferimento ed alterare il meccanismo di valutazione del decisore.

Il percorso metodologico per la definizione del modello è sviluppato con riferimento ad un caso concreto di particolare complessità, la riqualificazione urbana e ambientale del comparto ex Q8 dell'Area orientale di Napoli.

4. Sistemi fuzzy e regole linguistiche

Lo strumento qui utilizzato per simulare il processo di valutazione del decisore è un sistema a logica fuzzy. Un sistema fuzzy può essere definito come un sistema nel quale input ed output sono insiemi fuzzy (si veda l'Appendice A.1) e l'output viene determinato, in funzione dell'input, applicando regole fuzzy (Cammarata, 1997).

Lo schema di un sistema fuzzy è rappresentato nella figura che segue.



Dallo schema, appare evidente che le regole fuzzy, dette anche "regole di produzione" fuzzy, costituiscono il nucleo del sistema. Una regola non è altro che l'associazione di una relazione linguistica input, ottenuta mediante la connessione di più variabili linguistiche (si veda l'Appendice A.2) ad una espressione linguistica output, anch'essa in genere costituita da più variabili linguistiche (Terano T., Asai K. e Sugeno M., 1992).

Attraverso le regole si rende possibile tradurre in modelli formali, impiegando il linguaggio naturale, il meccanismo che il decisore mette in atto nell'assumere la scelta. Le regole di produzione difatti sono costruite sulle indicazioni dei soggetti esperti del problema e riflettono il comportamento che in quelle circostanze avrebbe chi le assume. Ad esempio (Bagnoli C. e Smith H.C., 1998), la decisione presa dall'organizzatore di un ricevimento incaricato di stabilire il più opportuno numero di perso-

ne da invitare in funzione della capacità della sala, può essere sintetizzata col ragionamento: "non meno di quindici, così che la sala non sia troppo vuota, ma non più di trentacinque, così che ogni invitato possa trovarsi in condizioni confortevoli". Il ricorso a concetti sfocati è evidente e la decisione è il risultato di un processo di analisi che si sviluppa attraverso un meccanismo logico del tipo:

"se la sala è *piccola* / *normale* / *grande* / *enorme*, allora il numero delle persone da invitare deve essere *basso* / *medio* / *elevato* / *grandissimo*".

In termini di sistemi fuzzy, ciò equivale a formalizzare le seguenti regole di produzione:

1) se la sala è *piccola*, allora il numero delle persone da invitare deve essere *basso*;

2) se la sala è *normale*, allora il numero delle persone da invitare deve essere *medio*;

3) se la sala è *grande*, allora il numero delle persone da invitare deve essere *elevato*;

4) se la sala è *enorme*, allora il numero delle persone da invitare deve essere *grandissimo*.

Una regola fuzzy, pertanto, è definita dalla struttura logica "se...allora...". Questa struttura può essere scomposta in due parti:

a) il "blocco antecedente", identificabile con la parte: "se...", nella quale vengono indicate le condizioni, cioè i possibili stati in cui il sistema si può trovare;

b) il "blocco conseguente", corrispondente alla parte della regola "allora...", che definisce la conclusione del processo logico.

In sostanza, una regola fuzzy descrive, con parole, il processo razionale ma intuitivo che un soggetto segue per produrre l'azione da compiere, ovvero per giungere alla decisione finale, partendo da informazioni qualitative e quantitative sul fenomeno e sulla base di esperienze analoghe che ha già affrontato.

Nell'esempio sopra richiamato, il blocco antecedente della regola contiene una sola variabile linguistica input, cioè la "dimensione della sala". In concreto, però, le variabili di ingresso possono essere più d'una. In effetti - principio di indeterminazione - il ricorso alle regole fuzzy è più efficace nei contesti in cui l'azione risultante, che identifica la variabile "dipendente" del problema, è funzione di più variabili input "indipendenti" (Zadeh L.A., 1973).

Va aggiunto che i vantaggi delle regole linguistiche - di rendere il processo di valutazione esplicito e comprensibile a tutti gli operatori

(tecnici e non) coinvolti nella decisione, e di fornire risultati di immediata interpretazione- si manifestano particolarmente necessari nell'urbanistica partecipata, nella quale soggetti politici, esperti di discipline diverse ed attori sociali si confrontano sulle soluzioni di progetto.

5. Schema metodologico

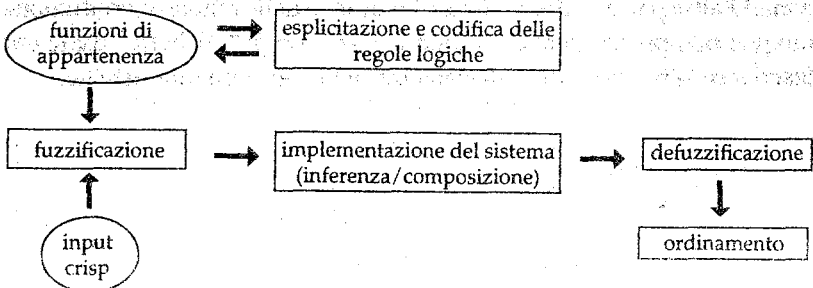
La costruzione del modello è articolata in due fasi. Nella prima è delineato il quadro socio-economico, istituzionale ed ambientale del caso di studio e sono raccolte le informazioni. I passaggi si possono così schematizzare:

a) suddivisione del problema nelle parti che lo compongono. Nel lavoro, la cui finalità -si ricorda- è la costruzione di un modello di supporto alle decisioni per la valutazione dei progetti di riqualificazione, ciò equivale ad individuare: gli obiettivi della Pubblica Amministrazione, le soluzioni di progetto, i gruppi sociali interessati dall'intervento, i criteri attraverso i quali le soluzioni andranno valutate;

b) identificazione delle variabili input del modello, le quali definiscono gli aspetti rilevanti ai fini della decisione, e le variabili output che sintetizzano le finalità del processo decisionale. Nel caso di studio, le variabili input sono rappresentate dalla preferenza attribuita a ciascun criterio dagli attori sociali e dal grado di perseguimento degli obiettivi espresso dalle soluzioni. La variabile output corrisponde al grado di priorità che, sulla base dei valori delle variabili input, viene attribuito dal decisore alle alternative progettuali per ciascuno degli obiettivi dell'intervento;

c) ricerca e raccolta dei dati per l'analisi e la rappresentazione delle variabili del modello.

Nella seconda fase del percorso avviene la costruzione formale e l'implementazione del sistema a logica fuzzy, descritto dallo schema seguente.



Le operazioni da compiere possono essere individuate e brevemente descritte in sei punti:

d) definizione della forma e dei valori delle funzioni di appartenenza delle variabili linguistiche (input ed output) che caratterizzano il processo decisionale;

e) esplicitazione da parte del decisore -in termini linguistici- delle regole logico-comportamentali per la valutazione della priorità da attribuire a ciascuna soluzione di progetto per l'obiettivo di analisi, noti i pesi dei criteri e la capacità delle alternative di perseguire gli obiettivi della riqualificazione. Le regole logiche sono codificate in modelli formali;

f) trasformazione in valori sfocati, da introdurre nel sistema fuzzy, delle informazioni disponibili per il processo decisionale, di solito espresse in misure di grandezze tecniche, fisiche, economiche, etc., o in termini di valutazioni fornite con scale di merito o con punteggi. Si tratta, evidentemente, dell'operazione di fuzzificazione, che è svolta con l'impiego delle funzioni di appartenenza delle variabili input del modello;

g) implementazione delle regole logiche attraverso operazioni di inferenza e di composizione, svolte con operatori della logica fuzzy. Con l'inferenza, a partire dai valori sfocati delle variabili input sono calcolati, per ciascuna regola, i valori sfocati della variabile output. Con la composizione, gli insiemi sfocati ottenuti dall'inferenza sono poi combinati in un unico insieme fuzzy;

h) trasformazione dell'insieme fuzzy ottenuto con la composizione in un valore numerico crisp mediante un'operazione di defuzzificazione;

i) ordinamento dei vettori che risultano dall'applicazione reiterata del modello. Identificazione della soluzione migliore.

Va precisato che i passi indicati ai punti d) ed e), non vanno percorsi in modo sequenziale ma ciclico. E' evidente, infatti, che le variabili linguistiche del processo decisionale, come pure la forma ed i valori che le relative funzioni di appartenenza assumono, cambiano in relazione al meccanismo logico del decisore e possono essere specificate solo dopo che questo meccanismo è stato esplicitato attraverso le regole di produzione. D'altra parte, la definizione e la codifica delle regole di produzione non possono prescindere dal numero e dal tipo di "etichette" usate per descrivere le funzioni di appartenenza delle variabili linguistiche.

6. Costruzione del modello: la prima fase

Come si è detto, in questa fase è sviluppata l'analisi del caso di studio. Sono in merito delineate le componenti del quadro politico, sociale, economico ed ambientale all'interno del quale la decisione va operata e sono indicati gli aspetti critici e le potenzialità dell'area di intervento. Sono raccolte le informazioni.

6.1. Il comparto ex Q8

Il caso è quello della riqualificazione urbana e ambientale del comparto ex Q8 dell'Area orientale di Napoli, la quale è uno dei quattro ambiti tra i quali l'Amministrazione comunale ha suddiviso il territorio urbano ai fini della redazione del nuovo Piano Regolatore Generale.

Quest'area ha una superficie di 2.800 ettari e raccoglie una popolazione di oltre 150 mila abitanti. Presenta un tessuto urbano intensamente edificato, disorganico e frammentato nel quale, pur prevalendo la funzione industriale, sono diffuse attività commerciali, terziarie e insediamenti residenziali. Gravi sono in essa le condizioni di degrado dovute all'assenza di standard urbanistici e di servizi pubblici. Il rischio industriale ed ambientale, connesso ai depositi di combustibile ed agli impianti di lavorazione del petrolio (Agip, Q8, Esso, IP, Shell), è elevato. La deflagrazione del 1984 provocò morti e danni per centinaia di miliardi di lire. I manufatti viari, che raggiungono su quest'area la maggiore concentrazione della città, quasi sempre l'attraversano senza servirla, creano barriere e accentuano la frammentazione del territorio.

Molti sono però i punti di forza dell'Area orientale rispetto all'opera di riqualificazione. La sua ubicazione a ridosso del centro cittadino, in un contesto dotato di elementi valorizzanti quali il porto commerciale, la stazione ferroviaria dello Stato, i terminali della ferrovia circumvesuviana, il centro direzionale; l'avvenuta localizzazione -in essa- di iniziative ed opere quali la zona franca portuale, il porto turistico, il parco urbano; la disponibilità, nell'area stessa, di suoli dismessi, riconvertibili in nuovi usi pubblici e privati; il dato programmatico di grande rilievo secondo cui il rilancio dell'Area orientale⁷ è uno degli obiettivi strategici del

7) Dato effettivo della volontà politica di attuazione del rilancio dell'Area orientale è l'accordo raggiunto con il Comune dall'Unione degli Industriali della Provincia di Napoli, da cui la stipula nel giugno del 1996 di un Protocollo d'intesa e l'apertura di uno "Sportello per la promozione dello sviluppo produttivo della zona orientale della città". L'attività è tra l'altro favorita dallo snellimento delle procedure di istruttoria e dalla riduzione dei tempi burocratici di approvazione dei progetti di trasformazione.

programma comunale di riqualificazione delle periferie degradate per lo sviluppo della città.

Il comparto ex Q8, situato al confine con il quartiere di Ponticelli, per le sue caratteristiche è certamente rappresentativo della complessità dei problemi e dello stato di degrado della zona. Già sede degli impianti petrolchimici di raffinazione della Q8 è oggi abbandonato, ha una superficie di 44 ettari e raggruppa circa 150.000 metri cubi di costruzioni, in prevalenza depositi di carburante ed impianti di raffinazione in condizioni di faticenza fisica e, per le specifiche tipologie, di non facile recupero ad altri usi. La qualità dell'ambiente naturale è notevolmente deteriorata. In particolare sono deteriorati il suolo e la falda acquifera (che si trova a soli 3 metri di profondità) a causa dell'inquinamento da sostanze tossiche legate al ciclo di lavorazione del petrolio.

Requisiti che conferiscono al comparto ex Q8 un ruolo di trascinarsi dell'opera riqualificativa nell'Area orientale, sono la sua immediata trasformabilità in quanto abbandonato, la sua notevole dimensione e la centralità funzionale che gli è attribuita dalle linee di intervento della Pubblica Amministrazione.

6.2. Linee di azione strategica ed obiettivi dell'intervento

Il recupero della qualità dell'ambiente naturale e costruito dell'Area orientale - e quindi del comparto ex Q8 che ne è parte - è concepito, nel quadro programmatico del Comune, attraverso l'attuazione di un sistema produttivo integrato con forti connotati urbani e mediante un modello di industria pulita per la produzione di beni e servizi ad elevato livello di compatibilità con l'ambiente⁸.

Specificamente, nello *Schema delle procedure istruttorie relative ai progetti* (Comune di Napoli, 20/1/1997), l'iter urbanistico per la realizzazione degli interventi contempla due fasi. La prima prevede: a) la definizione di una proposta schematica dell'intervento che si intende realizzare, corredata della relativa documentazione; b) l'analisi del progetto da parte degli uffici tecnico ed urbanistico (parere preliminare di fattibilità entro 30 gg. dalla presentazione); c) la predisposizione -ove la proposta sia accolta- di un progetto definitivo di Piano di recupero (ex artt. 27 e segg. della L.457/78) con notevole accelerazione dei tempi; d) la convocazione di una Conferenza di Servizi per l'esame del progetto con la partecipazione dell'Ufficio Urbanistica, del Servizio di Edilizia Privata, Fognature, Circoscrizione, etc. Questa fase avrà una durata presumibile di 120 gg. La seconda fase è destinata alla approvazione del Piano di recupero da parte del Consiglio Comunale e all'avvio della procedura accelerata di rilascio della concessione edilizia.

8) Comune di Napoli, Dipartimento assetto del territorio, Servizio di pianificazione urbanistica: *Napoli: dal centro ad oriente - Proposta di modifica al PRG: centro storico e zona orientale*. Edizioni Graffiti, Collana Materiali INU Campania, n.1, Napoli 1996.

Il potenziamento della capacità dell'area di attrarre investitori italiani e stranieri, è collegato alla creazione, nel medio e lungo termine, di adeguate condizioni di vivibilità urbanistica ed ambientale e di un paesaggio urbano di qualità, indispensabile ormai anche per le zone a destinazione produttiva.

In rapporto a tali presupposti, le linee di azione definite dalla Pubblica Amministrazione sono riconducibili a macro-finalità economiche, ambientali e sociali così schematizzabili:

- rilancio economico-produttivo ed occupazionale;
- recupero e tutela della qualità dell'ambiente naturale e costruito;
- miglioramento della qualità della vita.

Trattasi, com'è evidente, di finalità tra loro integrate, dal momento che il recupero della qualità dell'ambiente è fattore essenziale per lo sviluppo economico e, d'altra parte, ambiente e sviluppo sono componenti che insieme contribuiscono al miglioramento delle condizioni sociali.

L'attuazione di dette finalità passa per una serie di obiettivi individuati dalla Pubblica Amministrazione, che sono:

di ordine economico

- miglioramento dell'accessibilità dell'area e razionalizzazione del sistema infrastrutturale stradale, ferroviario e dei collegamenti interni,
- realizzazione di attrezzature e servizi (tecnici, commerciali, finanziari) di supporto alle attività presenti e da insediare,
- localizzazione di attività produttive a basso impatto ambientale, ad alto contenuto tecnologico e ad elevata capacità occupazionale,
- diversificazione delle funzioni d'ambito,
- contenimento dei costi pubblici di intervento;

di ordine ambientale

- allontanamento delle attività produttive giudicate incompatibili per potenzialità di rischio con l'ambiente urbano ed eliminazione delle principali fonti di inquinamento,
- recupero dell'integrità fisica del territorio mediante bonifica dei suoli, controllo del dissesto idrogeologico, disinquinamento delle falde acquifere, regimentazione delle acque superficiali con canalizzazione ed opere di drenaggio,

- recupero della qualità dell'ambiente naturale e costruito;

di ordine sociale

- realizzazione di attrezzature pubbliche, standard urbanistici in particolare verde, servizi di quartiere, servizi per il tempo libero,

- riconnessione della periferia con il centro cittadino,
- eliminazione del degrado sociale e della disoccupazione.

6.3. Le soluzioni progettuali

Per il comparto ex Q8, le tipologie di intervento e le soluzioni di progetto sono di seguito presentate. Le tipologie sono state definite a livello qualitativo, così come è possibile nella fase preliminare della pianificazione urbanistica. Le soluzioni di progetto sono state definite in coerenza con le linee di azione che la Pubblica Amministrazione ha stabilito nella Proposta di variante al vigente PRG e tengono anche conto:

- degli indirizzi concordati dal Comune con i rappresentanti delle varie associazioni di categoria (Unione industriali, Camera di Commercio, etc.);
- delle esigenze manifestate ai tecnici dello "Sportello" dagli imprenditori interessati all'insediamento di attività nel comparto;
- delle istanze espresse dai rappresentanti delle Circoscrizioni locali.

La soluzione A è quella elaborata per la riqualificazione del comparto ex Q8 nella Proposta di variante al PRG e può essere assunta come l'ipotesi di massimo sviluppo ambientale.

Suo elemento dominante è il recupero della qualità naturalistico-ambientale del sito mediante la bonifica del suolo e del sottosuolo. Elemento caratterizzante è la realizzazione di un grande parco naturale, che abbia effetto qualificante per l'intera Area orientale.

Il parco sarà attraversato da un corso d'acqua di particolare valenza simbolica. Evocherà, cioè, il mitico fiume Sebeto, esistito nella zona e da tempo scomparso. La sua realizzazione è aggregata al più vasto intervento di riassetto idrogeologico ed ambientale dell'area, alla regimentazione delle acque superficiali ed al convogliamento verso il mare delle acque bianche trattate nel nuovo impianto di depurazione di Napoli est.

Sul margine inferiore del parco è prevista la costruzione di un asse viario di collegamento Ponticelli-Piazza Garibaldi, connesso con un sistema di percorsi pedonali e di mezzi di trasporto pubblico, che consentirà il rapido congiungimento della periferia con il centro della città. La riqualificazione della rete viaria migliorerà l'accessibilità all'area, garantendo la fruizione del parco a scala provinciale e regionale.

Il costo della soluzione A è interamente a carico dell'operatore pubblico.

La *soluzione B* costituisce l'ipotesi di massimo sviluppo economico. Prevede la demolizione delle volumetrie esistenti e la bonifica dei suoli, la totale ristrutturazione urbanistica del comparto ex Q8. Il comparto è destinato a polo urbano integrato, da attuare con attività produttive compatibili con l'ambiente, insediamenti residenziali di buon livello, aree verdi ed attrezzature di quartiere, servizi tecnici e commerciali, servizi finanziari, di formazione e di informazione, attualmente carenti nell'Area orientale. E' garantita la copertura degli standard urbanistici generati dal nuovo insediamento e la diversificazione massima delle funzioni ospitate, al fine di evitare la monofunzionalità dell'ambito.

Lungo il confine meridionale del comparto, anche questa soluzione contempla la costruzione di un asse stradale di attraversamento dell'Area orientale, da est ad ovest, per ridurre i tempi di percorrenza tra Ponticelli ed il centro cittadino. E' pure prevista la riqualificazione della viabilità ed il miglioramento dell'accessibilità.

Il costo della soluzione B è a carico degli operatori privati, con un contributo pubblico del 60% sull'importo di spesa per la bonifica dei suoli.

La *soluzione C* ha come elemento centrale la realizzazione, nel comparto, di una area per la ricerca tecnologica, che ospiti altresì funzioni produttive ed urbane. Nel contesto sono previste attività di ricerca per lo studio di tecnologie innovative a servizio delle aziende insediate nell'intera Area orientale; imprese per la produzione di energia alternativa (eolica, solare, etc.) e per il riciclaggio dei rifiuti; altre attività produttive a basso impatto ambientale; insediamenti residenziali di buon livello; percorsi cultural-educazionali per illustrare le potenzialità delle nuove tecnologie di salvaguardia e disinquinamento dell'ambiente.

La soluzione C è organizzata per il massimo spazio a verde, fino a coprire almeno la metà della superficie del comparto, e per lo sviluppo delle attrezzature pubbliche e degli spazi per l'incontro. Pure in questa Soluzione è prevista la realizzazione, sul margine meridionale del comparto ex Q8, di un asse di collegamento Ponticelli-Piazza Garibaldi, integrato con un sistema di parcheggi, di percorsi pedonali e mezzi di trasporto pubblico e privato. Lo sviluppo dei percorsi pedonali e delle strade di servizio è concepito anche per favorire il miglioramento dell'accessibilità del comparto.

Il costo della soluzione C, come quello della soluzione B, è a carico degli operatori privati, con un contributo pubblico del 60% sulla spesa di bonifica dei suoli.

Le tipologie di intervento delle soluzioni di progetto sono sintetizzate nella tab.1.

6.4. *Gli attori sociali della riqualificazione*

Gli interessi, spesso conflittuali, che si accompagnano ad un intervento di riqualificazione urbana, rendono indispensabile -ai fini delle valutazioni- la individuazione delle categorie di soggetti coinvolti e la indicazione degli obiettivi a ciascuno relativi.

Nella riqualificazione del comparto ex Q8, i principali attori e i corrispondenti obiettivi prioritari sono:

- la Pubblica Amministrazione, con l'obiettivo del contenimento dei costi pubblici dell'intervento;
- i proprietari dei suoli della trasformazione, con l'obiettivo di conseguire incrementi di valore dei suoli stessi mediante il miglioramento dell'accessibilità, la eliminazione del degrado e dell'inquinamento, il miglioramento della qualità urbana ed ambientale del sito;
- i proprietari degli immobili e delle attività ricadenti nelle aree contigue, con l'obiettivo dell'incremento di valore degli immobili e delle attività anche attraverso l'allontanamento di impianti produttivi incompatibili;
- i fruitori dei servizi ricreativi e per il tempo libero, con l'obiettivo dell'aumento della disponibilità delle attrezzature ricreative e del miglioramento dell'accesso ad esse;
- i soggetti che transitano per l'area, con l'obiettivo del miglioramento delle reti di attraversamento e di collegamento rapido con il centro cittadino;
- gli utenti di servizi specializzati, con l'obiettivo di accrescere la disponibilità e l'efficienza dei mezzi di comunicazione interna;
- i potenziali abitanti, residenti ed addetti alle attività di produzione e di servizio, con l'obiettivo del miglioramento della qualità urbana ed ambientale dell'area, dell'aumento della disponibilità di servizi e di standard urbanistici;
- le imprese pubbliche e private del settore produttivo, con l'obiettivo del miglioramento sia dei servizi che interessano il settore, sia dell'accessibilità e della qualità urbana ed ambientale dell'area;
- le imprese pubbliche e private del settore dei servizi, con l'obiettivo della eliminazione delle attività inquinanti e del miglioramento dell'accessibilità e della qualità urbana ed ambientale.

Le categorie dei soggetti coinvolti nel processo valutativo sono differenziate dalla Pubblica Amministrazione con l'assegnazione di un peso rapportato all'importanza che, nell'ambito del proprio quadro politico programmatico, la Pubblica Amministrazione ad ognuna attribuisce.

Nel presente lavoro, in ragione della fase ancora preliminare della pianificazione e della mancanza quindi dei dati specifici di riferimento, viene assunto che tutti gli attori sociali abbiano, per la Pubblica Amministrazione, la stessa importanza.

6.5. Prima variabile input: le preferenze degli obiettivi

Ai fini della valutazione vanno esplicitate le preferenze che gli attori sociali attribuiscono agli obiettivi dell'intervento. Allo scopo, è formato un campione rappresentativo di ciascuna categoria e ad ogni soggetto del campione è chiesto di indicare l'importanza che assegna ai singoli obiettivi dell'intervento, mediante un punteggio compreso tra 1 (importanza minima) e 7 (importanza massima). L'impiego di una tale scala di valori permette di esprimere con approssimazione sufficiente la preferenza accordata all'obiettivo; allo stesso tempo, riduce l'incertezza che potrebbe derivare a soggetti non esperti dal disporre di una gamma troppo ampia di punti.

I pesi indicati dai soggetti consultati sono aggregati con media aritmetica. Per ciascun attore sociale viene così a formarsi un vettore medio e rappresentativo della struttura delle preferenze espresse dal campione.

Con la distribuzione tra gli obiettivi dell'intervento dei risultati espressi da ciascun campione si ottiene la *matrice delle priorità obiettivi/attori sociali* riportata nella tab. 2, che fornisce il giudizio di preferenza attribuito ai singoli obiettivi da ciascuna categoria dei soggetti coinvolti nell'iniziativa.

Aggregando con media aritmetica i valori che risultano dalla matrice delle priorità per ciascun obiettivo, si ottiene il *vettore delle preferenze degli obiettivi*, riportato in tab. 3. La generica componente del vettore individua, in modo sintetico, il grado di preferenza assegnato a quell'obiettivo dai soggetti interessati dall'intervento di riqualificazione.

6.6. Seconda variabile input: il perseguimento degli obiettivi

La valutazione degli effetti ottenibili dalle soluzioni di progetto, e quindi il grado di perseguimento degli obiettivi che ciascuna delle

soluzioni può raggiungere, costituisce una fase eminentemente tecnica dell'analisi multicriterio e può essere svolta con l'apporto dell'équipe di esperti (urbanisti, estimatori, sociologi, etc.) che operano a supporto dell'attività della Pubblica Amministrazione, attraverso un'analisi degli impatti delle alternative progettuali.

Pur con le approssimazioni dovute alla fase attuale della pianificazione del comparto ex Q8 (che è di livello preliminare), il giudizio sulla capacità di ciascuna soluzione di progetto di perseguire gli obiettivi dell'intervento deve tener conto (Bonifica S.p.A., 1995) della fattibilità:

- tecnica,
- finanziaria,
- amministrativa,
- igienico-sanitaria.

La valutazione del perseguimento degli obiettivi è ottenuta chiedendo a ciascuno degli esperti di assegnare, per l'aspetto che gli compete, un punteggio compreso tra i valori 0 (perseguimento nullo) e 10 (perseguimento massimo)⁹.

La *matrice del perseguimento degli obiettivi*, formata dalle valutazioni graduate derivanti dall'analisi degli impatti delle tre soluzioni considerate, è riportata nella tab. 4. Il generico elemento e_{ij} della matrice rappresenta il grado di perseguimento dell'obiettivo j -esimo (con $j = 1, \dots, 11$) mostrato dell'alternativa i -esima (con $i = 1, \dots, 3$).

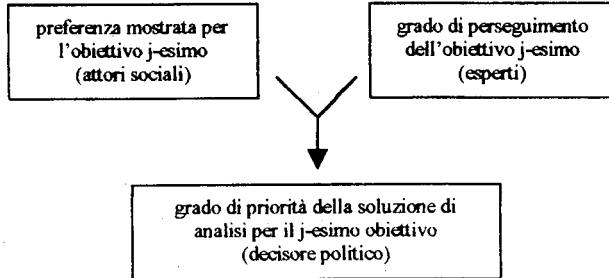
6.7. La variabile output: le priorità delle soluzioni di progetto

Sulla base delle preferenze attribuite agli obiettivi dagli attori sociali, e noti i gradi di perseguimento degli obiettivi valutati dagli esperti, il decisore esprime la priorità che va ad attribuire alle soluzioni di analisi per ciascuno degli obiettivi dell'intervento.

Nei diversi casi, il meccanismo di valutazione del decisore può presentarsi variamente articolato e la sua struttura può subire modifiche nel tempo in relazione a considerazioni personali, fattori politici, circostanze

9) Ai fini della costruzione del modello, non vi sarebbe differenza se gli effetti delle soluzioni di progetto fossero misurati con indicatori specifici dell'aspetto da valutare, piuttosto che attraverso punteggi attribuiti dagli esperti in maniera euristica. Ad esempio, per la valutazione della capacità di ciascuna soluzione di progetto di migliorare l'accessibilità dell'Area orientale, si potrebbe usare come indicatore la distanza media (o il tempo medio di percorrenza) che si rileva tra il centroide dell'area di studio ed alcune localizzazioni rilevanti, quali svincoli autostradali, stazioni ferroviarie, etc.

contingenti, specificità dell'intervento. In termini essenziali, comunque, può essere rappresentato con il seguente schema:



In pratica, con riferimento al generico obiettivo, il decisore determina -in modo sintetico- la priorità di ciascuna soluzione col ragionamento: *“se la preferenza attribuita dagli attori sociali all’obiettivo j-esimo è bassa/ media/ alta e se il grado di perseguimento dell’obiettivo j-esimo da parte della soluzione è basso/medio/alto, allora la priorità della soluzione per quell’obiettivo è bassa/ media/ alta”*.

7. Costruzione del modello: la seconda fase

In questa fase avviene la costruzione del sistema a logica fuzzy. Sono specificate le funzioni di appartenenza delle variabili linguistiche ed esplicitate le regole logico-comportamentali del decisore. E' implementato il modello.

7.1. Forma e valori delle funzioni di appartenenza

Per la costruzione del sistema a logica fuzzy sono da definire le funzioni di appartenenza delle variabili linguistiche che compaiono nel meccanismo di valutazione indicato dal decisore. Si tratta delle variabili: *“preferenza dell’obiettivo”, “perseguimento dell’obiettivo”, “priorità della soluzione progettuale rispetto all’obiettivo”*, nel seguito indicate rispettivamente coi simboli $f_{\text{preferenza}}(x)$, $f_{\text{perseguimento}}(x)$, $f_{\text{priorità}}(x)$. Per ciascuna funzione di appartenenza vanno individuati l'insieme di definizione, la forma ed il numero delle etichette ritenuto adeguato ad indicare i possibili valori delle variabili linguistiche.

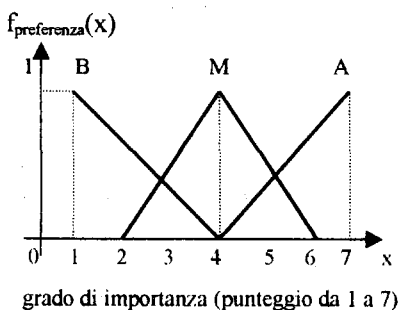
Per l'individuazione di queste componenti del sistema si assume che:
 - l'insieme di definizione coincide con la scala di punti che possono essere attribuiti a ciascuna variabile. Nel caso delle variabili input, come si è visto, le scale di punti corrispondono con l'intervallo da 1 a 7 per la preferenza degli obiettivi e con l'intervallo da 0 a 10 per il grado di perseguimento degli obiettivi. Nel caso della variabile output "priorità della soluzione progettuale", può essere ancora assunto un punteggio da 0 a 10, punteggio che per questa variabile, com'è chiaro, individua il valore di uscita, dato che il valore di ingresso è definito in termini linguistici nelle regole di produzione del modello;

- la forma delle funzioni di appartenenza è di tipo triangolare, semplice da trattare analiticamente ma in grado di offrire una buona approssimazione alla rappresentazione del fenomeno;

- le etichette sono in numero di tre (basso = B, medio = M, alto = A) per quel che riguarda gli stati delle variabili input (blocco antecedente) ed in numero di cinque (basso = B, moderatamente basso = MB, medio = M, moderatamente alto = MA, alto = A) per la variabile output, così da garantire un miglior livello di dettaglio all'espressione del giudizio del decisore.

Il tracciamento delle funzioni di appartenenza è svolto sulla base delle valutazioni del soggetto decisore.

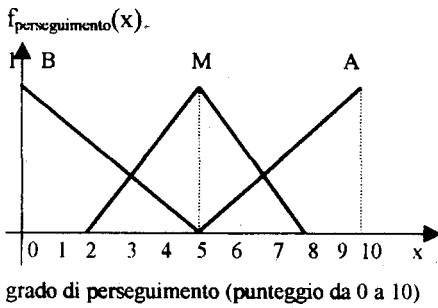
Le funzioni di appartenenza, con le relative espressioni formali, sono riportate di seguito.



$$f_{\text{basso}}(x) \begin{cases} (4-x)/(4-1) & 1 \leq x \leq 4 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$f_{\text{medio}}(x) \begin{cases} (x-2)/(4-2) & 2 \leq x \leq 4 \\ 1 & x = 4 \\ (6-x)/(6-4) & 4 \leq x \leq 6 \end{cases}$$

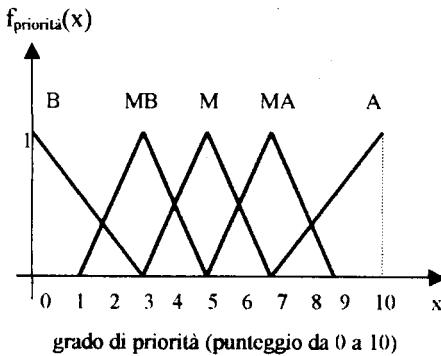
$$f_{\text{alto}}(x) \begin{cases} (x-4)/(7-4) & 4 \leq x \leq 7 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$



$$f_{\text{basso}}(x) \begin{cases} (5-x)/(5-0) & 1 \leq x \leq 5 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$f_{\text{medio}}(x) \begin{cases} (x-2)/(5-2) & 2 \leq x \leq 5 \\ 1 & x = 5 \\ (8-x)/(8-5) & 5 \leq x \leq 8 \end{cases}$$

$$f_{\text{alto}}(x) \begin{cases} (x-5)/(10-5) & 5 \leq x \leq 10 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$



$$f_{\text{basso}}(x) \begin{cases} (3-x)/(3-0) & 0 \leq x \leq 3 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$f_{\text{mod basso}}(x) \begin{cases} (x-1)/(3-1) & 1 \leq x \leq 3 \\ 1 & x = 3 \\ (5-x)/(5-3) & 3 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

$$f_{\text{medio}}(x) \begin{cases} (x-3)/(5-3) & 3 \leq x \leq 5 \\ 1 & x = 5 \\ (7-x)/(7-5) & 5 \leq x \leq 7 \end{cases}$$

$$f_{\text{mod alto}}(x) \begin{cases} (x-5)/(7-5) & 5 \leq x \leq 7 \\ 1 & x = 7 \\ (9-x)/(9-7) & 7 \leq x \leq 9 \end{cases}$$

$$f_{\text{alto}}(x) \begin{cases} (x-7)/(10-7) & 7 \leq x \leq 10 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

7.2. Esplicitazione del processo decisionale e codifica delle regole di produzione

E' chiesto al decisore di descrivere in modo chiaro, attraverso espressioni del linguaggio naturale, le regole logico-comportamentali che intende seguire per valutare la priorità da attribuire a ciascuna alternativa progettuale per l'obiettivo di analisi.

Le possibili configurazioni delle regole logiche sono innumerevoli, variando esse coi criteri di valutazione assunti dalla persona che esprime il giudizio. Per il carattere di ricerca metodologica del presente lavoro, può essere ipotizzato che il decisore espliciti le seguenti semplici regole di produzione, le quali sintetizzano il comportamento che egli metterebbe in atto in corrispondenza delle possibili combinazioni dei valori che le variabili input del sistema possono assumere¹⁰:

R₁: se la preferenza per l'obiettivo è *bassa* ed il grado di perseguimento è *basso*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *bassa*;

R₂: se la preferenza per l'obiettivo è *bassa* ed il grado di perseguimento è *medio*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *moderatamente bassa*;

R₃: se la preferenza per l'obiettivo è *bassa* ed il grado di perseguimento è *alto*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *media*;

R₄: se la preferenza per l'obiettivo è *media* ed il grado di perseguimento è *basso*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *moderatamente bassa*;

R₅: se la preferenza per l'obiettivo è *media* ed il grado di perseguimento è *medio*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *media*;

R₆: se la preferenza per l'obiettivo è *media* ed il grado di perseguimento è *alto*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *moderatamente alta*;

R₇: se la preferenza per l'obiettivo è *alta* ed il grado di perseguimento è *basso*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *media*;

10) Il numero (n) delle regole di produzione, attraverso cui possono essere individuate tutte le combinazioni delle etichette, è funzione del numero (s) dei possibili stati del sistema e del numero (i) delle variabili input del modello, e può essere determinato con la relazione:

$$n = s^i.$$

Nel caso in esame, gli stati (s) del sistema corrispondono al numero delle etichette delle variabili input, che sono tre (basso, medio, alto). Le variabili input (i) del modello sono invece in numero di due. Ne deriva che il numero massimo delle regole di produzione è:

$$n = 3^2 = 9.$$

R_8 : se la preferenza per l'obiettivo è *alta* ed il grado di perseguimento è *medio*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *moderatamente alta*;

R_9 : se la preferenza per l'obiettivo è *alta* ed il grado di perseguimento è *alto*, allora la priorità della soluzione per quell'obiettivo è *alta*.

Tenendo presente che per le "etichette" delle funzioni di appartenenza sono stati adottati i codici:

B = basso,
MB = moderatamente basso,
M = medio,
MA = moderatamente alto,
A = alto,

consegue che le regole precedenti possono essere così codificate:

$R : B, B \rightarrow B$
 $R^1 : B, M \rightarrow MB$
 $R^2 : B, A \rightarrow M$
 $R^3 : M, B \rightarrow MB$
 $R^4 : M, M \rightarrow M$
 $R^5 : M, A \rightarrow MA$
 $R^6 : A, B \rightarrow M$
 $R^7 : A, M \rightarrow MA$
 $R^8 : A, A \rightarrow A$
₉

In questa forma, la parte a sinistra della freccia individua il blocco antecedente della regola; la parte a destra il blocco conseguente.

7.3. Fuzzificazione

L'impiego in un sistema a logica fuzzy delle informazioni e dei dati raccolti per il processo decisionale, comporta la loro conversione in valori sfocati. La fuzzificazione avviene attraverso le funzioni di appartenenza delle variabili input del modello.

Nella fuzzificazione, a ciascun valore crisp della variabile input corrispondono, in genere, più funzioni di appartenenza visto che queste ultime risultano sovrapposte. Ne segue che per ciascun valore input i gradi di appartenenza "attivati" possono essere più d'uno. Nel caso di studio, la sovrapposizione avviene al più tra due funzioni di appartenen-

za e dunque possono essere "attivati" al massimo due gradi di appartenenza per ogni valore in ingresso. I risultati della fuzzificazione dei valori delle variabili input sono riportati nelle tabelle 5 e 6.

Tab. 5 - Fuzzificazione dei punteggi della variabile "preferenza dell'obiettivo"

preferenza punteggio	B	M	A
1	1	0	0
2	0,7	0	0
3	0,3	0,5	0
4	0	1	0
5	0	0,5	0,3
6	0	0	0,7
7	0	0	1

Tab.6 – Fuzzificazione dei punteggi della variabile "perseguimento dell'obiettivo"

perseguim. punteggio	B	M	A
0	1	0	0
1	0,8	0	0
2	0,6	0	0
3	0,4	0,3	0
4	0,2	0,7	0
5	0	1	0
6	0	0,7	0,2
7	0	0,3	0,4
8	0	0	0,6
9	0	0	0,8
10	0	0	1

7.4. Inferenza e composizione

Il ragionamento "approssimato" del decisore, codificato nelle regole di produzione viene implementato nella fase di inferenza. Con l'inferenza, ad ogni coppia di valori sfocati ottenuti con la fuzzificazione sono associati i corrispondenti valori della variabile output. L'associazione avviene secondo i meccanismi logici e comportamentali sintetizzati nelle regole "attivate" dalla coppia di valori input.

Ad esempio, si supponga di voler determinare con il modello la priorità da attribuire alla soluzione di progetto A per l'aspetto "miglioramento dell'accessibilità dell'Area orientale". La priorità -secondo le indicazioni fornite dal decisore- è definita tenendo conto

- sia della preferenza mostrata dagli attori sociali nei confronti di questo obiettivo, riportata nel vettore delle preferenze degli obiettivi di tab. 3,

- sia della capacità -valutata dagli esperti- che la soluzione mostra di perseguire l'obiettivo medesimo, riportata nella matrice del perseguimento degli obiettivi di tab. 4.

I valori di ingresso delle due variabili input sono, rispettivamente, 6 e 3.

La fuzzificazione del punteggio 6 del grado di preferenza, attiva (si veda la tab. 5) l'insieme sfocato corrispondente all'etichetta "alto", con grado di appartenenza 0,7. La fuzzificazione del punteggio 3 del grado di perseguimento, attiva contemporaneamente (si veda la tab. 6) gli insiemi sfocati corrispondenti all'etichetta "basso", con grado di appartenenza 0,4, ed all'etichetta "medio", con grado di attivazione 0,3. Si ha così che le regole linguistiche chiamate a funzionare -quelle il cui blocco antecedente contiene le possibili combinazioni delle etichette relative agli insiemi sfocati attivati con la fuzzificazione- sono:

$$\begin{aligned} R: A, B &\rightarrow M \\ R_7^7: A, M &\rightarrow MA. \\ R_8^8 \end{aligned}$$

Individuate le regole attive, va scelto l'operatore logico da applicare per ottenere il grado di appartenenza dell'insieme sfocato output a partire dai gradi di appartenenza degli insiemi input. L'operatore logico in tutti i casi deve riprodurre i criteri di valutazione esplicitati dal decisore.

In questo lavoro è utilizzato l'operatore logico MIN che indica, quale grado di appartenenza dell'insieme output, il più piccolo dei gradi

di appartenenza degli insiemi sfocati input. Nella teoria degli insiemi sfocati, l'uso dell'operatore MIN comporta l'intersezione degli insiemi cui è applicato. Nei sistemi a logica fuzzy, visto che ogni insieme sfocato corrisponde all'etichetta di una variabile linguistica, l'intersezione si traduce nell'impiego della congiunzione "e" tra le variabili linguistiche. In termini logici ciò significa che, per essere "vera" la variabile linguistica del blocco conseguente della regola, devono essere verificate entrambe le condizioni delle variabili linguistiche dell'antecedente. Si garantisce, in tal modo, che nella determinazione del grado di attivazione dell'insieme output, agiscano contemporaneamente le variabili presenti nel blocco antecedente della regola che si sta implementando, senza trascurare la variabile cui compete il valore più piccolo del grado di appartenenza.

Nell'esempio considerato, il grado di priorità della soluzione di analisi per l'obiettivo "miglioramento dell'accessibilità dell'Area orientale", con l'operatore MIN viene determinato svolgendo la valutazione congiunta dell'importanza attribuita all'obiettivo dagli attori sociali e del grado di perseguimento dell'obiettivo valutato dagli esperti. Da ciò:

$$R : A(0,7), B(0,4) \rightarrow M(0,4)$$

$$R_8^7 : A(0,7), M(0,3) \rightarrow MA(0,3).$$

Con l'inferenza, per ogni coppia di valori input possono essere ottenuti differenti insiemi sfocati output, ciascuno col proprio grado di attivazione. La composizione assolve allora al compito di combinare gli insiemi fuzzy che risultano in un unico insieme sfocato. Con questa operazione si stabilisce quale delle regole implementate nell'inferenza determinerà -nei diversi casi- il risultato finale.

Tornando all'esempio, si tratta di combinare gli insiemi sfocati relativi all'etichetta M = medio e all'etichetta MA = moderatamente alto. Più precisamente, sono da comporre gli insiemi sfocati M e MA "decapitati" della parte della funzione di appartenenza al di sopra del grado di attivazione definito con l'inferenza.

Nel modello che si propone, la composizione è condotta con l'operatore logico MAX. L'insieme che ne deriva è quello che, ad ogni punto dell'insieme di definizione della variabile output, associa il massimo dei valori degli insiemi sfocati ottenuti con l'inferenza. Nella teoria degli insiemi sfocati, l'uso dell'operatore MAX comporta l'unione degli insiemi a cui è applicato. In termini logici, l'unione corrisponde all'utilizzo del connettivo logico "o" tra le regole implementate nella fase di inferenza di

modo che, anche nel caso in cui una regola abbia influenza marginale sull'azione da compiere, essa possa ugualmente esplicitare il suo effetto.

7.5. Defuzzificazione

La defuzzificazione –com'è noto- ha il compito di individuare il valore più rappresentativo dell'insieme ottenuto con la composizione.

L'operatore scelto per la defuzzificazione è il COG (center of gravity), che individua come output l'ascissa del baricentro dell'insieme composto. L'uso del COG garantisce, rispetto ad altri operatori, una maggiore "sensibilità" del modello¹¹.

L'applicazione reiterata del sistema a logica fuzzy per tutti gli obiettivi dell'intervento porta alla *matrice delle priorità delle soluzioni progettuali* di tab. 7.

7.6. Scelta della miglior soluzione

Dalla lettura della matrice delle priorità delle soluzioni progettuali (tab.7), appare che nessuna soluzione mostra una dominanza "netta" sulle altre: nessuna, cioè, risulta contemporaneamente al primo posto per la priorità di tutte componenti.

Invero, la scelta della soluzione da realizzare non è operazione di facile compimento in un contesto nel quale ci sono soluzioni la cui priorità risulta elevata per alcuni aspetti ed è invece di importanza secondaria per altri. In tali situazioni, la soluzione da scegliere diventa, logicamente, quella che consente il *miglior compromesso* tra le priorità di tutte le componenti oggetto di valutazione¹².

11) Infatti il COG produce il risultato a partire dall'intera area dell'insieme composto. Ciò rispetto al MAX o al MOM (media of maximum, il quale fornisce come output defuzzificato -qualora vi sia più di un massimo- la media aritmetica delle ascisse dei massimi), i quali che lavorano invece tenendo conto solo di uno o più punti dell'insieme ottenuto con la composizione. Il COG, pertanto, consente di valutare in maniera più esatta il valore finale, calcolando il contributo -pur marginale- di ciascuna regola sul risultato.

12) La *soluzione di compromesso* coincide, in sostanza, con il punto di equilibrio tra gli obiettivi dell'intervento. E' chiaro che nel tendere a questo risultato, il grado di perseguimento di alcuni obiettivi non potrà essere migliorato senza che si determini un peggioramento del livello di soddisfacimento degli altri obiettivi. La scelta della soluzione di miglior compromesso rappresenta una delle questioni cruciali dell'analisi multicriteri. Al riguardo, Seo F. e Sakawa M. nella prefazione al testo: *Multiple criteria decision analysis in regional planning - Concepts, methods and application*. D. Reidel publishing company, 1996, osservano: "In genere, il decisore non riesce a trovare la soluzione ottima tra le alternative di progetto appartenenti al dominio delle soluzioni

Nel presente lavoro, la scelta della soluzione di compromesso è eseguita¹³ tramite un ordinamento delle alternative di progetto attuato con l'impiego di una relazione sfocata d'ordine (Lettieri A. e Liguori F., 1983).

Operando in tal senso, se A è un insieme ordinario e finito di alternative progettuali tra le quali si vuole effettuare una scelta, si dice che P è una relazione sfocata d'ordine (o di preferenza) allorché la sua funzione di appartenenza $f_a(a_i, a_j)$ indica la preferenza che si dà ad a_i rispetto ad a_j . L'alternativa a_i è preferibile ad a_j nel caso in cui risulta¹⁴ $f_a(a_i, a_j) > 5$. Condizione di indifferenza si ha invece quando l'esito è $f_a(a_i, a_j) = 5$.

Un'alternativa a_0 si dice poi *dominante* nella relazione di preferenza se e solo se:

$$f_a(a_0, a_i) > 5 \quad \text{con } a_0 \neq a_i \quad \forall a_i \in A.$$

Per applicare la relazione sfocata d'ordine all'insieme delle soluzioni, si può partire dalla matrice delle priorità delle soluzioni progettuali, i cui elementi –come si è detto– indicano la priorità attribuita dal decisore a ciascun obiettivo della soluzione di analisi. La relazione sfocata d'ordine P può essere costruita in due fasi:

a) tenendo presente che ciascuna riga corrisponde ad una soluzione progettuale, si sommano gli elementi di ogni riga della matrice sfocata delle priorità delle soluzioni ottenendo in tal modo un indice sintetico s_i della bontà della soluzione. In simboli:

$$s_i = \sum_{j=1}^9 a_{ij}$$

ammissibili. Difatti, è proprio l'individuazione della soluzione migliore come soluzione di compromesso il problema principale di un processo decisionale multicriteriale. In altri termini, il nodo centrale di tali procedimenti è *come* prendere la decisione, piuttosto che *quale* decisione vada presa, aspetto, quest'ultimo, che è invece l'obiettivo primo della programmazione matematica".

13) La soluzione migliore può essere ottenuta utilizzando ancora un sistema a logica fuzzy. In tal caso, le variabili input sarebbero le priorità attribuite a ciascuna alternativa rispetto agli obiettivi dell'intervento; la variabile output sarebbe il grado di dominanza accordato dal decisore alle alternative in modo sintetico.

14) Nella teoria degli insiemi sfocati, è indifferente esprimere l'appartenenza graduata di un elemento ad un insieme nei termini di valori dell'intervallo $[0, 1]$ piuttosto che dell'intervallo $[0, 10]$.

I risultati della somma nel caso di studio sono:

alternativa	s_i
A	59
B	65
C	68

b) attraverso un confronto a coppie svolto tra le alternative di progetto sulla base degli indici s_i , si calcola la matrice quadrata $A \times A$ riportata nella tab. 8 come *matrice sfocata di dominanza*. Il generico elemento a_{ij} della matrice di dominanza, ottenuto con la relazione $a_{ij} = f_a(a_i, a_j) = s_j / (s_i + s_j)$, individua la dominanza della soluzione a_i rispetto alla a_j , valutata attraverso la ponderazione dei corrispondenti indici di bontà.

Ovviamente è $a_{ij} = 1 - a_{ji} \forall i \neq j$. E' invece $a_{ii} = 0,5 \forall i = j$. Condizione, quest'ultima, che esprime l'indifferenza di ciascuna soluzione rispetto a se stessa.

Tabella 8 – Matrice sfocata di dominanza

	A	B	C
A	0,500	0,476	0,465
B	0,524	0,500	0,489
C	0,535	0,511	0,500

Sui valori di preferenza espressi dalla relazione d'ordine viene quindi calcolato -per ciascuna alternativa- il grado di dominanza (Orlowski S.D. e Kacprzyk J., 1987), definito come:

$$m(a_0) = \inf_a f_a(a_0, a_i); \quad a_0 \neq a_i \quad \forall a_i \in A.$$

Se $m(a_0) = 1$, la soluzione a_0 risulta dominante ed il giudizio di dominanza è certo; se $0,5 < m(a_0) < 1$, a_0 è ancora dominante, ma il giudizio è fuzzy; se infine $m(a_0) < 0,5$ allora a_0 non è certamente dominante.

Il grado di dominanza, secondo la definizione di Orłowski, può essere determinato, per ciascuna alternativa progettuale, scegliendo per ogni riga della matrice di dominanza il più piccolo valore della funzione di appartenenza. Dalla scelta vanno esclusi i valori $f_a(a_i, a_j)$ con $i = j$, che forniscono com'è ovvio una condizione di indifferenza, esprimendo essi il grado di dominanza tra una soluzione e se stessa. La soluzione

progettuale migliore sarà quella che presenta il maggiore dei gradi di dominanza.

La determinazione, in pratica, consiste nell'applicare alla matrice di dominanza l'operatore logico MAX-MIN e nello scegliere la soluzione alla quale corrisponde il massimo valore del grado di dominanza. Precisamente, nel calcolo del grado di dominanza è utilizzata l'operazione di intersezione (MIN) tra insiemi sfocati, la quale permette di valutare contemporaneamente -per ciascuna soluzione progettuale- tutti i valori di dominanza. Nella successiva scelta del maggiore dei gradi di dominanza viene poi impiegata l'operazione di unione (MAX) tra insiemi sfocati, la quale porta a scegliere -tra le diverse soluzioni- quella in cui il progetto ottiene il punteggio massimo (Smith P.N., 1994; Zanolì R., 1996).

Per ciascuna soluzione, il grado di dominanza fornisce un indice complessivo della "bontà" della soluzione stessa. Questo indice consente di ordinare le soluzioni e di individuare quella in grado di perseguire al massimo livello gli obiettivi dell'intervento "ponderati" con le preferenze espresse dagli attori sociali.

Nel caso di studio, il grado di dominanza di maggior valore è risultato 0,511 ossia quello della soluzione progettuale C, che è perciò la soluzione dominante. La misura di tale indice -di poco superiore a 0,5- ed il valore abbastanza vicino del grado di dominanza delle altre due soluzioni progettuali - $m(A) = 0,465$ ed $m(B) = 0,489$ - sono indicativi di una dominanza della soluzione C di tipo fuzzy. E' comunque C la soluzione di miglior compromesso.

Non v'è dubbio che il livello di certezza della classificazione delle alternative progettuali considerate possa essere migliorato con l'aggiunta di ulteriori informazioni a quelle di cui si è potuto disporre per l'analisi.

8. Conclusioni

Un modello multicriterio-fuzzy è stato dunque sviluppato nel presente lavoro, destinato a migliorare la trasparenza e la chiarezza del processo decisionale nella fase del confronto dei risultati delle analisi e della scelta -da parte del decisore- della soluzione da realizzare. Un modello da applicare alla valutazione di interventi di riqualificazione urbana ed ambientale, di per sé complessi e caratterizzati dalla partecipazione di pluralità di attori.

Le conclusioni che si traggono dal lavoro sono di segno positivo. La razionalizzazione dell'analisi multicriterio con elementi della logica fuzzy mostra non pochi punti di forza, che derivano dalle proprietà e dalla struttura dei sistemi a logica fuzzy, oltre che dai vantaggi pratici che la sperimentazione del modello ha rivelato.

La trasparenza del processo decisionale infatti è assicurata da diversi caratteri del modello. La scomposizione del problema in componenti elementari, ancorché necessaria per la costruzione formale del sistema a logica fuzzy, favorisce l'analisi dettagliata del caso di studio. La rappresentazione grafica delle funzioni di appartenenza riduce l'indeterminatezza e le ambiguità legate all'espressione dei giudizi qualitativi ed offre una base di riferimento nelle fasi in cui avviene il confronto tra i tecnici -esperti di differenti discipline- che operano a supporto dell'attività della Pubblica Amministrazione. L'esplicitazione dei criteri di valutazione del soggetto pubblico mediante regole logiche -le quali costituiscono veri e propri codici di comportamento espressi nei termini del linguaggio naturale- consente l'immediata comprensione dei criteri stessi da parte di tutti i soggetti che partecipano al processo decisionale. L'iter ripercorribile del modello legittima, a sua volta, le decisioni del soggetto pubblico e funziona da meccanismo di verifica della coerenza dei risultati rispetto agli obiettivi dell'azione di intervento.

La struttura del modello si presenta flessibile, in grado cioè di adeguarsi alle specificità del caso di studio ed ai cambiamenti che -nel tempo- si potrebbero manifestare nel meccanismo di valutazione del decisore. Alle mutate condizioni, il modello può essere adattato attraverso la modifica delle regole logiche da operare: con l'aggiunta o l'eliminazione delle variabili linguistiche, con l'aggiornamento della forma e dei valori delle funzioni di appartenenza, mediante l'aumento o la diminuzione del numero delle "etichette" degli stati del sistema, e ciò anche in relazione al grado di approssimazione richiesto dalle fasi della pianificazione. L'inserimento di nuove regole logiche consente inoltre di tener conto dei vincoli che di volta in volta possono sorgere.

Anche dal punto di vista operativo l'uso del modello denota aspetti positivi di non poco rilievo. A dispetto della complessità dei nomi delle fasi (fuzzificazione, inferenza, composizione, defuzzificazione), le operazioni di implementazione del modello sono in realtà semplici e richiedono la sola determinazione di massimi e minimi di un insieme numerico. Nell'inferenza, ogni regola logica è elaborata indipendentemente dalle altre, con la conseguenza che le regole non si influenzano l'un l'altra

fino al momento in cui non si opera la composizione. Il vantaggio diventa tangibile quando si rende necessaria la modifica o l'aggiunta di regole, operazioni che possono essere svolte senza alterare la struttura del modello. L'elaborazione "in parallelo" delle regole logiche migliora – nei confronti di un modello tradizionale – l'affidabilità dei risultati, riducendo la propagazione degli errori, qualora presenti nel sistema.

BIBLIOGRAFIA

- BAGNOLI C. and SMITH H.C.: *The theory of fuzz logic and its application to real estate valuation*. In Journal of Real Estate Research, Vol.16, number 2, 1998.
- BANDEMER H. and SIEGRIED G.: *Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods: with applications*. Chichester: Wiley 1992.
- BERNETTI I.: *L'analisi multicriteriale in condizione di rischio ed incertezza*. In AESTIMUM, numero speciale, giugno-dicembre 1994.
- BONIFICA S.p.A.- Iritecna, Gruppo IRI: *Study on derelict industrial sites of the coal and steel industry*. Gangemi Editore, Roma 1995.
- CAMMARATA S.: *Sistemi a logica fuzzy*. ETAS Libri, Milano 1997.
- CHEN S. e HWUANG C.L.: *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Lecture notes in Economics and mathematical systems. Springer-Verlag, Berlin 1992.
- Commission of the European Communities (CEC): *Green Paper on the Urban Environment*. Luxembourg 1990.
- Comune di Napoli, Dipartimento assetto del territorio, Servizio di pianificazione urbanistica: *Napoli: dal centro ad oriente - Proposta di modifica al PRG: centro storico e zona orientale*. Edizioni Graffiti - Collana Materiali INU Campania, n.1, Napoli 1996.
- DONNARUMMA A.: *Appunti del corso di fondamenti e metodi di progettazione*. Relazione distribuita al duplicatore, Università degli Studi di Salerno, Facoltà di Ingegneria, 1997.
- DUBOIS D. and PRADE H.: *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic Press, New York 1980.
- FADINI A.: *Introduzione alla teoria degli insiemi sfocati*. Liguori editore, Napoli 1979.
- FUSCO GIRARD L.: *Risorse architettoniche e culturali: valutazioni e strategie di conservazione*. FrancoAngeli editore, Milano 1987.
- HWANG C.L. and Yoon K.: *Multi attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag, Berlin 1981.
- KAUFMANN A.: *Theory of fuzzy subsect*. Vol. I. Academic Press, New York 1975.
- KOSKO B.: *Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic*. Hiperion, New York 1993.
- KOSKO B.: *Il fuzzy-pensiero: teoria e applicazioni della logica fuzzy*. Baldini & Castoldi, Milano 1995.

- LETTIERI A. e LIGUORI F.: *Il reticolo delle classi di co-relazioni di preferenza*. In AA.VV.: *Insiemi sfocati e decisioni*. Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1983.
- MANGANELLI B.: *Un algoritmo per la riduzione dell'incertezza nella misura delle variabili qualitative*. In *Genio rurale: estimo e territorio*, n. 7-8. Edagricole, Bologna 2000.
- MARINELLI A., Casini L. e Bernetti I.: *Lo sviluppo sostenibile in condizioni di incertezza: un modello basato sulla teoria del benessere di Sen*. In *Studi di Economia e Diritto*, n. 3. Sassari 1995.
- MC NEILL e Freiberger P.: *Fuzzy logic*. Simon and Schuster, New York 1993.
- MIKA S., YOSHIHARU S., LAKHMI C.J.: *Fuzzy clustering models and applications*. Heidelberg: Physica-Verlag 1977.
- MOLLICA E.: *Principi e metodi della valutazione economica dei progetti di recupero*. Rubettino Editore, Soveria Mannelli 1995.
- MUNDA G.: *Multicriteria evaluation in a fuzzy environment*. Physica-Verlag 1997.
- NIJKAMP P., VOOGD H. e FUSCO GIRARD L.: *Conservazione e sviluppo: la valutazione nella pianificazione fisica*. FrancoAngeli Editore, Milano 1989.
- ORLOWSKI S.D. and KACPRZYK J.: *Optimization model using fuzzy sets and possibility theory*. 1987.
- REALFONZO A.: *Relazione introduttiva al Convegno del paesaggio*. Capri 1994.
- RIZZO F.: *Il valore dei valori*. FrancoAngeli editore, Milano 1990.
- RIZZO F.: *Valore e valutazioni*. FrancoAngeli editore, Milano 1999.
- ROSATO P. e FAGGIANI A.: *Un approccio multicriteriale fuzzy alla localizzazione delle infrastrutture lineari*. In *Atti del XXIX Incontro di studio Ce.S.E.T. Padova*, 1999.
- SEO F. and SAKAWA M.: *Multiple criteria decision analysis in regional planning – Concepts, methods and application*. D. Reidel publishing company, 1996.
- SMITH P.N.: *Applications of fuzzy sets in environmental evaluation of projects*. In *Journal of Environmental Management*, n. 42, 1994.
- TERANO T., ASAI K. and SUGENO M.: *Fuzzy Systems Theory and Its Applications*. Academic Press Inc., San Diego 1992.
- XING LI H. and YAN V.C.: *Fuzzy sets and fuzzy decision-making*. Boca Raton: CRC Press, copyr. 1995
- ZADEH L.A.: *Calculus of fuzzy Restriction-Fuzzy sets and their application to cognitive and decision process*. Academic Press, New York 1975.
- ZADEH L.A.: *Fuzzy logic: computing with words*. IEE Trans. On fuzzy systems, vol. 2, 4, 1996.

ZADEH L.A.: *Fuzzy sets*. In *Information and Control*, 8, 1965, pagg. 338-353.

ZADEH L.A.: *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-2, 1973.

ZADEH L.A.: *The concept of a linguistic variable and its applications*. In *Informations Sciences*, ottobre 1973.

ZANOLI R.: *L'uso della logica fuzzy nella valutazione d'impatto ambientale*. In *Genio rurale* n. 4, 1996.

ZIMMERMANN H.J.: *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*. Kluwer, Boston 1991.

APPENDICE

Rinviando alla vasta produzione scientifica (Bandemer H. e Siegfried G., 1992; Mc Neill e Freiburger P., 1993) per l'approfondimento degli aspetti specifici della logica fuzzy, nei due punti che seguono vengono riassunte le nozioni di *insieme sfocato*, *numero fuzzy* e *variabile linguistica*.

A.1. Insiemi sfocati

Dato un insieme non vuoto U ed indicato con x il suo generico elemento, si definisce insieme sfocato I di U l'insieme delle coppie $(x, f_a(x))$, dove $f_a(x)$ è una funzione detta di appartenenza definita nell'insieme U ed a valori nell'intervallo $[0, 1]$ (Fadini A., 1979). In termini formali, un insieme sfocato I può essere rappresentato con la notazione:

$$I = \{(x, f_a(x))\}, \text{ con } f_a(x) \in [0, 1].$$

A differenza di quanto accade nella logica tradizionale, in cui la validità dei principi di non contraddizione e del terzo escluso portano ad affermare che non esiste altro valore di verità oltre al vero e al falso e che, conseguentemente, un elemento può appartenere o non appartenere ad un insieme, nella logica sfocata si riconosce che non sempre è possibile esprimere un giudizio netto: un enunciato può essere vero con un certo "grado di verità", un elemento può rientrare in un insieme con un certo "grado di appartenenza".

Il grado di appartenenza è definito attraverso la funzione di appartenenza $f_a(x)$. I valori che la $f_a(x)$ assume in corrispondenza degli estremi dell'intervallo $[0, 1]$ sono indicatori, rispettivamente, della non appartenenza (0) e della completa appartenenza (1) dell'elemento x all'insieme I . I valori compresi tra 0 ed 1, viceversa, individuano la misura del grado con cui l'elemento appartiene all'insieme¹⁵.

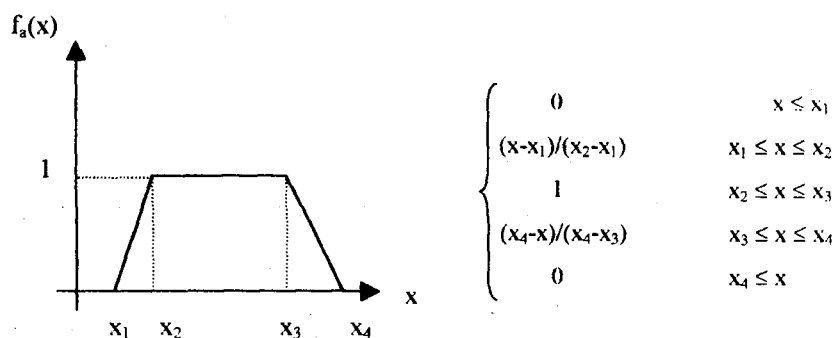
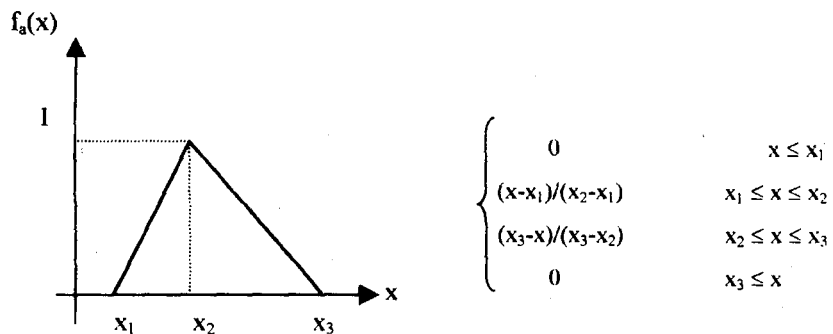
15) Al grado di appartenenza si possono dare differenti interpretazioni. Può essere considerato come grado di compatibilità di un dato elemento con gli elementi di una classe, può essere considerato come disponibilità -grado di fiducia- ad accogliere l'elemento in una classe, o come grado di preferenza mostrata nei confronti dell'elemento, o come grado di incertezza nel classificarlo. In Mika S., Yoshiharu S., Lakhmi C.J.: *Fuzzy clustering models and applications*. Heidelberg: Physica-Verlag 1977.

A.2. Numero fuzzy e variabile linguistica

In termini formali, un numero fuzzy è un insieme sfocato in cui esiste un valore x_0 tale che $f_a(x_0) = 1$, con $f_a(x)$ continua.

I numeri fuzzy possono essere caratterizzati da forme diverse della funzione di appartenenza (Cammarata S., 1997). La scelta della forma della $f_a(x)$ varia in relazione al problema da risolvere ed al livello di approssimazione richiesto dalle analisi. Forme complesse si adattano meglio al problema, ma sono anche meno semplici da utilizzare per le elaborazioni.

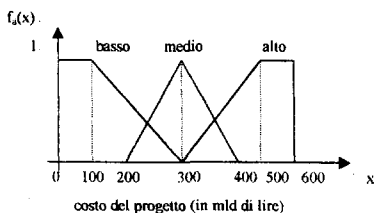
Nella pratica operativa, le forme di più frequente impiego sono la triangolare e la trapezoidale. Di seguito sono rappresentati i numeri fuzzy corrispondenti al triangolo generico ed al trapezio generico e sono riportate le espressioni algebriche delle relative funzioni di appartenenza.



Per una variabile si parla di variabile linguistica quando il valore assunto è espresso mediante una parola o una proposizione in un linguaggio naturale o artificiale, anziché con un numero (Zadeh L.A., 1973).

Se per esempio nel confronto tra progetti diversi si considera la variabile "costo" e si esprime il giudizio "il costo del progetto è alto", la valutazione dell'onerosità finanziaria dell'iniziativa non viene compiuta in termini numerici, ma attraverso un'espressione linguistica qualitativa formulata con il linguaggio naturale. L'attributo sfocato "alto" è detto "caratteristica" o "etichetta" della variabile linguistica, ed indica uno dei possibili valori che la variabile può assumere.

In termini grafico-quantitativi, i valori di una variabile linguistica possono essere descritti con un numero fuzzy. Ad esempio, il numero fuzzy della variabile "costo del progetto" è rappresentato nella figura che segue.



Come si evince dalla figura, per il soggetto che esprime il giudizio, il costo individua un parametro variabile nell'intervallo $[0, 600]$ miliardi di lire, se questo è il budget a sua disposizione. Visto questo intervallo come insieme di definizione della variabile linguistica, il costo del progetto può essere rappresentato attraverso le etichette "basso", "medio" ed "alto". Ogni etichetta individua un insieme sfocato, la cui funzione di appartenenza, rappresentata in figura, può essere indicata in termini formali:

$$f_{\text{basso}}(x) \begin{cases} 1 & x \leq 100 \\ (300-x)/(300-100) & 100 \leq x \leq 300 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$f_{\text{medio}}(x) \begin{cases} (x-200)/(300-200) & 200 \leq x \leq 300 \\ 1 & x = 300 \\ (400-x)/(400-300) & 300 \leq x \leq 500 \end{cases}$$

$$f_{\text{alto}}(x) \begin{cases} 1 & x \geq 500 \\ (x-300)/(500-300) & 300 \leq x \leq 500 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Si noti come per uno stesso progetto il costo possa essere considerato contemporaneamente basso e medio, pur se i gradi di appartenenza corrispondenti a queste valutazioni sono diversi. Ad esempio, il costo di 220 miliardi è "basso" con grado di verità 0,4 e "medio" con grado di verità 0,2. Invece, il costo di 300 miliardi risulta "medio" in modo univoco, dato che $f_{\text{medio}}(300) = 1$, mentre $f_{\text{basso}}(300) = f_{\text{alto}}(300) = 0$.

In questo modo, a partire dagli importi numerici di costo che il progetto potrebbe mostrare è possibile ottenere, attraverso la costruzione delle funzioni di appartenenza, una quantificazione del grado di ambiguità connesso agli attributi "alto", "medio", "basso" con i quali nella pratica viene espresso il giudizio sull'onerosità dell'intervento. Abitualmente, infatti, il processo che porta alla scelta della soluzione da realizzare avviene secondo regole logiche-interne al decisore o esplicitate attraverso espressioni del linguaggio naturale- del tipo: "se il progetto ha un costo basso, allora bisogna attribuirgli una elevata priorità". Ecco che l'associazione di concetti sfocati, opportunamente combinati in regole descritte attraverso il linguaggio naturale consente, a partire dalle informazioni disponibili sul fenomeno, di tradurre in modelli logico-formali l'ambiguità dei concetti, nonché di riprodurre in modo rigoroso il processo logico del decisore.

Tabella 1 - Comparto ex Q8: tipologie di intervento e soluzioni progettuali

Tipologie	Soluzioni		
	A	B	C
<i>Destinazioni d'uso alternative e congruente</i>			
Parco urbano	X		
Insezieramenti residenziali		X	X
Attività commerciali		X	
Attività produttive a basso impatto ambientale		X	X
Attività di servizio alle persone ed alle imprese		X	X
Attività di ricerca	X		X
Attività per lo svago ed il tempo libero			X
Percorsi cultural-educazionali			X
Verde pubblico attrezzato		X	X
<i>Opere di idoneizzazione, di infrastrutturazione, di arredo e riqualificazione</i>			
Bonifica dell'area e demolizione delle volumetrie preesistenti	X	X	X
Creazione di un corso d'acqua e connesse opere di sistemazione idraulica	X		
Attrezzature pubbliche, standard urbanistici, etc.	X	X	X
Asse stradale Ponticelli-P.zza Garibaldi		X	
Asse pedonale e potenziamento del sistema di trasporto pubblico	X		X
Fermata linea metropolitana e circumvesuviana		X	X
Riqualificazione della viabilità interna		X	X
Riqualificazione strade di accesso al comparto	X	X	X
<i>Costo di realizzazione</i>			
Interamente a carico del soggetto pubblico	X		
A carico del privato con contributo pubblico solo sul costo di bonifica		X	X

Tabella 2 - Matrice delle priorità degli obiettivi

	Attori sociali									
	Pubblica Amministrazione	proprietari delle aree oggetto della trasformazione	proprietari immobili ed attività delle zone limitrofe	fruitori dei servizi ricreativi	soggetti in transito attraverso l'area	utenti di servizi specializzati	residenti ed alianti dell'area	imprese pubbliche e private del settore produttivo	imprese pubbliche e private del settore dei servizi	
Obiettivi dell'intervento	5	7	2	7	6	5	7	7	7	
miglioramento dell'accessibilità dell'area										
realizzazione di attrezzature e servizi alle persone ed alle imprese	4	1	4	2	2	4	5	4	6	
localizzazione di attività produttive a basso impatto ambientale	5	2	3	2	2	2	4	2	3	
diversificazione delle funzioni insediata	5	3	3	1	1	4	5	2	2	
contenimento dei costi pubblici di intervento	7	1	1	1	1	1	1	1	1	
allontanamento delle attività incompatibili ed eliminazione delle fonti di inquinamento	5	6	7	2	2	4	7	3	2	
recupero dell'integrità fisica dell'area	3	4	3	2	2	2	5	2	3	
recupero della qualità dell'ambiente naturale e costruito	4	5	5	3	3	4	5	4	3	
realizzazione di attrezzature pubbliche, standard urbanistici, servizi di quartiere ricomposizione tra periferia e centro cittadino	4	3	5	2	2	5	6	4	4	
eliminazione del degrado sociale e della disoccupazione	4	6	5	5	7	7	6	3	5	
	5	3	4	3	2	3	7	4	4	

Tabella 3 - Vettore delle preferenze degli obiettivi

		Obiettivi dell'intervento									
		di ordine economico		di ordine ambientale		di ordine sociale					
		realizzazione di attrezzature e servizi alle persone ed alle imprese	localizzazione di attività produttive a basso impatto amb.	diversificazione delle funzioni	contenimento dei costi pubblici	allontanamento delle attività incompatibili	recupero della integrità fisica dell'area	recupero qualità ambiente naturale e costruito	realizzazione di attrezzature, standard urb., ecc.	ricomposizione tra periferia e centro	eliminazione del degrado sociale
		4	3	3	2	4	3	4	4	5	4
miglioramento della accessibilità	6										

Tabella 4 - Matrice del perseguimento degli obiettivi

Soluzioni progettuali	Obiettivi dell'intervento									
	di ordine economico					di ordine ambientale				
	realizzazione di attrezzature e servizi alle persone ed alle imprese	localizzazione di attività produttive a basso impatto amb.	diversificazione delle funzioni	contenimento dei costi pubblici	allontanamento delle attività incompatibili	recupero della integrità fisica dell'area	recupero qualità ambiente naturale e costruito	realizzazione di attrezzature, standard urb., etc.	ricommissione tra periferia e centro	di ordine sociale
A	4	9	5	3	10	9	9	9	4	4
B	10	7	10	7	6	5	7	6	9	5
C	7	8	8	7	8	7	8	7	6	6

Tabella 7 - Matrice delle priorità delle soluzioni progettuali

Soluzioni progettuali	Obiettivi dell'intervento											
	di ordine economico				di ordine ambientale				di ordine sociale			
	miglioramento della accessibilità	realizzazione di attrezzature e servizi alle persone ed alle imprese	localizzazione di attività produttive a basso impatto amb.	diversificazione delle funzioni	contenimento dei costi pubblici	allontanamento delle attività incompatibili	recupero della integrità fisica dell'area	recupero qualità ambiente naturale e costruito	realizzazione di attrezzature, standard urb., etc.	riconnessione tra periferia e centro	eliminazione del degrado sociale	
A	6	4	6	4	2	7	6	7	7	5	5	5
B	9	7	7	6	4	5	4	6	5	7	5	5
C	9	6	6	6	4	7	6	7	6	6	6	5