

## La programmazione lineare per la selezione dei progetti di riqualificazione urbana

**Benedetto Manganelli, Gianluigi De Mare\***

### *Abstract*

Il lavoro illustra l'applicazione della programmazione lineare multiobiettivo (MOP) come tecnica di supporto per la scelta e la selezione della migliore alternativa progettuale di riqualificazione di un complesso residenziale urbano. Questa tecnica, che ha un diffuso impiego nel settore industriale, è stata finora poco indagata nella valutazione degli investimenti immobiliari. Eppure, nella forma lineare o in altre varianti, essa costituisce lo strumento più adatto per la soluzione di un problema decisionale con un elevato numero di variabili soggette a numerosi vincoli. Condizione, quest'ultima, che di norma si concretizza quando la decisione d'investimento coinvolge più attori e gli interessi da questi rappresentati.

---

\* Entrambi gli autori sono ricercatori di Estimo presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno.  
Il presente lavoro è da attribuire in parti uguali agli autori.

## 1. Introduzione

La selezione di un'alternativa progettuale costituisce un momento fondamentale nella gestione economica, amministrativa e politica di un programma da parte di un Ente o di una Amministrazione pubblica. Solitamente la decisione coinvolge più attori e gli interessi da questi rappresentati. Esistono diverse tecniche che oggi possono essere impiegate per supporto alle decisioni. Si tratta di modelli multicriterio in grado di definire una soluzione che costituisca il miglior compromesso possibile, coerentemente

- con la formulazione del problema e
- con le informazioni fornite dal decisore.

È in base a questi due elementi che viene scelta la regola (*decision rule*) più adatta e sono stabilite le ipotesi sulla *struttura di preferenza* del decisore. Il risultato può essere l'alternativa più efficiente o l'ordinamento di tutte le alternative rispetto alla capacità di soddisfare criteri multipli, i quali possono essere riuniti in tre gruppi principali: di connotazione tecnico-economica; di efficienza finanziaria; di carattere sociale.

Il caso che nel presente lavoro è oggetto di studio concerne la selezione, tra alternative progettuali, di una soluzione relativa alla riqualificazione di un complesso immobiliare residenziale di proprietà di un Ente pubblico. La peculiarità del caso e l'individuazione degli obiettivi che la soluzione deve perseguire hanno portato alla definizione di un modello che viene risolto con l'impiego della programmazione multi-obiettivo (MOP – *multi-objective programming*). Tra i modelli di supporto alle decisioni, quelli che si avvalgono di questa tecnica hanno una larga applicazione nel settore industriale, propriamente in ambito

- di allocazione delle risorse,
- di controllo della qualità,
- di gestione delle risorse umane.

Molto meno diffuso è l'impiego di tali modelli per le valutazioni di investimenti immobiliari<sup>1</sup>.

I modelli che utilizzano la MOP possono essere classificati in quattro categorie, in ragione delle informazioni fornite dal decisore: 1<sup>a</sup>) modelli per i quali non è possibile formulare nessuna ipotesi sulla struttura di preferenza del decisore; 2<sup>a</sup>) modelli che utilizzano informazioni a priori; 3<sup>a</sup>) modelli interattivi, quando l'articolazione delle informazioni fornite è di tipo progressivo; 4<sup>a</sup>) modelli che utilizzano informazioni a posteriori.

Nel caso che qui è proposto, la possibilità di specificare gli obiettivi sotto forma di funzioni di valore o di utilità ha semplificato la definizione del modello, nel quale sono perciò impiegate informazioni a priori di tipo cardinale. Di questo modello, aspetti di particolare rilievo sono:

- la formalizzazione algebrica delle funzioni obiettivo, tutte linearizzate in modo da facilitare ulteriormente l'analisi, evitando così il ricorso alla programmazione non lineare, e
- l'esame degli output al fine di estrarre il massimo delle informazioni utili alla selezione della migliore alternativa progettuale.

## 2. Il caso studio

L'oggetto dell'intervento è rappresentato da alcuni immobili a destinazione esclusivamente residenziale, di proprietà di un Ente pubblico, costruiti nel 1954 e ubicati – si veda lo stralcio planimetrico di figura 1 - nella periferia del centro urbano di Salerno.

---

<sup>1</sup> Alcuni e rari esempi in letteratura sono: Morano P. (1998) utilizza la programmazione lineare per la costruzione di un modello destinato alla determinazione di un indice di edificabilità territoriale che soddisfi l'obiettivo di perequazione sia con riguardo all'aspetto urbanistico che a quello estimativo; Rosato P. (1998) reinterpreta classici approcci multiattributo mediante tecniche di programmazione matematica, per la localizzazione di infrastrutture lineari in aree ad insediamento diffuso.

*Figura 1. Comune di Salerno: quartiere Mariconda*



Il complesso immobiliare si compone di 8 edifici per un totale di 120 alloggi, si estende su una superficie complessiva di mq 10.440, dei quali 2.888 di superficie coperta.

La consistenza degli immobili è riportata in tabella 1.

*Tabella 1 – Composizione del complesso immobiliare*

<i>Palazzina</i>	Numero alloggi	Superficie coperta (mq)	Numero di piani	Altezza (m)
A	30	704	5	17.70
B	20	462	5	17.70
C	10	220	5	17.70
D	10	208	5	18.70
E	10	208	5	18.70
F	10	208	5	18.70
G	10	208	5	18.70
H	20	670	5	18.70

Per il ripristino della piena funzionalità e del decoro estetico degli immobili vanno attuati i seguenti interventi di manutenzione straordinaria: ristrutturazione e coibentazione dei solai di copertura di tutti gli edifici; recupero delle facciate (intonaco e tinteggiatura); riordino degli spazi interni comuni; adeguamento degli impianti alla normativa vigente; rifacimento dei canali di gronda e delle pluviali.

### 3. Soluzioni d'intervento

Gli interventi da eseguire comportano l'impegno, e quindi la disponibilità finanziaria, di un importo alquanto rilevante rispetto ai vincoli di bilancio dell'Ente pubblico proprietario<sup>2</sup>. Da ciò l'esigenza di valutare più alternative di progetto che facciano ricorso ad altre ipotesi di finanziamento.

Una delle soluzioni, tecnicamente possibile, è la dismissione – cioè la vendita – di una parte degli alloggi<sup>3</sup>. Un'altra è il cambio della destinazione di un gruppo di alloggi; da unità residenziali a unità produttive<sup>4</sup>. Questa seconda ipotesi certamente porterebbe ad un maggior flusso di cassa (di segno positivo) dovuto al gettito finanziario dei maggiori canoni di locazione; nel contempo però accrescerebbe gli oneri di bilancio in quanto il cambio di destinazione comporterebbe una spesa iniziale in aggiunta ai costi della manutenzione straordinaria degli alloggi interessati.

Entrambe le ipotesi per altro verso, quantunque praticabili dal punto di vista tecnico, vanno a scontrarsi con condizionamenti di carattere sociale non trascurabili.

Il primo concerne la disponibilità degli inquilini all'acquisizione della proprietà. La consultazione ha fatto registrare che

---

<sup>2</sup> Il bilancio preventivo dell'Ente prevede la riduzione al minimo delle uscite e delle richieste di finanziamento presso le fonti pubbliche e private di credito.

<sup>3</sup> Soluzione prevista dalla legge n.560 del 24 dicembre 1993, che reca "norme in materia di alienazione degli alloggi di edilizia residenziale pubblica".

<sup>4</sup> Tale soluzione trova corrispondenza nella cospicua domanda di locali per uffici espressa nella zona di intervento.

solo 10 inquilini sono disponibili ad acquistare una unità immobiliare. In pratica, la dismissione di un numero di unità superiore a 10 avverrebbe attraverso azione di sfratto o mediante acquisto non spontaneo degli alloggi da parte degli inquilini, ai quali sarebbe in tal modo imposto un sacrificio economico.

Per il cambio di destinazione, un condizionamento è rappresentato dai disagi del trasferimento delle famiglie che occupano gli immobili da convertire in uffici, alle quali comunque è garantita una sistemazione in analoghi alloggi di proprietà dell'Ente ma ubicati in altro sito.

Ai fini dei calcoli da svolgere va considerato che, per il cambio di destinazione, la normativa urbanistica fissa un limite al numero delle unità da destinare ad ufficio. Nel caso di studio, questo numero deve corrispondere alle unità poste al primo livello degli edifici. In totale esso è di 24 unità immobiliari.

La compresenza di obiettivi di carattere tecnico-economico, finanziario e sociale rende evidentemente complesso il problema valutativo. Il tentativo di contemperare le varie istanze è peraltro complicato dalla conflittualità che si sviluppa tra gli obiettivi di "massimizzazione del rendimento dell'investimento" e di "minimizzazione degli esborsi iniziali"; è altresì complicato dalla conflittualità tra questi stessi obiettivi e le aspettative di benessere della comunità coinvolta nelle alienazioni di immobili e nei trasferimenti di residenza. È chiaro che puntare ad un rendimento elevato alienando un alto numero di alloggi contrasta con il modesto numero di inquilini disposti all'acquisto delle unità immobiliari. Non di meno, l'aumento dei benefici indotti dalla modifica di destinazione di una parte degli alloggi, è a sua volta in conflitto con l'esigenza di minimizzare gli esborsi iniziali di spesa e provoca disagi alle famiglie costrette al trasloco.

Nel quadro delineato si tratta evidentemente di individuare la soluzione che ottimizza il rendimento dell'investimento, minimizzando i costi iniziali e massimizzando il livello di soddisfazione degli inquilini.

La soluzione "ottimale" viene qui ricercata con il ricorso ad un modello basato sulla programmazione lineare.

#### 4. Descrizione del problema

L'Ente dunque deve operare la selezione della migliore soluzione progettuale all'interno dell'insieme delle ipotesi di progetto considerate. Il processo decisionale si attua – come si è detto – in presenza di più criteri tra loro competitivi, in ordine ai quali vengono valutate le alternative di intervento rappresentate dai punti di un sottospazio finito a due dimensioni. Tali alternative sono generate da tutte le possibili combinazioni delle componenti  $Uv$ : numero di unità residenziali da vendere; e  $Ut$ : numero delle unità residenziali da trasformare. Si tratta infatti di soluzioni variabili in un insieme continuo i cui limiti sono dati da

- vincoli naturali: nel caso di studio la somma delle due variabili non può superare 120, che è il numero massimo delle unità costituenti il complesso immobiliare;
- vincoli urbanistici: il numero delle unità residenziali da trasformare ( $Ut$ ) può essere, come si è visto, al più uguale a 24;
- vincoli imposti dal decisore: per ragioni di politica gestionale l'Ente ha stabilito di non dismettere tutto il patrimonio immobiliare.

Il problema multicriterio, evidentemente, è di tipo multiobiettivo<sup>5</sup>. L'analisi, perciò, passa per la preliminare individuazione dei criteri e degli obiettivi. E questi ultimi sono costituiti da funzioni che misurano le prestazioni delle singole alternative ( $x$ ) per ogni criterio ( $j$ ).

---

<sup>5</sup> Nel caso di alternative di tipo continuo, l'*obiettivo* rappresenta una funzione che misura la performance relativa di ogni alternativa identificata come punto nello spazio delle variabili decisionali. Quando invece le alternative sono discrete, la misura della prestazione di una alternativa è detta *attributo*. Un problema multicriterio, di conseguenza, può essere di tipo *multiattributo* (AMA) quando è richiesta la selezione tra un numero finito di alternative discrete. E' di tipo *multiobiettivo* (AMO) quando concerne la progettazione della migliore alternativa tra un infinito numero di soluzioni. "La diversa forma del feasible-set nell'AMO e nell'AMA ha profondamente condizionato lo sviluppo degli algoritmi volti alla risoluzione dei problemi decisionali..." (Rosato P. 1998).

Il procedimento impiegato per la soluzione del problema utilizza informazioni date a priori dal decisore, nel caso in esame dall'amministrazione dell'Ente. In particolare, il decisore fornisce un vettore ( $w$ ) di pesi per gli obiettivi prestabiliti. Ogni obiettivo è definito da una funzione di utilità o di valore ( $f_j(x)$ ), rappresentativa del contributo prodotto dalla soluzione finale. La quale deriva dalla massimizzazione di una funzione-valore, additiva dei singoli obiettivi pesati secondo lo schema:

$$\max \sum_{j=1}^K w_j \cdot f_j(x)$$

$$s.t. \quad g_i(x) \leq 0 \quad \forall j,$$

dove nel secondo rigo (*system constraint*) sono rappresentati i vincoli imposti sulle variabili.

L'operazione è concepita dall'Ente secondo uno schema organizzato per il perseguimento di tre obiettivi:

- minimizzazione dei costi dell'intervento. Di tipo tecnico-economico, nel caso di studio questo obiettivo è in particolare connesso alla limitata disponibilità finanziaria dell'Ente e perciò all'esigenza di rendere minimo l'importo del capitale iniziale di investimento;
- massimizzazione del rendimento dell'operazione. La dismissione di una parte del patrimonio immobiliare e la variazione d'uso di un'altra parte di esso, da residenziale a uffici, comporta flussi di cassa annuali variabili in rapporto al peso che le due componenti assumono nella combinazione. La somma finanziaria dei flussi misura il rendimento dell'operazione ed è logicamente preferita la soluzione di più alto rendimento;
- massimizzazione della soddisfazione conseguibile dagli inquilini del complesso residenziale. Di tipo sociale, questo obiettivo talora concorre in modo determinante all'esito dell'operazione.

Nella loro formulazione analitica, i tre obiettivi sono espressi con differenti unità di misura. La non commensurabilità tra obiettivi è nella presente analisi risolta mediante la normalizzazione delle singole funzioni nell'intervallo  $[0; 1]$ , il che rende

congruente la loro aggregazione nella funzione additiva di valore totale<sup>6</sup>.

## 5. Definizione delle funzioni obiettivo

### *Funzione obiettivo 1: minimizzazione della spesa*

L'ipotesi, sulla quale si basa l'analisi, prevede che l'intervento possa completarsi in un anno, al termine del quale vanno riferiti tutti i costi e i ricavi derivanti dalla riqualificazione degli edifici, dal cambio di destinazione di una parte degli alloggi e dalla vendita di altra parte delle unità immobiliari<sup>7</sup> che formano il complesso. La data di riferimento delle stime è il 2001.

Indicato con  $Cr$  il costo della riqualificazione (€ 1.381.891), con  $Pv$  il prezzo medio di vendita delle unità immobiliari residenziali da dismettere (€ 54.000) e con  $cT$  il costo unitario per il cambio di destinazione (€ 13.345), l'intervento comporta l'impiego di un capitale iniziale pari a:

$$Sp = \frac{Cr - Pv \cdot Uv + cT \cdot Ut}{(1 + r)}$$

Il *target* per questo obiettivo è  $Sp = 0$ , mentre la spesa massima ( $Sp_{max}$ ) si verificherebbe nell'ipotesi  $Uv = 0$  e  $Ut = 24$ ,  $\Rightarrow Sp_{max} = € 1.644.610$ .

La funzione obiettivo ( $f_1$ ) è espressa dalla formulazione analitica in cui  $s$  è una variabile generica e  $S'p$  sia uguale a  $Sp - s$ . Precisamente

$$f_1 = 1 - \frac{S'p}{Sp_{max}}$$

---

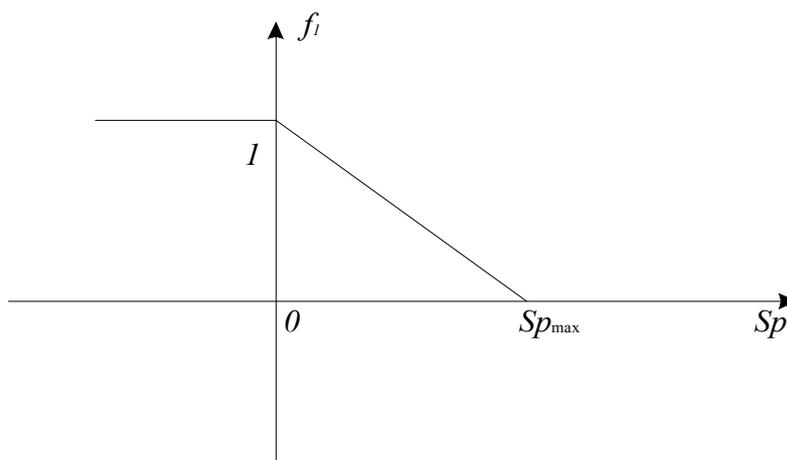
<sup>6</sup> La trasformazione di un problema originariamente multiobiettivo in un problema espresso da una sola funzione (mono obiettivo) è nota come *scalarizzazione*.

<sup>7</sup> Tutti i costi sono ottenuti dalla redazione di computi metrici estimativi, mentre i ricavi (canoni e valori) sono stati stimati, in modo diretto, attraverso l'analisi del mercato, locativo e delle vendite, di immobili analoghi a quelli in oggetto.

$$s.t. S' p \geq 0 \Rightarrow Sp \geq s.$$

In termini descrittivi, la figura stessa prende la forma della figura 2.

*Figura 2 – Minimizzazione della spesa*



*Funzione obiettivo 2: massimizzazione del rendimento*

Occorre innanzitutto definire il periodo dell'analisi finanziaria. Questo termine, scelto in relazione al tipo di intervento da mettere in atto, nel caso di studio è fissato in 15 anni, tenuto conto dell'età degli edifici e attesa la previsione secondo la quale allo scadere dei quindici anni sarà necessario un nuovo intervento. Da ciò consegue che alla fine del periodo di analisi, il valore residuo dell'investimento in opere di riqualificazione del complesso edilizio è nullo, mentre un valore residuo può essere attribuito alla spesa per il cambio di destinazione. Nella presente analisi questo valore è posto uguale al costo di investimento sostenuto per la conversione degli alloggi da residenziali in uffici, nell'ipotesi di una manutenzione che assicuri efficienza e costanza di valore al patrimonio immobiliare. Il saggio di

sconto, corrispondente al costo opportunità per le risorse dell'Ente, è assunto pari al 3,5% al netto dell'inflazione<sup>8</sup>.

I costi attualizzati sono pertanto:

- costo della ristrutturazione

$$\frac{Cr}{q}; \quad \text{con } q = 1 + r = 1,035;$$

- costo del cambio di destinazione di  $Ut$  unità residenziali in altrettanti uffici

$$\frac{cT \cdot Ut}{q};$$

- spese per la manutenzione ordinaria, da sostenere annualmente a partire dal termine dell'intervento di riqualificazione

$$(120 - Uv) \cdot c_{mo} \cdot \frac{q^{14} - 1}{r \cdot q^{15}}; \quad \text{con } c_{mo} = \text{€ } 51.72/U \cdot \text{anno};$$

- mancati redditi derivanti dai canoni non percepiti per le unità vendute o trasformate

$$\frac{Ru \cdot (Uv + Ut)}{r}; \quad \text{con } Ru = \text{€ } 480/U \cdot \text{anno}.$$

I ricavi attualizzati sono invece:

- le somme incassate dalla vendita delle unità residenziali dismesse

$$\frac{Pv \cdot Uv}{q};$$

- i redditi netti delle unità non vendute o trasformate e i redditi netti delle unità residenziale trasformate in uffici

$$Ru \cdot (120 - Uv - Ut) \cdot \frac{q^{14} - 1}{r \cdot q^{15}}; \quad Rt \cdot Ut \cdot \frac{q^{14} - 1}{r \cdot q^{15}};$$

con  $Rt = \text{€ } 5.000/ U \cdot \text{anno}$ ;

- i mancati costi di manutenzione ordinaria che altrimenti si sarebbero sostenuti nel primo anno

$$\frac{c_{mo} \cdot 120}{q};$$

---

<sup>8</sup> Al saggio lordo medio del 5,5% espresso da investimenti in Titoli di Stato con scadenza a 15 anni, è sottratto il tasso di inflazione attesa previsto per il 2001 nel 2%.

- il valore residuo dell'investimento per gli alloggi interessati dal cambio di destinazione

$$\frac{cT \cdot Ut}{q^{15}}$$

La somma finanziaria dei flussi di cassa (ricavi – costi) fornisce il  $VAN$  dell'operazione, logicamente crescente al crescere delle due variabili  $Uv$  e  $Ut$ . Il *target* per la funzione obiettivo è perciò assunto pari al  $VAN$  ottenuto con la trasformazione di 24 alloggi ( $Ut$ ) e la vendita – secondo il vincolo imposto dal decisore – della metà degli alloggi residenziali residui  $(120-24)/2 = 48$  ( $Uv$ ). Il risultato del calcolo è il  $VAN_{max}$ . Lo stesso indicatore di efficienza finanziaria assume valore minimo e negativo ( $VAN_{min}$ ) allorché l'Ente non proceda né alla vendita né al cambio di destinazione d'uso delle rispettive parti di unità immobiliari che compongono gli edifici oggetto dell'intervento.

La funzione obiettivo da massimizzare è data dalla seguente equazione:

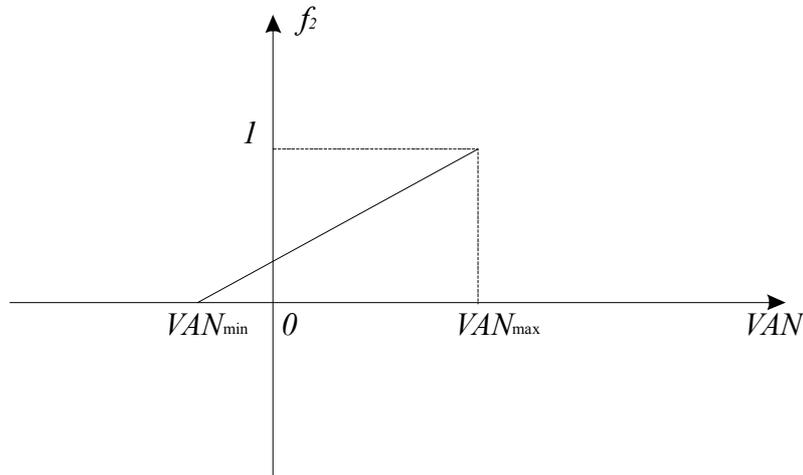
$$f_2 = \frac{VAN - VAN_{min}}{VAN_{max} - VAN_{min}},$$

con  $VAN_{max} = € 1.539.434$  e  $VAN_{min} = -€ 786.898$

$$\begin{aligned} &Uv \leq 48 \\ \text{s.t.} &Ut \leq 24. \end{aligned}$$

In termini descrittivi, tale funzione è rappresentata in figura 3.

Figura 3 - Massimizzazione del rendimento



Funzione obiettivo 3: massimizzazione della soddisfazione degli inquilini

La funzione obiettivo sociale va scomposta in due sottofunzioni. La prima esprime l'utilità che deriva – si veda la figura 4 – dalla vendita delle unità residenziali agli inquilini che hanno manifestato intenzione di acquisto. Una volta raggiunte le 10 unità ( $U_v = 10$ ), la funzione decresce a causa del disagio cui vanno incontro gli inquilini costretti ad acquistare o a liberare gli alloggi per permetterne la vendita a terzi. La funzione si annulla in corrispondenza della vendita di 48 unità. In forma algebrica questa sottofunzione è spiegata dal sistema:

$$f_3 = \begin{cases} + \frac{U_v}{10} & \text{per } U_v \leq 10 \\ - \frac{U_v}{38} & \text{per } U_v > 10, \end{cases}$$

il quale è linearizzato mediante l'introduzione di due nuove variabili  $U^1_v$  e  $U^2_v$ , tali che

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & U^1_v + U^2_v = U_v, \\ & U^1_v \leq 10. \end{aligned}$$

La sottofunzione obiettivo relativa alla vendita di unità residenziali diventa perciò:

$$f_3 = + \frac{U^1_v}{10} - \frac{U^2_v}{38}.$$

La seconda sottofunzione esprime l'insoddisfazione degli inquilini che, a causa del cambio di destinazione delle unità residenziali da loro occupate, dovranno sopportare il disagio di trasferirsi in altri alloggi messi a disposizione dell'Ente.

L'equazione che formalizza questa sottofunzione è la seguente:

$$f_4 = 1 - \frac{U_t}{24}$$

ed è descritta in figura 5, dove si manifesta con andamento decrescente e si annulla in corrispondenza del cambio di destinazione di 24 unità.

*Figura 4. Massimizzazione della soddisfazione degli inquilini coinvolti nell'ipotesi di vendita*

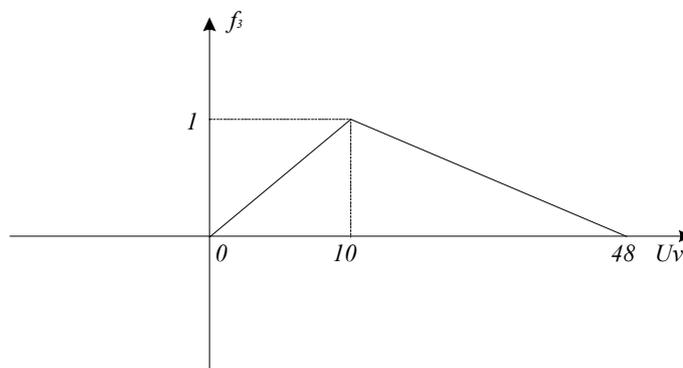
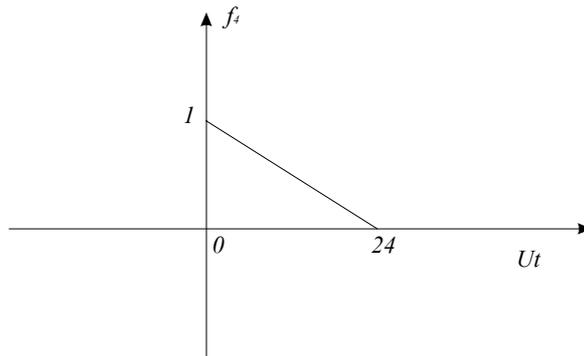


Figura 5. Massimizzazione della soddisfazione degli inquilini coinvolti nell'ipotesi di cambio di destinazione



## 6. Dati di input del modello

L'aggregazione delle due sottofunzioni ( $f_3$  e  $f_4$ ) definisce la funzione obiettivo sociale, mentre la somma pesata delle quattro funzioni innanzi descritte va a costituire la funzione valore, da massimizzare nel rispetto ovviamente del sistema dei vincoli imposti alle singole equazioni. L'espressione algebrica è ottenuta sostituendo i valori ai simboli:

$$\begin{aligned} \max \quad & w_1 \cdot (0.1881595 + 0.0317242 \cdot Uv - 0.0078400 \cdot Ut + 0.0000006 \cdot s) + \\ & + w_2 \cdot (-0.7186082 + 0.0309952 \cdot Uv + 0.0096183 \cdot Ut) + \\ & + w_3 \cdot (+0.1000 \cdot U^1v - 0.0263158 \cdot U^2v) + w_4 \cdot (1 - 0.0416667 \cdot Ut), \end{aligned}$$

s.t.

$$\left\{ \begin{array}{l} Ut \leq 24 \\ Uv = U^1v + U^2v \\ U^1v \leq 10 \\ Uv \leq 48 \\ S'p \geq 0 \Rightarrow 1335161 - 52174 \cdot Uv + 12894 \cdot Ut - s \geq 0. \end{array} \right.$$

## 7. Risultati

### *Prima soluzione*

La soluzione del sistema richiede, da parte del decisore, la definizione del vettore dei pesi.

Questa operazione di scelta, sviluppata sul piano meramente razionale,

- porta ad una uguale distribuzione del peso nel confronto relativo tra i criteri tecnico-economico e finanziario, e i criteri sociali,
- equipara i primi due criteri: quello tecnico-economico che prevede la minimizzazione della spesa e quello finanziario che tende alla massimizzazione del rendimento dell'operazione,
- valuta più importante l'obiettivo rappresentato dalla terza funzione nel confronto con la quarta, dal momento che maggiore è il disagio degli inquilini che, rinunciando all'opzione d'acquisto, sono costretti a liberare gli alloggi, rispetto al disagio subito da coloro che dovranno trasferirsi per il cambio di destinazione degli alloggi che occupavano.

I pesi da assumere sono normalizzati cioè tali che  $\sum_{i=1}^k w_i = 1$ .

In conseguenza, il vettore sul quale è inizialmente svolta l'analisi si configura con i dati:

$w_1$	0.25
$w_2$	0.25
$w_3$	0.35
$w_4$	0.15

L'elaborazione è eseguita con l'impiego del software *Visual XPRESS 3.0.3* della Dash Associates 2000, e fornisce come risultato

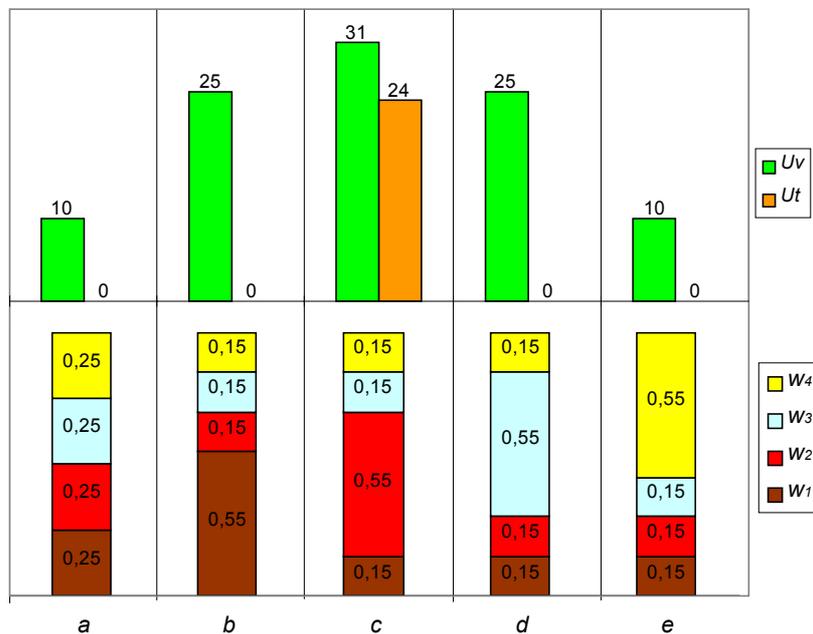
$$U_V = 10$$
$$U_t = 0.$$

Sono quindi esattamente 10 le unità da vendere, stesso numero per il quale era stata manifestata dagli inquilini la disponibilità all'acquisto. Il risultato non prevede invece per nessuna unità il cambio di destinazione.

*Soluzioni di confronto*

Per la ricerca di una soluzione più soddisfacente del problema, è stata definita una serie di piani alternativi di intervento ottenuti con differenti combinazioni dei pesi. Tali piani, o alternative progettuali, sono messi a confronto nella figura 6: nel caso a) tutti i pesi sono uguali; da b) ad e) è stato assegnato in modo alternativo un peso percentualmente superiore alla singola funzione obiettivo rispetto alla somma dei pesi, tutti uguali, dati alle restanti tre funzioni.

*Figura 6. Alternative di progetto ottenute per diverse combinazioni dei pesi*



La lettura dei risultati suggerisce alcune considerazioni. Le combinazioni *a* ed *e*, come si vede, forniscono lo stesso risultato della *prima soluzione*, individuata come quella più razionale. Tutte e tre le combinazioni sembrano cioè privilegiare l'obiettivo sociale. L'alternativa progettuale selezionata non procura infatti alcun disagio agli inquilini.

Qualora poi venga assegnato un peso relativamente maggiore all'obiettivo "minimizzazione della spesa" (alternativa progettuale *b*) o alla funzione che "massimizza la soddisfazione degli inquilini connessi alla vendita di unità residenziali" (alternativa progettuale *d*), l'analisi indica quale soluzione efficiente la vendita di 25 unità, ma non prevede per nessuna unità il cambio di destinazione d'uso.

Sono invece 24, perciò il numero massimo consentito, le unità residenziali da trasformare in uffici, mentre salgono a 31 le unità da alienare quando l'Ente volesse perseguire con priorità assoluta (alternativa progettuale *c*) l'efficienza finanziaria dell'operazione.

I dati della figura 6 confermano la bontà della alternativa progettuale selezionata (*prima soluzione*). Essi suggeriscono all'Ente di abbandonare l'ipotesi di cambio di destinazione e, se necessario, di procedere alla vendita di un numero di unità comunque inferiore a 25.

## **8. Conclusioni**

Il lavoro svolto propone ed illustra una prospettiva d'impiego della programmazione multiobiettivo (MOP), quale strumento di supporto alle decisioni nella valutazione di investimenti immobiliari. Ambito, questo, nel quale poco utilizzate sono finora le tecniche multiobiettivo, mentre frequente è il ricorso all'applicazione di procedimenti multicriteri con approcci di tipo multiattributo. In tale ambito la MOP si distingue per flessibilità di impiego e, nella forma lineare, per semplicità del processo di costruzione del modello di valutazione; rende altresì immediata la lettura e la interpretazione dei risultati.

Il caso di studio, che ha finalità metodologiche esemplificative, evidenzia l'efficacia dell'applicazione della MOP alla scelta della soluzione di intervento in un contesto caratterizzato da alternative progettuali definite all'interno di un dominio continuo di soluzioni. In letteratura la MOP è considerata una tecnica da applicare quando è affrontato un problema decisionale con elevato numero di variabili soggette a numerosi vincoli. In tali casi, evidentemente, la ricerca della soluzione ottimale non è banale in quanto trattasi di individuarla tra *infinite* soluzioni possibili. Quando invece le variabili siano soltanto due, la ricerca della soluzione può essere affidata all'impiego del solo procedimento grafico-descrittivo<sup>9</sup>. L'individuazione dell'alternativa che rappresenta il miglior compromesso tra istanze di matrice differente, generata da una procedura di selezione razionale e trasparente, rende più facile il ruolo del decisore, al quale spetta la sola funzione di ponderare ed equilibrare gli interessi in gioco.

Punto nevralgico delle applicazioni multicriteriali rimane, tuttavia, la costruzione del vettore dei pesi attraverso cui definire il contributo dei vari criteri di selezione alla funzione di utilità finale. Nella applicazione svolta è stato dato ampio spazio all'analisi di sensibilità, implementando la procedura risolutiva con vettori tra loro differenti. La ricorrenza di una soluzione ben identificata è garanzia di efficienza e di stabilità della soluzione medesima.

La programmazione multiobiettivo, quindi, si pone anche come strumento di efficace verifica della fattibilità e della ottimizzazione delle scelte di investimento sul territorio, sia nella versione qui presentata che con riguardo a varianti quali i modelli di *Goal Programming* o i modelli della stessa programmazione multiobiettivo implementati con elementi della logica *fuzzy*.

---

<sup>9</sup> vedi Sforza A., (2002) *Modelli e metodi della ricerca operativa*, pag. 98 e segg., ESI, Napoli.

## Riferimenti bibliografici

Aouni B., Kettani O., (2001) *Goal programming model: A glorious history and a promising future*, European Journal of Operational Research, 133, pp.225-231, Elsevier Science.

Brosio G., (1996) *Economia e finanza pubblica*, NIS, Roma.

Caballero R., Ruiz F., Steuer R.E., (1997) *Advances in Multiple Objective and Goal Programming*, Lecture Notes in Economics and Mathematical System. Vol. 455. Springer, New York.

Carrer P., (1989) *La finanza per i grandi investimenti di ristrutturazione urbana. Contributi alla discussione*, Rapporto NOMISMA.

Chang N.B., Wen C.G., Chen Y.L., (1997) *A fuzzy multi-objective programming approach for the optimal management of the reservoir watershed*. European Journal of Operational Research 99, 289-302, Elsevier Science.

Charnes A., Cooper W.W., (1961) *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Wiley, New York.

Charnes A., Cooper W.W., (1977) *Goal Programming and multiple objective optimization*, European Journal of Operational Research 1, 39-54, Elsevier Science.

Cook W.D., (1984) *Goal programming and financial planning models for highway rehabilitation*, Journal of Operational Research Society 35, 217-223, Elsevier Science.

Curto R. (1992), *Prospettive della ricerca nel settore dell'estimo operativo*, in AESTIMUM, numero speciale, Atti del 1° Simposio Italo-Spagnolo Ce.S.E.T., Firenze.

Florio M., (1991) *La valutazione degli investimenti pubblici*, Il Mulino, Bologna.

Ignizio J.P., (1978) *A review of goal programming: a tool for multi-objective analysis*, Journal of Operational Research Society 229, 1109-1119, Elsevier Science.

Morano P., (1998) *Un modello di perequazione urbanistico estimativo*, Materiali INU 3, Graffiti, Napoli.

Palermo P.C., (1989) (a cura di), *Modelli di analisi territoriale*, Franco Angeli, Milano.

Prizzon F., ( 1995) *Gli investimenti immobiliari*, Celid, Torino.

Romero C., (1985) *Multi-objective and goal programming approaches as a distance function model*, Journal of the Operational Research Society 36, 249-251, Elsevier Science.

Rosato P., (1998) *Un modello di analisi multicriteri per la localizzazione di infrastrutture lineari in aree ad insediamento diffuso*, Aestimium, 36, pp. 49-77.

Roscelli R., (1992) *I processi valutativi nella riqualificazione urbana*, in Atti del convegno internazionale "Per il XX secolo. Una enciclopedia e un progetto", Napoli.

Sforza A., (2002) *Modelli e metodi della ricerca operativa*, ESI, Napoli.

Tamiz M., (1996) *Multi-objective programming and goal programming: Theories and application*, Lecture Notes in Economics and Mathematical System. Vol. 432. Springer, New York.