Pierluigi Morano*
Antonio Nesticò**

* Dipartimento ICAR, Politecnico di Bari, p.morano@poliba.it

** Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, anestico@unisa.it

Parole chiave: programmazione per progetti, scelta dei progetti, analisi economico-finanziaria, valutazione multicriteriale, programmazione lineare discreta.

Un'applicazione della programmazione lineare discreta alla definizione dei programmi di investimento¹

In the definition of the investment programs, the available procedures for the selection of the projects introduce inefficiencies due to the incomplete use of the financings and to the impossibility to implement some pointers of performance when the projects are correlated.

In the present research is developed and tested a model of discrete programming aimed to reduce these limits. With the use of the model is possible to select the project portfolio that achieves the objectives of the investment program and optimizes the employment of the available financings.

1. Premessa

La definizione di un programma di investimento da attuare in un'area geografica o in un settore economico comporta la selezione di un gruppo di progetti² i quali, nel rispetto dei requisiti e dei vincoli del sistema, siano in grado di perseguire "al meglio" le finalità del programma³.

La selezione dei progetti avviene con modalità simili, tanto che il programma sia messo a punto per un operatore pubblico quanto che sia predisposto per un operatore privato. La peculiarità strutturale degli obiettivi dei due operatori certamente porterà a guardare le iniziative progettuali da punti di vista diversi ed a generare differenti ricadute sull'ampiezza dell'orizzonte spaziale e temporale delle analisi, sui criteri da adottare per l'identificazione e la misurazione dei risultati, sui parametri e le assunzioni da porre a base delle valutazioni. In entrambi i casi, però, gli schemi di verifica e confronto dei progetti nella sostanza non cambiano⁴.

¹ Il lavoro è da attribuire in parti uguali ai due autori.

² Secondo Thuesen e Fabrycky (1994, p. 245) per *progetto* è da intendere qualsiasi proposta tecnica o economica schematizzabile mediante un flusso di cassa, destinata a modificare l'ambiente fisico, economico e sociale in cui sarà realizzata.

³ Sulle problematiche associate alla selezione dei progetti negli interventi sul territorio e sulle possibili soluzioni si rimanda al contributo di Stanghellini (2004).

⁴ In Formez (1988, p. 41) si afferma che "il governo dell'economia e della società, come ormai dovrebbe essere ben chiaro, non può essere identificato con la gestione di un'impresa e sotto

Essi infatti possono essere ricondotti alle valutazioni economico-finanziarie, se gli effetti degli interventi sono traducibili in termini monetari⁵, ovvero alle analisi multicriteriali⁶ laddove invece non sia possibile percepirli tutti attraverso il solo criterio monetario o si sia in presenza di obiettivi molteplici, tra loro eterogenei e conflittuali⁷. Non di rado, i due tipi di valutazione vanno implementati in successione, come avviene quando i risultati dell'analisi economico-finanziaria sono insufficienti per l'esame del progetto e, a complemento, è richiesta anche l'analisi multicriterio (Florio *et al.* 2003, p. 8).

Nel presente lavoro il tema della scelta dei progetti per la definizione dei programmi di investimento, per più ragioni viene affrontato con riferimento all'operatore pubblico.

È fuori di discussione, in primo luogo, che nel nostro Paese la programmazione "per progetti" è uno strumento ordinario di attuazione delle politiche pubbliche di sviluppo regionale o settoriale⁸, che opera a integrazione della programma-

molti punti di vista segue criteri diversi da quelli con cui si gestiscono gli affari. Si propone obiettivi diversi e opera con vincoli differenti. Nonostante questo, gli elementi che caratterizzano una buona scelta sono gli stessi in ogni campo e i metodi di scelta che possono essere implementati sono ugualmente applicabili a tutti i problemi decisionali pubblici e privati".

⁵ Morano e Tocchetti (1986, p. 8) osservano che l'analisi economica è finalizzata alla valutazione del rendimento del progetto nei riguardi della collettività. Si tratta pertanto di valutare l'insieme dei benefici che l'investimento porta non soltanto all'operatore responsabile della gestione, ma all'intera collettività che ne fruisce. L'analisi finanziaria, a sua volta, mira a verificare se il progetto "paga sé stesso" e va eseguita nell'ottica dell'imprenditore privato. Evidentemente –continuano gli autori– per il soggetto privato la valutazione finanziaria ha l'obiettivo di verificare la redditività dell'intervento; per il soggetto pubblico la valutazione finanziaria ha invece l'obiettivo di verificare la spesa in relazione alla possibilità o meno di coprirli con i rientri finanziari del progetto.

⁶ In Florio (1991) si afferma che "nel caso di un investimento privato l'obiettivo della massimizzazione del rendimento finanziario, anche se non chiaramente specificato, può costituire una base di partenza. L'analisi verrà circoscritta all'analisi finanziaria e a un minimo di indicazioni sugli effetti collaterali. Ma anche un'impresa privata può avere funzioni multi-obiettivo: ad esempio potrebbe stare conducendo una partita strategica complessa e il progetto vi si inserisce" (p. 31).

⁷ Con le valutazioni multidimensionali si trasformano gli eterogenei aspetti delle diverse soluzioni o delle diverse strategie attuative, sulla base di schemi logici che ne evidenziano vantaggi e svantaggi differenziali rispetto a obiettivi predeterminati. Per ciascun obiettivo si individua un criterio di valutazione, pervenendo così ad una molteplicità di criteri non tutti esprimibili in termini monetari. In definitiva, il risultato dell'analisi multicriteriale è un profilo quali-quantitativo (Del Giudice 1999, p. 3). Sul tema si veda anche: Nijkamp e Van Delf 1977; Hwang e Yoon 1981; Seo e Sakawa 1996.

⁸ Il meccanismo di allocazione delle risorse nel nostro sistema economico è sostanzialmente di tipo piramidale. Motivazioni di carattere politico-strategico guidano ad un primo livello nella ripartizione delle disponibilità finanziarie tra spese correnti (ad esempio gli stipendi dei pubblici dipendenti, l'energia elettrica per gli edifici pubblici, ecc.) e spese per investimenti, siano questi ultimi decisi e realizzati direttamente dalla Pubblica Amministrazione (investimenti diretti), o finanziati dallo Stato ma decisi e attuati da soggetti esterni (investimenti indiretti). Ad un secondo livello, i fondi per investimenti sono assegnati ai diversi settori e sottosettori del-

zione macroeconomica⁹. Introdotta in Italia a partire dalla seconda metà degli anni ottanta, a parziale sostituzione dei meccanismi di riparto della spesa pubblica "per capitoli", dimostratisi poco efficienti¹⁰, la programmazione per progetti ha visto crescere il suo impiego a seguito del potenziamento delle autonomie locali, e quindi per effetto della delega agli enti periferici delle responsabilità, delle funzioni e delle competenze dello Stato.

Per ovvi motivi politico-amministrativi, pure nell'Unione Europea la programmazione per progetti è diventata un'importante modalità di attuazione delle politiche comunitarie nei singoli Stati Membri. Mentre gli obiettivi delle politiche di bilancio, fiscale e monetaria vengono definiti *anche* a livello centrale europeo, una serie di dispositivi finanziari, attraverso progetti specifici, promuovono a livello

l'economia (*agricoltura, industria, costruzioni e servizi*), rispondendo a obiettivi tecnico-politici, che portano alla definizione di un piano di spesa previsionale strutturato in categorie, sottocategorie e schemi di programma. I fondi, ripartiti tra i diversi settori e sottosectori, vengono infine destinati, nell'ambito di ciascuno di essi, ai progetti ritenuti meglio capaci di perseguire gli obiettivi prefissati. In questo ultimo livello, cfr. Parmentola (1991, p. 25), poiché "si tratta di progetti alternativi sostanzialmente omogenei rispetto agli effetti "macro", in quanto contribuiscono alla realizzazione dello stesso programma e quindi dello stesso obiettivo, la valutazione ed il confronto possono essere incentrati sugli aspetti più propriamente "micro", quelli cioè connessi alle specificità tecniche, economiche, ecc. del singolo progetto".

⁹ Secondo Pennisi (1991, pp. 16-17) le attività di analisi di progetti e di programmazione economica "sono strettamente interrelate. Infatti anche se in un'ottica riduttiva può dirsi che l'analisi di progetti riguarda soltanto lo studio delle variabili relative al progetto in esame, parte di queste variabili non possono venir stabilite che a livello nazionale. Ad esempio, la domanda di un prodotto dipende, tra l'altro, dal tasso di aumento della popolazione e del reddito; la disponibilità di *input* necessari per il processo di produzione del progetto è funzione del tasso di crescita del Paese; e così via. La premessa fondamentale delle metodologie e delle tecniche di valutazione –continua l'autore– è che l'analisi e la scelta dei progetti d'investimento pubblico debbono essere inserite in un contesto più ampio: quello della programmazione economica. Senza questo contesto, l'analisi non può essere effettuata in modo soddisfacente in quanto mancano i criteri di scelta che sono funzione degli obiettivi della società, della strategia di medio e lungo periodo che si intende perseguire per raggiungerli, dei piani in cui questa strategia si articola e dei programmi d'investimento per attuare i piani". Tale concetto è ripreso da Nuti (1987, p. 199), secondo cui "tra piano nazionale e singoli progetti esiste nei fatti un rapporto di interdipendenza, ma niente impedisce, in linea di principio, che il piano sia definito sulla base di considerazioni aprioristiche, dettate dagli obiettivi che si intendono raggiungere e dalla percezione che le autorità di governo hanno dei vincoli esistenti. Il carattere iterativo dei rapporti tra piano e progetti riemergerà quasi inevitabilmente a causa della esistenza di diversi livelli decisionali che concorrono a definire il piano: ad esempio, decisioni importanti possono essere prese dal corpo legislativo, anziché dal potere esecutivo e il primo sarà necessariamente influenzato da spinte provenienti dal basso. Gli obiettivi generali del programma economico (in termini di consumo, investimento, disponibilità di valuta estera, occupazione e distribuzione del reddito) influenzano il risultato dell'analisi attraverso i cosiddetti parametri nazionali".

¹⁰ La programmazione "per capitoli" prevedeva che l'allocazione delle risorse avvenisse annualmente per settore economico e per ambito territoriale, in assenza di un sistema esplicito di obiettivi, di criteri e di indirizzi, con la conseguenza di poter essere facilmente influenzata da fattori politici e di breve termine. Sul tema della programmazione "per progetti" cfr. Pennisi e Scandizzo 2003, pp. 23, 42.

locale lo sviluppo delle aree in ritardo, la riconversione delle zone con difficoltà strutturali, l'ammmodernamento dei sistemi di istruzione, formazione e occupazione¹¹. In tutto ciò, per ammettere i progetti al programma e determinare il tasso della contribuzione¹², agli Stati Membri compete la valutazione *ex ante* delle iniziative presentate al finanziamento e alla Commissione Europea spetta il compito di giudicare la qualità della valutazione.

Altra ragione che spiega perché sia stato qui preferito trattare la scelta dei progetti dal punto di vista pubblico è nella superiore capacità di spesa della Pubblica Amministrazione rispetto a quella privata e nella maggiore frequenza di selezione dei progetti di investimento pubblico.

Va inoltre aggiunto che gli interventi pubblici sono normalmente più articolati di quelli privati, riguardano processi "multiprodotto" e determinano ricadute su gruppi sociali differenti, generano effetti diretti e indiretti, qualitativi e quantitativi, per la cui valutazione non possono essere adoperati i prezzi di mercato¹³. D'altro canto, molti strumenti utilizzati per la valutazione dei progetti del settore pubblico sono una rielaborazione degli strumenti impiegati in campo aziendale¹⁴. E comunque, i risultati della presente ricerca, senza modifiche significative, potranno essere estesi alla selezione dei progetti per la definizione dei programmi di investimenti privati.

2. Inefficienze e complessità delle procedure correnti di selezione dei progetti

Nella pratica, quando non è guidata da motivazioni strettamente politiche, la scelta dei progetti destinati a comporre un programma di investimento è risolta con la formazione di una lista di priorità costruita adoperando un indicatore di *performance*¹⁵. Tanto nella valutazione economico-finanziaria quanto nella multicriterio, le iniziative che soddisfano i requisiti tecnici e giuridici richiesti dal programma di investimento vengono ordinate sulla base di un indicatore che ne sintetizza il merito. Seguendo l'ordine della lista di priorità, sono perciò finanziati i progetti

¹¹ Tra i dispositivi di finanziamento vigenti a livello europeo si ricordano i Fondi Strutturali (FS), il Fondo di Coesione (FC), il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) e gli Strumenti di pre-adesione (ISPA).

¹² A seconda del programma di finanziamento, il contributo potrà coprire in tutto o in parte il costo di investimento dei progetti. Sicché il ragionamento si può ripetere tanto nel caso di programmi di investimento che prevedono la totale copertura dei costi di investimento quanto il solo cofinanziamento (Florio *et al.* 2003, p. 6).

¹³ In proposito, si veda: Florio 1991, pp. 16-17.

¹⁴ È il caso dell'analisi costi-benefici, che costituisce un "aggiustamento" dell'analisi finanziaria aziendale dei flussi di cassa alla valutazione dei progetti dal punto di vista pubblico. I flussi dei benefici e dei costi che compongono l'analisi economica –com'è noto– derivano in buona parte dall'applicazione dei fattori di conversione ai costi e ai ricavi dell'analisi finanziaria.

¹⁵ Tra i numerosi indicatori impiegati nella valutazione dei progetti, si ricordano il valore attuale netto (VAN), il rapporto tra benefici e costi (B/C), il tasso di rendimento interno (TIR).

che rientrano nel “tetto finanziario” del programma, i cui costi di attuazione non superano i finanziamenti disponibili. Il “pacchetto” di interventi, così definito, costituisce il programma di investimento da realizzare.

Il *modus operandi* descritto presenta tuttavia dei limiti. In primo luogo può capitare che i fondi stanziati per il programma non vengano completamente utilizzati: se la somma dei costi dei progetti compresi nel “tetto finanziario” non è uguale all'ammontare delle risorse del programma, rimane un residuo pari alla differenza tra le due voci, non sufficiente a coprire il costo del progetto marginale che, altrimenti, sarebbe finanziato. Né le risorse che eccedono possono essere impiegate per realizzare una frazione del progetto marginale, dal momento che ogni iniziativa costituisce una unità *inscindibile* dal punto di vista tecnico ed economico¹⁶. La conseguenza è che le somme non impegnate, alla scadenza della loro disponibilità ritornano all'ente finanziatore. Si perdono quindi delle opportunità di investimento e di sviluppo per l'ambito territoriale o per il settore economico al quale erano state destinate.

In secondo luogo, alcuni indicatori di merito possono essere adoperati per la redazione di una lista di priorità dei progetti solo in certe condizioni. È il caso del VAN il quale, nonostante sia frequentemente adottato per i vantaggi che presenta rispetto agli altri indicatori¹⁷, genera liste di priorità che sono valide allorché le iniziative da ordinare mutuamente si escludono¹⁸. Il che è vero quando si devono confrontare differenti alternative tecniche dello stesso progetto; non vale quando il confronto è operato –come avviene nel presente lavoro– tra progetti diversi da realizzare nello stesso ambito territoriale o nel medesimo settore economico, ovvero quando il programma di investimento promuove iniziative “integrate”. A maggior ragione poi non vale nel caso in cui il confronto avviene sotto il vincolo di una disponibilità finanziaria che lega gli interventi tra loro.

In terzo luogo, non è detto che col finanziare i progetti nella successione definita con l'indicatore prescelto fino all'esaurimento delle risorse disponibili, venga a determinarsi la massimizzazione degli obiettivi del decisore. Combinazioni di progetti diverse da quella individuata dalla lista di priorità, pur rispettando il vincolo del *budget*, potrebbero raggiungere gli obiettivi programmatici in misura maggiore. Un esempio può aiutare a chiarire questa affermazione.

Siano A, B, C, D ed E le cinque iniziative progettuali che soddisfano i requisiti per poter partecipare ad un certo programma di investimento. Ciascuna si configura come tecnicamente ed economicamente unitaria e perciò non può essere frazionata. Le risorse del programma di investimento ammontano a 450.000 euro e l'obiettivo è di massimizzare il beneficio netto sociale.

¹⁶ Florio *et al.* (2003) a loro volta sottolineano che “un progetto è una serie economicamente *indivisibile* di compiti connessi ad una funzione tecnica specifica e con obiettivi identificabili” (p. 11).

¹⁷ Sul punto si rimanda ai seguenti contributi: Graziani 1969; Del Monte 1975; Aiello 1979; Nuti 1987; Pennisi 1991; Thuesen e Fabrycky 1994.

¹⁸ Due progetti si escludono mutuamente se la realizzazione dell'uno non genera ricadute di alcun tipo sulla realizzazione dell'altro (Thuesen e Fabrycky 1994, pp. 245 ss.).

Se gli effetti dei progetti sono tutti esprimibili in termini monetari, la valutazione delle iniziative può essere svolta con l'analisi costi-benefici. I costi finanziari di investimento e il VAN economico¹⁹ dei cinque progetti sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – Costo di investimento e VAN economico dei progetti.

Progetto	Costo (euro)	VAN (euro)
A	100.000	450.000
B	425.000	700.000
C	175.000	550.000
D	50.000	75.000
E	125.000	250.000

La lista di priorità dei progetti costruita sulla base del VAN presenta il seguente ordine delle iniziative: B, C, A, E e D. In termini di VAN, il progetto B è il migliore, con 700.000 euro di benefici economici netti. Seguono il progetto C, con 550.000 euro, il progetto A, con 450.000 euro, il progetto E, con 250.000 euro e, in ultimo, il progetto D con un VAN di 75.000 euro.

Secondo la lista di priorità dovrebbe essere finanziato il progetto B, che esprime il VAN più elevato. L'attuazione di questo progetto è destinata, da sola, ad esaurire l'intera disponibilità –450.000 euro– delle risorse stanziare per il programma di investimento. Resterebbero inutilizzati 25.000 euro, da restituire all'ente finanziatore in quanto insufficienti a finanziare altri progetti.

A fronte di questo risultato, la combinazione dei progetti A, C, D ed E, che nel caso specifico non sarebbero finanziati se fosse applicato il criterio di selezione basato sul VAN, oltre che *efficace* si rivela *efficiente*. In effetti, questa combinazione consegue l'obiettivo di massimizzare il benessere economico della collettività in misura maggiore di quanto deriverebbe dalla realizzazione della sola iniziativa B e, nel contempo, utilizza tutte le risorse del programma. È facile constatare che il VAN della combinazione dei progetti A, C, D ed E –corrispondente alla somma dei VAN dei singoli interventi– è di 1.325.000 euro, quasi il doppio del VAN del progetto B (700.000 euro). Per altro verso, il costo della combinazione di progetti A, C, D ed E ammonta a 450.000 euro, esattamente pari all'importo delle risorse stanziare per il programma, sicché tutte le risorse sono impegnate.

L'esempio esposto è stato pensato in modo da dedurre immediatamente la combinazione di progetti alternativa alla lista di priorità, combinazione che fosse allo stesso tempo efficace ed efficiente. Ma questa conclusione nella pratica non è

¹⁹ Circa la differenza tra VAN economico e VAN finanziario si veda il contributo di Morano e Nesticò (2002).

mai scontata. Fino a quando i progetti sono, al più, sette o otto si può: a) definire "empiricamente" tutte le possibili combinazioni, b) selezionare –tra esse– quelle che rispettano il vincolo del bilancio, c) individuare la combinazione che persegue al meglio gli obiettivi del programma²⁰.

Il gioco si complica con l'aumentare del numero delle iniziative progettuali, cosa che nel concreto rappresenta la normalità. I progetti presentati al finanziamento possono infatti essere centinaia e talora migliaia. Il numero delle combinazioni da generare e da valutare è dato allora dalla relazione:

$$A = 2^k$$

nella quale:

- A sono le combinazioni;
- il 2 indica le eventualità, tra loro incompatibili, che la generica alternativa venga *accettata o respinta*;
- k è il numero dei progetti presentati al finanziamento che soddisfano i requisiti per la partecipazione alla gara.

Un semplice calcolo può mostrare che già per 11 progetti le combinazioni da vagliare diventano 2.048. E va altresì considerato che la selezione dei progetti è compiuta *almeno* per le due condizioni innanzi richiamate, relative: 1) all'ammontare del *budget* stanziato per il programma, il quale non può essere sforato; 2) all'unitarietà delle singole iniziative, le quali si configurano come opzioni non frazionabili. Altri vincoli si sommano nelle situazioni reali, connessi alle scelte progettuali, al contesto socio-economico o alle finalità del decisore, al fatto che gli effetti dei progetti non sono esprimibili con la stessa unità di misura e che gli obiettivi spesso sono tra loro in conflitto. Conseguenza, ovviamente, l'amplificazione della complessità del processo valutativo.

3. Scopo del lavoro

Da quanto già esposto appare scontato che la selezione delle iniziative destinate a far parte di un programma di investimento avviene in un ambiente caratterizzato da una notevole numerosità di progetti presentati al finanziamento, da variabili molteplici e interrelate, da vincoli che limitano il dominio di ammissibilità delle soluzioni, da regole decisionali che cambiano in rapporto alla tecnica di valutazione da impiegare.

È in un ambiente così fatto che va inquadrato il presente lavoro, svolto per costruire e testare un modello per la definizione dei programmi di investimento, da adoperare nei casi particolarmente complessi.

²⁰ In proposito si vedano Thuesen e Fabrycky 1994, pp. 247-252.

Il modello dovrà permettere l'esercizio di talune funzioni:

- isolare il "portafoglio" di iniziative, capace di pervenire nel modo migliore agli obiettivi del programma, nel rispetto delle risorse disponibili e degli altri vincoli;
- produrre un *pool* di informazioni, sul quale si possano compiere valutazioni razionali e consapevoli;
- migliorare la coerenza e la trasparenza delle scelte, con la traduzione dei vincoli e degli obiettivi del programma in relazioni matematiche di immediata comprensione;
- modificare agevolmente le relazioni che costituiscono i vincoli del modello, in modo da renderle rispondenti al contesto tecnico, politico ed economico.

Il modello dovrà inoltre essere implementabile tanto sui risultati dell'analisi economico-finanziaria dei progetti presentati al programma di investimento quanto su quelli della valutazione multicriterio.

Nel seguito del lavoro sono dati brevi cenni sulla ricerca operativa e sull'algoritmo di programmazione matematica discreta che viene impiegato per la selezione dei progetti. Sono schematizzate le fasi della costruzione del modello che, in ultimo, è sperimentato mediante scelta simulata tra progetti, basata sia sull'analisi economico-finanziaria che sulla valutazione multicriterio.

4. La ricerca operativa

Alla risoluzione del problema delineato vengono applicati i principi e gli algoritmi della ricerca operativa²¹, una metodologia che trova frequente impiego nel campo della valutazione dei progetti e che tra l'altro è stata adoperata: per la definizione di strumenti a supporto dell'attività dei Nuclei di valutazione degli investimenti (Esposito e Rostirolla 1989; 1992; 1993; Rostirolla 1998; Di Maio e Rostirolla 2003), per la localizzazione di infrastrutture lineari in aree ad insediamento diffuso (Rosato 1998), per la determinazione dell'indice di edificabilità perequativo sul quale verificare le convenienze degli operatori coinvolti negli interventi di trasformazione urbana (Morano 1999), per l'individuazione del progetto migliore nella riqualificazione di un complesso edilizio (De Mare e Manganelli 2002). Molte sono le applicazioni della ricerca operativa anche nei settori dell'industria, del traffico, dell'agricoltura, della pianificazione urbana, dei trasporti, delle telecomunicazioni, della finanza aziendale, dell'energia e del *project management*²². La varietà dei temi affrontati testimonia la considerevole flessibilità e l'efficienza di tale metodologia.

Il generico problema di ricerca operativa può essere ricondotto alla determinazione dell'ottimo impiego di risorse scarse utilizzabili in usi alternativi. Il problema può presentare:

²¹ Sul tema si vedano: Fischetti 1999; Sassano 1999; Maffioli 2000; Walker 2001; Baldacci e Dell'Amico 2002; Sforza 2002.

²² Si rimanda ai seguenti contributi: Beneke e Winterboer 1973; Roberts 1976; Davis, Moder e Phillips 1983; Steuer 1986; Bernetti 1990; Mattia e Gabba 1992; Dallochio 1995; Olson 1996; Kerzner 1998; Pezzella e Fagioli 1999; Ghiani e Musmanno 2000. Facchinei e Mannino 2004.

spettare, i vincoli saranno solo finanziari, altrimenti vi saranno anche vincoli di natura fisica, tecnica, ambientale, giuridica, procedurale, ecc.²³;

- gli n oggetti per riempire lo zaino corrispondono ai progetti presentati al finanziamento e da sottoporre a selezione;
- il valore v_i dell' i -esimo oggetto è la capacità del generico progetto di perseguire gli obiettivi del programma, misurata nei termini dei criteri di valutazione adottati;
- il volume w_i dell' i -esimo oggetto equivale al costo di investimento del progetto che gli corrisponde o, più in generale, all'insieme delle condizioni che ne circoscrivono la fattibilità in funzione dei vincoli esistenti;
- la massimizzazione del valore del contenuto dello zaino ha il suo parallelo negli obiettivi posti a traguardo del programma di investimento.

Come per il caso dello zaino, la combinazione dei progetti da finanziare può essere identificata ricorrendo agli strumenti della programmazione matematica. In particolare, poiché il generico progetto non può essere frazionato, va fatto ricorso agli algoritmi della *programmazione lineare discreta*²⁴. L'algoritmo utilizzato nel presente lavoro è il *branch and bound*²⁵, il quale opera per esplorazione *parziale* delle soluzioni ammissibili. Preso atto che, all'aumentare del numero dei progetti, le combinazioni da vagliare diventano talmente numerose da non rendere praticabile l'enumerazione *totale* delle soluzioni²⁶, il *branch and bound* scompone il dominio

²³ In termini generali e rispetto alla loro natura, i vincoli possono essere classificati in: a) vincoli di tipo fisico, dovuti alla disponibilità limitata delle risorse da impiegare; b) vincoli derivanti dall'esigenza di garantire un raggiungimento minimo di alcuni obiettivi del pianificatore o dei soggetti coinvolti (ad esempio si può trattare di vincoli di minima convenienza finanziaria per l'intervento da realizzare); c) vincoli di progetto derivanti dalla necessità di rispettare leggi di natura tecnica o di altra natura connesse al fenomeno pianificatorio; d) vincoli di tipo normativo-istituzionale o contrattuale, connessi all'esigenza di rispettare norme giuridiche dell'area o del settore in cui il processo si colloca e/o gli accordi tra i soggetti coinvolti. Sul tema si veda: De Benedictis e Cosentino 1979.

²⁴ I problemi di programmazione matematica si possono classificare in problemi di *programmazione lineare*, se la funzione di ritorno e tutte le funzioni che definiscono i vincoli sono lineari, e in problemi di *programmazione non lineare*, se almeno una delle funzioni che definiscono il problema non è lineare. Se poi il problema riguarda una funzione lineare di più variabili, soggetta a vincoli di uguaglianza e disuguaglianza anch'essi lineari, nonché alla restrizione che una o più variabili possano assumere soltanto valori interi, si parla di *programmazione lineare discreta* o *intera*.

²⁵ Il metodo è detto di *branch and bound* in quanto si basa su un meccanismo di partizione e ramificazione (*branch*) degli insiemi di soluzioni, e di calcolo di un valore limite (*bound*) della funzione di ritorno (Sforza 2002, pp. 236-237). Per approfondimenti sul *branch and bound* si rimanda ai contributi di Parker e Rardin (1988), Martello e Toth (1990), Wolsey (1998).

²⁶ L'approccio per *enumerazione totale* presuppone la possibilità di: 1) determinare tutte le possibili combinazioni dei progetti; 2) controllare l'ammissibilità di ciascuna combinazione e calcolare il corrispondente valore della funzione di ritorno; 3) scegliere la soluzione ottimale. Secondo Schoen (2002, pp. 2-3), con semplici calcoli si può verificare che, pur disponendo di un computer in grado di esaminare in 1 secondo le combinazioni generate da 20 progetti (e cioè $2^{20} = 1.048.576$ combinazioni), già per 50 progetti il tempo di elaborazione diventerebbe di ben 34 anni! Ne viene che, per quanto percorribile a livello teorico, l'enumerazione totale è di fatto impraticabile.

delle soluzioni in sottoinsiemi la cui intersezione è nulla e la cui unione coincide con l'insieme di partenza. La combinazione migliore viene cercata nei sottoinsiemi con una metodologia che punta a verificare se la partizione in esame va ulteriormente suddivisa o può essere esclusa da nuove analisi.

In questa ricerca l'algoritmo di *branch and bound* è implementato col programma *Xpress*²⁷. Si tratta di un *software* che consente di impostare e risolvere i modelli di programmazione matematica in maniera interattiva, attraverso un'interfaccia che "dialoga" con l'utente.

Applicato alla selezione dei progetti, *Xpress* fornisce in *output*:

- la combinazione di progetti *ottimale* rispetto ai vincoli e agli obiettivi del programma d'investimento²⁸;
- la lista di priorità delle combinazioni dei progetti, costruita sulla base del valore assunto della funzione di ritorno del modello;
- l'albero di *branch and bound*, che traduce graficamente la procedura di partizione e analisi seguita dall'algoritmo per la ricerca della combinazione ottimale.

5. Schema metodologico

L'uso del modello passa per tre momenti che possono essere brevemente così descritti:

- 1) raccolta dei dati e identificazione delle variabili decisionali del problema;
- 2) costruzione dello schema matematico del modello attraverso la traduzione dei vincoli e delle finalità del programma di investimento in relazioni algebriche;
- 3) implementazione del modello per mezzo del *software Xpress*, esame delle soluzioni prodotte e scelta della combinazione di progetti da finanziare.

6. Un'applicazione del modello

L'utilizzabilità pratica del modello che si propone viene ora testata attraverso la scelta simulata del gruppo di progetti che formeranno il programma di investimento, articolata in due fasi.

²⁷ Alcune applicazioni del *software Xpress* sono riportate in: Gueret, Prins e Sevaux 2000; Heipcke 2002. La versione demo di *Xpress* può essere scaricata gratuitamente dal sito <http://www.dashoptimization.com>. Altri software per l'implementazione del *branch and bound* sono il *Cplex* e il *SoPlex*, scaricabili rispettivamente dai siti internet <http://www.ilog.com> e <http://soplex.zib.de>.

²⁸ È opportuno rimarcare che l'ottimalità di una soluzione non va giudicata in termini assoluti, ma in rapporto al sistema di obiettivi e di vincoli vigente e alla loro capacità di riprodurre la situazione reale. In tal senso Piccari e Santori (1995) scrivono a p. 9 che per quanto riguarda la selezione dei progetti d'investimento in ambito aziendale "non esistono a priori progetti in assoluto ottimali, in quanto la convenienza stessa è funzione del contesto e soprattutto degli obiettivi dell'impresa, per cui si sceglie l'investimento che s'inserisce meglio nella strategia che l'azienda intende perseguire con le migliori prospettive di reddito e di contribuzione alla crescita aziendale".

Nella *prima fase*, la composizione ottima del programma è determinata implementando il modello sui dati dell'analisi costi-benefici che in genere accompagna le iniziative presentate al finanziamento²⁹.

La *seconda fase* è basata sull'ipotesi che la combinazione di progetti aggregata nella prima fase non sia più coerente col quadro socio-politico di riferimento, a causa di alcuni mutamenti che richiedono l'allargamento della valutazione anche ad aspetti occupazionali, sociali e ambientali. Questa volta il modello è implementato sui risultati dell'analisi multicriterio dei progetti, ottenendo così la combinazione ottimale rispetto al nuovo stato di cose.

In effetti il modello prevede ed attua la simulazione reiterata sullo stesso insieme di progetti del quale, però, il *database* informativo cambia in relazione alla tecnica di valutazione impiegata. Resta fermo che ciascuna delle due fasi costituisce una componente autonoma e che, nei casi reali, in ognuna di esse può trovare completamente l'intera procedura.

6.1 *Prima fase: definizione della composizione del programma di investimento sui dati dell'analisi economico-finanziaria dei progetti*

Siano 18 le proposte di intervento ammesse a concorrere ad un programma di investimento da realizzare in una certa area geografica. Ciascun progetto è corredato dall'analisi costi-benefici e forma un'iniziativa che non può essere frazionata. Il programma persegue l'obiettivo di massimizzare il beneficio netto sociale, prevede la copertura in conto capitale e a fondo perduto del 100% del costo di investimento dei progetti che saranno selezionati e dispone di una dotazione finanziaria di 850 milioni di euro.

I dati per la costruzione del modello sono riassumibili nel *budget* del programma, nel costo finanziario di investimento (cfr. Florio *et al.* 2003, p. 11) e nel VAN economico di ogni progetto (Tabella 2).

È facile osservare che non tutti i progetti saranno finanziati, dato che la somma dei costi di investimento ammonta a 2.331 milioni di euro, a fronte degli 850 milioni di euro che formano il *budget* del programma.

²⁹ L'art. 26 del regolamento 1260/99 dei Fondi Strutturali stabilisce che le richieste di cofinanziamento devono essere corredate da un'analisi costi-benefici, da un'analisi del rischio e da una valutazione di impatto ambientale. Similmente, il regolamento 1164/94 per il Fondo di Coesione e il regolamento 1267/99 per gli Strumenti di pre-adesione ISPA, indicano tra le informazioni minime per garantire la qualità della valutazione: un'analisi costi-benefici, che per i progetti ambientali deve essere integrata da altre tecniche di valutazione come l'analisi multicriterio, un'analisi del rischio e una dettagliata descrizione delle alternative di intervento rifiutate. Informazioni ulteriori che devono accompagnare la richiesta di finanziamento al Fondo di Coesione sono: una valutazione degli impatti diretti e indiretti sull'occupazione; un'indicazione del contributo che il progetto è destinato a dare alle politiche europee legate all'ambiente e alla rete di trasporti trans-europea; un piano di finanziamento, compreso gli elementi sulla validità del progetto in termini economici (Florio *et al.* 2003, pp. 13-14).

Tabella 2 – Costo finanziario di investimento e VAN economico dei progetti presentati al finanziamento.

Progetto	Costo (mil. di euro)	VAN (mil. di euro)
1	115	30
2	95	38
3	150	61
4	200	75
5	175	42
6	65	20
7	80	18
8	160	70
9	75	20
10	145	51
11	190	78
12	125	40
13	195	65
14	205	33
15	188	80
16	70	38
17	57	25
18	41	19

Poiché i progetti non sono frazionabili, le variabili decisionali del problema consistono in una variabile binaria x_i da associare a ciascun progetto ($i=1, 2, \dots, 18$). Tale variabile assume il valore 1 se il progetto è compreso tra quelli da finanziare e il valore 0 se è escluso dal finanziamento.

L'unico vincolo che interviene è di tipo finanziario e impone che la somma dei costi di investimento destinati a comporre il programma non deve superare la dotazione finanziaria disponibile. In forma sintetica ciò equivale a:

$$\sum_i C_i \cdot x_i \leq 850.$$

Sostituendo ai simboli gli importi dei costi di investimento della tabella 2 si ha:

$$115 \cdot x_1 + 95 \cdot x_2 + 150 \cdot x_3 + 200 \cdot x_4 + 175 \cdot x_5 + 65 \cdot x_6 + 80 \cdot x_7 + 160 \cdot x_8 + 75 \cdot x_9 + 145 \cdot x_{10} + 190 \cdot x_{11} + 125 \cdot x_{12} + 195 \cdot x_{13} + 205 \cdot x_{14} + 188 \cdot x_{15} + 70 \cdot x_{16} + 57 \cdot x_{17} + 41 \cdot x_{18} \leq 850.$$

La funzione di ritorno del modello traduce matematicamente l'obiettivo della massimizzazione del beneficio netto sociale generato dal programma di investimento e può essere sinteticamente formalizzata come segue:

$$\max (\sum_i \text{VAN}_i \cdot x_i).$$

Con i valori dei VAN economici della tabella 2 tale funzione diventa:

$$\max (30 \cdot x_1 + 38 \cdot x_2 + 61 \cdot x_3 + 75 \cdot x_4 + 42 \cdot x_5 + 20 \cdot x_6 + 18 \cdot x_7 + 70 \cdot x_8 + 20 \cdot x_9 + 51 \cdot x_{10} + 78 \cdot x_{11} + 40 \cdot x_{12} + 65 \cdot x_{13} + 33 \cdot x_{14} + 80 \cdot x_{15} + 38 \cdot x_{16} + 25 \cdot x_{17} + 19 \cdot x_{18})$$

Pertanto, lo schema matematico di determinazione della composizione ottimale del programma di investimento assume la forma generale:

$$\begin{cases} \max (30 \cdot x_1 + 38 \cdot x_2 + 61 \cdot x_3 + 75 \cdot x_4 + 42 \cdot x_5 + 20 \cdot x_6 + 18 \cdot x_7 + 70 \cdot x_8 + 20 \cdot x_9 + 51 \cdot x_{10} + 78 \cdot x_{11} + 40 \cdot x_{12} + 65 \cdot x_{13} + 33 \cdot x_{14} + 80 \cdot x_{15} + 38 \cdot x_{16} + 25 \cdot x_{17} + 19 \cdot x_{18}), \\ 115 \cdot x_1 + 95 \cdot x_2 + 150 \cdot x_3 + 200 \cdot x_4 + 175 \cdot x_5 + 65 \cdot x_6 + 80 \cdot x_7 + 160 \cdot x_8 + 75 \cdot x_9 + 145 \cdot x_{10} + 190 \cdot x_{11} + 125 \cdot x_{12} + 195 \cdot x_{13} + 205 \cdot x_{14} + 188 \cdot x_{15} + 70 \cdot x_{16} + 57 \cdot x_{17} + 41 \cdot x_{18} \leq 850, \\ x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, 18. \end{cases}$$

Del modello ovviamente fa parte integrante la matrice dei dati riportata in Tabella 2.

Il modello, a questo punto, va implementato con la scrittura di un *codice* di calcolo eseguibile dal programma *Xpress* e vanno esaminati i risultati. Il codice definito per il caso in esame è riportato in Appendice A.

In tabella 3 è esposto lo stralcio della lista di priorità prodotta con *Xpress* ristretto alle prime dieci combinazioni di progetti. Per ciascuna combinazione sono indicati il valore della funzione di ritorno (cioè il VAN economico totale della combinazione, pari alla somma dei VAN dei singoli progetti) e l'importo dei costi di investimento dei progetti che la compongono.

La lista è stata interrotta in corrispondenza di un valore della funzione di ritorno di 351 milioni di euro. In altre parole, al *software* è stato "chiesto" di generare le sole combinazioni di progetti la cui funzione di ritorno assume valore uguale o maggiore del valore "soglia", e non l'intero insieme delle combinazioni ammissibili, costituito da $A = 2^{18} = 262.144$ combinazioni.

Tabella 3 – Stralcio delle prime dieci combinazioni di progetti della lista di priorità generata col modello.

Combinazioni di progetti	$\Sigma_i \text{VAN}_i$ (mil. di euro)	$\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)
4 - 8 - 11 - 15 - 16 - 18	360	849
2 - 3 - 8 - 10 - 15 - 16 - 18	357	849
2 - 8 - 10 - 11 - 15 - 16	355	848
2 - 4 - 11 - 15 - 16 - 17 - 18	353	841
2 - 3 - 8 - 12 - 15 - 16 - 17	352	845
3 - 10 - 11 - 15 - 16 - 17 - 18	352	841
2 - 3 - 8 - 11 - 15 - 17	352	840
3 - 8 - 11 - 15 - 16 - 17	352	815
3 - 4 - 11 - 15 - 16 - 18	351	839
2 - 3 - 6 - 8 - 15 - 16 - 17 - 18	351	826

Al primo posto della lista si trova la combinazione ottimale, formata dai progetti 4 - 8 - 11- 15 - 16 - 18. Ad essa compete un beneficio netto sociale di 360 milioni di euro e un costo complessivo di 849 milioni di euro. Seguono le altre combinazioni di progetti, elencate secondo l'ordine decrescente della funzione di ritorno.

Per confrontare i risultati prodotti dal modello con quelli delle procedure "canoniche" richiamate nel paragrafo 2 di questo lavoro, i 18 progetti presentati al finanziamento vengono ordinati, nella tabella 4, in base al corrispondente VAN economico.

Dalla tabella 4 si deduce che l'insieme dei progetti 15 - 11 - 4 - 8, che sarebbero finanziati se la lista fosse costruita in base al VAN, è diverso dalla combinazione 4 - 8 - 11 - 15 - 16 - 18 ottenuta col modello che viene proposto.

Tabella 4 – Lista di priorità dei progetti in base al VAN economico.

Progetto	VAN (mil. di euro)	Costo (mil. di euro)
15	80	188
11	78	190
4	75	200
8	70	160
13	65	195
3	61	150
10	51	145
5	42	175
12	40	125
2	38	95
16	38	70
14	33	205
1	30	115
17	25	57
6	20	65
9	20	75
18	17	41
7	18	80

Il confronto tra i "portafogli" dei due insiemi è svolto nella tabella 5, dove la diversa efficacia delle procedure che li hanno generati è rimarcata dall'ammontare del VAN economico totale e dalla misura dei fondi che rimangono inutilizzati.

A differenza delle procedure correnti, che porterebbero ad un VAN economico totale di 303 milioni di euro, la combinazione prodotta dal modello di programmazione discreta fornisce un VAN complessivo di 360 milioni di euro e, per di più, impegna praticamente per intero le risorse del programma di investimento essendo il residuo solo 1 milione di euro. Nel caso delle procedure correnti la com-

posizione comporta invece un residuo di 112 milioni di euro, destinati ad essere restituiti all'ente finanziatore.

Tabella 5 – Quadro sinottico dei dati delle combinazioni dei progetti generate col modello e con le procedure correnti di selezione dei progetti.

Combinazione di progetti	$\Sigma_i VAN_i$ (mil. di euro)	$\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)	Budget - $\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)
4 - 8 - 11- 15 - 16 - 18	360	849	1
15 - 11 - 4 - 8	303	738	112

6.2 Seconda fase: definizione della composizione del programma di investimento sui dati dell'analisi multicriterio dei progetti

L'ottima combinazione definita nella prima fase è stata identificata sui risultati dell'analisi costi-benefici dei progetti presentati al finanziamento. In molti casi, però, la selezione delle iniziative deve tenere conto di una pluralità di obiettivi derivanti da istanze di natura diversa –economica, sociale, ambientale– che non possono essere espresse in termini monetari. Ne deriva che il modello deve essere sviluppato sull'analisi multicriterio degli interventi.

È quanto viene fatto in questa seconda fase della simulazione, in cui si ipotizza che la combinazione di progetti definita nella prima fase non sia più coerente col quadro sociale, economico ed istituzionale all'interno del quale i decisori dovranno compiere le proprie scelte, così che la valutazione dei progetti presentati a finanziamento è allargata ad altri obiettivi.

Esattamente, rispetto alla prima fase, che prevede la sola massimizzazione del beneficio sociale netto, in questa fase si aggiungono gli obiettivi:

- massimizzazione dei nuovi posti di lavoro generati dai progetti,
- minimizzazione dell'impatto ambientale delle opere da realizzare,
- massimizzazione del grado di integrazione tra i progetti che verranno finanziati e quelli già attuati nell'area di intervento.

La capacità di ciascun progetto di raggiungere gli obiettivi menzionati è specificata attraverso i criteri del valore attuale netto economico (VAN), del numero dei nuovi occupati (NOCC), dell'impatto ambientale (IMPA) e del grado di integrazione tra le iniziative (GINT). Le valutazioni relative agli ultimi due indici sono espresse con i punteggi 1, 3, 5, 7 e 9 della scala ordinale di Saaty (1980; 1994), che corrispondono al perseguimento degli obiettivi *molto basso*, *basso*, *medio*, *alto* o *molto alto*.

In Tabella 6 è riportata la matrice ottenuta dall'applicazione dell'analisi multicriteriale per i 18 progetti.

La condizione che i progetti non sono frazionabili comporta, anche in questa fase, l'associazione –a ciascuno di essi– di una variabile decisionale binaria x_i ($i=1,$

2,...18) che assume il valore 1 se il progetto è compreso tra gli interventi da finanziare e il valore 0 se è escluso dal finanziamento.

Tabella 6 – Matrice dell'analisi multicriteriale dei progetti presentati al finanziamento.

Progetto	VAN (mil. di euro)	NOCC	IMPA	GINT
1	30	15	5	5
2	38	10	7	3
3	61	10	5	7
4	75	45	3	1
5	42	20	1	5
6	20	10	7	3
7	18	8	9	9
8	70	22	5	3
9	20	12	7	7
10	51	11	1	5
11	78	20	3	1
12	40	19	3	9
13	65	13	3	3
14	33	15	9	5
15	80	17	5	7
16	38	5	7	9
17	25	8	5	3
18	17	7	9	3

Anche in questa fase l'unico vincolo del modello riguarda la disponibilità finanziaria del programma, che non può essere superata dalla somma dei costi di investimento dei progetti. In termini matematici tal vincolo non cambia rispetto alla prima fase:

$$115 \cdot x_1 + 95 \cdot x_2 + 150 \cdot x_3 + 200 \cdot x_4 + 175 \cdot x_5 + 65 \cdot x_6 + 80 \cdot x_7 + 160 \cdot x_8 + 75 \cdot x_9 + 145 \cdot x_{10} + 190 \cdot x_{11} + 125 \cdot x_{12} + 195 \cdot x_{13} + 205 \cdot x_{14} + 188 \cdot x_{15} + 70 \cdot x_{16} + 57 \cdot x_{17} + 41 \cdot x_{18} \leq 850.$$

Cambia invece la funzione di ritorno del modello, in quanto deve esprimere matematicamente la contemporanea massimizzazione degli obiettivi perseguiti col programma di investimento. In breve, la funzione di ritorno può essere formalizzata come segue:

$$\max [\sum_i (\text{VAN}_i + \text{NOCC}_i + \text{IMPA}_i + \text{INT}_i) \cdot x_i].$$

Sulla funzione di ritorno va detto che, nella simulazione, ai vari obiettivi viene attribuita la medesima importanza. Qualora fossero ad essi accordate preferenze

diverse, i criteri di valutazione dovrebbero essere moltiplicati per il peso del corrispondente obiettivo³⁰.

L'analisi esposta porta a concludere che, nella seconda fase, l'ottima combinazione di progetti può essere individuata col seguente schema di programmazione discreta:

$$\begin{cases} \max [\sum_i (\text{VAN}_i + \text{NOCC}_i + \text{IMPA}_i + \text{INT}_i) \cdot x_i], \\ 115 \cdot x_1 + 95 \cdot x_2 + 150 \cdot x_3 + 200 \cdot x_4 + 175 \cdot x_5 + 65 \cdot x_6 + 80 \cdot x_7 + 160 \cdot x_8 + 75 \cdot x_9 + 145 \cdot x_{10} \\ + 190 \cdot x_{11} + 125 \cdot x_{12} + 195 \cdot x_{13} + 205 \cdot x_{14} + 188 \cdot x_{15} + 70 \cdot x_{16} + 57 \cdot x_{17} + 41 \cdot x_{18} \leq 850, \\ x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, 18. \end{cases}$$

Parte integrante del modello implementato in questa fase è la matrice in tabella 7, nella quale i dati sono "normalizzati" rispetto al valore massimo conseguito con ciascun criterio di valutazione.

Tabella 7 – Matrice dei dati dell'analisi multicriteriale normalizzati.

Progetto	VAN	NOCC	IMPA	GINT
1	38	33	56	56
2	48	22	78	33
3	76	22	56	78
4	94	100	33	11
5	53	44	11	56
6	25	22	78	33
7	23	18	100	100
8	88	49	56	33
9	25	27	78	78
10	64	24	11	56
11	98	44	33	11
12	50	42	33	100
13	81	29	33	33
14	41	33	100	56
15	100	38	56	78
16	48	11	78	100
17	31	18	56	33
18	21	16	100	33

³⁰ In tal caso, i pesi degli obiettivi andrebbero assegnati con la condizione che la somma di tutti i pesi risultasse pari ad 1.

Il codice di calcolo, in questa fase definito per lo sviluppo del modello con *Xpress*, è in Appendice B.

Nella tabella 8 è riportato lo stralcio della lista di priorità prodotta con *Xpress*, ristretto alle prime dieci combinazioni di progetti. Per ogni combinazione sono indicati la misura della funzione di ritorno, ottenuta aggregando con somma aritmetica semplice i punteggi normalizzati di ciascun intervento (tabella 7), e la somma dei costi di investimento dei progetti che la compongono. Al primo posto della lista si trova la combinazione ottimale, formata dai progetti 1 - 2 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18, combinazione che totalizza un valore della funzione di ritorno pari a 1.858 punti e un costo complessivo di 846 milioni di euro.

Tabella 8 - Stralcio delle prime dieci combinazioni di progetti della lista di priorità generata col modello.

Combinazioni di progetti	Funzione di ritorno	$\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)
1 - 2 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18	1.858	846
1 - 3 - 6 - 7 - 9 - 15 - 16 - 17 - 18	1.842	841
2 - 3 - 6 - 7 - 9 - 15 - 16 - 17 - 18	1.840	821
1 - 2 - 3 - 6 - 7 - 9 - 12 - 16 - 18	1.838	816
3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 12 - 16 - 17 - 18	1.838	823
1 - 6 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18	1.835	816
2 - 6 - 7 - 8 - 9 - 15 - 16 - 17 - 18	1.834	831
2 - 6 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18	1.833	196
1 - 2 - 6 - 7 - 8 - 9 - 12 - 16 - 18	1.832	826
1 - 2 - 3 - 7 - 8 - 9 - 16 - 17 - 18	1.819	843

Per confrontare i risultati del modello con quelli generati con le procedure correnti di selezione dei progetti, in tabella 9 è prodotta la lista di priorità costruita sul valore della funzione di ritorno definita col modello. Per ciascun progetto, l'ammontare della funzione di ritorno è ricavato sommando i corrispondenti punteggi normalizzati della tabella 7.

Il confronto tra le combinazioni di progetti ottenute con le due procedure è esposto in tabella 10, dalla quale emerge –ancora una volta– la maggiore efficacia del modello in programmazione discreta. Ai 1.858 punti della funzione di ritorno della combinazione 1 - 2 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18, si contrappone un totale di 1.220 punti della combinazione 15 - 7 - 4 - 16 - 3 ottenibile con le procedure correnti. Nel caso della combinazione selezionata col modello, sono solo 4 i milioni di euro destinati a ritornare all'ente finanziatore, rispetto ai 162 milioni di euro che verrebbero restituiti applicando le procedure correnti.

Tabella 9 – Lista di priorità dei progetti in base al valore della funzione di ritorno del modello.

Progetto	Funzione di ritorno	Costo (mil. di euro)
15	272	188
7	241	80
4	238	200
16	237	70
3	232	150
14	230	205
8	226	160
12	225	125
9	208	75
11	186	190
1	183	115
2	181	95
13	176	195
18	170	41
5	164	175
6	158	65
10	155	145
17	138	57

Fonte: Florio *et al.* (2003), pp. 37-41.

Tabella 10 – Quadro sinottico dei dati delle combinazioni dei progetti generate col modello e con le procedure correnti di selezione dei progetti.

Combinazioni di progetti	Funzione di ritorno	$\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)	Budget - $\Sigma_i C_i$ (mil. di euro)
1 - 2 - 7 - 9 - 12 - 15 - 16 - 17 - 18	1.858	846	4
15 - 7 - 4 - 16 - 3	1.220	688	162

7. Conclusioni

L'allocazione efficace ed efficiente dei mezzi scarsi a disposizione degli investitori, nel contesto vigente di crescente limitatezza delle risorse, è ampiamente avvertita dagli operatori pubblici e privati. Ciò è confermato, da un lato, dai consistenti investimenti che le imprese private hanno fatto negli ultimi anni per sviluppare modelli e algoritmi finalizzati a ottimizzare l'impiego delle risorse³¹ e, dal-

³¹ È quanto risulta dalle statistiche dell'INFORMS, associazione che raggruppa consulenti e studiosi nel settore della ricerca operativa, in Sassano (1999, p. 4).

l'altro, dal proliferare di studi e ricerche per la messa a punto di strumenti a supporto delle decisioni della Pubblica Amministrazione e dell'attività dei suoi Nuclei di valutazione degli investimenti.

È in questo quadro che si colloca il presente lavoro, nel quale è stato delineato e testato un modello per la definizione dei programmi di investimento, da adoperare nei casi particolarmente complessi. Costruito sulla teoria e sugli algoritmi della ricerca operativa, il modello consente di selezionare la combinazione di progetti da finanziare che, al tempo stesso, persegue nella misura massima gli obiettivi del programma e utilizza al meglio i finanziamenti disponibili. Vengono in tal modo ridotti al massimo i fondi marginali, che non possono essere impiegati e che in conseguenza devono ritornare all'ente finanziatore.

Il modello definito fornisce, tra l'altro, la lista di priorità delle combinazioni di progetti che possono essere finanziate nel rispetto dei vincoli del sistema, lista ordinata sulla base del valore assunto –per ogni combinazione– dalla funzione di ritorno.

La sperimentazione del modello è stata condotta attraverso la scelta simulata del gruppo di progetti che formeranno il programma di investimento. I risultati sono positivi. La flessibilità, propria della ricerca operativa, consente di applicare il modello tanto sui dati dell'analisi economico-finanziaria, che in genere accompagna le iniziative presentate al finanziamento, quanto su quelli della valutazione multicriterio, che a sua volta interviene allorché i risultati dell'analisi economico-finanziaria appaiono insufficienti per un esame completo del progetto o quando gli obiettivi da perseguire sono molteplici e conflittuali³². La stessa flessibilità dello strumento considerato fa sì che le relazioni matematiche poste a base dell'algoritmo di calcolo possono essere facilmente adeguate ad eventuali cambiamenti del contesto tecnico, politico ed economico.

Il modello si presta, per sua natura, alla predisposizione dei piani di investimento per conto dell'operatore pubblico o del privato, non comportando –le due situazioni– modifiche significative nella struttura o nelle modalità di implementazione del sistema. Il confronto tra i risultati del modello e quelli delle procedure correnti di selezione dei progetti, ha confermato la robustezza del modello, che in tutti i casi si presenta più efficiente ed efficace.

Tra gli altri aspetti di rilievo va considerata la possibilità, che il modello offre, di calcolare la "distanza" di ciascuna combinazione di progetti della lista di priorità rispetto alla combinazione ottimale, distanza misurata come differenza tra i valori assunti dalla funzione di ritorno in ciascuna coppia di combinazioni. È questa una informazione utile nel caso i decisori scelgano di selezionare i progetti del programma di investimento seguendo motivazioni esclusivamente politico-strategiche. La combinazione ottimale segnalata dal *software* potrebbe essere scartata

³² Secondo Dallochio (1995) il profilo economico-finanziario deve essere necessariamente esaminato prima di realizzare qualsiasi progetto di allocazione delle risorse. Esistono tuttavia molteplici argomentazioni che possono condurre a orientare le decisioni verso direzioni diverse da quelle indicate dalle analisi economiche. Ma tali argomentazioni devono comunque essere supportate da provata efficienza nel raggiungimento dei risultati e da trasparenza del processo decisionale.

a vantaggio di un'altra meno efficace ma compatibile con i vincoli del problema. Allora, la scelta potrà cadere sulla combinazione di progetti che, mentre risponde alle finalità politiche, nel contempo riflette una distanza "ragionevole" dalla combinazione ottimale.

Altro aspetto riguarda la logica di funzionamento del modello, che è quella dell'algoritmo di *branch and bound* sul quale si basa. La selezione dei progetti destinati a comporre il programma di investimento è eseguita testando per primi i progetti che hanno il più elevato rapporto tra la misura della funzione obiettivo e il costo di investimento. La combinazione conseguente è perciò quella formata dai progetti ai quali compete il più elevato "valore specifico" della funzione obiettivo. E questo –dato molto importante– significa anche che, qualora il modello fosse costruito sui dati dell'analisi costi-benefici dei progetti presentati al finanziamento con l'obiettivo di massimizzare il beneficio netto sociale, il limite del VAN di favorire i progetti di "grande dimensione" a scapito di quelli più piccoli verrebbe automaticamente superato.

Altro aspetto da evidenziare è la possibilità di implementare il modello, costruito sui dati dell'analisi multicriterio, rispetto a ciascun obiettivo del programma di investimento anziché –come è stato fatto nella *seconda fase* dell'applicazione sviluppata nel presente lavoro– rispetto alla finalità della contemporanea massimizzazione di tutti gli obiettivi programmatici. In tal modo si hanno tante liste di priorità per quanti sono gli obiettivi del programma di investimento, e viene a costituirsi un quadro completo di informazioni sul quale poter compiere valutazioni razionali e consapevoli.

Logicamente, l'utilità del modello deve pur sempre essere correlata con la sua collocazione in un contesto di *policy-making* che consenta –come per tutte le tecniche di aiuto alle decisioni– di supportare le scelte politiche. In assenza di questo presupposto, qualunque modello per la selezione degli investimenti, anche quello connotato dal maggiore rigore metodologico e dalla maggiore efficacia operativa, diverrebbe un paradigma teorico privo di valenza pratica.

Bibliografia

- Aiello C. (1979). Valutazione economica degli investimenti pubblici. *Rivista di Economia Agraria* 2-3.
- Baldacci R. e Dell'Amico M. (2002). *Fondamenti di Ricerca Operativa*. Padova, Edizioni Libreria Progetto.
- Beneke R.Y. e Winterboer R. (1973). *Linear programming applications to agriculture*. The Iowa State University Press, Ames (Iowa).
- Bernetti I. 1990. L'impiego della programmazione lineare nella pianificazione dell'azienda forestale. *Rivista di Economia Agraria* a. XLV n. 1.
- Dalocchio M. (1995). *Finanza d'azienda. Analisi e valutazioni per le decisioni d'impresa*. Milano, EGEE.
- Davis I.W., Moder J.J. e Phillips C.R. (1983). *Project Management with CPM, PERT and Precedence diagramming*. Van Nostrand Reinhold.
- De Benedictis M. e Cosentino V. (1979). *Economia dell'azienda agraria*. Bologna, Il Mulino.
- De Mare G. e Manganelli B. (2002). *La programmazione lineare per la selezione dei progetti di riqualificazione urbana*. In: *Atti del XXXII Incontro di Studi Ce.S.E.T. Venezia*.

- Del Giudice V. (1999). *I generi di valutazione dei beni culturali e ambientali*. Napoli, CUEN.
- Del Monte F. (1975). *Calcoli di convenienza economica: metodologia e strumenti*. Bologna, CLUE.
- Di Maio A. e Rostirolla P. (2003). *Tecniche e supporti per la selezione dei progetti di investimento*. Progetto Nuval (Formez, Dipartimento della funzione pubblica per l'efficienza delle amministrazioni, Ministero dell'Economia e delle Finanze - Dipartimento per le Politiche di Sviluppo e di Coesione).
- Esposito E. e Rostirolla P. (1989). Un approccio multicriterio alla valutazione di un piano con più decisori. In: *Metodi di valutazione nella pianificazione urbana e territoriale: teoria e casi studio*. Bari, IRIS-CNR.
- Esposito E. e Rostirolla P. (1992). *Allocazione di risorse nel bilancio per programmi con tecniche di programmazione matematica multiobiettivo*.
- Esposito E. e Rostirolla P. (1993). *Problemi decisionale e tecniche di aiuto alla decisione*.
- Facchinei F. e Mannino C. (2004). *Appunti dalle lezioni di Ricerca Operativa*, Università di Roma "La Sapienza".
- Fischetti M. (1999). *Lezioni di Ricerca Operativa*. Padova, Libreria Progetto.
- Florio M. et al. (2003). *Guida all'analisi costi-benefici dei progetti di investimento. Fondi strutturali, Fondo di coesione e ISPA*.
- Formez (1988). *Introduzione all'analisi delle decisioni pubbliche*. Napoli.
- Formez (1993). *I beni culturali. Linee guida di programmazione e valutazione dei progetti*. Napoli.
- Ghiani G. e Musmanno R. (2000). *Modelli e metodi per l'organizzazione dei sistemi logistici*. Bologna, Pitagora.
- Graziani A. (1969). Gli investimenti pubblici: logica o intuizione. *Rivista Nord e Sud* 172.
- Gueret C., Prins C. e Sevaux M. (2000). *Applications of optimization with Xpress-MP*. Paris, Eyrolles.
- Heipcke S. 2002. *Applications of Optimization with XPRESS-MP*. Dash Optimization.
- Hwang C.L. e Yoon K. (1981). *Multi attribute decision making: methods and applications*. Berlin, Springer.
- Kerzner H. (1998). *Project Management: a systems approach to planning scheduling and controlling*. Wiley.
- Maffioli F. (2000). *Elementi di programmazione matematica*. Milano, Ambrosiana.
- Mattia S. e Gabba A. (1992). Il contributo operativo dell'estimo nell'urbanistica concertata. In: *Atti del 1° Simposio Italo-Spagnolo Ce.S.E.T.* Firenze.
- Morano N. e Tocchetti A. (1986). Valutazione economica del nuovo sistema infrastrutturale viario per l'area metropolitana di Napoli. In *Atti del XX Convegno Nazionale Stradale*. Cagliari.
- Morano P. (1999). *Un modello di perequazione urbanistico-estimativo*. Napoli, Graffiti.
- Morano P. e Nesticò A. (2002). Definizione del piano economico-finanziario di un'opera infrastrutturale. In: *Atti del XXXII Incontro di Studi Ce.S.E.T.* Venezia.
- Nijkamp P. e Van Delf A. (1977). *Multi-criteria analysis and regional decision making*. Leiden, Martinus Nijhoff.
- Nuti F. (1987). *L'analisi costi-benefici*. Bologna, il Mulino.
- Olson D.L. (1996). *Multiple Criteria Optimization: theory, computation, and application*, Wiley series in probability and mathematical statistics applied.
- Parker R.G. e Rardin R.L. (1988). *Discrete Optimization*. Academy Press.
- Parmentola N. (1991). *Programmazione e valutazione dei progetti pubblici*. Bologna, il Mulino.
- Pennisi G. (1991). *Tecniche di valutazione degli investimenti pubblici*. Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Pennisi G. e Scandizzo P.L. (2003). *Valutare l'incertezza. L'analisi costi benefici nel XXI secolo*. Torino, Giappichelli.
- Pezzella F. e Fagioli E. (1999). *Ricerca Operativa – Problemi di gestione della produzione*. Bologna, Pitagora.
- Piccari P.L. e Santori U. (1995). *L'analisi finanziaria degli investimenti industriali*. Milano, Il Sole 24 ore Libri.
- Roberts F.S. (1976). *Discrete Mathematical Models with applications to social, biological and environmental problems*. Prentice-Hall.
- Rosato P. (1998). Un modello di analisi multicriteri per la localizzazione di infrastrutture lineari in aree ad insediamento diffuso. *Aestimum* 36.

- Rostirolla P. (1998). *La fattibilità economico-finanziaria. Metodi e applicazioni*. Napoli, Liguori.
- Saaty T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill.
- Saaty T.L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, RWS Publications.
- Sassano A. (1999). *Modelli e algoritmi della Ricerca Operativa*. Milano, FrancoAngeli.
- Schoen F. (2002). *Modelli di programmazione matematica*. Università degli Studi di Firenze.
- Seo F. e Sakawa M. (1996). *Multiple criteria decision analysis in regional planning – Concepts, methods and application*. Reidel.
- Sforza A. (2002), *Modelli e metodi della Ricerca Operativa*. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane.
- Stanghellini S. (a cura di) (2004). *La selezione dei progetti e il controllo dei costi nella riqualificazione urbana e territoriale*. Firenze, Alinea.
- Steuer R.E. (1986). *Multiple Criteria Optimization: theory, computation, and application*. Wiley series in probability and mathematical statistics applied.
- Thuesen G.J. e Fabrycky W.J. (1994). *Economia per ingegneri*. Bologna, Il Mulino-Prentice Hall.
- Walker R.C. (2001). *Introduction to Mathematical Programming*, Prentice Hall.
- Wolsey L.A. (1998). *Integer Programming*, Wiley e Sons.

Appendice A

Codice di calcolo eseguibile con *Xpress* per l'implementazione del modello di selezione dei progetti sui dati dell'analisi costi-benefici.

```
(!*****
Ricerca tutte le soluzioni dello zaino
con valore maggiore di MIN_VALUE
=====
*****!)

model "Knapsack"
uses "mxxprs"

forward procedure elimina_sol
forward procedure print_sol

declarations
  NITEMS = 18
  ITEMS = 1..NITEMS          ! Progetti

  BUDGET = 850                ! Budget disponibile

  MIN_VALUE = 351            ! Valore minimo di una soluzione ammissibile

  VALORE: array(ITEMS) of integer ! Valore dei progetti
  COSTO  : array(ITEMS) of integer ! Costo dei progetti
end-declarations

! initializations from 'dati.dat'
! VALORE (VAN del progetto)
! COSTO di investimento
! end-initializations

! Item:      1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15 16 17 18
VALORE := [ 30, 38, 61, 75, 42, 20, 18, 70, 20, 51, 78, 40, 65, 33, 80, 38, 25, 19]
COSTO  := [115, 95, 150, 200, 175, 65, 80, 160, 75, 145, 190, 125, 195, 205, 188, 70, 57, 41]

declarations
  X : array(ITEMS) of mpvar          !Variabili del problema
end-declarations

! Objective: total value
TotalValue := sum(i in ITEMS) VALORE(i)*X(i)

! Vincolo sul budget disponibile

sum(i in ITEMS) COSTO(i)*X(i) <= 850

forall(i in ITEMS) X(i) is_binary

! Solve the problem
maximize(TotalValue)

value := getobjval

if value >= MIN_VALUE then
  elimina_sol
else
  print_sol
end-if

!-----
```

```

procedure elimina_sol
  n_i := 0
  value := 0
  forall(i in ITEMS) do
    if getsol(X(i)) >= 0.9999 then
      n_i := n_i + 1
      value := value + VALORE(i)
    end-if
  end-do
  if value >= MIN_VALUE then
    ! Print the current solution
    print_sol
    ! elimina soluzione corrente
    sum(i in ITEMS) getsol(X(i))*X(i) <= n_i - 1
    ! Re-solve the problem
    maximize(TotalValue)
    elimina_sol
  end-if
end-procedure

```

!-----

```

! Print the current solution
procedure print_sol
  costo_totale := 0
  writeln
  writeln("Soluzione corrente, valore: ", getobjval)
  forall(i in ITEMS) do
    xtemp := getsol(X(i))
    if xtemp >= 0.5 then
      costo_totale := costo_totale + COSTO(i)
      write(i)
      if i < NITEMS then
        write(" - ")
      end-if
    end-if
  end-do
  writeln
  writeln("costo: ", costo_totale)
end-procedure
end-model

```

Appendice B

Codice di calcolo eseguibile con *Xpress* per l'implementazione del modello di selezione dei progetti sui dati dell'analisi multicriterio

```
(!*****
Ricerca tutte le soluzioni dello zaino
con valore maggiore di MIN_VALUE
=====
*****!)

model "Knapsack"
uses "mxxprs"

forward procedure elimina_sol
forward procedure print_sol

declarations
  NITEMS = 18
  ITEMS = 1..NITEMS          ! Progetti

  BUDGET = 850                ! Budget disponibile

  MIN_VALUE = 1750           ! Valore minimo di una soluzione ammissibile

  VALORE1: array(ITEMS) of integer ! VAN normalizzato dei progetti
  VALORE2: array(ITEMS) of integer ! Numero normalizzato di occupati
  VALORE3: array(ITEMS) of integer ! Impatto ambientale normalizzato dei progetti
  VALORE4: array(ITEMS) of integer ! Grado di integrazione normalizzato tra le iniziative
  COSTO : array(ITEMS) of integer  ! Costo dei progetti
end-declarations

! initializations from 'dati.dat'
! VALORE1 (VAN del progetto)
! VALORE2 (numero di occupati del progetto)
! VALORE3 (impatto ambientale del progetto)
! VALORE4 (grado di integrazione tra le iniziative)
! COSTO di investimento
! end-initializations

! Item:      1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16
17  18
VALORE1 := [ 38, 48, 76, 94, 53, 25, 23, 88, 25, 64, 98, 50, 81, 41, 100, 48, 31,
24]
VALORE2 := [ 33, 22, 22, 100, 44, 22, 18, 49, 27, 24, 44, 42, 29, 33, 38, 11, 18,
16]
VALORE3 := [ 56, 78, 56, 33, 11, 78, 100, 56, 78, 11, 33, 33, 33, 100, 56, 78, 56,
100]
VALORE4 := [ 56, 33, 78, 11, 56, 33, 100, 33, 78, 56, 11, 100, 33, 56, 78, 100, 33,
33]
COSTO := [115, 95, 150, 200, 175, 65, 80, 160, 75, 145, 190, 125, 195, 205, 188, 70, 57, 41]

declarations
  X : array(ITEMS) of mpvar          !Variabili del problema
end-declarations

! Objective: total value
TotalValue := sum(i in ITEMS) (VALORE1(i)+VALORE2(i)+VALORE3(i)+VALORE4(i))*X(i)

! Vincolo sul budget disponibile

sum(i in ITEMS) COSTO(i)*X(i) <= 850
```

```

forall(i in ITEMS) X(i) is_binary

! Solve the problem
maximize(TotalValue)

value := getobjval

if value >= MIN_VALUE then
  elimina_sol
else
  print_sol
end-if

!-----

procedure elimina_sol

  n_i := 0
  value := 0

  forall(i in ITEMS) do
    if getsol(X(i)) >= 0.9999 then
      n_i := n_i + 1
      value := value + (VALORE1(i)+VALORE2(i)+VALORE3(i)+VALORE4(i))
    end-if
  end-do

  if value >= MIN_VALUE then

    ! Print the current solution
    print_sol

    ! elimina soluzione corrente
    sum(i in ITEMS) getsol(X(i))*X(i) <= n_i - 1

    ! Re-solve the problem
    maximize(TotalValue)

    elimina_sol

  end-if
end-procedure

!-----

! Print the current solution
procedure print_sol

  costo_totale := 0

  writeln
  writeln("Soluzione corrente, valore: ", getobjval)

  forall(i in ITEMS) do

    xtemp := getsol(X(i))
    if xtemp >= 0.5 then

      costo_totale := costo_totale + COSTO(i)
      write(i)

      if i < NITEMS then
        write(" - ")
      end-if
    end-if
  end-do

  writeln
  writeln("costo: ", costo_totale)

end-procedure

end-model

```