

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

Real Options Analysis: uno strumento di supporto per i processi decisionali degli investimenti di riqualificazione urbana



Relatore:
Prof. Luigi Buzzacchi

Candidato:
Amedeo Borchini

Dicembre 2019

A Nonna Lella e Zia Franca

ABSTRACT

Lo scopo di questo lavoro è quello di dimostrare i motivi per cui gli investimenti di riqualificazione urbana sono adatti all'utilizzo della Real Options Analysis, ed i motivi per cui richiedono un intervento promotore da parte della pubblica amministrazione.

In Italia ci sono circa nove miliardi di metri quadrati di aree dismesse, di cui il 30% in territorio urbano. Tra le aree dismesse sono compresi anche i cosiddetti "*brownfields*".

Le incertezze e la irreversibilità che contraddistinguono questo tipo di progetti rendono i metodi tradizionali come il Discounted Cash Flows; inadeguati nel fornire una valutazione precisa del progetto. Le maggiori carenze dell'approccio dei DCF risiedono nel non riconoscere sia la natura stocastica dei flussi di cassa e dei costi che caratterizzano questi investimenti, che il valore aggiunto di poter cogliere opportunità favorevoli che si possono verificare nel tempo.

Nonostante siano potenzialmente positivi, gli investimenti di riqualificazione urbana hanno una rischiosità implicita elevata, motivo per il quale gli investitori privati sono restii ad intraprenderli. Ecco che la pubblica amministrazione, dovrebbe farsi promotrice di interventi, oltre che di agevolazione fiscale, amministrativa e di responsabilità legale, volti a coinvolgere più soggetti privati in modo da ripartire i rischi di questi investimenti attraverso delle soluzioni di portafoglio. L'attivismo dell'attore pubblico è indispensabile e cruciale per gli investimenti di riqualificazione urbana poiché ha una prospettiva differente dai soggetti privati: le aree dismesse generano delle esternalità negative sul territorio e sul mercato immobiliare (per esempio sui canoni di locazione e sui prezzi di vendita), e possono rappresentare un pericolo ambientale in caso di presenza di inquinanti. Il recupero e la riqualificazione di queste aree possono generare una serie di conseguenze positive per l'economia ed il benessere locale.

SOMMARIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUZIONE | 1 |
| CAPITOLO 1 – INVESTIMENTI ED OPZIONI REALI..... | 2 |
| 1.1 - I MODELLI DI VALUTAZIONE TRADIZIONALI: IL NET PRESENT VALUE..... | 3 |
| 1.2 - LE OPZIONI | 6 |
| 1.3 - LE OPZIONI REALI..... | 11 |
| 1.3.1 – LE DIFFERENZE TRA OPZIONI REALI E OPZIONI FINANZIARIE | 12 |
| 1.4 - LE TIPOLOGIE DI OPZIONI REALI | 15 |
| 1.4.1 - LE OPZIONI DI DIFFERIMENTO..... | 15 |
| 1.4.2 - LE OPZIONI DI SUDDIVISIONE IN STADI..... | 16 |
| 1.4.3 - LE OPZIONI DI MODIFICA DELLA SCALA OPERATIVA | 17 |
| 1.4.4 - LE OPZIONI DI ABBANDONO..... | 17 |
| 1.4.5 - LE OPZIONI DI SCAMBIO | 18 |
| 1.4.6 - LE OPZIONI DI CRESCITA | 19 |
| 1.4.7 - LE OPZIONI DALLE INTERAZIONI MULTIPLE..... | 19 |
| 1.5 - LA REAL OPTIONS ANALYSIS | 20 |
| CAPITOLO 2 – GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE ALLE OPZIONI REALI..... | 24 |
| 2.1 – I MODELLI DI OPTION PRICING | 24 |
| 2.2 – LE EQUAZIONI PARZIALI DIFFERENZIALI..... | 25 |
| 2.2.1 – IL MODELLO DI BLACK AND SCHOLES | 25 |
| 2.2.2 – DERIVAZIONE MEDIANTE IL PORTAFOGLIO NEUTRALE AL RISCHIO | 27 |
| 2.3 – I MODELLI LATTICE..... | 29 |
| 2.3.1 – IL MODELLO BINOMIALE..... | 29 |
| 2.3.2 – IL MODELLO BINOMIALE MONOPERIODO | 29 |
| 2.3.3 – IL MODELLO BINOMIALE MULTIPERIODO..... | 32 |
| 2.4 - LA SIMULAZIONE MONTE CARLO..... | 34 |
| 2.5 - GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE DELLE OPZIONI REALI..... | 35 |
| 2.5.1 - L'APPROCCIO CLASSICO | 36 |
| 2.5.2 - L'APPROCCIO SOGGETTIVO | 38 |
| 2.5.3 - L'APPROCCIO MAD..... | 40 |
| 2.5.4 - L'APPROCCIO CLASSICO REVISIONATO | 43 |
| 2.5.5 - L'APPROCCIO INTEGRATO..... | 45 |
| 2.5.6 – LA LOGICA FUZZY APPLICATA ALLE OPZIONI REALI..... | 47 |
| CAPITOLO 3 – LE OPZIONI REALI NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA | 50 |
| 3.1 - LE AREE DISMESSE ED I BROWNFIELDS..... | 53 |
| 3.2 - I PRINCIPALI OSTACOLI AGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA | 55 |
| 3.3 - LE RICADUTE POSITIVE DEI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE | 56 |
| 3.4 - LE CARATTERISTICHE DEGLI INVESTIMENTI DI RIGENERAZIONE URBANA E LA PRESENZA DI OPZIONI REALI..... | 57 |
| 3.5 – IL RUOLO DEL SOGGETTO PUBBLICO | 61 |
| 3.6 - ALCUNI ESEMPI DI OPZIONI REALI NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA | 62 |
| CAPITOLO 4 – UN ESEMPIO APPLICATIVO | 64 |
| 4.1 – IL MODELLO | 64 |
| 4.2 - IL CONFRONTO TRA IL VALORE ROA E DCF | 68 |
| 4.2.1 – L'EFFETTO DI UNA VARIAZIONE DEL COSTO DI RIQUALIFICAZIONE | 69 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2 – L'EFFETTO DELLA VARIAZIONE DEI FLUSSI DI CASSA | 70 |
| 4.2.3 – L'EFFETTO DELLA VARIAZIONE DEL TASSO DI SCONTO DEL CAPM | 71 |
| 4.2.4 – L'EFFETTO DELLE VARIAZIONI DELLE INCERTEZZE RELATIVE AI COSTI E AI FLUSSI DI CASSA..... | 72 |
| 4.3– LA SIMULAZIONE..... | 73 |
| 4.4 I LIMITI DELL'ESERCIZIO DI SIMULAZIONE ED ESTENSIONI | 76 |
| CONCLUSIONI | 77 |
| BIBLIOGRAFIA | 78 |

INTRODUZIONE

Lo scopo di questo lavoro è quello di dimostrare i motivi per cui gli investimenti di riqualificazione urbana sono adatti all'utilizzo della Real Options Analysis (ROA), ed i motivi per cui l'attivismo della pubblica amministrazione è indispensabile e cruciale per rendere più appetibile questo tipo di investimenti per gli investitori privati.

Nel capitolo 1 sono descritti i modelli di valutazione degli investimenti tradizionali, le opzioni in generale, le opzioni reali e la Real Options Analysis con le sue differenze rispetto ai metodi di valutazione tradizionali.

Nel capitolo 2 sono invece descritti i principali approcci di valutazione alle opzioni reali; dal momento che si basano sulla teoria di option pricing, sono presentati anche i principali modelli di option pricing.

Il capitolo 3 si concentra invece sulla presenza delle opzioni reali negli investimenti di riqualificazione urbana che hanno come oggetto aree dismesse ed in particolare i cosiddetti brownfields.

Infine nel capitolo finale sono proposti un esempio applicativo, per mostrare l'impatto effettivo dell'utilizzo della ROA per determinare il valore di una proprietà contaminata rispetto all'uso di un modello tradizionale, ed una simulazione, per evidenziare la rapidità con cui la rischiosità di associata ad un investimento di questo tipo si riduce ricorrendo ad una soluzione di portafoglio.

CAPITOLO 1 – INVESTIMENTI ED OPZIONI REALI

In un mercato caratterizzato dal cambiamento, dall'incertezza e dalla competizione, la *Real Options Analysis* nasce per sopperire alle mancanze dei modelli tradizionali, ormai ritenuti inadeguati per una stima corretta del valore degli investimenti. Nel 1984 Myers in "Finance Theory and Financial Strategy" suggerisce che i progetti d'investimento siano osservati da una prospettiva di opzioni reali piuttosto che da quella finanziaria tradizionale del *Discounted Cash Flows*.

Tra le tante decisioni che il management delle aziende deve compiere, una delle più importanti è quella di decidere se effettuare un investimento o meno. Tali investimenti possono riguardare l'acquisto di nuovi macchinari, lo sviluppo di nuovi prodotti, la realizzazione di nuovi edifici o di nuovi impianti produttivi. Effettuare i giusti progetti può portare l'impresa al successo e alla crescita. Al contrario, investire in progetti non profittevoli può condurre le aziende anche al fallimento.

Secondo la teoria delle opzioni reali, l'idea generale è che gli investimenti possono essere considerati come un portafoglio di opzioni da esercitare ora o nel futuro. Per valutare correttamente un investimento, le imprese lo dovrebbero valutare in che modo un'opzione tiene conto delle incertezze future e delle flessibilità manageriali. La flessibilità manageriale è la capacità del management di cambiare rapidamente e in modo poco costoso la sua strategia operativa o il corso di un singolo progetto, in risposta alla risoluzione dell'incertezza del mercato lungo il tempo, così da poter sfruttare al meglio le opportunità favorevoli future o mitigare le perdite (Trigeorgis, 1993).

Dal momento che la flessibilità gioca un ruolo importante nelle decisioni di investimento quotidiane, è necessario riuscire a determinarne il valore economico. Tra i differenti metodi per valutare la flessibilità, il più accattivante e promettente, almeno da un punto di vista teorico, è la *Real Options Analysis* (ROA) o *Real Options Theory* (ROT).

Questi nuovi approcci di valutazione degli investimenti nascono perché i modelli tradizionali soffrono di un problema intrinseco, ovvero non valutano correttamente l'incertezza e la flessibilità che caratterizza molti progetti.

1.1 - I MODELLI DI VALUTAZIONE TRADIZIONALI: IL NET PRESENT VALUE

Secondo le teorie di corporate finance, gli approcci più utilizzati per valutare gli investimenti sono il *Net Present Value* (NPV), il *Payback Period* (PB) e l'*Internal Rate of Return* (IRR).

Si consideri, per esempio, il metodo di valutazione degli investimenti più diffuso, ovvero il *Net present Value* (NPV), indicato da Brealey, Meyers and Allen (2006) come lo strumento migliore a disposizione delle imprese per valutare gli investimenti. Tale metodo utilizza la tecnica dei *Discounted Cash Flows* (DCF) per scontare i flussi di cassa futuri al valore attuale. La somma dei valori attuali di questi flussi di cassa è chiamato NPV.

$$NPV = \sum_{k=0}^N \frac{FCF_k}{(1+i)^k} \quad (1.1)$$

Dove:

- FCF_k : flussi di cassa al tempo k .
- k : scadenze temporali.
- i : tasso di sconto i , solitamente il WACC.
- N : orizzonte temporale dell'investimento.

Il progetto è valutato positivamente o negativamente a seconda che il NPV sia rispettivamente positivo o negativo. Nonostante il NPV sia largamente diffuso ed utilizzato per la facilità di applicazione, presenta alcuni elementi critici.

Un primo elemento di criticità è la staticità del modello. Il NPV assume implicitamente che, in caso di investimento irreversibile, la decisione sia del tipo “now or never” senza avere l'opportunità di posticipare la decisione, mentre in caso di investimento reversibile non vi sia la possibilità di modificarne le caratteristiche iniziali. Ciò presume una gestione passiva delle strategie operative da parte del management dell'impresa.

Un altro elemento di criticità è che si tratta di un modello deterministico: infatti prevede un'unica stima dei flussi di cassa futuri generati dal progetto. Se così fosse, non ci sarebbero fluttuazioni nelle condizioni di mercato che potrebbero portare ad un cambiamento del valore del progetto. Quindi, la flessibilità non avrebbe valore. Infine, il NPV fornisce una stima negativa del rischio: maggiore è il beta del progetto o

dell'impresa, maggiore sarà il costo dell'equity e quindi il costo medio ponderato del capitale.

In realtà, il management delle imprese prende decisioni in un ambiente altamente dinamico e ricco di incertezze, ed è sempre attento nell'apportare cambiamenti alle decisioni quando le circostanze lo richiedono. Gli investimenti possono essere irreversibili, ma quando con il passare del tempo, un'incertezza si risolve grazie all'acquisizione di nuove informazioni, i manager possono effettuare delle correzioni alle strategie e alle decisioni stabilite precedentemente. Pertanto, la gestione dei progetti è tutt'altro che passiva. Stimare correttamente il valore dei flussi di cassa futuri generati dal progetto è tutt'altro che semplice dal momento che tali flussi sono stocastici e di natura rischiosa. Infine, il rischio non è solo "cattivo", ma può rivelare opportunità favorevoli ed essere capitalizzato.

L'elevata volatilità che caratterizza l'ambiente imprenditoriale attuale richiede alle imprese di adattarsi velocemente per continuare ad avere successo: in questo ambiente stocastico, valutare le decisioni in maniera deterministica potrebbe sottostimare grossolanamente il vero valore intrinseco di un progetto.

Il NPV può essere considerato come un caso estremo della Real Options Analysis, dove non c'è incertezza nel progetto. Il Net Present Value si rivela efficace quando i flussi di cassa sono certi (non c'è o vi è pochissima incertezza sul mercato). In caso contrario, proprio per come è costruito, il NPV non fornisce risultati affidabili.

Smit e Trigorgis (2012) cercano di colmare il gap tra gli strumenti di valutazione di corporate finance e di pianificazione strategica. Distinguono il valore di un progetto in due componenti, da valutare attentamente per decidere o meno se investire nel progetto:

- il valore standard, determinato dai metodi tradizionali basati sui Discounted Cash Flows e che non tengono conto del valore della flessibilità a disposizione del management;
- Il valore aggiuntivo, dovuto sia alle opzioni strategiche ed operative che il management ha a disposizione, sia agli effetti della competizione e alle sinergie tra i progetti.

Definiscono "l'Expanded NPV" come:

$$\text{Expanded NPV} = \text{standard NPV} + \text{flexibility value} \quad (1.2)$$

Pertanto, secondo gli autori, le decisioni di investimento dovrebbero essere basate su un criterio di “*Expanded NPV*” che incorpora insieme al Net Present Value dei flussi di cassa ottenuto con i metodi di valutazione tradizionali, il valore della flessibilità dovuta alle opzioni implicite nel progetto.

L’equazione (1.2) è rappresentata graficamente in figura 1.1. Lungo l’asse delle ascisse è rappresentato il valore attuale dei flussi di cassa attesi, mentre l’asse delle ordinate rappresenta il NPV espanso. Il termine I indica il valore attuale del costo da sostenere per effettuare il progetto.

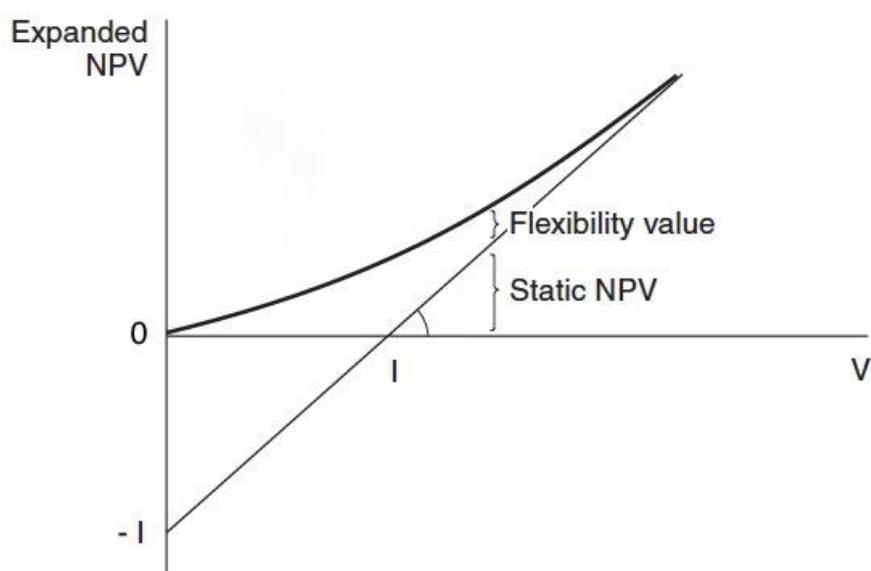


Figura 1.1 - Rappresentazione del NPV espanso e delle sue componenti. (Smit e Trigorgis, 2012, p.12).

Dalla figura 1.1 possono essere tratte anche le seguenti ed interessanti considerazioni. Per i progetti con un NPV positivo ed elevato è probabile che la flessibilità non abbia molta importanza per decidere o meno di iniziare il progetto. Aumenterebbe sì il valore del progetto, ma questo sarebbe comunque intrapreso data la sua alta profittabilità. Per i progetti con un NPV molto negativo è probabile che il valore della flessibilità non riesca a coprire le perdite previste. Per cui anche per questo tipo di investimenti la decisione iniziale di non effettuare il progetto è mantenuta. Il valore della flessibilità acquisisce molta più rilevanza quando il NPV, negativo o positivo che sia, non è molto elevato in

valore assoluto. Ciò ha intuitivamente senso poiché è quando si è insicuri di procedere che la flessibilità acquisisce più valore.

Tenere conto della flessibilità può determinare l'avvio ed il successo di un progetto piuttosto che il suo rifiuto. Quindi è importante tenere conto di questo valore, motivo per cui è stata sviluppata la ROA. Dal momento che la ROA si basa sulla teoria delle opzioni, prima di affrontarne l'argomentazione sono descritti le caratteristiche principali prima delle opzioni in generale e successivamente delle opzioni reali.

1.2 - LE OPZIONI

Le opzioni sono strumenti derivati, ovvero dei valori mobiliari derivati dalla contrattazione dei titoli sottostanti e furono quotate per la prima volta nel mercato ufficiale Chicago Board Options Exchange (CBOE) nel 1973 negli Stati Uniti.

Un'opzione è un particolare tipo di contratto finanziario che conferisce al proprietario il diritto, ma non l'obbligo, di comprare (nel caso di opzioni *call*) o di vendere (nel caso di opzioni *put*) una quantità determinata di un'attività finanziaria o reale sottostante (come titoli azionari e obbligazionari, indici azionari, tassi d'interesse, futures, valute, crediti, materie prime, energia, metalli preziosi, merci ecc..) ad un prezzo determinato, ad una data specifica (opzioni di tipo europeo) o entro una data prestabilita (opzioni di tipo americano).

Grazie all'utilizzo di prodotti derivati come le opzioni l'investitore non è limitato alle sole operazioni di acquisto o vendita di azioni, ma può definire delle strategie che meglio si adattano alla propria posizione sul mercato e alle proprie aspettative.

Di seguito è riportata la terminologia per comprendere le opzioni:

- Lo *strike price* K (o prezzo di esercizio) è il prezzo specificato nel contratto a cui il proprietario dell'opzione, esercitando il diritto incorporato in essa, compra o vende il sottostante, a seconda che si tratti di un'opzione *call* o *put*.
- Lo *spot price* S_t indica il valore corrente del sottostante all'istante t .
- Le opzioni sono caratterizzate da una *maturity* T (data di scadenza), alla quale (o entro la quale per opzioni di tipo americano) possono essere esercitate, pena la scadenza senza valore.

- Un'opzione di *stile americano* è un'opzione che conferisce il diritto di acquistare o vendere il sottostante in ogni momento prima della scadenza. Per un'opzione di *stile europeo* invece tale diritto può essere esercitato solo alla scadenza del contratto.
- Il *premio* di un'opzione (detto anche prezzo o costo di un'opzione) è il prezzo che il compratore paga per acquistare l'opzione. Tale premio non è restituibile, sia che l'opzione sia esercitata o meno.
- Un'opzione put o call si definisce *at-the-money ATM* quando lo strike price è circa pari allo spot price. Un'opzione call (put) si definisce *out-of-the-money OTM* quando lo strike price è maggiore (minore) dello spot price; si definisce *in-the-money ITM* quando lo strike price è minore (maggiore) dello spot price.
- Il valore (o premio) di un contratto d'opzione è composto da due componenti: il valore intrinseco e il valore temporale. Il *valore intrinseco* indica quanto un'opzione è in the money. Per un'opzione call il valore intrinseco è $Max[0, (S_T - K)]$ mentre per un'opzione put è $Max[0, (K - S_T)]$. Il *valore temporale* invece è dato dalla differenza tra il valore dell'opzione e il suo valore intrinseco. Rappresenta quanto un investitore è disposto a pagare, oltre al valore intrinseco, nella speranza che il sottostante si muova a vantaggio della posizione presa. Perciò, il valore temporale diminuisce all'avvicinarsi della scadenza. Il valore delle opzioni ATM o OTM è costituito dalla sola componente temporale poiché il valore intrinseco è prossimo a zero.

L'esercizio di un'opzione è una facoltà possibile solo a chi ha acquisito l'opzione e comporta la trasformazione della posizione in opzioni in una posizione di acquisto o vendita sul mercato sottostante. Pertanto, rispetto ad un'opzione call, se alla data di scadenza lo spot price supera lo strike price, il proprietario eserciterà l'opzione acquistando il sottostante e ricavando la differenza tra lo spot price e lo strike price. Il payoff alla scadenza generato da un'opzione call è $Max[0, (S_T - K)]$, mentre il payoff generato da un'opzione put alla scadenza è $Max[0, (K - S_T)]$.

Le curve più scure delle figure 2.2a e 2.2b rappresentano appunto i payoff (al variare del prezzo del sottostante) alla scadenza delle quattro posizioni base sulle opzioni: *long call*, *long put*, *short call* e *short put*. Le curve tratteggiate invece rappresentano il valore

dell'opzione prima della scadenza, quando le opzioni hanno ancora valore temporale e per questo motivo hanno un payoff maggiore rispetto che alla scadenza.

Se si considera, per esempio, il payoff alla scadenza di una posizione lunga su un'opzione call, si può osservare che mentre le perdite sono limitate al premio dell'opzione, i profitti sono potenzialmente illimitati. La non linearità dei payoff delle opzioni è una caratteristica interessante dal momento che si possono realizzare numerose combinazioni tra opzioni e sottostante a seconda dei rischi e dei profitti che si vogliono ottenere. Le strategie possibili sono davvero numerose, per esempio la *long combo*, la *synthetic long call*, la *bull (put) spread strategy* e la *long (short) strategy*.

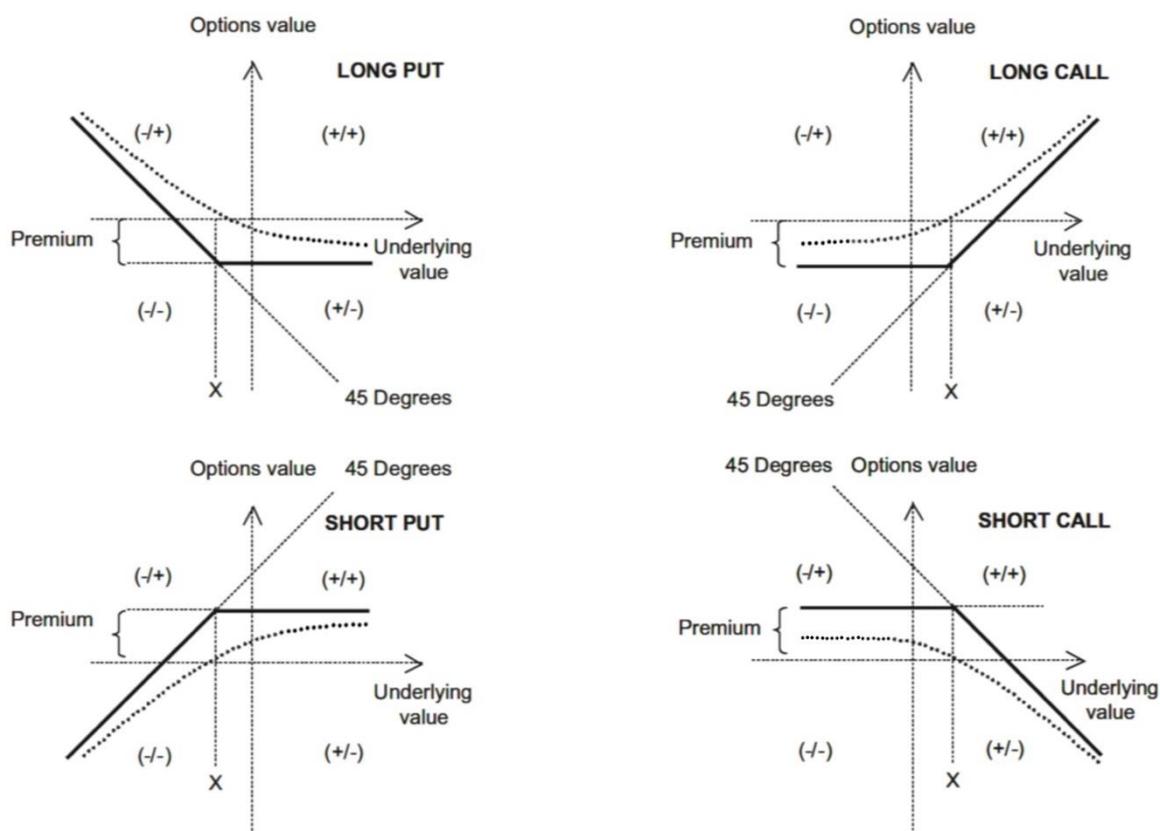


Figura 1.2: Grafici dei payoff delle quattro posizioni base sulle opzioni (Mun, "Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions", 2002, p. 101).

Il valore di un'opzione è determinato da sei fattori quantificabili e da altri fattori non quantificabili. I sei fattori quantificabili presenti in ogni modello di pricing (che saranno descritti nel capitolo 2) sono:

- il prezzo del sottostante (spot price) S : il valore di un'opzione call (put) cresce (diminuisce) all'aumentare del prezzo del sottostante e viceversa.
- Lo strike price K : in caso di opzione call il valore dell'opzione diminuisce all'aumentare del prezzo di esercizio e viceversa. In caso di opzione put il valore dell'opzione aumenta al crescere dello strike price.
- La data di scadenza T : maggiore è il tempo alla scadenza, maggiore è il valore delle opzioni put e call di tipo americano. Ciò perché il proprietario dell'opzione ha maggior tempo di aspettare e vedere (*wait-and-see*) se può trarre profitto da un movimento del prezzo del sottostante. Comunque tale relazione tra tempo e valore non vale per le opzioni di tipo europeo. Dal momento che possono essere esercitate solo alla scadenza, un'opzione con minor tempo alla scadenza è più valutabile rispetto ad una con una scadenza più lontana.
- La volatilità del prezzo del sottostante σ : maggiore è la volatilità, maggiore è il valore delle opzioni put e call. Può sembrare illogico che ad un aumento del rischio corrisponda un aumento del valore, ma le opzioni sono differenti dagli altri titoli. Infatti, come detto prima, il proprietario di un'opzione call ha perdite limitate (pari al premio al massimo) e guadagni potenzialmente illimitati.
- Il tasso d'interesse privo di rischio r : l'effetto di una variazione di r provoca un effetto ambiguo rispetto agli altri effetti discussi finora. Generalmente all'aumentare del tasso di interesse privo di rischio, aumenta il prezzo di un'opzione call e diminuisce il prezzo di un'opzione put. Ciò è valido a parità di condizioni, ovvero non si considera l'effetto che una variazione di r provoca sui prezzi dei titoli. Infatti ad un aumento dei tassi di interesse sul mercato corrisponde una diminuzione dei prezzi dei titoli che provoca a sua volta una diminuzione del valore di un'opzione call.
- I flussi di cassa in entrata e in uscita d : tutti quei pagamenti, in entrata e in uscita, che si conseguirebbero possedendo il sottostante invece della sua posizione sintetica (e.g. l'opzione). Nel caso il sottostante sia un'azione, tali flussi corrispondono ai dividendi che paga periodicamente il titolo. Il pagamento di un dividendo riduce il valore del sottostante per cui il valore di un'opzione call è una funzione decrescente della dimensione dei flussi di cassa in entrata e in uscita, mentre il valore di un'opzione put aumenta al crescere di tali flussi.

La correlazione tra le variabili sopracitate ed il prezzo di un'opzione di tipo europeo (put e call) è riassunta dalla tabella 1.1.

| | Opzione call | Opzione put |
|--------------------------------|--------------|-------------|
| Spot price | + | - |
| Strike price | - | + |
| Volatilità | + | + |
| Tempo alla scadenza | + | + |
| Tassi d'interesse | + | - |
| Pagamenti in entrata ed uscita | - | + |

Tabella 1.1: Correlazioni tra il valore di un'opzione e le variabili che ne determinano il valore.

Oltre agli elementi sopracitati, esistono tuttavia, dei fattori che possono avere molta influenza sul comportamento dei prezzi delle opzioni, ma che sono molto difficili da quantificare (ad esempio: le aspettative sulla performance e sulla volatilità future del sottostante). Tali fattori, benché determinabili, non possono essere inseriti in un modello matematico di valutazione. Il rischio è espresso nella distribuzione di probabilità del payoff. Il payoff stesso che riflette tutti i potenziali rischi del progetto è scontato al tasso risk-free.

Oltre alle opzioni standard descritte sopra e chiamate anche *plain vanilla*, esistono numerose varianti chiamate generalmente *opzioni esotiche*. La categoria delle opzioni esotiche fa riferimento a tutti i contratti di opzione in cui il calcolo del payoff presenta degli elementi di novità rispetto alle opzioni plain vanilla. Questi contratti vengono negoziati nei mercati *Over The Counter* (OTC) proprio a causa della mancanza di standardizzazione degli elementi contrattuali. Questi strumenti presentano caratteristiche di vario tipo che li rendono interessanti per gli investitori. Tra le principali opzioni esotiche si trovano le opzioni composte, le rainbow options, le barrier options, le opzioni asiatiche, le switch options e le opzioni binarie. Le opzioni esotiche, ed in particolar modo le opzioni composte sono di particolare interesse per la Real Options Analysis dal momento che alcuni tipi di opzioni reali, come le opzioni di suddivisione in stadi sono valutate come tali.

1.3 - LE OPZIONI REALI

Il termine “*real options*” fu coniato da Myers nel 1977 e si riferisce all’applicazione della teoria dell’option pricing alla valutazione di investimenti non finanziari anche detti “reali” caratterizzati da apprendimento e flessibilità.

“A real option is defined as the right but not the obligation, to take an action (e.g., deferring, expanding, contracting, or abandoning) at a predetermined cost, called the exercise price, for a predetermined period of time – the life of the option.” (Copeland and Antikarov “*Real Options: A Practitioner’s Guide*”, 2001, p.5).

Quindi un’opzione reale è una scelta, relativa a delle opportunità di investimento, che il management di un’impresa ha a disposizione. Si tratta di un contratto implicito in qualcosa che non è finanziario: mentre le opzioni scambiate nei mercati finanziari sono dei contratti finanziari (che possono avere come sottostante oggetti tangibili e intangibili), il termine “reale” indica la natura non finanziaria dell’attività sottostante. Le opzioni reali tipicamente si riferiscono ad investimenti che coinvolgono attività reali piuttosto che strumenti finanziari. Gli asset reali non sono scambiati nei mercati finanziari e possono includere asset tangibili e non, come proprietà intellettuali, terreni da sviluppare e/o riqualificare, metalli preziosi e commodities. Si tratta appunto di opzioni che hanno come sottostante particolari attività reali. A differenza delle opzioni finanziarie, le opzioni reali non sono definite da clausole contrattuali e non sono scambiate né sui mercati regolamentati né nei mercati OTC.

Per mezzo delle opzioni, un progetto di investimento (o di scelta ad esso connessa) può essere considerato come un portafoglio di opzioni reali che riflettono le flessibilità manageriali, ovvero le varie decisioni alternative che il management può prendere in base all’evoluzione del mercato (per esempio differire il progetto, interromperlo in qualsiasi momento o espanderne le dimensioni). La maggior parte degli investimenti ha in comune tre principali caratteristiche: l’incertezza, l’irreversibilità e la possibilità di azioni flessibili; queste caratteristiche sono le caratteristiche costitutive di un’opzione reale. Infatti in assenza di incertezza e di irreversibilità l’utilizzo della ROA non sarebbe di alcuna utilità; infine il management di un’impresa deve essere in grado individuare e

definire le flessibilità in risposta all'evoluzione del mercato, ma soprattutto di compiere tali azioni.

Il fatto che sia le opzioni finanziarie che le opzioni reali rappresentino il diritto ma non l'obbligo di fare qualcosa, porta alla conclusione che la valutazione di un investimento può essere svolta con il supporto dei modelli sviluppati per le opzioni finanziarie. Per esempio, se uno compra un'opzione call su un titolo ha il diritto ma non l'obbligo di comprare questo titolo ad un prezzo e ad una data predeterminati. Se l'esercizio dell'opzione non è profittevole, il proprietario lascerà scadere l'opzione senza fare nulla. Lo stesso può essere applicato ad un progetto: se un manager ha per esempio acquisito il diritto di sfruttamento di un giacimento petrolifero, egli costruirà la raffineria solo se i ricavi saranno sufficientemente alti da giustificare le spese. Altrimenti non farà nulla e aspetterà il momento in cui investire sarà profittevole. La possibilità di ritardare o sospendere è definibile come un costo-opportunità: se da un lato si può acquisire informazioni migliori e risolvere l'incertezza, dall'altro si lascia spazio libero ai concorrenti per agire.

1.3.1 – LE DIFFERENZE TRA OPZIONI REALI E OPZIONI FINANZIARIE

Nonostante le somiglianze delle strutture di payoff tra le opzioni reali e le opzioni finanziarie, ci sono delle differenze chiave che è necessario sottolineare e comprendere. I sei fattori che determinano il valore di un'opzione descritti nella sezione precedente acquisiscono un significato differente per le opzioni reali:

1. Lo spot price S : a differenza delle opzioni finanziarie il prezzo del sottostante non può essere osservato sul mercato finanziario e qui indica il valore attuale atteso dei flussi di cassa futuri generati dal progetto.
2. Lo strike price K : mentre per le opzioni finanziarie il prezzo di esercizio di un'opzione è specificato nel contratto ed è fisso, per le opzioni reali rappresenta il valore attuale dei costi necessari per sostenere l'investimento. Inoltre, non è sicuro che tali costi rimarranno costanti lungo il tempo, ma potrebbero essere stocastici e dipendere da variabili come il tempo di esercizio e/o dalla competizione presente sul mercato.
3. La rischiosità del progetto σ : per le opzioni finanziarie la variabilità del prezzo del sottostante può essere misurata più o meno agevolmente sul mercato nel quale viene

scambiato il sottostante. Per le opzioni reali invece, la volatilità legata ai titoli dell'impresa non sembra essere una buona stima della rischiosità del progetto e può portare a risultati fuorvianti; qualsiasi tipo di nuovo progetto difficilmente ha degli equivalenti sul mercato dai quali poter ricavare una stima della deviazione standard. Infine, sono molti i fattori che possono influenzare la volatilità dell'investimento: da quelli interni all'azienda, come i tempi di sviluppo, a quelli esterni, per esempio i cambiamenti nei prezzi delle materie prime. Per le opzioni finanziarie la volatilità è assunta costante nel tempo ed esogena. Ciò è ragionevole dal momento che il proprietario di una singola opzione non può influenzare il rischio del sottostante sul mercato. Per le opzioni reali non si può dire la stessa cosa poiché le decisioni di un'impresa che possiede l'opzione potrebbero influenzare le azioni dei concorrenti e pertanto l'incertezza a cui è esposto il sottostante.

4. Il tempo alla scadenza T : per le opzioni finanziarie il tempo alla scadenza è specificato nel contratto, fissato e solitamente non più lungo di uno o al massimo due anni. Per un'opzione reale, il tempo alla scadenza è il periodo di tempo fino a che si ha l'opportunità di investire. Tale periodo di tempo è di durata sconosciuta e difficile da determinare. Inoltre è influenzato dalle azioni dei concorrenti.
5. Il tasso d'interesse neutrale al rischio r è lo stesso per le opzioni reali e finanziarie. Tuttavia, data la possibilità di una scadenza molto lunga per le opzioni reali, l'assunzione di un tasso risk-free costante potrebbe essere violata.
6. I pagamenti in entrata e in uscita: per le opzioni finanziarie sono tutti i pagamenti effettuati al proprietario del sottostante dell'opzione. Il proprietario dell'opzione manca di questo guadagno extra se non eserciterà l'opzione prima che il dividendo sia pagato. Per le opzioni reali i dividendi sono rappresentati da tutti i pagamenti persi a causa del non investire, cioè dell'attesa. Pertanto ogni opzione reale deve essere analizzata separatamente per quanto riguarda i possibili dividendi, che sono piuttosto difficili da determinare.

Tipicamente le opzioni finanziarie sono emesse da istituti finanziari indipendenti, che dopo averle scritte non hanno più alcuna influenza sulle decisioni del management o sul prezzo del sottostante. È invece vero il contrario per le opzioni reali: il management ha

sotto il proprio controllo il sottostante dell'opzione, ovvero il progetto; pertanto influenzando il valore del progetto può aumentare il valore dell'opzione.

Le opzioni reali non sono negoziabili. I loro proprietari hanno solo due alternative: esercitare l'opzione oppure rinunciare al loro esercizio, senza l'esistenza di un mercato organizzato dove poter rivendere questi diritti.

Un'altra differenza concerne la complessità e lo stile delle opzioni. Mentre le opzioni finanziarie sono sia di tipo americano che europeo, le opzioni reali sono sempre di stile americano e perciò possono essere esercitate in qualsiasi momento prima della scadenza. Inoltre, una gran parte delle opzioni finanziarie vendute sul mercato consiste in semplici opzioni con una singola fonte di incertezza (la volatilità del prezzo del titolo). Al contrario, le opzioni reali sono perlopiù opzioni di tipo esotico e con molteplici fonti di incertezza. Questo rende le opzioni reali più complesse da analizzare rispetto alle opzioni finanziarie.

Secondo Trigeorgis (1996) opzioni reali differenti all'interno dello stesso progetto si riferiscono perlopiù allo stesso sottostante. Pertanto l'esercizio di una di queste opzioni può avere effetti sul valore del sottostante, e di conseguenza, sul valore delle altre opzioni. Per questo motivo i valori delle opzioni reali sono non-additivi.

Un'altra importante differenza riguarda il diritto di proprietà dell'opzione. Mentre una volta che qualcuno acquisisce un'opzione finanziaria ha il diritto esclusivo di esercitarla, le opzioni reali sono generalmente condivise. Per esempio, la possibilità di investire nello sviluppo di un nuovo farmaco è disponibile per ogni impresa farmaceutica fino a che non è depositato il brevetto.

Una differenza fondamentale è che le opzioni finanziarie sono scambiate sui mercati e le informazioni che le riguardano sono disponibili per tutti gli investitori in ogni momento, insieme ai movimenti del prezzo del sottostante. Per le opzioni reali invece è più difficile monitorare il valore del sottostante, dal momento che difficilmente ha un equivalente sul mercato. Perciò risulta complicato stimare i parametri necessari per potere applicare un modello di option pricing, come il modello di Black and Scholes, e quindi determinare il valore di un'opzione.

1.4 - LE TIPOLOGIE DI OPZIONI REALI

Un progetto di investimento può essere considerato come un insieme di opzioni reali. Trigeorgis (1996) descrive i sette tipi più comuni di opzioni reali che possono essere identificati in qualsiasi investimento, ovvero i differenti tipi di flessibilità manageriali che possono sorgere durante la vita di un progetto. Si tratta delle opzioni di differimento (o opzioni di attesa), delle opzioni di modifica della scala operativa di un progetto (cioè l'espansione o la contrazione di un progetto), delle opzioni di abbandono, delle opzioni di scambio, delle opzioni di suddivisione in stadi, delle opzioni di crescita e delle opzioni dalle interazioni multiple. Inoltre, Trigeorgis specifica i tipi di settore e di progetti nei quali queste opzioni sono più importanti, cioè di maggior valore. Inoltre, il valore delle opzioni reali può essere un modo di rappresentare economia della ricerca (Wadeson, 2004). Dopo ogni osservazione il ricercatore detiene l'opzione di terminare la ricerca o l'opzione di decidere su quali osservazioni fare successivamente. Infatti, la teoria delle opzioni reali e la teoria della ricerca sono entrambe relative a processi decisionali sequenziali, ma si trovano convenzionalmente sotto assunzioni differenti.

1.4.1 - LE OPZIONI DI DIFFERIMENTO

Il valore dell'opzione di differimento proviene dalla possibilità di un manager di ritardare la decisione di investire in modo tale da attendere nuove informazioni che possano risolvere o ridurre parte dell'incertezza. Di conseguenza un investimento con un valore attuale dei flussi negativo oggi, potrebbe aver un NPV positivo domani o viceversa. È proprio nella possibilità di questo cambiamento che risiede il valore dell'opzione. Fino a che il manager non ha alcuna informazione positiva sui futuri incassi, può decidere di posticipare il progetto. Ovviamente il pericolo con questo tipo di opzioni è che il manager non abbia un diritto esclusivo di esercizio dell'opzione: nel momento in cui i concorrenti decidono di investire, l'impresa potrebbe perdere parte dei profitti. Per semplificare, si assuma che l'impresa abbia il diritto esclusivo di esercitare l'opzione per i prossimi n anni. Se il valore attuale dei flussi di cassa generati dal progetto è maggiore del costo dell'investimento, allora si inizia il progetto; altrimenti il management aspetta che le condizioni diventino favorevoli. L'opzione di differire può riguardare il valore stocastico del sottostante, quello dei costi (cioè il prezzo di esercizio), od entrambi (e.g. la differenza

dei due). Questa opzione, nel caso in cui il l'opzione di differire riguardi il valore stocastico del sottostante, ha un payoff equivalente a quello di un'opzione call di stile americano, come si può notare dalla figura 1.3. Un progetto con NPV negativo può avere ancora valore per le sue caratteristiche di opzione. Tuttavia, come per le opzioni finanziarie, effettuare l'investimento e rinunciare alla flessibilità di attendere crea un costo opportunità. Di conseguenza, accettare un progetto solo perché ha un NPV positivo potrebbe non essere ottimo poiché potrebbero esserci maggiori profitti aspettando, specialmente se l'impresa possiede i diritti esclusivi sul progetto per un lungo periodo di tempo e la varianza dei flussi di cassa futuri è elevata. Perciò, il valore soglia che indica quando investire è rappresentato dal NPV più il premio dovuto alla rinuncia della flessibilità.

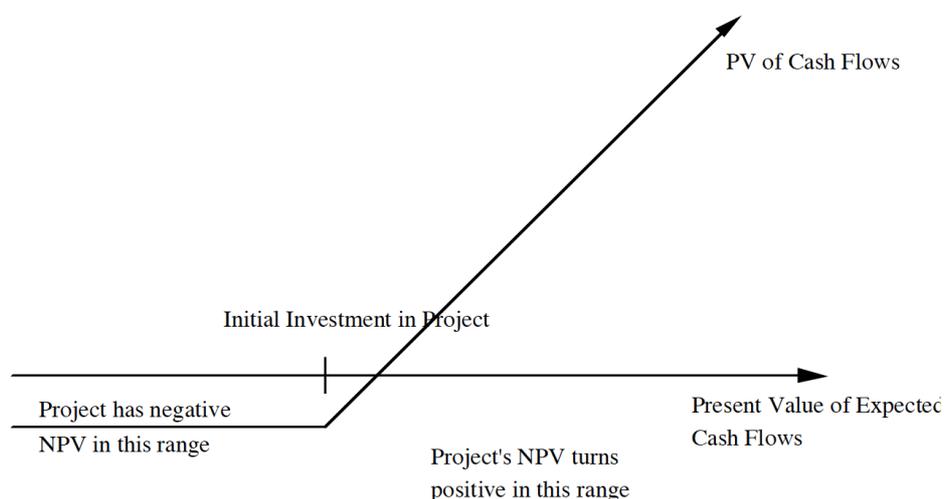


Figura 1.3: Payoff alla scadenza di una generica opzione di differimento.

Queste opzioni sono presenti spesso nei settori di estrazione delle risorse, nel settore immobiliare e in generale in progetti dove l'incertezza relativa ai flussi di cassa futuri è molto grande, dove l'orizzonte temporale dell'investimento è lungo e dove le opportunità di investimento possono essere protette con diritti esclusivi, quali brevetti o diritti di sfruttamento.

1.4.2 - LE OPZIONI DI SUDDIVISIONE IN STADI

Suddividere il progetto in parti differenti permette al management di valutare il progetto ad ogni stage e decidere se continuare o meno. Questa flessibilità è equivalente ad una serie di opzioni call di tipo americano, dove ogni stadio può essere interpretato come

un'opzione sui flussi di cassa sullo stage successivo. Di conseguenza, un'opzione di suddivisione in stadi può essere valutata come una serie di opzioni su opzioni, anche chiamate opzioni composte. Come l'opzione di differimento, questo tipo di opzioni espone l'impresa ai rischi della competizione: i concorrenti che decidono di investire pienamente in una volta sola potrebbero catturare quote di mercato maggiori, lasciando all'impresa che decide di investire in stadi solo una parte dei profitti. Inoltre investire in stadi potrebbe portare ad avere complessivamente costi maggiori, non traendo benefici dalle economie di scala. Tuttavia, questo tipo di opzioni permette all'impresa di proteggersi da due tipi di rischio: il rischio specifico (privato) dell'impresa relativo all'esecuzione del progetto, e il rischio di mercato dovuto all'incertezza della domanda futura. Le opzioni di suddivisione in stadi sono importanti per i settori ad alta intensità di R&D, come il settore farmaceutico e il biotecnologico, per i progetti a lungo termine e ad uso intensivo di capitale, e per le startup finanziate da venture capitalist.

1.4.3 - LE OPZIONI DI MODIFICA DELLA SCALA OPERATIVA

La flessibilità di alterare la scala di un progetto include due tipi di opzioni: l'opzione di espansione, se le condizioni di mercato si rivelano favorevoli, e l'opzione di contrazione, se invece si rivelano sfavorevoli.

Nel primo caso l'impresa può decidere di espandere la scala di produzione o accelerare l'utilizzo delle risorse. Questa flessibilità è simile ad un'opzione call di tipo americano sui flussi di cassa generati dall'espansione. Nel secondo caso l'impresa può ridurre la scala delle operazioni. Tale flessibilità è analoga ad un'opzione put di tipo americano.

Queste tipologie di opzioni sono di valore specialmente nei settori dove la domanda di mercato è molto variabile o nel caso di lancio di un nuovo prodotto in un mercato incerto. I settori tipici dove si trovano queste opzioni sono il settore immobiliare, il settore dei beni di consumo, dell'abbigliamento, delle risorse naturali (come le operazioni minerarie), della pianificazione e costruzione di impianti.

1.4.4 - LE OPZIONI DI ABBANDONO

L'opzione di abbandonare un progetto può essere considerata come un caso estremo dell'opzione di contrarre la scala di un progetto. Se le condizioni del mercato sono

davvero sfavorevoli non ha senso continuare a sostenere i costi fissi di un progetto. Allora il management può decidere di abbandonare definitivamente il progetto e guadagnare il valore di recupero dei beni strumentali, liquidandoli sui mercati secondari. Questa flessibilità di abbandonare il progetto è equivalente ad un'opzione put di tipo americano. Il sottostante di quest'opzione sono i flussi di cassa generati dal progetto per n anni. Esercitare l'opzione permette al proprietario di incassare il valore di recupero del progetto, che rappresenta il prezzo di esercizio di questa opzione put, e di rinunciare ai rimanenti flussi di cassa derivanti dal progetto. In figura 1.4 è rappresentato il payoff di una generica opzione di abbandono.

Le opzioni di abbandono sono importanti per le imprese ad alto uso di capitale, come quelle ferroviarie o le compagnie aeree, per le imprese che offrono servizi finanziari e che lanciano nuovi prodotti su mercati incerti.

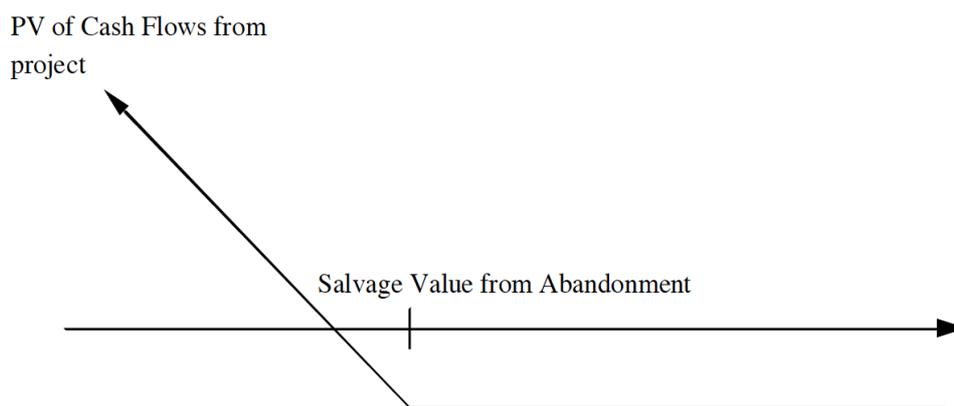


Figura 1.4: Payoff alla scadenza di una generica opzione di abbandono.

1.4.5 - LE OPZIONI DI SCAMBIO

L'opzione di scambio prevede la possibilità di modificare il modus operandi di qualsiasi business. Questo include il cambiamento dei prodotti di input o output, oppure il cambiamento dei processi o delle relazioni con i fornitori, ecc... Di conseguenza, le opzioni di questo tipo possono essere trovate in ogni tipo di progetto. Tuttavia la condizione necessaria affinché queste opzioni abbiano valore è che l'impresa sia in grado di rispondere ai cambiamenti. L'opzione di scambio rappresenta allo stesso tempo la combinazione di un'opzione put ed un'opzione call di tipo americano. Secondo

Trigeorgis, queste opzioni sono di valore principalmente per i settori dipendenti dalle materie prime come quello petrolifero, per tutti quei beni venduti in piccoli lotti o soggetti ad una domanda volatile, come i beni elettronici di consumo o i giocattoli.

1.4.6 - LE OPZIONI DI CRESCITA

Le opzioni di crescita sono investimenti prematuri che consentono di avere opportunità di crescita in futuro. Questo tipo di flessibilità è simile all'opzione di suddividere in stadi l'investimento o all'opzione di espansione. La differenza principale è che le opzioni di crescita sono flessibilità *interproject*, mentre le altre due tipologie sono *intraproject*. Le opzioni intraprogetto rappresentano il concetto di flessibilità entro un singolo progetto, mentre le opzioni interproject descrivono le interdipendenze che possono nascere tra due progetti distinti successivi.

Tipicamente gli investimenti con questo tipo di flessibilità sono quelli con NPV negativo; infatti la preconditione per intraprendere tali progetti non proviene dai flussi di cassa generati, ma piuttosto dalle nuove opportunità che creano. L'opzione di crescita è equivalente ad un'opzione call di tipo americano. Il valore del primo progetto (se negativo) rappresenta il prezzo di esercizio dell'opzione. In realtà, vi potrebbero essere una serie di progetti successivi e in questo caso si avrebbe una serie di opzioni di crescita e quindi una serie di opzioni composte. Ci sono innumerevoli opzioni di crescita in ogni settore, ma sono di maggior valore nei settori basati sulle infrastrutture e per i progetti rischiosi con ritorni elevati, come i progetti R&D o high-tech.

1.4.7 - LE OPZIONI DALLE INTERAZIONI MULTIPLE

I progetti spesso implicano una "collezione" di opzioni diverse, che possono essere sia di tipo call che di tipo put. La somma dei valori di queste opzioni combinate potrebbe differire dalla somma dei singoli valori di queste opzioni. Ciò significa che le opzioni interagiscono. L'interazione deriva dal fatto che le opzioni reali di un progetto sono scritte sullo stesso sottostante; per cui il loro esercizio cambia il valore del sottostante e di conseguenza il valore di tutte le altre opzioni scritte su di esso. Questa categoria di opzioni caratterizza tutti i tipi di progetti discussi precedentemente.

1.5 - LA REAL OPTIONS ANALYSIS

Come già anticipato all'inizio del capitolo la *Real Options Analysis* (ROA) fornisce una nuova soluzione per valutare le strategie di investimento tenendo in considerazione il processo strategico-decisionale: la ROA è un approccio sistematico per la valutazione di progetti di investimento in un mercato incerto e dinamico, in cui il management apporta modifiche alle proprie decisioni in risposta ai cambiamenti del mercato e al risolversi delle incertezze. L'obiettivo della ROA non è quello di individuare il prezzo esatto di un'opzione reale (obiettivo dei modelli di valutazione delle opzioni finanziarie) ma piuttosto considerare il valore della flessibilità, altrimenti ignorato, e che potrebbe cambiare le sorti di un investimento.

La figura 1.5 mostra quando la Real Options Analysis procura maggiori benefici. Quando l'incertezza relativa ad un investimento è poca così come la flessibilità, allora la ROA non fornisce molti benefici e si può utilizzare il metodo NPV. La ROA è di maggior valore quando l'incertezza relativa al sottostante è grande e quando il management ha la flessibilità per apportare modifiche al costo di progetto.

| | | | |
|-------------------------------|------|---------------------|--------------------|
| Managerial Flexibility | High | Medium Option Value | High Option Value |
| | Low | No Option Value | Small Option Value |
| | | low | High |
| | | Uncertainty | |

Figura 1.5: Quando la ROA fornisce maggiori benefici (Kodukula, Papudesu, 2006, p.59).

Laddove il NPV indica una strategia predeterminata per le decisioni di investimento, la ROA offre una mappa strategica che mostra le varie alternative possibili. Va ricordato però che la ROA non sostituisce il metodo del NPV, piuttosto ne rappresenta una estensione. Ogni valutazione delle opzioni reali comincia con la stima del valore del sottostante attraverso il DCF. La ROA supporta ed integra gli strumenti tradizionali per

ottenere una tecnica di valutazione più sofisticata. Inoltre, la ROA non deve essere utilizzata per giustificare progetti che dovrebbero essere rifiutati dal principio

Le differenze tra il metodo del Net present Value e della Real Option Analysis sono riassunti nella tabella 1.2.

| Net Present Value | Real Option Analysis |
|--|---|
| Strategia “all or nothing”. Non cattura il valore della flessibilità manageriale durante il ciclo di vita del progetto. | Riconosce il valore della flessibilità manageriale consentendo di apportare modifiche al corso di un progetto. |
| Non considera l’incertezza relativa ai flussi di cassa futuri generati dal progetto, considerati deterministici. | L’incertezza è un fattore chiave che determina il valore dell’opzione. |
| Sottovaluta i progetti che generano attualmente o nel breve termine flussi di cassa nulli o bassi. | Considera il valore strategico di lungo periodo del progetto grazie alla flessibilità nel prendere le decisioni. |
| Il rischio è misurato in modo indiretto: Il payoff atteso è scontato al tasso risk-adjusted che rappresenta il costo opportunità del capitale. Anche il costo dell’investimento è tipicamente scontato allo stesso tasso. Tuttavia il mercato non premia i rischi specifici. | Il rischio è espresso nella distribuzione di probabilità del payoff. Questo payoff, che riflette tutti i potenziali rischi del progetto, è scontato al tasso risk-free ed è detto payoff neutrale al rischio. |
| Il management gestisce passivamente il progetto una volta avviato. | Gestione tutt’altro che passiva del progetto da parte del management, che apporta le opportune modifiche al cambiare delle condizioni del mercato e al risolversi dell’incertezza. |

Tabella 1.2: Differenze tra la ROA e il NPV.

Solitamente, il processo di valutazione di un progetto rischioso che fa uso dell’approccio delle opzioni reali è costituito da quattro passi illustrati da Amram e Kulatilaka (1999):

- 1) Definire una struttura per l’applicazione: identificare gli aspetti rilevanti del problema decisionale, incluse le incertezze, le regole decisionali e le informazioni disponibili:

- Il problema decisionale: si inizia da un quadro generale dell'applicazione e si identifica il problema da studiare.
 - Le incertezze: si identificano tutte le fonti di incertezza e si classificano in incertezze di mercato ed incertezze private ((anche chiamate rischi privati) che sono trattate in modo differente.
 - La regola decisionale: si esprimono le regole decisionali in una forma matematica semplice, come i processi stocastici delle incertezze, e l'obiettivo di ottimizzazione (la massimizzazione dei profitti o la minimizzazione del rischio);
 - Le informazioni di mercato disponibili: si trovano dati che supportano la stima dei parametri in gioco e il calcolo dell'incertezza.
- 2) Implementare un modello di option pricing: in questo passo si definiscono tutti gli input e si calcola il risultato utilizzando una formula analitica:
- Definire gli input: ottenere il valore corrente dell'asset sottostante più la serie storica dei dati necessari per la stima dei parametri in gioco.
 - Calcolare il risultato: si possono dedurre analiticamente le formule per calcolare il valore delle opzioni in una situazione specifica utilizzando l'approccio di neutralità al rischio. In alternativa si può utilizzare un calcolatore di opzioni con funzioni per il calcolo del valore dell'opzione predefinite.
- 3) Controllare il risultato: i risultati ottenuti dal modello di opzioni reali dovrebbero essere rivisti non solo per trarne intuizioni e conclusioni, ma anche per valutare il modello e ricalibrarlo se necessario.
- 4) Riprogettare se necessario: se la qualità del modello non è soddisfacente dovrebbe essere migliorata iterativamente.

I risultati dei modelli di valutazione delle opzioni includono solitamente stime, valori critici e aree di strategie che possono aiutare il management a prendere decisioni:

- Il valore del progetto rischioso è il risultato più importante, l'obiettivo di partenza del modello delle opzioni reali.
- Nella valutazione di un progetto, ci sono solitamente formule per il calcolo di valori critici che sono i valori soglia per decidere se intraprendere o meno un progetto. I valori critici giocano lo stesso ruolo del valore zero per il NPV.

- Lo spazio multidimensionale delle strategie è diviso in aree, corrispondenti all'opzione che è meglio implementare. Questo output è spesso opzionale.

Per concludere, la Real Option Analysis è di cruciale importanza (Mun, 2002) per:

- identificare vie alternative o progetti di investimento differenti, che il management può selezionare date le condizioni di mercato molto incerte.
- Valutare ogni possibile strategia e ciò che rappresenta in termini di fattibilità economica.
- Assegnare una priorità a queste strategie o ai progetti in base ad una serie di metriche qualitative e quantitative.
- Ottimizzare il valore delle decisioni di investimento, valutando le differenti alternative o utilizzando una sequenza differente di strade per arrivare alla strategia ottima.
- Identificare il timing ottimo per l'esecuzione dell'investimento, per individuare i valori soglia (*trigger values*) ottimi e le determinanti dei costi e dei ricavi.
- Gestire le vie alternative o svilupparne di nuove per possibili opportunità future.

Quindi le opzioni reali sono utili al management per identificare, capire, valutare, priorizzare, ottimizzare, e gestire le decisioni di strategie di mercato e di allocazione del capitale individuandone il timing ottimo.

CAPITOLO 2 – GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE ALLE OPZIONI REALI

La Real Options Analysis (ROA) applica i modelli di option pricing alle decisioni di capital budgeting, in modo tale da determinare il valore di quella flessibilità (ovvero delle opzioni reali), senza la quale si sottostimerebbe il valore di un progetto. La ROA è utilizzata per valutare gli investimenti in asset non finanziari, cioè reali, per i quali gran parte del valore del progetto è attribuibile alla flessibilità e all'apprendimento lungo il tempo.

Le soluzioni delle opzioni reali sono quindi basate sui modelli sviluppati per individuare il prezzo delle opzioni finanziarie. Esistono numerosi metodi per calcolare i valori delle opzioni finanziarie e in ogni metodo vi sono tecniche computazionali differenti.

La scelta del modello dipende dalla semplicità desiderata, dalla disponibilità di dati di input, e dalla validità del metodo per una data applicazione. Alcuni metodi includono matematica complessa che potrebbe essere difficile da spiegare al management, mentre altri metodi sono più intuitivi e possono essere illustrati facilmente.

Tuttavia, l'applicazione della teoria dell'option pricing alle opzioni reali presenta delle criticità non indifferenti che possono portare a risultati fuorvianti. Per questo motivo, nel corso degli anni è stata sviluppata una varietà di approcci differenti e in contraddizione tra loro, basati su questi modelli.

Di seguito sono trattati dapprima i modelli tradizionali di option pricing della teoria finanziaria e successivamente gli approcci di valutazione delle opzioni reali che si basano su questi modelli di option pricing.

2.1 – I MODELLI DI OPTION PRICING

Dal momento che il valore di un'opzione dipende da un numero elevato di variabili oltre al prezzo del sottostante, è difficile stimare il prezzo di un'opzione correttamente. I metodi più comuni di option pricing sono:

- Le equazioni differenziali parziali;
- I modelli lattice;
- La simulazione Monte Carlo.

2.2 – LE EQUAZIONI PARZIALI DIFFERENZIALI

Il metodo delle equazioni differenziali parziali implica la risoluzione di un'equazione differenziale parziale con condizioni al contorno specifiche (cioè il tipo di opzione, i valori dell'opzione in determinati momenti, ecc...) che descrive l'andamento del valore dell'opzione rispetto ai cambiamenti misurabili di altre variabili. Per una soluzione analitica in forma chiusa dell'equazione differenziale parziale, il valore dell'opzione è dato da un'equazione. La più famosa di queste equazioni per calcolare il valore di un'opzione call di tipo europeo è quella di Black and Scholes.

Nei casi in cui le soluzioni in forma chiusa non sono possibili si possono effettuare delle approssimazioni per ottenere delle soluzioni analitiche. Tali approssimazioni però sono molto complesse. Se anche le soluzioni analitiche o le approssimazioni non sono possibili si può ricorrere a metodi numerici per risolvere l'equazione differenziale parziale. Tra i più utilizzati dei metodi numerici vi è il metodo delle differenze finite, che però presenta lo svantaggio della complessità computazionale e l'incapacità di avere a che fare con molteplici fonti di incertezza relative al valore del sottostante.

2.2.1 – IL MODELLO DI BLACK AND SCHOLEES

Il modello di pricing delle opzioni più celebre è stato sviluppato agli inizi degli anni '70 da Fisher Black e Myron Scholes (1973) e valse ad entrambi il premio Nobel per l'economia nel 1997. La formula di Black and Scholes permette di determinare il prezzo esatto di un'opzione call o put di tipo europeo in ogni istante prima della data di scadenza. Merton successivamente apportò importanti modifiche e miglioramenti al modello.

Le assunzioni del modello relative alle attività finanziarie sono:

- il rendimento di attività prive di rischio è costante nel tempo.
- Il prezzo del sottostante segue un moto browniano geometrico, la cui media e volatilità sono costanti.
- Lo strike price è noto e costante. Il prezzo corrente di mercato ed il processo stocastico seguito dal sottostante sono noti (osservabili);
- Il titolo su cui è scritta l'opzione non paga dividendi (questa ipotesi non è fondamentale ma semplifica il modello).
- Il sottostante e lo strumento derivato sono scambiati in tempo continuo sul mercato.

Le assunzioni del modello relative al mercato sono:

- Vale la legge del prezzo unico, cioè il principio di non arbitraggio. Di conseguenza, due asset che generano gli stessi payoff futuri, devono avere lo stesso valore corrente. In particolare, i portafogli privi di rischio generano lo stesso rendimento.
- Vale la perfetta divisibilità di tutte le attività finanziarie (è possibile scambiare frazioni arbitrariamente piccole di ogni titolo sul mercato);
- È consentita la vendita allo scoperto del sottostante così come quella dell'opzione. Questo implica che ogni investitore è in grado di acquistare e vendere una qualsiasi quantità dell'attività sottostante e che può vendere tali unità anche se non possedute realmente.
- Il mercato è privo di attriti, cioè non vi sono costi di transazione, tassazione e frizioni di altro tipo. Gli operatori di mercato non sono in grado di influenzare il prezzo dei titoli con le loro operazioni.

Alcune di queste ipotesi sono state rimosse in estensioni successive del modello, che considerano per esempio i tassi d'interesse variabili, la distribuzione di dividendi e i costi di transazione.

La notazione utilizzata nel modello è così definita:

- $S(t)$ è il prezzo del sottostante al tempo t ;
- $V(S, t)$ è il prezzo dell'opzione espressa come funzione e del sottostante S e del tempo t ;
- $C(S, t)$ indica il prezzo di un'opzione call di stile europeo, mentre $P(S, t)$ indica il prezzo di un'opzione put di tipo europeo.
- K è il prezzo di esercizio dell'opzione, anche detto strike price.
- r è il tasso d'interesse privo di rischio espresso in base annuale
- μ è il tasso di deriva di S su base annua;
- σ è la deviazione standard dei rendimenti del titolo;
- π indica il payoff del portafoglio;
- t indica il tempo in anni; la scadenza dell'opzione è indicata con T ;
- $N(x)$ denota la funzione di distribuzione cumulativa standardizzata;
- $N'(x)$ indica la funzione di densità di probabilità.

Sono possibili diverse derivazioni dell'equazione di Black and Scholes. I due autori utilizzano l'*hedging argument*, cioè costruiscono un portafoglio neutrale al rischio. In alternativa si potrebbe utilizzare il portafoglio di replica, approccio utilizzato da Merton nel 1973, oppure la derivazione tramite il fattore di sconto stocastico in tempo continuo.

2.2.2 – DERIVAZIONE MEDIANTE IL PORTAFOGLIO NEUTRALE AL RISCHIO

La seguente trattazione è basata su Black and Scholes (1973) e Hull (2003). Secondo le ipotesi del modello il prezzo del sottostante (solitamente un titolo) segue un moto browniano geometrico, descritto dall'equazione differenziale stocastica (2.1), dove W indica una variabile stocastica. Si noti che W e quindi il suo incremento dW , sono la sola fonte di incertezza sui prezzi del titolo.

$$\frac{dS}{dt} = \mu dt + \sigma dW \quad (2.1)$$

Si costruisce quindi un portafoglio fittizio, detto *delta hedge* che consiste in una posizione lunga sull'opzione ed una posizione corta su una quantità di titoli pari a $\partial V / \partial S$ (potrebbe anche essere il contrario). Il payoff del portafoglio è espresso dall'equazione (2.2). Si noti che $\partial V / \partial S$ non è altro che la *Delta* dell'opzione, ovvero la sensibilità del valore dell'opzione rispetto alle variazioni del sottostante.

$$\pi = V - \frac{\partial V}{\partial S} S \quad (2.2)$$

Applicando il Lemma di Ito a $\pi(V, S)$ e imponendo che il portafoglio π sia privo di rischio su un intervallo di tempo infinitesimo (che con l'ipotesi di non arbitraggio equivale ad imporre che $d\pi = \pi r dt$) si ottengono due relazioni, che uguagliate permettono di ottenere la celebre equazione differenziale parziale di Black-Scholes (2.3):

$$rS \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV = 0 \quad (2.3)$$

La famosa equazione di Black and Scholes è un'equazione differenziale parziale che descrive l'andamento del prezzo di un'opzione lungo il tempo fino alla data di scadenza. L'intuizione fondamentale è che un investitore può coprire perfettamente l'opzione comprando e vendendo una quantità del titolo sottostante in modo tale da eliminare il rischio. Ciò implica che via sia un solo prezzo dell'opzione in ogni istante.

Nel caso di derivati semplici, come le opzioni europee, l'equazione differenziale (2.3) può essere risolta in forma esplicita; in generale trovare una soluzione in forma chiusa per un qualsiasi set di condizioni al contorno è impossibile; perciò la soluzione dell'equazione è ottenuta tramite metodi di analisi numerica.

Si consideri un'opzione call di tipo europeo, le relative condizioni al contorno (2.4) e (2.5), e la condizione finale (2.6).

$$C(0, t) = 0, \quad \forall 0 \leq t \leq T \quad (2.4)$$

$$C(S, t) \approx S, \quad \text{per } S \rightarrow \infty \quad (2.5)$$

$$C(S, T) = \max(S(T) - K, 0) \quad (2.6)$$

Per la (2.4) se il prezzo del titolo è pari a zero al tempo t significa che è uguale a 0 in ogni momento e allora il valore dell'opzione è pari a zero per ogni t . Secondo la (2.5), quando S è talmente maggiore del prezzo di esercizio il prezzo dell'opzione è pari a S . La condizione finale (2.6) fornisce invece il valore dell'opzione alla scadenza.

Vincolando la (2.3) a queste condizioni si ottiene la formula del prezzo di un'opzione call di tipo europeo al tempo t :

$$C(S, t) = SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2) \quad (2.7)$$

$$\text{Con } d_1 = \frac{\ln \frac{S}{K} + (r + \frac{1}{2}\sigma^2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad \text{e} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}.$$

Tale formula fornisce il prezzo di un'opzione call europea in ogni istante dalla data della stipula ($t = 0$) fino alla scadenza T . Il primo termine rappresenta il valore atteso del sottostante alla scadenza T , condizionato alla circostanza che l'opzione sia esercitata alla scadenza. La quantità $KN(d_2)$ rappresenta il valore atteso del pagamento effettuato dal proprietario dell'opzione alla scadenza in caso di esercizio della stessa.

Grazie alla relazione di parità put-call, che stabilisce il legame tra i prezzi di una coppia di opzioni put e call di tipo europeo in assenza di opportunità di arbitraggio, si può ottenere il valore di un'opzione put scritta sullo stesso sottostante e con le medesime caratteristiche (2.8).

$$P(S, t) = Ke^{-r(T-t)}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (2.8)$$

Le equazioni (2.7) e (2.8) possono essere utilizzate anche per determinare il prezzo di un'opzione di tipo americano quando il titolo sottostante non paga dividendi. Se vale questa condizione, un'opzione americana non verrà mai esercitata prima della scadenza e quindi vale quanto un'opzione europea.

2.3 – I MODELLI LATTICE

La valutazione degli strumenti finanziari derivati, e in particolare la valutazione delle opzioni richiede spesso l'impiego di tecniche di approssimazione numerica; tra gli algoritmi di approssimazione numerica l'approccio più semplice è costituito dalle tecniche ad albero (*lattice models*). I modelli lattice sono alberi decisionali che mostrano l'evoluzione dei possibili valori del sottostante lungo la vita dell'opzione. La caratteristica fondamentale delle tecniche ad albero consiste nel restringere i prezzi possibili per l'attività sottostante l'opzione ad un insieme discreto di valori. Le tecniche ad albero sono interessanti in quanto non solo richiedono l'impiego di strumenti matematici elementari ma in molte applicazioni forniscono dei risultati che risultano sufficientemente accurati. I principali tipi di modelli lattice sono il modello binomiale, il modello trinomiale e il modello multinomiale, di cui il più utilizzato comunemente è il binomiale.

2.3.1 – IL MODELLO BINOMIALE

Il processo discreto più diffuso e flessibile per la valutazione di un'opzione è il modello binomiale, sviluppato da Cox, Ross e Rubinstein nel 1979 (il modello di Black and Scholes è in tempo continuo). Esso si caratterizza per il fatto che il prezzo dell'azione sottostante, qualunque sia il prezzo iniziale, può evolvere in due possibili stati alla fine di un periodo di tempo di ampiezza prefissata.

Si presuppone che il mercato sia efficiente, che non ci siano costi di transazione, che sia possibile vendere titoli allo scoperto senza limitazioni e cedere o prendere a prestito denaro allo stesso tasso (costante) di interesse, e che non esistano opportunità di arbitraggio. Si suppone inoltre che l'attività sottostante l'opzione non paghi dividendi anche se quest'ultima ipotesi può essere rimossa.

2.3.2 – IL MODELLO BINOMIALE MONOPERIODO

Cox, Ross and Rubinstein (1979) considerano un titolo azionario S che non corrisponde dividendi il cui prezzo iniziale è S_0 , e il valore del sottostante sia descritto dal seguente albero binomiale moltiplicativo:

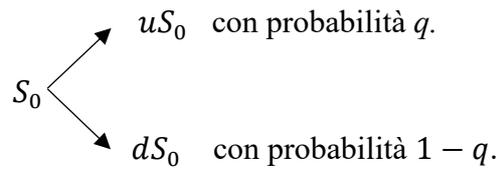


Figura 2.1: Evoluzione del valore del sottostante in un modello binomiale monoperiodo.

La probabilità che il prezzo del titolo aumenti di un fattore u con $u > 1$ è pari a q , mentre la probabilità che il prezzo del titolo diminuisca di un fattore d con $d < 1$ è $1 - q$.

Per eliminare le possibilità di arbitraggio si assume che $u > (1 + r) > d$, con r che indica il tasso d'interesse privo di rischio.

Si consideri ora un'opzione call di tipo europeo scritta sul titolo S il cui valore iniziale che ha scadenza pari a $T = 1$, il cui valore iniziale sia indicato con C_0 . Alla scadenza, l'opzione call assume due possibili valori:

$$C_u = \max(uS_0 - K, 0) \quad C_d = \max(dS_0 - K, 0) \quad (2.9)$$

Per determinare il valore iniziale dell'opzione si possono utilizzare due differenti approcci, ossia le probabilità neutrali al rischio oppure il portafoglio di replica.

Si costruisca ora un portafoglio che replica il payoff alla scadenza dell'opzione, combinando in modo opportuno il titolo azionario sottostante e titoli non rischiosi. Tale portafoglio consiste in una quantità Δ del titolo sottostante e l'importo monetario D investito in titoli non rischiosi. Il payoff corrente di questo portafoglio è

$$\pi_0 = \Delta S_0 + D \quad (2.10)$$

Mentre il valore del portafoglio alla scadenza può essere $\pi_u = u\Delta S_0 + e^{rT}D$ oppure $\pi_d = d\Delta S_0 + e^{rT}D$, come rappresentato in figura 2.2.

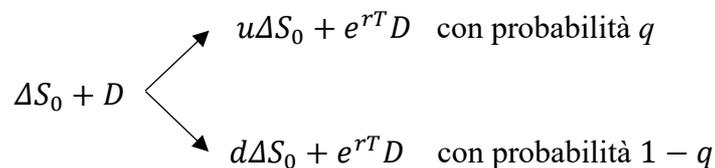


Figura 2.2: evoluzione del valore del portafoglio alla scadenza.

Il portafoglio replica il payoff dell'opzione se i coefficienti Δ e D sono tali che i valori di fine periodo del portafoglio coincidono con i valori di fine periodo dell'opzione in entrambi gli stati possibili. Perciò:

$$\begin{cases} u\Delta S_0 + e^{rT}D = C_u \\ d\Delta S_0 + e^{rT}D = C_d \end{cases} \quad (2.11)$$

Risolvendo il sistema (2.11) si ottengono i valori Δ e D che soddisfano tali equazioni, cioè i valori che rendono il payoff del portafoglio uguale a quello dell'opzione:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{(u - d)S_0}, \quad D = \frac{uC_d - dC_u}{(u - d)e^{rT}}. \quad (2.12)$$

Data l'ipotesi di non arbitraggio il valore corrente dell'opzione call C_0 deve coincidere con il valore corrente del portafoglio di replica. Si ha pertanto che

$$C_0 = \Delta S_0 + D = \frac{C_u - C_d}{(u - d)} + \frac{uC_d - dC_u}{(u - d)e^{rT}} = \frac{\frac{e^{rT} - d}{u - d}C_u + \frac{u - e^{rT}}{u - d}C_d}{e^{rT}} \quad (2.13)$$

Dalla (2.13) emerge una proprietà sorprendente del modello binomiale, e cioè che il valore corrente dell'opzione non dipende in alcun modo dalle probabilità q e $1 - q$. Tale proprietà comporta che il valore attuale dell'opzione è il medesimo sia che il prezzo del sottostante subisca un rialzo con probabilità del 90% o del 10%. Tale caratteristica è dovuta all'esistenza di un portafoglio che replica perfettamente il payoff dell'opzione e ne individua esattamente il prezzo. Due investitori possono anche avere probabilità soggettive diverse associate ai due possibili prezzi finali del titolo sottostante ma il portafoglio di copertura non dipende dalla propensione al rischio o dalle opinioni degli operatori e perciò non è necessario conoscere la struttura delle preferenze degli investitori.

In alternativa si possono trovare le probabilità neutrali al rischio p e $1 - p$, rispettivamente di rialzo e di ribasso del prezzo corrente S_0 del titolo. Imponendo che il valore atteso del prezzo alla scadenza T del titolo sottostante l'opzione

$$E[S_T] = puS_0 + (1 - p)dS_0 \quad (2.14)$$

sia uguale al montante $e^{rT}S_0$ ottenuto investendo il prezzo corrente dell'azione al tasso di interesse privo di rischio r , si ha che

$$E[S_T] = e^{rT}S_0 \quad (2.15)$$

Risolvendo l'equazione (2.15) si ottengono i valori di p e di $1 - p$.

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}, \quad 1 - p = \frac{u - e^{rT}}{u - d}. \quad (2.16)$$

L'ipotesi che $u > (1 + r) > d$ garantisce che le probabilità neutrali al rischio siano strettamente positive. Dalla (2.13) e utilizzando le formule di p e $1 - p$ si ricava una forma più compatta del prezzo iniziale dell'opzione:

$$C_0 = e^{-rT} [pC_u + (1 - p)C_d] \quad (2.17)$$

La relazione (2.17) sottolinea che il prezzo corrente dell'opzione può essere ottenuto in maniera molto semplice attualizzando al tasso privo di rischio il valore atteso del payoff dell'opzione alla scadenza, a condizione che tale valore atteso non sia calcolato con le probabilità q e $1 - q$, ma con le probabilità neutrali al rischio p e $1 - p$.

2.3.3 – IL MODELLO BINOMIALE MULTIPERIODO

L'ipotesi che il prezzo finale del bene possa assumere due soli valori è chiaramente poco realistica. D'altra parte si può supporre di dividere l'intervallo di tempo che intercorre tra il momento di valutazione e la scadenza dell'opzione in un numero M di sottoperiodi di uguale ampiezza. In ciascuno sottoperiodo il prezzo di fine periodo è ottenuto moltiplicando il corrispondente prezzo di inizio periodo per il fattore di crescita u o di decrescita d . Si ottiene così un albero binomiale che descrive l'andamento del prezzo del bene sottostante l'opzione nei singoli sottoperiodi come in figura (2.3).

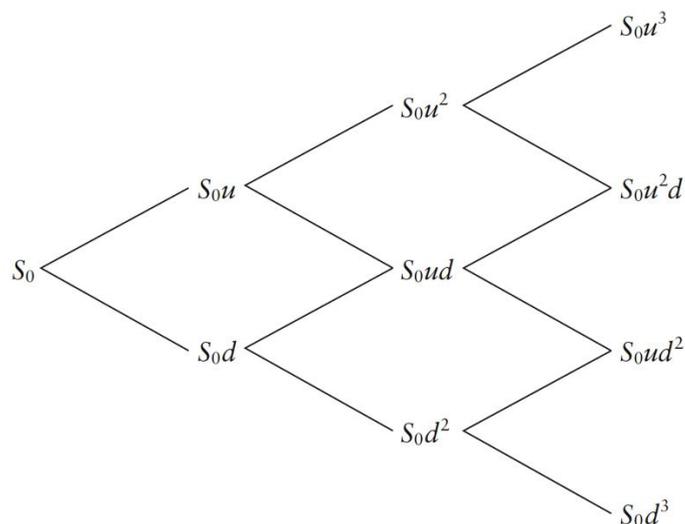


Figura 2.3: Albero binomiale multiperiodo per $n = 3$ periodi.

La valutazione dell'opzione può essere effettuata secondo una tecnica di programmazione dinamica che permette di percorrere all'indietro l'albero binomiale.

Seguendo la trattazione di Higham (2004), si indichi con $\delta t = T/M$ l'intervallo di tempo tra due punti temporali successivi. I prezzi del sottostante sono considerati nei tempi $t_i = i\delta t$ per $0 \leq i \leq M$ (cioè nel periodo da 0 a T ci sono M punti temporali). Dal momento che il prezzo iniziale del titolo S_0 è noto, all'istante $t_1 = \delta t$ i possibili prezzi del titolo sono uS_0 e dS_0 . In modo simile all'istante $t_2 = 2\delta t$ i possibili prezzi del titolo sono u^2S_0 , udS_0 e d^2S_0 (il prezzo udS_0 può provenire sia da un rialzo e poi da un ribasso che dal contrario). In generale, al tempo $t = t_i := i\delta t$ ci sono $i + 1$ possibili prezzi del titolo sono definiti dalla (2.18).

$$S_n^i = d^{i-n}u^n S_0 \quad \text{per } 0 \leq n \leq i. \quad (2.18)$$

Perciò, alla scadenza $t = t_M = T$, ci sono $M + 1$ possibili prezzi dell'asset. I valori S_n^i per $0 \leq n \leq i$ e $0 \leq i \leq M$ formano un albero binomiale, come illustrato in figura (2.3). Per un'opzione call di tipo europeo il payoff alla scadenza ha forma del tipo $\pi(S_T)$, dove $\pi(S_T) = \max(S_T - K, 0)$. Se il titolo ha prezzo S_n^M all'istante $t = t_M = T$, allora il valore dell'opzione alla scadenza è $\pi(S_n^M)$. Generalmente si indica con V_n^i il valore dell'opzione al tempo $t = t_i$ corrispondente al prezzo dell'asset S_n^i . Perciò

$$V_n^M = \pi(S_n^M) \quad \text{per } 0 \leq n \leq M. \quad (2.19)$$

L'obiettivo è di determinare V_0^0 , cioè il valore dell'opzione al tempo zero. Per calcolarlo, si percorre l'albero a ritroso. Supponiamo $(V_n^{i+1})_{n=0}^{i+1}$ siano noti; cioè abbiamo i valori dell'opzione corrispondenti al tempo $t = t_{i+1}$ e tutti i possibili prezzi del titolo in questo tempo (cioè tutte le varie possibilità di una colonna dell'albero). Ora consideriamo il valore dell'opzione V_n^i corrispondente al prezzo del titolo S_n^i al tempo $t = t_i$. Per via dell'assunzione up/down relativa al movimento del prezzo del titolo, lavorando da destra a sinistra, il prezzo S_n^i proviene sia da S_{n+1}^{i+1} (cioè da sopra) con probabilità p , che da S_n^{i+1} (cioè sotto) con probabilità $1-p$ (si tratta delle probabilità neutrali al rischio discusse precedentemente). Moltiplicando i due possibili valori V_{n+1}^{i+1} e V_n^{i+1} per le loro probabilità associate si ottiene un valore atteso. In questo modo il valore dell'opzione V_n^i corrispondente al prezzo dell'asset S_n^i è pari a $pV_{n+1}^{i+1} + (1-p)V_n^{i+1}$, scontato per il tasso neutrale al rischio r . Quindi otteniamo la relazione fondamentale:

$$V_n^i = e^{-r\delta t}(pV_{n+1}^{i+1} + (1-p)V_n^{i+1}), \quad 0 \leq n \leq i, \quad 0 \leq i \leq M-1. \quad (2.20)$$

L'equazione (2.18) mostra come inserire i prezzi del titolo in ogni nodo dell'albero binomiale. Una volta ottenuti i prezzi del titolo al tempo $t = t_M = T$, la (2.19) fornisce il corrispondente valore dell'opzione a quel tempo. L'ultima equazione (2.20) può essere utilizzata per percorrere l'albero all'indietro fino ad ottenere il valore dell'opzione al tempo zero ovvero V_0^0 .

Il valore dell'opzione ottenuto con il binomiale approssima quello ottenuto con la formula di Black and Scholes, e l'approssimazione è tanto migliore quanto M è grande. L'approssimazione del metodo binomiale converge con il metodo Black and Scholes quando $M \rightarrow \infty$.

2.4 - LA SIMULAZIONE MONTE CARLO

Infine, un approccio molto utilizzato per valutare e analizzare strumenti finanziari, portafogli ed investimenti, simulando le fonti di incertezza che ne influenzano il valore, è la simulazione Monte Carlo. Il metodo Monte Carlo fa parte degli approcci che per determinare il prezzo di un derivato utilizzano metodi numerici, cioè tecniche che permettono di ottenere una soluzione approssimata accettabile. La simulazione Monte Carlo supera l'ipotesi poco realistica del modello binomiale secondo cui il sottostante può assumere due soli valori in ogni intervallo di tempo.

Il primo passo della simulazione Monte Carlo secondo Copeland and Antikarov (2003), consiste nel definire i parametri, le variabili di input e il modello che collega tra loro le variabili e permette di calcolare la variabile di output. In particolare è importante individuare le variabili casuali e la rispettiva distribuzione di probabilità. Vi sono diversi tipi di distribuzione di probabilità, come la distribuzione uniforme, normale triangolare o lognormale, dipende dalle caratteristiche delle variabili casuali. Una simulazione può avere più di una variabile casuale a seconda di quante variabili sono soggette ad incertezza e di interesse per l'analisi. Perciò, si devono individuare i valori che le variabili di input possono assumere legati alla probabilità di manifestazione delle stesse. È importante anche definire le correlazioni tra le variabili e la variabile obiettivo della simulazione. La qualità e l'interpretazione dei risultati dipendono da una corretta esplicitazione del modello. Infine si effettua la simulazione che consiste nel generare quanti più valori possibili della variabile di output per ottenere una distribuzione di quest'ultima, in base

alla quale è possibile identificare il valore che potrebbe verificarsi con probabilità maggiore. La simulazione dovrebbe contenere un numero sufficientemente alto di iterazioni in modo da campionare tutte le variabili casuali con tutte le combinazioni possibili.

L'utilizzo della simulazione Monte Carlo per la valutazione di un'opzione consiste in:

- generare tutti i possibili sentieri del prezzo del sottostante, che segue un moto browniano geometrico, usando $S(t + \Delta t) - S(t) = \mu S(t)\Delta t + \sigma S(t)\varepsilon\sqrt{\Delta t}$ dove ε indica una variabile casuale standardizzata e μ rappresenta il tasso di deriva.
- Calcolare il prezzo dell'opzione per ogni sentiero percorrendo l'albero a ritroso, sfruttando le ipotesi di non arbitraggio e di mercato neutrale al rischio.
- Calcolare il prezzo dell'opzione come valore atteso su tutti i sentieri, cioè come media dei valori dell'opzione di tutti i sentieri: $V = \mathbb{E}[V_0] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{i,0}$ dove N è il numero dei sentieri e $V_{i,0}$ è il valore dell'opzione del sentiero i al tempo 0.

Il metodo Monte Carlo permette di utilizzar un numero elevato di variabili ed esprimere le relazioni tra le stesse; tuttavia non è sempre semplice esplicitare le distribuzioni di probabilità delle variabili e vi è il rischio che la soggettività di chi definisce le variabili, le distribuzioni e il modello possa influenzare i risultati della simulazione.

2.5 - GLI APPROCCI DI VALUTAZIONE DELLE OPZIONI REALI

Le assunzioni di mercato completo, esente da opportunità di arbitraggio e senza frizioni sottostanti ai modelli di option pricing descritti sopra sono generalmente realistiche per i mercati finanziari; tuttavia potrebbero non esserle per gli asset reali. Infatti le incertezze specifiche di un progetto in asset reali difficilmente possono essere replicate da un portafoglio di mercato. Mentre i rischi considerati nei modelli di option pricing sono rischi di mercato (cioè il rischio sistematici o non diversificabili rappresentati dal beta del CAPM) la Real Options Analysis deve considerare i rischi privati, ossia quei rischi specifici di un'impresa o del progetto, che sono diversificabili e pertanto non remunerati dal mercato.

Dalla fine del ventesimo secolo sono stati sviluppati diversi metodi per applicare in modo veloce ed efficace le opzioni reali agli investimenti aziendali. Per implementare una

valutazione delle opzioni reali è necessario decidere a quale approccio affidarsi, avendo bene in mente che le differenti assunzioni di questi approcci di valutazione possono avere conseguenze importanti sulla qualità e la consistenza dei risultati. Una discussione interessante sui principali approcci di valutazione alle opzioni reali, sulle relative assunzioni e sui relativi risultati, è stato svolto da Borison nel 2005 nell'articolo "*Real Options Analysis: Where are the emperor's clothes?*".

Borison suddivide gli approcci di valutazione in cinque categorie principali:

- L'approccio classico
- L'approccio soggettivo
- L'approccio MAD
- L'approccio classico revisionato
- L'approccio integrato

Borison (2005) discute questi cinque approcci focalizzando la sua attenzione su tre questioni fondamentali per l'applicazione della Real Options Analysis: la validità delle ipotesi fatte, la difficoltà dello svolgimento e il significato dei valori che si ottengono da ogni metodo.

2.5.1 - L'APPROCCIO CLASSICO

L'approccio classico è la diretta applicazione della teoria finanziaria di option pricing agli investimenti reali o non finanziari. L'esposizione più completa di questo approccio è stata sviluppata da Amram e Kulatilaka (1998).

L'obiettivo degli approcci delle opzioni reali è di individuare il valore delle opzioni, ossia di quella flessibilità che se non considerata riduce il valore degli investimenti. Nel caso dell'approccio classico questo valore altro non è che il valore di mercato, o meglio delle "valutazioni interne di opportunità strategiche di business che sono allineate con le valutazioni nei mercati finanziari". Il valore dell'investimento calcolato attraverso questo approccio rappresenta un valore addizionale generato dall'investimento per gli azionisti, o in altri termini per cosa l'investimento sarebbe scambiato sui mercati finanziari.

L'approccio classico include l'assunzione standard dei modelli di option pricing di poter replicare i payoff dell'opzione reale in questione mediante un portafoglio di replica. Pertanto tale opzione può essere valutata secondo il principio di non arbitraggio. Inoltre

l'approccio classico assume che il movimento del prezzo del sottostante possa essere descritto da un moto browniano geometrico. Queste assunzioni consentono l'utilizzo degli strumenti finanziari tradizionali di pricing, come il modello di Black and Scholes. Adottando un approccio di questo tipo non è richiesta alcuna stima soggettiva delle variabili dal momento che tutte le informazioni sul portafoglio di replica possono essere osservate sul mercato.

L'approccio si articola in tre fasi:

- 1 – Individuare il portafoglio di replica e calcolare il suo valore di mercato e la volatilità.
- 2 – Dimensionare l'investimento relativo al portafoglio di replica.
- 3 – Utilizzare gli strumenti finanziari standard di pricing delle opzioni per determinare il valore dell'opzione reale, tipicamente Black and Scholes.

Nonostante questo metodo sia di facile applicazione, poiché evita complessità non essenziali per focalizzarsi sull'idea di valutare la flessibilità, Borison sottolinea che il metodo classico è inadeguato rispetto alla realtà. Infatti manca di prove a sostegno dell'esistenza di un portafoglio di replica di attività finanziarie per un investimento in asset reali. Solitamente, si presta un'attenzione considerevole alle covarianze tra i titoli individuali e il mercato (che sono rappresentate dai beta), mentre si considera poco la correlazione tra i singoli titoli e ancora meno tra le attività reali e le attività finanziarie. Brealey e Myers (2000) sostengono che il principio di non arbitraggio non possa essere utilizzato per giustificare l'applicazione di opzioni reali poiché molti asset reali non sono presenti sul mercato e ciò rende il principio di non arbitraggio non valido.

Per di più i sostenitori dell'approccio classico hanno visto applicare l'argomento del portafoglio di replica a casi decisamente deboli. Per esempio, Amram e Kutilaka (1998) lo hanno applicato ad un investimento specifico di un'impresa in uno stabilimento tessile e si riferiscono ad un portafoglio di replica costituito dai titoli di uno stabilimento tessile. Tuttavia, mentre ci può essere una qualche relazione tra il valore di uno stabilimento tessile specifico e questo portafoglio, il portafoglio non replica in alcun modo il rischio dello stabilimento tessile in questione, che probabilmente è molto più grande di quello del portafoglio e potrebbe essere anche correlato negativamente con esso. Un'altra applicazione implica un investimento in un terreno vacante per il quale il portafoglio di

replica proposto è un paniere di titoli di REIT. Ancora una volta ci sono poche ragioni per credere che il valore di questo paniere si altamente correlato al valore del terreno. Pertanto i risultati derivati dall'utilizzo dell'approccio classico dovrebbero essere trattati con particolare cautela. Gli investimenti reali sono tipicamente caratterizzati sia da rischio privato che pubblico (cioè i rischi del mercato). Applicare i principi di non arbitraggio e del portafoglio di replica ha senso per quanto riguarda i rischi del mercato, ma non lo ha in relazione ai rischi privati che sono per definizione unici e non replicabili. Anche gli autori che adottano l'approccio classico come i sopracitati Amram e Kulatilaka ammettono che utilizzare la teoria delle opzioni finanziarie per gli investimenti reali può portare a "tracking errors" dovuti in parte ai rischi privati. Comunque nel loro lavoro non ci sono suggerimenti su come trattare questi errori e su come tenere conto dei rischi privati.

2.5.2 - L'APPROCCIO SOGGETTIVO

Anche l'approccio soggettivo è basato sugli argomenti del portafoglio di replica e di non arbitraggio, e dall'uso degli strumenti standard di option pricing. Tuttavia, invece di individuare esplicitamente un portafoglio di replica, questo approccio usa interamente stime soggettive dei parametri di input. La migliore rappresentazione di questo approccio è fornita in due articoli di Tim Luehrman nel 1997 e nel 1998.

Luehrman (1997) propone che una classe di investimenti, che chiama "opportunities", da analizzare mediante le opzioni reali. Si tratta di investimenti suddivisi in stadi dove l'investimento iniziale tipicamente non genera flussi di cassa ma piuttosto il diritto di effettuare investimenti futuri. Secondo Luehrman l'applicazione delle Real Options Analysis ad investimenti a stadi costituisce un criterio per le decisioni che hanno l'obiettivo di massimizzare il valore per gli azionisti.

Le assunzioni sottostanti all'approccio soggettivo sono essenzialmente le stesse sottostanti all'approccio classico. Questo approccio assume l'esistenza di un portafoglio di replica e pertanto l'applicabilità del principio di non arbitraggio. Inoltre, assume che gli andamenti del valore di questo portafoglio siano descritti a un moto browniano geometrico. Luehrman (1998) sostiene che quando le assunzioni di Black and Scholes

falliscono, questo framework fornisce delle intuizioni qualitative anche se i numeri sono meno affidabili. Tuttavia non fornisce alcuna prova a sostegno.

Nonostante le assunzioni chiave siano identiche a quelle dell'approccio classico, le strutture dei due approcci sono molto differenti nella raccolta dei dati, che rende l'approccio soggettivo ancora più semplice. I due passi di questo approccio sono:

1 – Stimare soggettivamente il valore e la volatilità dell'investimento sottostante l'opzione reale.

2 – Applicare gli strumenti finanziari standard di pricing delle opzioni per determinare il valore dell'opzione reale, tipicamente Black and Scholes.

Le maggiori difficoltà con l'approccio soggettivo è l'idea strana ed inconsistente di affidarsi alle assunzioni di non arbitraggio e del portafoglio di replica e allo stesso tempo di utilizzare dei valori soggettivi per le variabili input, per niente legati al portafoglio. Non è svolto nessun tentativo di giustificare l'utilizzo di queste valutazioni soggettive come proxy appropriate dei valori di mercato. Si supponga per esempio di considerare un investimento con un ovvio portafoglio di replica; cioè che esistano degli equivalenti sul mercato. In questo caso, sembra essere estremamente imprudente fare affidamento sui giudizi soggettivi piuttosto che sui dati del mercato per determinare il valore dell'investimento. Se, invece, si suppone che non sia possibile costruire un portafoglio di replica, allora non c'è altra scelta che fare affidamento su delle stime soggettive delle variabili di input. In ogni caso, le assunzioni sottostanti a questo approccio, relative all'esistenza di un portafoglio di replica sono violate e bisogna trattare l'output come "qualitativo".

Quando esiste un portafoglio di replica, l'approccio classico fornisce la risposta corretta utilizzando i dati del mercato. Se invece non esiste un portafoglio di replica, il significato e la rilevanza del valore dell'opzione calcolata seguendo i principi del non arbitraggio e del portafoglio di replica sono estremamente discutibili.

2.5.3 - L'APPROCCIO MAD

L'approccio classico è strettamente collegato ai modelli di pricing delle opzioni finanziarie. È basato sull'esistenza di un portafoglio di replica ed è costruito sui dati che derivano da questo portafoglio. L'approccio soggettivo prende in parte distanza dai modelli di pricing standard poiché basato sull'esistenza di un portafoglio di replica ma è costruito su dati stimati soggettivamente (anche se l'utilizzo di questi dati non è giustificato esplicitamente). L'approccio del Marketed Asset Disclaimer (MAD) prende invece completamente le distanze dai metodi di pricing standard e giustifica esplicitamente questo allontanamento.

Specificatamente, l'approccio MAD non si affida all'esistenza di un portafoglio di replica. Utilizza, invece, le stesse assunzioni usate per giustificare l'applicazione del Net Present Value ai progetti di investimento, per giustificare l'applicazione della Real Option Analysis agli investimenti flessibili delle imprese. La descrizione più completa di questo approccio è fornita da Tom Copeland e Vladimir Antikarov (2001).

Così come Amram, Kutilaka e Luehrman, Copeland e Antikarov vedono la massimizzazione del valore per gli azionisti come l'obiettivo aziendale prioritario e quindi come il traguardo della ROA. Di conseguenza si può interpretare l'output dell'approccio MAD come una stima del valore creato per i differenti investitori dell'azienda e uno strumento di supporto per prendere le decisioni.

Copeland e Antikarov (2001), inoltre sostengono che il NPV, ovvero l'approccio tradizionale dominante per la valutazione degli investimenti, sottovaluta sistematicamente ogni opportunità di investimento a causa del suo fallimento nel tenere conto della flessibilità manageriale. Questi autori credono che il loro approccio alle opzioni reali sia applicabile alla maggior parte decisioni di investimento dove la massimizzazione del valore è l'obiettivo principale.

Secondo Copeland, Koller and Murrin (2000, p.94):

“the option pricing approach gives the correct value because it captures the value of flexibility correctly by using an arbitrage-free replicating portfolio approach. But where does one find the twin security? We can use the project itself (without flexibility) as the twin security, and use its NPV (without flexibility) as an estimate of the price it would have if it were a security traded in the open market. After all, what has better correlation

with the project than the project itself? And we know that the DCF value of equities is highly correlated with their market value when the optionality is not an issue. We shall use the net present value of the project' expected cash flows (without flexibility) as an estimate of the market value of the twin security. We shall call this the marketed asset disclaimer.”

Perciò, quando non si può costruire un portafoglio di replica, si può utilizzare il NPV del progetto stesso (senza flessibilità) come una stima del valore che il progetto avrebbe se ci fosse un titolo sul mercato equivalente al progetto stesso. Inoltre niente è correlato meglio al progetto che il progetto stesso. Infatti i due autori assumono che il valore attuale dei flussi di cassa del progetto senza flessibilità (cioè il NPV tradizionale) sia la migliore stima non distorta del valore di mercato di un'opzione. Copeland e Antikarov (2001) giustificano tale assunzione nel seguente modo: l'utilizzo del NPV per valutare un progetto di investimento presuppone che ci siano titoli sul mercato di rischio comparabile (ovvero con lo stesso beta del CAPM) a quello dell'investimento, e sostengono che le assunzioni del MAD non sono più forti di quelle utilizzate per calcolare il valore del progetto con il NPV. Allora il valore NPV di un progetto è una stima del valore che l'investimento avrebbe se fosse sul mercato. L'unico dato utilizzato in questo modello che proviene dal mercato è il tasso di sconto risk-adjusted. In modo simile, il valore dell'opzione reale per un investimento flessibile è una stima del valore che l'investimento flessibile avrebbe se fosse sul mercato. Ancora, l'unico data di mercato utilizzato in questo calcolo è il tasso di sconto risk-adjusted.

In aggiunta al MAD, Copeland e Antikarov (2001) fanno la solita assunzione che il valore del sottostante segua un moto browniano geometrico. Piuttosto che utilizzare tale assunzione per utilizzare il modello di Black-Scholes, fanno affidamento su uno strumento di pricing più generale, ovvero il modello binomiale. In questo reticolo il NPV iniziale è una stima del valore dell'investimento come se fosse sul mercato. Il moto browniano geometrico del sottostante è una proiezione del futuro andamento del valore del sottostante se fosse sul mercato. E ancora il valore dell'opzione reale ottenuto utilizzando l'albero binomiale è una stima del valore dell'opzione se il sottostante fosse sul mercato con un moto browniano geometrico.

I due autori sostengono che la maggior parte delle applicazioni di pricing delle opzioni siano limitate a quelle situazioni dove il valore dell'opzione dipende dal prezzo di mercato di una commodity come il petrolio, il carbone, l'oro o il nichel. Utilizzando il MAD combinato ad un albero binomiale invece è possibile risolvere un set di problemi molto più ampio. Sicuramente il range di applicazioni è più ampio ma la questione più importante è se queste applicazioni siano corrette.

Seguendo i due autori l'approccio del MAD è così strutturato:

- 1 – Predisporre un foglio di calcolo contenente il modello dei flussi di cassa del progetto sottostante (utilizzando le stime soggettive dei parametri di input); calcolare il NPV del progetto utilizzando il tasso di sconto ricavato dal CAPM.
- 2 – Stimare l'incertezza associata ai parametri di input del modello ed effettuare una simulazione Monte Carlo del modello.
- 3 – Utilizzare la distribuzione risultante per costruire un albero binomiale neutrale al rischio (basato sul moto browniano geometrico) per calcolare il valore dell'opzione.

Sembrano esserci due problemi concettuali fondamentali con l'approccio MAD. Il primo deriva dall'assunzione stessa del MAD, cioè che il valore del progetto sottostante debba essere stimato interamente in modo soggettivo. Questa assunzione sembra ignorare la possibilità che possa esserci un portafoglio di replica sul mercato per l'investimento in questione o almeno per alcuni elementi importanti dell'investimento (come i prezzi delle commodity) che potrebbero invece avere degli equivalenti sul mercato. Ne consegue che si ignorano completamente le informazioni del mercato (ad eccezione del tasso risk-adjusted) relative al valore dell'investimento e/o di elementi importanti relativi all'investimento. Comunque l'utilizzo di dati soggettivi per tutti gli input ad eccezione del costo del capitale significa che potrebbero esserci opportunità di arbitraggio tra l'investimento aziendale ed investimenti finanziari, se questi ultimi sono disponibili.

Ironicamente, ciò implica che questo approccio basato sulla teoria finanziaria è davvero appropriato laddove gli investimenti aziendali non hanno assolutamente equivalenti sul mercato.

Il secondo problema di questo approccio deriva dall'assunzione del moto browniano geometrico. Infatti non c'è nessun motivo per ritenere che le stime soggettive (che sono

alla base del MAD) del valore dell'investimento sottostante debbano seguire un moto browniano geometrico. Gli andamenti di tali valori potrebbero essere guidati in un modo che non ha niente a che fare con tale moto.

In aggiunta a queste due difficoltà, l'approccio MAD presenta inoltre la sfida pratica di sviluppare un modello dei flussi di cassa e dei relativi input soggettivi.

2.5.4 - L'APPROCCIO CLASSICO REVISIONATO

L'approccio classico, l'approccio soggettivo, e il MAD sono tutti esempi alternativi di una prospettiva "one size fits all", cioè secondo i loro sostenitori questi approcci sono applicabili nella stessa forma standard a tutti i tipi di investimenti delle imprese. L'approccio classico revisionato si basa invece sull'idea che esistano due tipi differenti di investimenti ognuno dei quali richiede il proprio approccio.

L'approccio classico revisionato, in contrasto con il MAD, dichiara esplicitamente che le assunzioni sottostanti alla ROA sono piuttosto restrittive. Perciò propone di utilizzare la l'analisi classica delle opzioni reali basata sulla teoria finanziaria quando le assunzioni sottostanti sono appropriate, altrimenti di utilizzare approcci basati sulle scienze gestionali come la programmazione dinamica o l'analisi decisionale. In particolare, la Real Options Analysis dovrebbe essere utilizzata quando gli investimenti sono caratterizzati dal rischio di mercato, mentre la programmazione dinamica e l'analisi decisionale quando gli investimenti sono caratterizzati da rischi privati.

Nel primo caso il significato del valore dell'opzione che si calcola è esattamente lo stesso del caso classico, cioè rappresenta il valore per gli azionisti generato dal progetto e può essere usato come un valore soglia oggettivo e basato sull'argomento di non arbitraggio per massimizzare il benessere degli azionisti.

Nel secondo caso il significato del valore che si ottiene è più complicato. Qui gli investimenti sono caratterizzati prevalentemente dal rischio privato e si utilizzano valutazioni soggettive per stimare questo rischio. Se il valore dell'opzione è calcolato usando le preferenze di tempo e di rischio del management, allora rappresenta l'equivalente dell'investimento basato sulla funzione utilità del management. D'altra parte, assumendo che le preferenze di tempo e rischio siano modellate in maniera

consistente con la teoria finanziaria, il valore dell'opzione ottenuto rappresenta una stima del valore creato per gli azionisti utilizzando input stimati dal management.

L'approccio classico revisionato è stato elaborato principalmente da Avinash Dixit e Robert Pindyck nel 1994 in *"Investment under Uncertainty"*. È stato poi ripreso da Amram e Kutilaka nel 2000 e per questo motivo è chiamato "classico revisionato".

Amram e Kutilaka sostengono la loro tesi utilizzando il termine "tracking", cioè che la Real Options Analysis dovrebbe essere utilizzata quando il trend di un investimento può essere ragionevolmente "tracciato" da titoli presenti sul mercato. Questa tipologia di analisi è rilevante solo per quel sottoinsieme di opzioni strategiche per le quali la decisione di esercizio è prevalentemente innescata dal rischio di mercato. L'analisi decisionale è invece applicata quando un investimento non può essere "tracciato" dai rischi di mercato o presumibilmente quando le decisioni non sono guidate da tali tipi di rischio.

Amram e Kutilaka (2000) non affrontano due questioni importanti relative all'implementazione. Nonostante discutano diversi esempi di investimenti delle due categorie non forniscono nessuna guida su come assegnare gli investimenti ad una categoria o all'altra. E ancora più importante non forniscono alcuna indicazione sul tasso di sconto appropriato da applicare quando si adotta l'analisi decisionale per gli investimenti "non tracciabili".

L'approccio classico revisionato implica i seguenti passaggi:

- 1 – Determinare se l'investimento in questione è caratterizzato in prevalenza da rischi di mercato o privati.
- 2 – In caso di rischi di mercato, applicare l'approccio classico
- 3 – In caso di rischi privati, applicare l'analisi decisionale:
 - Realizzare un albero decisionale che rappresenti le alternative di investimento.
 - Assegnare le probabilità e i valori ai rischi basati in base al giudizio soggettivo.
 - Preparare un foglio di calcolo per determinare i flussi di cassa in ogni punto finale dell'albero e calcolare il rispettivo NPV utilizzando il tasso di sconto appropriato.
 - Percorrere l'albero a ritroso per determinare la strategia ottima e il suo valore.

Il problema principale dell'approccio classico revisionato è la sua natura "bianca o nera": nella realtà rappresentata da questo approccio, tutti gli investimenti sono caratterizzati o dai rischi di mercato o dai rischi privati. In realtà la maggior parte degli investimenti aziendali include un mix di rischi pubblici e privati, e quindi si può introdurre un errore considerevole assumendo che gli investimenti appartengano interamente ad una o all'altra categoria. C'è un ulteriore problema con questo approccio: gli autori suggeriscono di usare l'analisi decisionale quando prevale il rischio privato. Comunque, come notato precedentemente, non forniscono una guida riguardo a quale tasso di sconto è appropriato riflettere le preferenze di rischio degli azionisti. La pratica comune nell'analisi decisionale è di usare il costo medio ponderato del capitale WACC. Presumibilmente il tasso WACC per un rischio privato senza correlazioni con il mercato è il tasso risk-free. Ciò porta a valori estremamente elevati delle opzioni e degli investimenti caratterizzati da un rischio privato elevato.

Se uno accetta la separazione degli investimenti nelle due casistiche, le difficoltà di implementazione che si affrontano sono quelle dell'approccio classico da un lato e quelle dell'analisi decisionale standard dall'altro. In questo secondo caso il problema principale è definire gli input soggettivi e vi è la complicazione aggiuntiva di selezionare il tasso di sconto che permette di interpretare appropriatamente i risultati in termini di valore per gli azionisti.

2.5.5 - L'APPROCCIO INTEGRATO

I quattro approcci descritti fino a qui iniziano dalla teoria finanziaria per espandersi agli investimenti reali come opposti a quelli finanziari. L'approccio integrato inizia considerando che vi sono due tipi di rischio associati alla maggior parte degli investimenti aziendali: il rischio di mercato (o pubblico) e il rischio privato (o corporate). A differenza dell'approccio classico e di quello revisionato, l'approccio integrato non guarda al rischio privato come una fonte di errori né classifica gli investimenti interamente appartenenti ad una delle due categorie. Riconosce invece che la maggior parte degli investimenti è caratterizzata da entrambe le tipologie di rischio.

Questo approccio è stato descritto nel dettaglio prima in un articolo di Smith e Nau nel 1995 e poi ripreso in un articolo successivo da Smith e McCardle nel 1998. Entrambi gli

articoli si riferiscono specificatamente al loro approccio come l'integrazione dell'option pricing e dell'analisi decisionale.

Secondo l'approccio integrato l'impresa ha una varietà di stakeholder, in particolare il management e gli azionisti; inoltre l'obiettivo di un investimento è la massimizzazione dell'utilità di questi azionisti e del management. Smith and Nau sostengono che quando i mercati sono completi, le decisioni di investimento possono essere prese solamente sulla base delle informazioni di mercato e tutti gli azionisti, a prescindere dalle loro credenze e preferenze, sono d'accordo sui valori del progetto e sulle strategie del management. Sotto queste condizioni, la massimizzazione dell'utilità degli azionisti e del management è la stessa massimizzazione del benessere degli azionisti degli approcci precedenti. La situazione è in qualche modo più complicata quando i mercati sono incompleti perché le credenze (le stime delle probabilità) e le preferenze (le avversioni al rischio) dei singoli stakeholder giocano un ruolo importante. In questa situazione l'approccio integrato assume che gli azionisti siano completamente d'accordo con le stime di probabilità dei rischi privati assunte dal management. Quindi l'obiettivo del management è di massimizzare il benessere degli azionisti dell'impresa e, laddove è richiesta una valutazione soggettiva, il management la fornisce seguendo le preferenze degli azionisti. Così facendo, qualsiasi investimento aziendale può essere valutato con l'approccio integrato, anche se si assume che i mercati siano solo parzialmente completi.

Secondo Smith e Nau, l'idea alla base della procedura di valutazione integrata è di usare i metodi di option pricing per valutare i rischi che possono essere coperti con lo scambio di titoli esistenti sul mercato, e di usare l'analisi decisionale per valutare quei rischi che non possono essere coperti sul mercato. L'assunzione fondamentale degli autori è che i mercati finanziari sono parzialmente completi, cioè sono completi solo rispetto a quei rischi conosciuti come rischi di mercato che possono essere coperti in ogni stato del mondo. L'approccio integrato fa relativamente poche assunzioni sulla forma di questi rischi (per esempio non c'è bisogno dell'assunzione relativa al moto browniano geometrico).

Per implementare questo approccio Smith e Nau utilizzano quello che può essere chiamato "albero decisionale risk-adjusted", nel quale si identificano esplicitamente i

rischi pubblici e i rischi privati, è possibile coprire i rischi del mercato, e non ci sono opportunità di arbitraggio.

L'approccio integrato si articola nelle seguenti fasi:

- Predisporre un albero decisionale che rappresenta le alternative dell'investimento, così come per l'approccio classico revisionato.
- Identificare ogni rischio che sia pubblico o privato.
- Per i rischi di mercato, identificare un portafoglio di replica e assegnare le probabilità neutrali al rischio.
- Per i rischi privati assegnare delle probabilità soggettive, cioè stimate dal management in base all'esperienza aziendale.
- Preparare un foglio per calcolare i flussi di cassa di ogni punto finale dell'albero decisionale e calcolare il NPV utilizzando il tasso risk-free.
- Percorrere l'albero a ritroso per determinare la strategia ottima e il suo valore.

L'approccio integrato sembra essere l'unico metodo che considera gli investimenti aziendali come caratterizzati sia da rischi pubblici che privati. Ad un livello pratico, la maggiore difficoltà di questo approccio è che richiede un maggiore sforzo di realizzazione ed è più difficile da spiegare al management. L'approccio integrato richiede la concettualizzazione, la raccolta dei dati e la modellizzazione sia da un punto di vista finanziario che da un punto di vista gestionale.

2.5.6 – LA LOGICA FUZZY APPLICATA ALLE OPZIONI REALI

Un passo successivo e recente a quello dell'approccio integrato nel trattare il rischio privato è rappresentato dalla logica fuzzy applicata alle opzioni reali. L'approccio fuzzy non solo permette di modellare le preferenze, ma anche di tenere conto dell'incertezza soggettiva.

Tutti i modelli descritti precedentemente usano la teoria della probabilità nell'analisi dell'incertezza. Ci sono però altri modi di trattare l'incertezza e l'imprecisione delle stime future. Uno di questi è la logica fuzzy. Secondo la teoria degli insiemi classica un elemento appartiene ad un insieme, oppure no. Questo tipo di logica bivalente o booleana è usato comunemente per le applicazioni finanziarie ed è un'assunzione base della teoria

probabilistica. Tuttavia le decisioni finanziarie sono prese generalmente in condizioni di incertezza e perciò è praticamente impossibile fare delle stime assolutamente corrette. La logica fuzzy, detta anche logica sfumata, è una logica polivalente che permette di attribuire a ciascuna proposizione un grado diverso da 0 e 1 e compreso tra loro. Ciò significa che gli insiemi fuzzy possono essere utilizzati per rappresentare scenari incerti ed imprecisi.

La logica fuzzy applicata alle opzioni reali è stata introdotta per la prima volta da Carlsson e Fuller (2003), i quali hanno cercato di individuare le strategie ottime utilizzando la ROA con parametri incerti. Questo metodo permette di affrontare il problema del rischio privato: le incertezze relative ai rischi di mercato sono rappresentate da variabili casuali, mentre le variabili fuzzy sono usate per i rischi di privati.

I due autori assumono che il NPV del progetto e il prezzo di esercizio dell'opzione sono numeri fuzzy con funzioni di appartenenza trapezoidali. Anche il valore dell'opzione reale è un numero fuzzy poiché gli input includono numeri fuzzy e può essere calcolato come il valore atteso del valore dell'opzione reale fuzzy.

Collan, Fuller e Mezei (2009) hanno sviluppato il metodo del fuzzy payoff per le opzioni reali, nel quale utilizzano la logica e i numeri fuzzy per creare la possibile distribuzione del payoff di un progetto. Questo metodo deriva il valore dell'opzione reale da una distribuzione del payoff creata da uno o più esperti, utilizzando tre (nel caso di numeri fuzzy triangolari) o quattro (nel caso di numeri fuzzy trapezoidali) scenari dei flussi di cassa. Calcolati i NPV di ogni scenario si può determinare il fuzzy NPV mediante la simulazione Monte Carlo. Infine utilizzando il fuzzy NPV si ottiene il valore dell'opzione reale dalla seguente formula:

$$ROV = \frac{A_+}{A_+ + A_-} * \mathbb{E}[A_+] \quad (2.21)$$

Dove A_+ rappresenta l'area della parte positiva della distribuzione del fuzzy NPV, A_- rappresenta l'area della parte negativa della distribuzione fuzzy e $\mathbb{E}[A_+]$ è il valore medio della parte positiva della distribuzione.

Per concludere, secondo i sostenitori di questo approccio quando si ha che fare con opzioni reali, le imprecisioni che si incontrano stimando i flussi di cassa futuri non sono di natura stocastica e l'utilizzo della teoria delle probabilità conduce ad un livello di

precisione errato. Senza introdurre la logica fuzzy sarebbe impossibile avere un'incertezza genuina.

Tutti gli approcci di valutazione alle opzioni reali descritti precedentemente vogliono essere uno strumento di supporto al management nel selezionare gli investimenti, che massimizzino il benessere degli azionisti. Questi approcci però differiscono in modo contraddittorio in due assunzioni chiave: la natura dei mercati dei capitali e l'origine dei dati (e teoria possibilistica per l'approccio fuzzy). Di conseguenza differiscono anche nella meccanica di svolgimento. Per questi motivi i diversi approcci di valutazione delle opzioni reali possono portare a risultati differenti e anche contraddittori. Per evitare errori grossolani è necessario valutare criticamente la qualità complessiva di ogni approccio e applicare il metodo appropriato al progetto di investimento che si intende valutare.

CAPITOLO 3 – LE OPZIONI REALI NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA

Nei precedenti capitoli sono state introdotte ed illustrate le opzioni reali, la ROA ed i vari approcci di valutazione delle opzioni reali. In questo capitolo sono discussi gli investimenti di riqualificazione urbana ed i motivi per cui questa tipologia di investimenti è adatta alla ROA, mostrando una serie di esemplificazioni che identificano le fattispecie di opzioni reali che si possono trovare in questi progetti.

Nel 2018 le transazioni immobiliari in Italia sono diminuite del 22% rispetto ad un contesto europeo che è leggermente migliorato (CBRE Italia, “*Real Estate Market Outlook 2019*”, 2019). Sempre secondo il sopracitato studio CBRE, la causa principale di questo calo è da attribuire all’incertezza politica, che ha provocato un aumento dello spread ed una maggiore difficoltà ad accedere ai finanziamenti. Un secondo ed importante fattore che ha contribuito a questa diminuzione, è stata la mancanza di prodotto, in particolare per il settore degli uffici, della logistica e dell’alberghiero.

L’indagine CBRE sulle intenzioni del 2019 (figura 3.1) evidenzia che la disponibilità di asset rappresenta il maggiore ostacolo all’investimento, mentre la percezione del costo dell’immobile è considerato il secondo ostacolo all’acquisto in Italia. Ne risulta che l’Italia sia ancora caratterizzata da una mancanza strutturale di prodotto.

Qual è l’ostacolo maggiore per acquisire asset in Italia?

| | 2017 | 2018 | 2019 |
|--|------|------|------|
| L’instabilità politica | 15% | 8% | 14% |
| La disponibilità di asset | 22% | 25% | 21% |
| Il costo dell’immobile | 10% | 16% | 15% |
| La disponibilità e/o il costo del debito | 5% | 5% | 7% |
| La competizione tra gli investitori | 10% | 12% | 9% |
| La poca trasparenza del mercato | 15% | 13% | 11% |
| La carenza di partner per gli investimenti | 4% | 1% | 4% |
| La tassazione | 6% | 11% | 9% |
| Il quadro giuridico | 11% | 7% | 5% |

Figura 3.1: Indagine sulle intenzioni degli investitori in Italia nel 2019 (CBRE Italia, “*Real Estate Market Outlook 2019*”, 2019).

Ovviamente, nel momento in cui si verifica un livello insufficiente di offerta rispetto ad una domanda elevata, il costo dei prodotti disponibili aumenta inevitabilmente. Per questo motivo ci si aspetta, sempre secondo l'analisi CBRE, che il prodotto stesso cambi: da questa prospettiva le aree dismesse rappresentano un prodotto di investimento molto attraente.

Secondo gli scarsi dati a disposizione (dati Anci su indagini Istat del 2012), si stima che in Italia siano presenti circa 9 miliardi di metri quadrati di aree dismesse: queste aree possono rappresentare delle grandi opportunità per le città italiane. Francesca Zirnstain, direttore generale di Scenari Immobiliari, in occasione dello studio *“Rigenerare aree dismesse, rivitalizzare territori”* (2019) sostiene che *“20 milioni di metri quadrati di aree dismesse in Lombardia, di cui circa un terzo appetibili, al cui interno è possibile recuperare una Slp (superficie lorda di pavimento) pari a circa 3 milioni di mq, capace di generare un valore potenziale di circa 2,7 miliardi di euro, grazie a piani di rigenerazione urbana, da realizzarsi attraverso progetti architettonici di qualità capaci di contribuire allo sviluppo del contesto territoriale di riferimento e di dare risposta alle nuove esigenze sociali”*.

I progetti di rigenerazione urbana, ossia progetti destinati al recupero, alla riqualificazione, alla rifunzionalizzazione di aree dismesse rappresentano oggi un tema di forte discussione. La rigenerazione urbana prende la forma di azioni di intervento per cercare di contrastare il declino urbano e correggere i possibili fallimenti di mercato. A Torino, per esempio, vi sono oltre 3.500.000 di metri quadrati di aree da riconvertire (Andrea Rossi, *“Nuove regole in arrivo per far ripartire aree dismesse e mercato immobiliare a Torino”*, La Stampa, 2019): i 90.000 metri quadrati dell'ex Manifattura Tabacchi nell'area nord della città, il grattacielo Rai in via Cernaia chiamato anche *"grattacielo dell'amianto"* che richiede importanti interventi di bonifica ed è abbandonato ormai da cinque anni; o ancora i 300.000 metri quadrati dell'ex acciaieria Thyssen Krupp e l'ex Westinghouse di via Borsellino che Esselunga dovrebbe trasformare in Centro Congressi e in supermercato, ma l'intervento non parte. Tutte queste aree costituiscono delle vere e proprie cicatrici per la città e provocano delle evidenti esternalità negative sul territorio urbano. L'impatto economico può essere notevole per quanto riguarda la riduzione dei canoni di locazione e dei prezzi di vendita, l'incremento dei luoghi sfitti,

dei costi di transazione e di possibili cause legali. Date le ricadute negative di carattere economico e sociale sul territorio, le aree dismesse costituiscono delle opportunità di sviluppo urbano sostenibile e il loro recupero rappresenta un problema di grande rilevanza ed interesse. Nonostante gli effetti positivi sul territorio di questi progetti, oggi gli investimenti di riqualificazione delle aree dismesse sono poco significativi: infatti sono considerati troppo rischiosi dagli investitori privati e di difficile gestione da parte delle amministrazioni pubbliche.

L'approccio convenzionale alla valutazione degli investimenti di riqualificazione urbana è il classico modello dei Discounted Cash Flows. Le maggiori carenze dell'approccio dei DCF (già descritte dettagliatamente nel Capitolo 1) risiedono nel non riconoscere la natura stocastica dei flussi di cassa generati dal progetto e non determinare il valore aggiunto dalla capacità degli investitori di asset reali di cogliere le opportunità che si possono presentare per incrementare i flussi di cassa e il valore delle proprietà. La ROA permette esplicitamente di incorporare, nella stima del valore della proprietà, le opzioni reali che sono disponibili ad un investitore. Queste opzioni gli permettono di affrontare le variazioni stocastiche dei flussi di cassa attesi con azioni flessibili che possono incrementare il valore della proprietà. Gli investimenti di riqualificazione delle aree dismesse quindi appartengono a quella classe di investimenti, trattati in generale nel Capitolo 1, che si presta alla Real Options Analysis. Infatti, sono contraddistinti dalle tre caratteristiche principali che determinano il valore delle opzioni reali: irreversibilità, incertezza e flessibilità. È l'incertezza relativa ai ritorni finanziari di un progetto che causa i rischi. Il rischio è la possibilità che la performance di un futuro investimento vari nel tempo in modo non interamente predittivo nel momento in cui si svolge l'analisi. Dal momento che i rischi impattano i rendimenti finanziari, la sua gestione gioca un ruolo cruciale nel processo di rigenerazione. Il controllo del rischio è l'essenza degli sviluppi immobiliari e la flessibilità consente ai manager di controllare il rischio. La ROA è pertanto uno strumento di inesplicabile supporto per le decisioni di investimento: da una parte permette di identificare la flessibilità inerente al progetto ed utilizzarla nel momento più conveniente, dall'altra parte permette di quantificare e includere nella stima del progetto il grande valore associato alle opportunità individuate alla valutazione. Ciò costituisce un valore aggiunto rispetto ai modelli di valutazione tradizionale e può essere

cruciale nel determinare l'avvio di un progetto di riqualificazione urbana, che altrimenti sarebbe scartato.

Prima di descrivere le caratteristiche di questo tipo di progetti che gli consentono di includere le opzioni reali nella loro analisi, sono di seguito presentati brevemente gli oggetti di questi investimenti di riqualificazione, i principali ostacoli che ne contrastano l'avvio e le ricadute positive che provocano sul territorio.

3.1 - LE AREE DISMESSE ED I BROWNFIELDS

Gli investimenti di rigenerazione urbana hanno come oggetto le aree dismesse ed in particolare i brownfields. In generale, con il termine aree dismesse si definiscono quegli spazi urbani o extraurbani, di agglomerato o di semplici fabbricati, che non sono più utilizzati ai fini delle attività per le quali sono stati pensati e realizzati, e che sono in attesa di utilizzazioni. Tra le aree dismesse si possono distinguere i cosiddetti “*brownfields*”. Genericamente, il termine brownfields si riferisce ad un qualunque terreno o edificio usato precedentemente ed al momento dismesso o sottoutilizzato, il cui livello di contaminazione e di degrado sono tali da richiedere un intervento specifico per il suo riutilizzo. La United States Environmental Protection Agency (USEPA) definisce i brownfields come “*Real property, the expansion, redevelopment, or reuse of which may be complicated by the presence or potential presence of a hazardous substance, pollutant, or contaminant*” (ATAP, “*Proposta di linee guida per il recupero ambientale e la valorizzazione economica dei brownfields*”, Roma 2006, pag. 14). Per i paesi dell'Unione Europea una definizione autorevole di brownfield è stata fornita dal progetto CLARINET: “*sites that have been affected by the former uses of the site and the surrounding land; are derelict or underused; have real or perceived contamination problems; are mainly in developed urban areas; require intervention to bring them back to beneficial use*” (ATAP, “*Proposta di linee guida per il recupero ambientale e la valorizzazione economica dei brownfields*”, Roma 2006, pag. 14).

In questa tesi si preferisce seguire la definizione di brownfields della USEPA piuttosto che proveniente dal progetto CLARINET, perché si tratta di una definizione che si concentra sul problema della tutela del valore del suolo e sulla possibilità di effettuare delle transazioni di mercato. Questa definizione evidenzia l'importanza delle operazioni

di bonifica, di ripristino ambientale, di riuso e dunque di valorizzazione, mentre non presta particolare attenzione quali l'uso (passato e attuale) dell'area a localizzazione dell'area, ed il contesto geografico, economico e sociale dove tali aree si trovano. La definizione statunitense sembra molto vicina a quella utilizzata nel dibattito italiano sulla pianificazione e sull'urbanistica relativa alle aree dismesse, sebbene queste ultime comprendano una categoria più ampia di oggetti territoriali, poiché le aree dismesse non sono necessariamente, per quanto spesso lo sono, delle aree contaminate. La definizione di CLARINET invece, non presta sufficiente attenzione agli impatti sociali ed economici degli interventi di recupero dei brownfields che rappresentano così solamente un impedimento per la pubblica amministrazione del territorio, e non potranno essere considerati come una opportunità.

“Sebbene diffuse su tutto il territorio, le aree industriali dismesse sono in larga misura presenti nelle principali aree economiche urbane; in questi centri, la crisi di alcuni settori tradizionali della produzione industriale ha innescato un progressivo degrado, non soltanto sullo stesso sito produttivo ma anche sull'immediato contesto edificato fino a coinvolgere anche quello sociale ed economico. In vero, il problema della dismissione interessa una infinità di casi e tipologie, differenti per localizzazione e dimensione, di proprietà pubblica o privata, dalle aree dei grandi servizi urbani a quelle degli scali ferroviari e portuali, dai complessi ospedalieri e scolastici ai macelli e mercati generali, dagli edifici militari a quelli ecclesiastici”. (Sposito, "Sul recupero delle aree industriali dismesse", 2012 pag.11).

La progressiva dismissione delle aree industriali in territorio urbano è connessa alle trasformazioni del sistema economico ed industriale, ed anche ad una maggiore attenzione all'ambiente e alla qualità della vita. Grazie alla diffusione di nuove tecnologie che hanno consentito di ristrutturare radicalmente i sistemi produttivi, a partire dagli anni '70 si è verificata una progressiva delocalizzazione (successivamente anche nazionale) in zone esterne alla città, caratterizzate da costi inferiori e da una accessibilità migliore. L'espansione dei mercati ha portato anche a spostare le sedi produttive in altri Paesi. Intanto, i cambiamenti delle sensibilità sociali e culturali verso i problemi di qualità della vita e degli aspetti ambientali, ha portato all'introduzione nel tempo di nuovi vincoli

normativi più stringenti che hanno reso più difficoltoso mantenere i vecchi impianti in aree urbane.

É necessario impedire il degrado ambientale e sociale causato dalle aree dismesse, che allo stesso tempo rappresentano delle opportunità di sviluppo economico e sociale locale per ridefinire le aree urbane e la distribuzione delle funzioni e dei servizi.

3.2 - I PRINCIPALI OSTACOLI AGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA

Gli investimenti di riqualificazione urbana coinvolgono solitamente più stakeholder come gli investitori privati, le amministrazioni pubblica, le imprese edili, gli istituti finanziari, la comunità stessa, etc. Ognuno di questi attori è portatore di interessi che possono essere in contrasto tra loro.

“Secondo gli operatori la diffusione dei progetti di riqualificazione è limitata dalle pesanti procedure tecniche ed urbanistiche, che sono caratterizzate da tempi molto lunghi e si traducono in costi elevati o incertezze riguardo a tempi e costi degli interventi. L’azione delle amministrazioni pubbliche è rallentata dalla complessità del sistema delle competenze, dal rischio connesso al costo politico delle decisioni di intervento, dalle difficoltà di applicare i nuovi strumenti di pianificazione, spesso ancora incerti, e di orientarsi entro una normativa sul governo del territorio che è contraddittoria ed in evoluzione. Esiste infine una complessità insita nei processi di trasformazione della città costruita dovuta alla necessità di coniugare competenze in materia di pianificazione, urbanistiche, sul mercato immobiliare, tecniche, organizzative e gestionali” (ATAP, “Proposta di linee guida per il recupero ambientale e la valorizzazione economica dei brownfields”, Roma 2006, pag. 21)

Secondo un sondaggio condotto in UK da Adair et al. (2002), le ragioni per evitare gli investimenti nella rigenerazione urbana da una prospettiva di investitori e non, includono bassi tassi di crescita dei rendimenti e dei canoni di affitto, l’inflazione sui costi di costruzione e dei terreni, la troppa burocrazia, agevolazioni fiscali inadeguate, sovvenzioni statali insufficienti ed una scarsa qualità dell’ambiente circostante l’area da riqualificare.

Secondo De Sousa (2000) i principali deterrenti per gli investitori privati ad investire nella riqualificazione dei brownfields sono le responsabilità legali, i costi, ed i finanziamenti governativi. La riqualificazione dei brownfields è considerata come troppo costosa, finanziariamente rischiosa e troppo lunga in termini di tempo. Se a ciò si aggiunge il timore di incorrere in responsabilità legali che possono sorgere dopo la riqualificazione dell'area, aumenta il rischio percepito dagli operatori privati. Per di più, i finanziamenti e l'assistenza limitati da parte dei governi scoraggia il settore privato e diminuisce la viabilità e la profittabilità di questi progetti. In una ricerca recente De Sousa (2015) sottolinea come gli ostacoli alla riqualificazione siano prevalentemente gli stessi e li suddivide in due categorie: barriere istituzionali e non istituzionali. Le risposte delle interviste dimostrano come le principali barriere non istituzionali siano i costi, le responsabilità, il tempo e la mancanza di fondi. Le barriere istituzionali provengono dalle amministrazioni pubbliche e sono legate a questioni come la complessità della valutazione del rischio specifica del sito e dalla lunga durata dei processi di regolamentazione.

McCarthy (2002) individua quattro principali barriere alla riqualificazione delle aree dismesse: le responsabilità legali in cui si può incorrere, l'incertezza degli interventi di bonifica (non conoscere quanto un'area sia contaminata e quale tipo di bonifica sia necessaria crea ulteriori incertezze per lo sviluppatore; è quindi difficile determinare in modo preciso il tempo e i costi necessari per rendere l'area di nuovo utilizzabile), la mancanza di fondi finanziari e i complicati sistemi di regolamentazione delle procedure. Tuttavia, il lavoro di Haran et al. (2011) confuta due assunzioni largamente accettate nel settore, ossia che gli investimenti di rigenerazione urbana abbiano delle prestazioni inferiori rispetto al trend del settore immobiliare e che questi progetti portino gli investitori a maggiori esposizioni al rischio rispetto al trend di settore.

3.3 - LE RICADUTE POSITIVE DEI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE

Le aree dismesse rappresentano degli elementi critici sia per le pubbliche amministrazioni che per gli operatori privati, poiché implicano degli effetti negativi sul mercato immobiliare (per esempio sui canoni di locazione e sui prezzi di vendita), degli sforzi

nella gestione urbana dell'abbandono, una riduzione della fiscalità locale, maggiori costi per la sicurezza e blocchi finanziari.

Date queste esternalità negative, risulta evidente come la rigenerazione di un'area comporti dei benefici che vanno oltre la riqualifica dell'area di per sé. Secondo il report *“Rigenerare aree dismesse, rivitalizzare territori”* di Scenari Immobiliari (2019), dal processo di recupero e di valorizzazione delle aree dismesse derivano numerose conseguenze positive per tutto il territorio, tra cui: l'incremento del numero di posti di lavoro creati o impiegati nel corso della realizzazione, l'aumento dei valori immobiliari dell'ambito riqualificato e degli immobili circostanti, le ricadute sul giro di affari delle attività commerciali, ricettive e terziarie vicine e il contributo all'economia locale delle nuove funzioni insediate. Gli effetti, quindi, possono essere diretti o indiretti: per esempio, sono effetti diretti gli aumenti dei valori delle aree riqualificate, mentre sono indirette le conseguenze che la riqualificazione provoca sulle transazioni e sugli scambi degli immobili delle aree circostanti.

Considerando le ricadute positive sul territorio le pubbliche amministrazioni potrebbero promuovere gli investimenti di riqualificazioni urbana attraverso l'utilizzo di particolari incentivi: incentivi governativi di regolamentazione ambientale (per esempio limitando le responsabilità legali degli investitori), incentivi economici (quali concessioni statali ed agevolazioni fiscali), ed incentivi amministrativi (processi più rapidi volti ad ottenere i permessi di iniziare le operazioni per questo tipo di investimenti).

3.4 - LE CARATTERISTICHE DEGLI INVESTIMENTI DI RIGENERAZIONE URBANA E LA PRESENZA DI OPZIONI REALI

L'approccio convenzionale alla valutazione degli investimenti di riqualificazione urbana è il classico modello dei Discounted Cash Flows, che tuttavia sottovaluta il vero potenziale di questi progetti. Ecco allora che la Real Options Analysis si rivela essere un importante strumento di supporto per gli investitori, poiché incorpora il valore delle opzioni reali insite nel progetto. I progetti di riqualificazione urbana sono investimenti che presentano tre importanti caratteristiche: l'incertezza, l'irreversibilità e la possibilità di azioni flessibili. Queste tre caratteristiche sono anche caratteristiche costitutive di

un'opzione reale, come già descritto nel Capitolo 1; perché un investimento includa il valore di un'opzione reale devono essere presenti tutte e tre.

I progetti di riqualificazione urbana sono investimenti ad uso intensivo di capitale che richiedono quindi ingenti somme di denaro. Tali costi, o almeno una parte di essi, non sono reversibili. L'irreversibilità degli investimenti immobiliari è rappresentata in primo luogo dalle caratteristiche specifiche del progetto e anche dalle limitazioni legislative di utilizzo del suolo. Inoltre i costi di bonifica, qualora debbano essere sostenuti, non possono essere recuperati nel caso gli investitori decidano di cambiare strategia. L'irreversibilità di questi investimenti può provenire anche da lunghi periodi e costi di transazione, e dalle norme governative. Per di più, richiedono un certo numero di anni per essere portati a termine, in base alla scala dei lavori, e in questo periodo di tempo sono esposti a numerose incertezze sia dal punto di vista operativo che finanziario.

Dal punto di vista degli investitori, i rischi possono essere classificati sia come diversificabili (cioè privati) che non diversificabili (ossia di mercato). Il rischio classificato come diversificabile può essere eliminato detenendo un portafoglio di investimenti differenti con profili di rischio non perfettamente correlati (si diversifica anche con correlazione positiva, purché non unitaria). I rischi associati alla riqualificazione delle aree dismesse comprendono solitamente sia i rischi privati che di mercato. Perciò per eseguire delle valutazioni accurate dovrebbero essere inclusi entrambi i tipi di rischio nelle analisi.

Secondo Espinoza e Luccioni (2001) i principali rischi di mercato associati alla riqualificazione delle aree dismesse sono rappresentati dai prezzi di mercato del terreno, dai canoni di locazione e dai tassi di interesse. I rischi di mercato sono correlati all'andamento dell'economia, pertanto esiste un mercato dove poter osservare tali prezzi e i rischi di mercato sono sempre esogeni. I valori delle proprietà cambiano nel tempo in base al variare delle condizioni economiche e della domanda e dell'offerta. Una misura del rischio relativa ai prezzi dei beni immobiliari è fornita dalla volatilità del prezzo di mercato.

I rischi privati in questo tipo di progetti includono i rischi tecnici, i rischi legali e i rischi amministrativi. Per esempio, i cambiamenti nelle normative, il tempo necessario al completamento del progetto, l'eventuale presenza e concentrazione di contaminanti, il

risultato di una nuova tecnologia di bonifica, le responsabilità legali rappresentano tutte fonti di incertezza. I rischi privati possono essere sia endogeni, qualora l'incertezza si risolva una volta che si investe nel progetto e si ottengono informazioni addizionali (come i costi di bonifica o il tempo di completamento del progetto), che esogeni, se l'incertezza è indipendente dalla decisione di procedere con il progetto o meno (come i cambiamenti nelle normative per la riqualificazione). Il costo di un intervento di bonifica è difficile da predire con un alto livello di confidenza poiché ogni proprietà contaminata è unica e risulta perciò difficile utilizzare tecniche statistiche per stimare i costi attesi. Anche i costi da sostenere per eventuali questioni di responsabilità di terze parti, che possono emergere durante il processo di riqualificazione, e che si traducono in battaglie legali sono difficili da stimare. Infine, i cambiamenti continui negli standard delle normative dovuti a nuovi risultati scientifici e alla pressione pubblica, rappresentano un ulteriore ostacolo a questo tipo di progetti.

Date le caratteristiche di irreversibilità ed incertezza, nel momento in cui il management è in grado di individuare e definire delle potenziali flessibilità in risposta ai cambiamenti delle condizioni incerte del mercato e ambientali (come per esempio differire, abbandonare o ridurre o aumentare la scala del progetto) le opzioni reali insite nell'investimento sono rilevanti e accrescono il valore del progetto. Perciò diventa fondamentale l'utilizzo della ROA.

Dalla classificazione delle opzioni reali fornita da Trigeorgis (1993) e descritta nel capitolo 1, le tipologie principali di opzioni reali che si trovano nei progetti immobiliari e quindi nei progetti di riqualificazione urbana sono le opzioni di differimento, le opzioni di suddivisione in stadi e le opzioni di modifica della scala operativa del progetto. Tuttavia, ciò non significa che non vi possano essere altri tipi di flessibilità. Inoltre, la flessibilità manageriale inclusa nei progetti di investimento prende la forma di una collezione di opzioni reali, i cui singoli valori non sono additivi per via delle interazioni tra loro (Trigeorgis, 1993).

L'opzione di differimento (o di attesa) riflette l'opportunità di posticipare le operazioni di un progetto in modo tale da approfittare degli sviluppi positivi del mercato oppure evitarne i risvolti negativi. Il valore dell'opzione è legato alla possibilità di ottenere informazioni addizionali nel tempo. Queste opzioni sono di grande valore in quei settori

dove le condizioni cambiano rapidamente (domanda, tassi d'interesse, volatilità dei prezzi, politiche fiscali, ecc..) e laddove le scelte implicano forti irreversibilità che è appunto il caso del settore immobiliare. Le opzioni di differimento sono comuni nello sviluppo immobiliare, dal momento che un'impresa può acquistare un lotto di terreno ed attendere di costruire in qualsiasi momento preferisce a seconda delle condizioni del mercato. L'impresa non deve costruire subito perché il valore del risultato di sviluppo oscilla, e così il costo di sviluppo. Valutare l'opzione di attesa implica ottenere una regola di investimento ottima, ossia la regola per quando investire, dove "quando" non significa determinare l'istante di tempo in cui si verifica l'investimento, ma piuttosto individuare il valore critico (o soglia) del progetto, che riguarda qualcosa che assomiglia ad una differenza/rapporto tra ricavi e costi, oltre il quale scatta l'investimento.

Anche un intervento bonifica di un terreno inquinato può essere considerato come un'opzione call di tipo americano (della categoria di differimento): il proprietario ha l'opzione di posticipare la bonifica a seconda che le condizioni siano favorevoli o meno. Potrebbe decidere di attendere nella speranza che sia introdotta una qualche nuova tecnologia di bonifica più rapida o meno costosa oppure che nuove normative o agevolazioni fiscali favoriscano l'intervento. Nei progetti di riqualificazione urbana si possono avere le opzioni di suddivisioni in stage. Per esempio, dopo la rimozione delle sostanze inquinanti, il proprietario potrebbe decidere di riqualificare ulteriormente l'area: in questo caso si tratta di un'opzione su un'opzione ovvero di un'opzione composta, in cui solo l'esercizio della prima permette di ottenere la possibilità di esercitare la seconda. Opzioni di questo tipo sono considerate in letteratura nel campo di riqualificazione dei Brownfields da Lentz and Tse (1995) e da Wang (2011).

Nella pratica non bisogna tuttavia eccedere nell'individuare la presenza di opzioni reali nei progetti di sviluppo immobiliare: nonostante le varie opzioni individuate dalla classificazione proposta nel Capitolo 1 possano avere un ruolo cruciale, talvolta esse sono difficili da esercitare, e quindi la loro effettiva presenza è dubbia. Per esempio, le opzioni di modifica della scala operativa nel settore immobiliare (ridurre la scala di un progetto di costruzioni residenziali per risparmiare sui costi, oppure espandere il progetto se la domanda si rivela sufficientemente alta nel tempo) non possono essere facilmente attuate: i progetti di costruzione devono seguire i progetti definiti ed i contratti stipulati. Ciò

perché gli attori coinvolti in questi tipi di progetti sono diversi e con diversi interessi (investitori, imprese edilizie, soggetto pubblico, ecc.), e ciò riduce la flessibilità. Anche le opzioni di abbandono sono più difficili da implementare in questi progetti. Secondo Wang (2011) i proprietari di brownfield hanno il compito di occuparsi della riqualifica ambientale dell'area di loro proprietà, altrimenti rischiano di incorrere in responsabilità legali; ciò elimina la possibilità di considerare eventuali opzioni di abbandono. Anche cambiare l'uso di un progetto può essere complicato (opzione di scambio): per esempio, potrebbe rivelarsi conveniente convertire un edificio destinato ad uffici, in residenziale (il sottostante è il valore del progetto residenziale, mentre il valore dell'edificio da uffici –più i costi di conversione – rappresentano lo strike price) ma la regolamentazione potrebbe impedirlo.

3.5 – IL RUOLO DEL SOGGETTO PUBBLICO

La ROA, infine, potrebbe essere utile in una prospettiva di integrazione tra risorse pubbliche e private (Bravi ed al., 2016). L'autrice sostiene e dimostra come la ROA possa essere utilizzata non solo per stimare il valore delle opzioni insite nel progetto, ma anche per stimare le risorse pubbliche necessarie per stimolare gli operatori privati ad investire in queste aree, finanziando i costi di bonifica o una parte di essi per quegli investimenti in cui l'impatto di tali interventi compromette l'avvio del progetto. *“In particolare, l'importo di tali risorse è calibrato sullo specifico progetto di sviluppo che insiste su un'area industriale dismessa, tenendo conto dell'incidenza dei costi di bonifica sul valore dell'area già bonificata e verificandone l'impatto sulle attese di redditività che il promotore immobiliare ripone nell'attuazione del progetto stesso”* (Bravi et al., 2016, pag. 397). Tuttavia, vi sono due considerazioni più tecniche alla luce delle quali il ruolo della pubblica amministrazione diviene indispensabile:

- come precedentemente spiegato, questi tipi di progetti implicano delle esternalità positive. Se un investimento risultasse non conveniente, anche con l'utilizzo della ROA, allora gli attori privati non investirebbero nel progetto, così come il soggetto pubblico, qualora non vi siano esternalità. Tuttavia, in presenza di effetti positivi per la collettività, il soggetto pubblico ha interesse ad effettuare un investimento, anche se caratterizzato da NPV negativo.

- Non si tratta di un singolo progetto ma di numerosi investimenti, che sono soggetti a varie tipologie di rischio. Dal momento che questi rischi in portafoglio tipicamente si modificano, poiché se si inserisce un oggetto rischioso in un portafoglio con altri oggetti rischiosi, il rischio cambia, si diversifica e si elimina in parte. Un soggetto che ha a disposizione numerosi investimenti (e.g. la pubblica amministrazione) affronta la rischiosità in modo differente da un soggetto che ne ha solo uno (e.g. un attore privato).

L'attivismo dell'attore pubblico è quindi indispensabile e cruciale per gli investimenti di riqualificazione urbana poiché ha una prospettiva differente dai soggetti privati.

3.6 - ALCUNI ESEMPI DI OPZIONI REALI NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE URBANA

Sono numerosi i contributi presenti in letteratura relativi alla presenza di opzioni reali negli investimenti immobiliari, mentre più ridotto è il contributo sulle opzioni reali relativo alla riqualificazione urbana.

Alcuni autori come Titman (1985), Williams (1991), Capozza and Li (1994), Bauer (2009) hanno studiato la flessibilità negli investimenti immobiliari considerando l'opzione di differimento, di suddivisione in stadi, modificare la scala operativa e di scambio della destinazione d'uso del terreno. Capozza and Sick (1992) e Quigg (1993)) sostengono che l'istante corrente non sia necessariamente il momento ottimo per investire in un progetto immobiliare e pertanto l'istante di investimento dovrebbe essere valutato ed eventualmente posticipato. Sing (2001) conclude che il valore di un terreno non include solo il valore che deriva da un suo utilizzo immediato ma anche il valore dell'opzione di differire l'investimento. Bulan, Mayer and Somerville (2009) esaminano l'impatto che ha l'incertezza nel differire un investimento di sviluppo immobiliare e l'effetto che provoca la competizione su questa relazione. Trovano che incrementi sia nel rischio sistematico che nel rischio idiosincratico portano gli investitori a posticipare gli investimenti immobiliari. Inoltre, un aumento dei potenziali concorrenti erode i valori dell'opzione di attesa, riducendo la sensibilità dell'esercizio dell'opzione alla volatilità e creando un incentivo ad investire prima.

Lentz and Tse (1995) hanno definito una delle prime formula per valutare la riqualificazione dei brownfields utilizzando l'approccio delle opzioni reali. Il loro lavoro è una pietra miliare nell'analisi degli investimenti in questo campo. Utilizzano la teoria dell'option pricing per esaminare come la presenza di materiali pericolosi influenzi il valore immobiliare della proprietà. Assumono che il titolare della proprietà abbia due opzioni: la prima è di rimuovere i materiali contaminanti nel momento migliore; la seconda opzione, incorporata nella prima, è di riqualificare ulteriormente l'area, nel momento migliore. Il proprietario ha tre strategie di tempo possibili rispetto all'esercizio di queste opzioni: rimuovere i materiali pericolosi e successivamente tenere l'opzione di riqualificare la proprietà, rimuovere e riqualificare allo stesso tempo, infine non fare nulla. Inoltre, i due autori individuano le condizioni al di sotto delle quali la presenza di materiali inquinanti può da un lato rendere più rapida la decisione di riqualificare e dall'altro posticiparla. Se la regolamentazione ambientale non permette al proprietario di prendere le strategie nei momenti ottimi rispetto all'esercizio di queste opzioni, i risultati ottenuti forniscono un'indicazione del costo della regolamentazione misurato come perdita addizionale nel valore della proprietà. Inoltre, un'altra importante conclusione è che scegliendo di rimuovere e riqualificare simultaneamente il proprietario può ridurre il costo totale di rimozione. Ne consegue che la presenza di materiale inquinante può accelerare la decisione riqualificare la proprietà inquinata rispetto ad una proprietà simile ma non inquinata.

Wang (2009) riprende il modello di Lentz and Tse (1995) per la valutazione delle opzioni reali nella riqualificazione dei brownfields. Tuttavia, l'autore utilizza un modello di pricing differente, implementando la teoria delle possibilità, cioè rappresentando con variabili fuzzy i rischi privati che caratterizzano gli investimenti di riqualificazione.

Nella loro ricerca, Morano, Tajani, and Manganeli (2014) applicano la ROA per valutare l'investimento di riqualificazione urbana di un precedente complesso industriale. I risultati che ottengono mostrano l'efficienza dello strumento. Infatti, l'utilizzo del NPV avrebbe suggerito di non effettuare l'investimento mentre l'approccio binomiale permette di monitorare e gestire accuratamente lo sviluppo del progetto in risposta all'evoluzione del mercato.

CAPITOLO 4 – UN ESEMPIO APPLICATIVO

Nel seguente capitolo è presentato un esempio di opzioni reali che si possono trovare in un investimento di riqualificazione urbana; più precisamente, si ripropone il modello di Lentz e Tse (1995); Inoltre è svolta un'analisi sull'esempio numerico fornito dai due autori per determinare l'impatto effettivo dell'utilizzo della Real Options Analysis sui meccanismi decisionali, rispetto all'utilizzo dei metodi tradizionali come il Discounted Cash Flow. Successivamente si osserva come questo impatto cambia al variare di alcuni parametri. Infine, è proposta una simulazione del valore generato da un investimento di riqualificazione, che mostra come il rischio associato a questo tipo di progetti si diversifichi all'aumentare del numero degli oggetti presenti in portafoglio. L'obiettivo dell'esercizio non è tanto dimostrare la presenza di diversificazione del rischio, facilmente intuibile a priori, ma piuttosto descrivere quanto rapidamente il rischio si riduce all'aumentare del numero di oggetti in portafoglio.

4.1 – IL MODELLO

Le analisi sopradescritte sono svolte sul modello proposto da Lentz e Tse (1995), i quali hanno definito uno dei primi metodi di valutazione di una proprietà contaminata utilizzando un approccio di opzioni reali.

Secondo il modello, il proprietario di un brownfield possiede due opzioni: l'opzione di rimuovere in qualche istante futuro i materiali inquinanti presenti nell'area; e, una volta bonificata l'area, l'opzione di riqualificare il brownfield ad un uso migliore. Perciò, l'opzione di bonifica dell'area è un'opzione composta, poiché il suo esercizio permette successivamente di esercitare l'opzione di riqualifica dell'area.

Il valore di un brownfield può essere considerato la differenza di due processi di Wiener: l'andamento del valore dei flussi di cassa (indicati con x) generati dalla proprietà "*as if clean*", cioè se fosse priva di qualsiasi materiale inquinante, e l'andamento del costo di riqualificazione del sito (indicato con R) seguono entrambi un processo stocastico di Wiener, descritti rispettivamente dalle equazioni (4.1) e (4.2).

$$\frac{dx}{x} = \mu_x dt + \sigma_x dz_x \quad (4.1)$$

$$\frac{dR}{R} = \mu_R dt + \sigma_R dz_R \quad (4.3)$$

Per distinguere i rischi privati da quelli di mercato, sia i costi che i ricavi possono essere solo parzialmente coperti da un “*hedging portfolio*”. Il portafoglio di copertura del rischio dei flussi di cassa è indicato con P , mentre quello dei costi con K .

Si assume che il costo di rimozione e il costo di ripristino, la cui somma costituisce il costo di bonifica C del brownfield, siano proporzionali al costo di riqualificazione R . Anche i flussi di cassa generati dalla proprietà, sia in caso di proprietà contaminata che ripristinata che riqualificata sono proporzionali ad x .

Il proprietario del brownfield ha tre possibili strategie da seguire: esercitare l’opzione di bonifica ma tenere l’opzione di riqualifica per un successivo momento; esercitare entrambe le opzioni simultaneamente; infine non fare nulla e riservarsi il diritto di esercitare entrambe le opzioni in futuro.

Per determinare il valore della proprietà contaminata, gli autori studiano inizialmente il valore della proprietà “*as if clean*”, indicato con V pari a:

$$V = \begin{cases} \frac{\varphi_2 x}{r-g} + \left(\frac{(q-1)^{q-1}}{q^q} \right) \left(\frac{\phi - \varphi_2}{r-g} \right)^q \frac{x^q}{R^{q-1}}, & \text{se } Z \leq Z' \\ \frac{\phi x}{r-g} - R, & \text{se } Z > Z' \end{cases} \quad (4.4)$$

La decisione di esercitare o meno l’opzione di riqualifica, il cui prezzo di esercizio è pari a R , scatta nel momento in cui $Z = x/R$, cioè il rapporto tra flussi di cassa x “*as if clean*” ed il costo di riqualificazione R , supera il valore soglia Z' , il cui valore si calcola dalla (4.5). Il tempo medio di attesa perché ciò avvenga è indicato con τ_Z si ottiene dalla (4.6).

$$Z' = \frac{r-g}{\phi-1} \frac{q}{q-1} \quad (4.5)$$

$$\tau_Z = \frac{\ln Z' - \ln Z}{m_x - m_R} \quad (4.6)$$

Il proprietario dell’area contaminata, se la scelta ottima non consiste nel “non fare nulla”, può scegliere se bonificare e riqualificare l’area in modo sequenziale oppure simultaneo. Nel primo caso, il valore della proprietà contaminata, indicato con V_1 , si ottiene da:

$$V_1 = \begin{cases} \left(\frac{\varphi_1 x}{r-g} + \left(\frac{(q-1)^{q-1}}{q^q} \right) \left(\frac{(1-\varphi_1)^q}{r-g} \left(\frac{x}{C} \right)^{1-q} + \left(\frac{\phi-1}{r-g} \right)^q \left(\frac{x}{R} \right)^{q-1} \right) x, & \text{se } Y \leq Y' \\ \frac{x}{r-g} + \left(\frac{(q-1)^{q-1}}{q^q} \right) \left(\frac{\phi-1}{r-g} \right)^q \left(\frac{x}{R} \right)^{q-1} x - C, & \text{se } Y > Y' \end{cases} \quad (4.7)$$

La decisione di esercitare o meno l'opzione di bonifica, il cui prezzo di esercizio è pari a C , scatta nel momento in cui $Y = x/C$, cioè il rapporto tra flussi di cassa x ed il costo di bonifica $C = (\alpha_1 + \alpha_2)R$, supera il valore soglia Y' , il cui valore si calcola dalla (4.8). Il tempo medio di attesa perché ciò avvenga è indicato con τ_Y si ottiene dalla (4.9).

$$Y' = \frac{r-g}{1-\varphi_1} \frac{q}{q-1} \quad (4.8)$$

$$\tau_Y = \frac{\ln Y' - \ln Y}{m_x - m_R} \quad (4.9)$$

Infine, il valore della proprietà contaminata qualora il proprietario scelga di effettuare le operazioni di bonifica e di riqualifica simultaneamente, indicato con V_2 , è pari a:

$$V_2 = \begin{cases} \left(\frac{\varphi_1 x}{r-g} + \left(\frac{\phi-\varphi_1}{r-g} \right)^q \left(\frac{(q-1)^{q-1}}{q^q} \right) \frac{x^q}{(\alpha_1 R + R)^{q-1}} \right), & \text{se } W \leq W' \\ \frac{\phi x}{r-g} - (\alpha_1 R + R), & \text{se } W > W' \end{cases} \quad (4.10)$$

La decisione di esercitare o meno l'opzione di bonifica e riqualifica simultaneamente, il cui prezzo di esercizio è pari a $(1 + \alpha_1)R$, scatta nel momento in cui $W = x/(1 + \alpha_1)R$, cioè il rapporto tra flussi di cassa x ed il costo da sostenere per l'investimento, supera il valore soglia W' , il cui valore si calcola dalla (4.11). Il tempo medio di attesa perché ciò avvenga è indicato con τ_W si ottiene dalla (4.12).

$$W' = \frac{r-g}{\phi-\varphi_1} \frac{q}{q-1} \quad (4.11)$$

$$\tau_W = \frac{\ln W' - \ln W}{m_x - m_R} \quad (4.12)$$

Il valore massimo tra V_1 e V_2 determina la strategia ottima da seguire per il proprietario ed il valore finale della proprietà contaminata.

Assumendo come ragionevoli i parametri utilizzati nell'esempio numerico del modello da Lentz e Tse (1995) risulta che la strategia ottima per l'investitore è quella di bonificare e riqualificare simultaneamente ed il valore della proprietà è quindi pari a V_2 . I valori dei

parametri proposti da Lentz e Tse (1995) e che qui saranno riproposti sono riportati nella tabella 4.1, mentre i risultati dell'esempio in tabella 4.2.

| | |
|---------------|----------------|
| x | € 300.000,00 |
| R | € 5.000.000,00 |
| r | 5,00% |
| μ_x | 10% |
| σ_x | 20% |
| μ_P | 15% |
| σ_P | 20% |
| μ_R | 7% |
| σ_R | 20% |
| μ_K | 15% |
| σ_K | 16% |
| φ_1 | 0,4 |
| φ_2 | 1,0 |
| ϕ | 2,0 |
| α_1 | 0,3 |
| α_2 | 0,2 |
| ρ_{xP} | 0,75 |
| ρ_{xK} | 0,8 |
| ρ_{xR} | 0,60 |
| σ_{xR} | 0,024 |

Tabella 4.1: I valori dei parametri di input dell'esempio di Lentz e Tse (1995).

| | |
|----------|--------------|
| V | € 19.612.305 |
| V1 | € 17.261.054 |
| V2 | € 17.837.783 |
| τ_z | 17,44 anni |
| τ_Y | 11,36 anni |
| τ_w | 10,52 anni |

Tabella 4.2: I risultati dell'esempio di Lentz e Tse (1995).

Il valore della proprietà contaminata è, scegliendo la strategia ottima, pari a 17.837.783€.

Il tempo ottimo di attesa medio per effettuare l'investimento di bonifica e di riqualifica è

pari a 10,52 anni. Inoltre, il proprietario riqualifica l'area prima rispetto al caso in cui ha una proprietà "as if clean" con una riduzione del 41% da 17,44 anni a 10,52 anni. La perdita di valore della proprietà dovuto alla presenza del materiale inquinante è pari a 1.774.522 (ossia $V - V_2$), approssimativamente il 9% del valore di V .

4.2 - IL CONFRONTO TRA IL VALORE ROA E DCF

Nella tabella 4.3 sono riportati i valori della proprietà mediante l'uso della Real Options Analysis e mediante l'uso dei Discounted Cash Flows.

| | ROA | DCF |
|-------|--------------|--------------|
| V | € 19.612.305 | € 19.000.000 |
| V_1 | € 17.261.054 | € 17.112.305 |
| V_2 | € 17.837.783 | € 17.500.000 |

Tabella 4.3: I risultati della valutazione con ROA rispetto alla valutazione con DCF.

In tutti e tre i casi il valore calcolato con la ROA supera il corrispondente valore DCF. (In realtà per V_1 solo una parte, relativa alla bonifica, è ottenuta mediante DCF poiché include anche il valore dell'opzione di riqualifica). Ciò significa che aspettare, in modo tale da rispondere ad evoluzioni incerte del mercato, ha valore. Per esempio, V_2^{ROA} supera di 337.783 € il V_2^{DCF} : Questa differenza rappresenta il valore dell'opzione di differire l'investimento. Posticipando il progetto di 10,52 anni si ottiene un incremento del valore 337.783 €. Perciò, se per investire, si aspetta che W superi il valore critico W' si guadagna in media 337.783 € in più. Quanto bisogna aspettare? In media 10,52 anni. In questo caso utilizzare il metodo DCF sottostima il valore della proprietà; tuttavia, dal momento che la casualità entra in gioco sia nei ricavi che nei costi utilizzare il DCF avrebbe anche potuto portare a sovrastimare l'investimento e generare delle perdite qualora intrapreso.

Di seguito è proposta un'analisi di sensibilità sui valori della proprietà del caso corrispondente alla soluzione ottima, ossia la soluzione caratterizzata da bonifica e riqualificazione in simultanea. Più precisamente sono studiati gli effetti che una variazione dei parametri quali il costo di riqualificazione, il valore dei flussi di cassa

generati dal progetto, il tasso di sconto del CAPM, l'incertezza relativa al costo di riqualificazione e l'incertezza relativa ai flussi di cassa, provoca sul valore attuale della proprietà, calcolata sia con la ROA che con il DCF, e sul tempo medio di attesa ottimo necessario per avviare l'investimento.

4.2.1 – L'EFFETTO DI UNA VARIAZIONE DEL COSTO DI RIQUALIFICAZIONE

Come si può facilmente intuire, e come è raffigurato in figura 4.1 un incremento del costo di riqualificazione R provoca una diminuzione del valore della proprietà. Mentre il valore calcolato attraverso il metodo DCF decresce linearmente, il valore ottenuto con la ROA diminuisce molto meno rapidamente e il divario tra le due metodologie di valutazione si amplifica. Per esempio, con un costo R quattro volte superiore al valore originale, cioè con $R = 20$ M€, secondo il DCF si ottiene un NPV negativo; per cui l'investimento sarebbe abbandonato. Con lo stesso costo il valore del progetto utilizzando la ROA, è invece pari a circa 13 M€ e tutt'altro che da scartare.

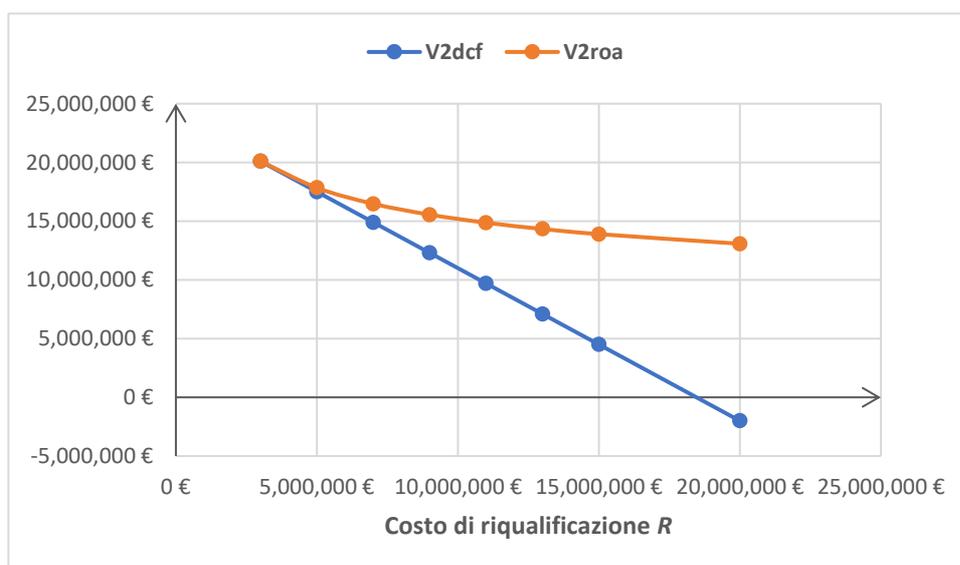


Figura 4.1: Effetto della variazione del costo di riqualificazione R su V_2^{ROA} e V_2^{DCF} .

La crescita dei costi provoca una diminuzione del valore intrinseco dell'opzione di bonifica e riqualifica dell'area. Per questo motivo, date le incertezze caratterizzanti i costi ed i ricavi, differire l'investimento è un'alternativa più che valida e che potrebbe generare valore. Infatti il valore temporale dell'opzione (ovvero la distanza tra le due curve in

figura 4.1) aumenta. Chiaramente ciò richiede un aumento del tempo ottimo di attesa medio necessario per avviare l'investimento, come si nota in figura 4.2.

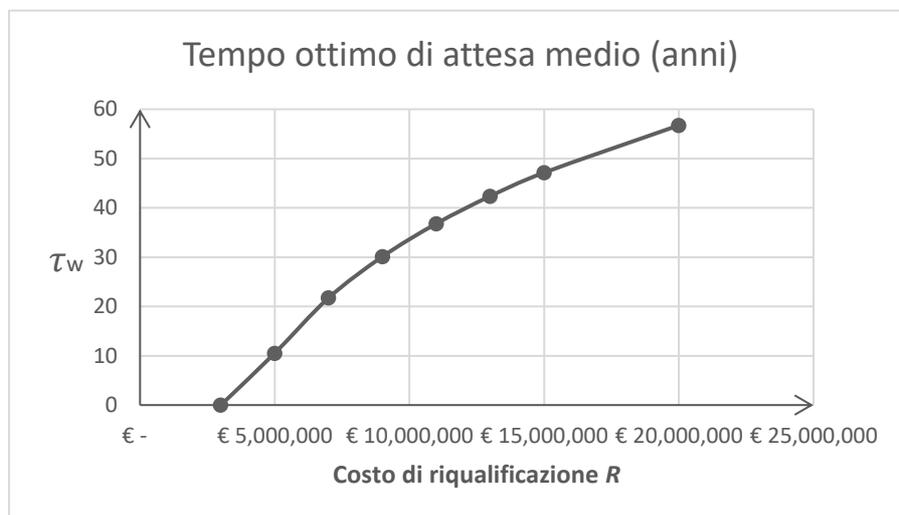


Figura 4.2: Effetto della variazione del costo di riqualificazione R su τ_w .

4.2.2 – L'EFFETTO DELLA VARIAZIONE DEI FLUSSI DI CASSA

Anche l'effetto di una variazione dei flussi di cassa x , così come quella dei costi, è abbastanza prevedibile: un incremento dei flussi di cassa generati dal progetto si traduce in un aumento del valore della proprietà. In questo caso la differenza tra il valore della proprietà calcolato con la ROA piuttosto che con il DCF non è così marcata (figura4.3); la differenza è nulla per valori superiori a 400.000 €.

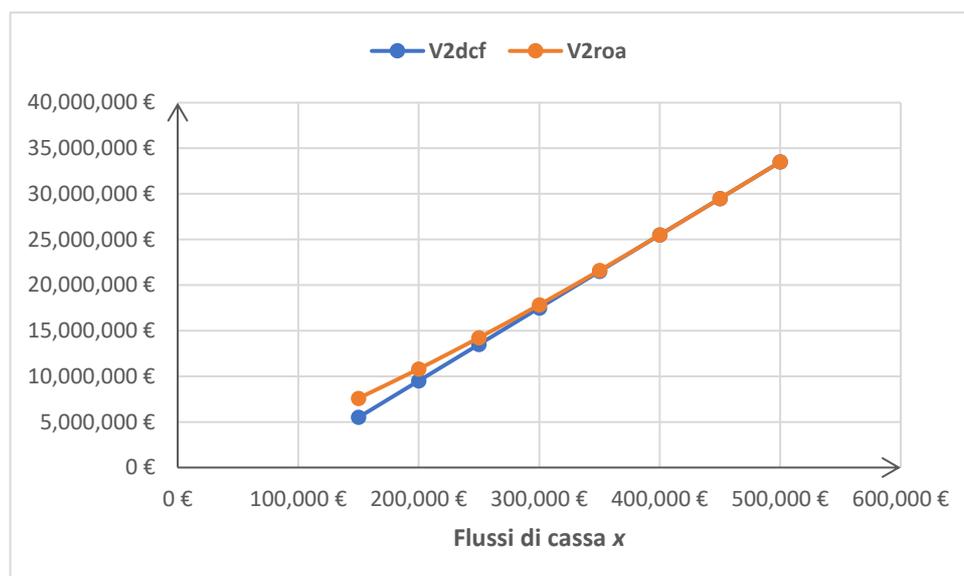


Figura 4.3: Effetto della variazione dei flussi di cassa x su V_2^{ROA} e V_2^{DCF} .

Il valore intrinseco dell'opzione di bonificare e riqualificare la proprietà aumenta (aumentando di valore il sottostante) ma diminuisce il valore temporale; l'attesa di nuove informazioni da parte del mercato non porta ulteriore valore ed infatti il tempo ottimo medio di attesa necessario per effettuare l'investimento si riduce sino a diventare nullo, cioè si investe oggi esercitando l'opzione (come per le opzioni finanziarie, quando alla scadenza si esercita l'opzione ed il valore temporale è nullo). La figura 4.4 mostra la riduzione del tempo di attesa medio al crescere di x .

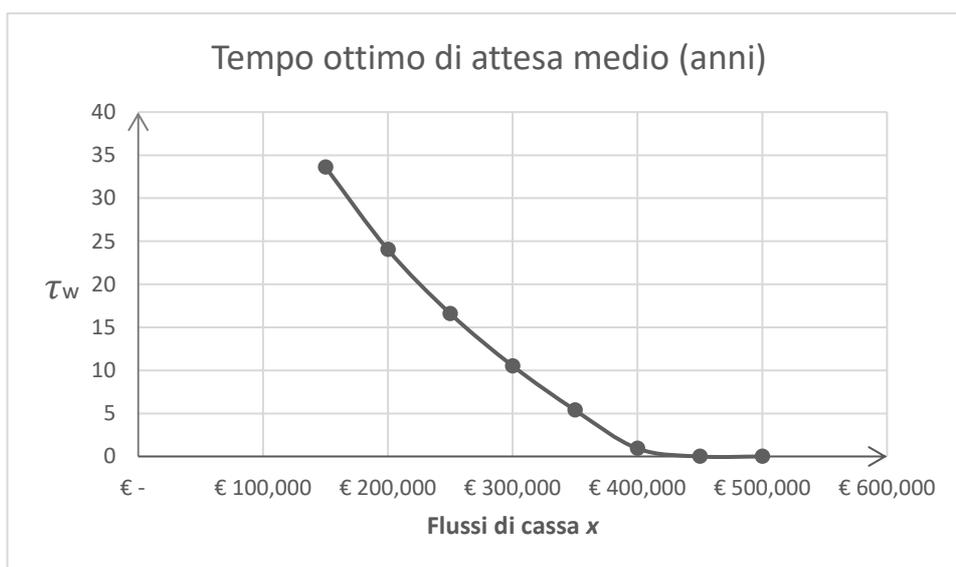


Figura 4.4: Effetto della variazione dei flussi di cassa x su τ_w .

4.2.3 – L'EFFETTO DELLA VARIAZIONE DEL TASSO DI SCONTO DEL CAPM

Come mostrato in figura 4.5 un incremento di r , tasso di sconto del CAPM, provoca un effetto in parte simile a quello di una crescita dei costi: come in precedenza il valore della proprietà si riduce, sia con ROA che con DCF, il valore intrinseco dell'opzione diminuisce, ma il valore temporale cresce lievemente. Allo stesso modo la figura 4.6 mostra che vi è una lieve variazione del tempo ottimo medio di attesa necessario ad avviare l'investimento.

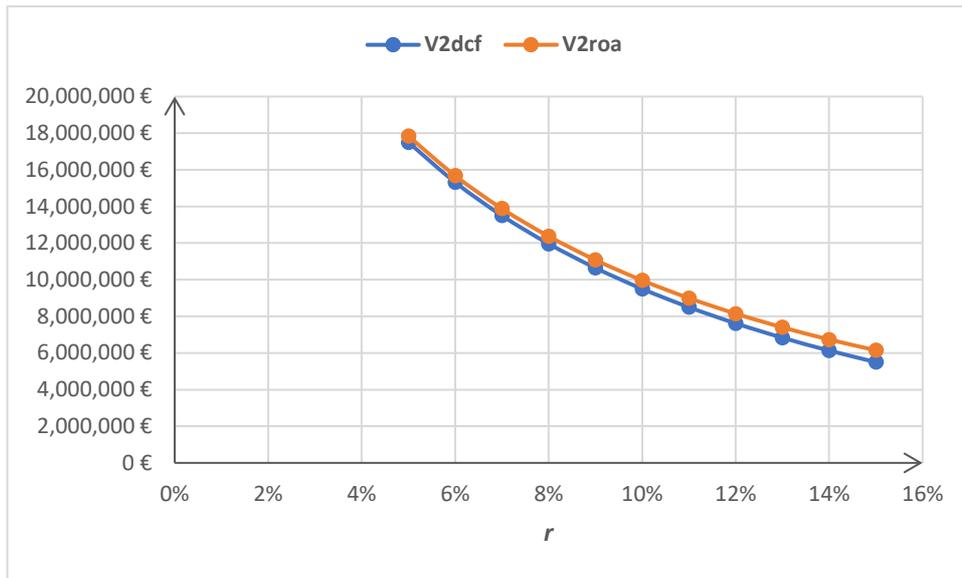


Figura 4.5: Effetto della variazione del tasso di sconto r del CAPM su V_2^{ROA} e V_2^{DCF} .

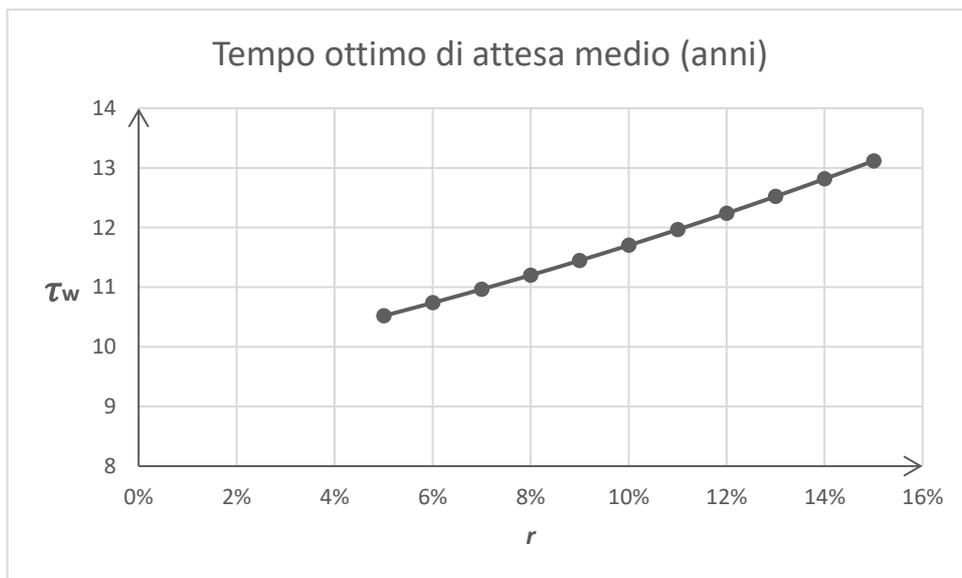


Figura 4.6: Effetto della variazione del tasso di sconto del CAPM su τ_w .

4.2.4 – L'EFFETTO DELLE VARIAZIONI DELLE INCERTEZZE RELATIVE AI COSTI E AI FLUSSI DI CASSA

Nonostante sia ben noto dalla teoria classica delle opzioni che il valore di un'opzione aumenta all'aumentare della volatilità del sottostante, a parità di prezzo di esercizio, qui la presenza di opzioni composte è tale che al variare della volatilità del sottostante variano contemporaneamente i valori di diverse opzioni implicite, alcune lunghe e altre corte, ed

inoltre varia il prezzo di esercizio. Ne consegue che la relazione tra valore delle opzioni composte e volatilità è alquanto 'imprevedibile'

Gli effetti di una variazione di σ_x o di σ_R sul valore della proprietà sono indeterminati. Per esempio, prendendo σ_R , ad un suo incremento corrisponde inizialmente una leggera diminuzione di V_2 , ma successivamente aumenta (sebbene per valori elevati ma non del tutto irrealistici nel campo delle bonifiche), come rappresentato dalla figura 4.7.

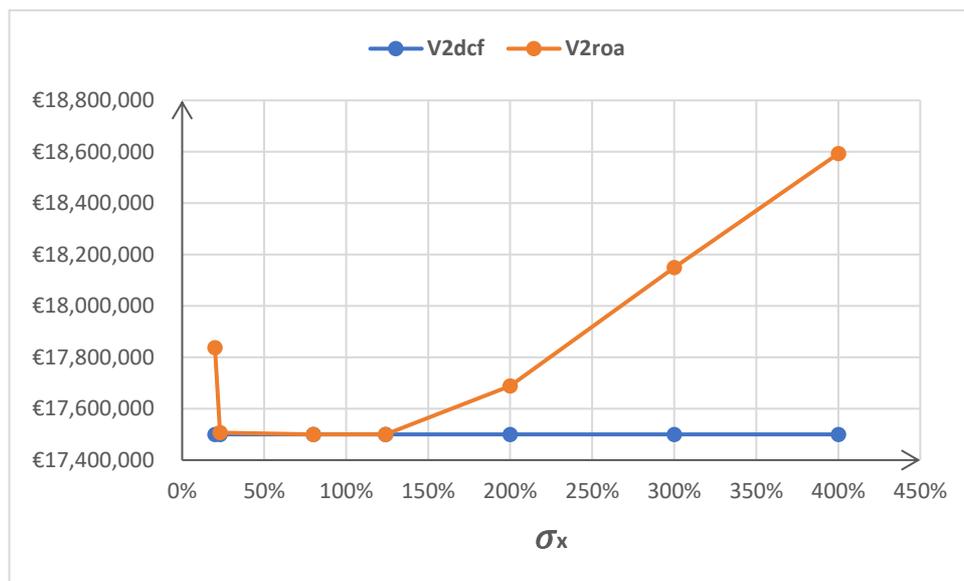


Figura 4.7: L'effetto della variazione dell'incertezza relativa ai flussi di cassa σ_x su V_2^{ROA} e V_2^{DCF} .

4.3– LA SIMULAZIONE

Come già anticipato all'inizio del capitolo l'obiettivo di questa simulazione non è tanto confermare che investendo in un portafoglio di opzioni – ovvero nel nostro caso specifico in un portafoglio di brownfields – rispetto ad un singolo asset una parte del rischio può essere eliminata, il che è scontato in quanto i rischi sono in parte statisticamente indipendenti, quanto piuttosto, assumendo i parametri del modello come ragionevoli e realistici, osservare in che misura il rischio si riduce all'aumentare del numero di oggetti presenti nel portafoglio.

Partendo dal modello di Lentz e Tse, si assume quindi che il proprietario possa decidere di investire e riqualificare insieme (soluzione ottima del modello) oppure di non fare nulla. Si assume un orizzonte temporale di 30 anni per l'investimento e si considera inizialmente un singolo investitore ed un singolo brownfield.

Sia i flussi di cassa generati dall'investimento x che il costo R seguono un processo stocastico di Wiener descritti da (4.1) e da (4.2). Quindi la parte stocastica entra in gioco nel modello sia con segno positivo che negativo. L'investitore decide di esercitare l'opzione di bonifica e riqualificazione in simultanea quando il rapporto $W = x/R(1 + \alpha_1)$ supera il valore critico $W^* = 0,063$.

L'obiettivo è determinare il valore attuale della proprietà e la rischiosità a cui è soggetto un investitore che decide di investire in un brownfield con queste caratteristiche. I risultati dopo mille ripetizioni statisticamente indipendenti di questo scenario sono riportati nella tabella 4.4.

| | |
|-----------------------------|--------------|
| # ripetizioni | 1000 |
| NPV medio dell'investimento | € 11.441.860 |
| Dev. Standard % | 102% |

Tabella 4.4: I risultati della simulazione per un investitore ed un brownfield.

Risulta che il valore medio del brownfield è pari a 11.441.860€ (distante dai 17.837.783€ del modello poiché lì si assumeva un orizzonte temporale infinito e quindi dopo trent'anni i flussi di cassa generati sono ancora rilevanti anche se scontati), con una rischiosità implicita, ossia una deviazione standard del 102%.

Si considerino ora due investitori, due brownfield con le stesse caratteristiche e le assunzioni precedenti. I due investitori ora decidono di investire metà del loro budget (entrambi sostengono il prezzo di esercizio $R(1 + \alpha_1)$ se investono) in ognuno dei due oggetti in modo da ottenere un ritorno equivalente a prima, ma con meno rischiosità.

Dopo duemila ripetizioni statisticamente indipendenti dello scenario si ottengono i risultati riportati nella tabella 4.5.

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| # investitori | 2 |
| # oggetti in portafoglio | 2 |
| # ripetizioni | 2000 |
| NPV medio di ciascun investimento | € 11.498.544 |
| Dev. Standard % | 71% |

Tabella 4.5: I risultati della simulazione per due investitori e due brownfield.

Mentre il valore ottenuto è praticamente il medesimo a prima, la volatilità è diminuita del 31%,

Si considerino ora tre investitori, tre brownfield e tremila ripetizioni statisticamente indipendenti e successivamente cinque investitori e cinque brownfield. I risultati sono riportati nelle tabelle 4.6 e 4.7.

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| # investitori | 3 |
| # oggetti in portafoglio | 3 |
| # ripetizioni | 3000 |
| NPV medio di ciascun investimento | € 11.477.768 |
| Dev. Standard % | 58% |

Tabella 4.6: I risultati della simulazione per tre investitori e tre brownfield.

Nel caso di tre investitori e tre oggetti di investimento, la rischiosità è diminuita ulteriormente del 13% rispetto e del 44% rispetto al caso in cui si investe in un solo brownfield.

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| # investitori | 5 |
| # oggetti in portafoglio | 5 |
| # ripetizioni | 5000 |
| NPV medio di ciascun investimento | € 11.486.078 |
| Dev. Standard % | 45% |

Tabella 4.7: I risultati della simulazione per cinque investitori e cinque brownfield.

Se si ricorre ad una soluzione di cinque oggetti in portafoglio, la rischiosità implicita all'investimento è pari a il 45% ed è diminuita del 57% rispetto al caso iniziale.

Questo esercizio, basato sui parametri e sul modello di Lents e Tse, con tutte le sue limitazioni che saranno descritte nel paragrafo successivo, ha lo scopo di rispondere all'ipotesi che questi investimenti sono potenzialmente a valore positivo, ma sono troppo rischiosi perché i soggetti privati se ne occupino singolarmente. L'esercizio mostra chiaramente che nel caso di singolo investitore la rischiosità del progetto è elevatissima

ed è superiore al 100% del valore dell'investimento. Investire in una soluzione di portafoglio permette di diversificare il rischio e rende più attraente l'investimento. Investire in cinque brownfield comporta una riduzione della rischiosità paria al 57%. La rischiosità è diminuita rapidamente all'aumentare del numero dei progetti.

Da questi risultati, si può concludere la necessità dell'intervento di un soggetto promotore di oggetti di questo tipo, come la pubblica amministrazione. Se questo attore riuscisse a coinvolgere più investitori e ripartire i rischi tra loro, allora i soggetti privati sarebbero più incentivati ad investire.

4.4 I LIMITI DELL'ESERCIZIO DI SIMULAZIONE ED ESTENSIONI

I limiti dell'esercizio proposto sono innanzitutto le limitazioni del modello su cui si basa. Il modello di Lentz e Tse (1995) si basa su assunzioni che semplificano la realtà. In particolare, la valutazione della proprietà contaminata che si ottiene dipende da due variabili di stato che sono i flussi di cassa x generati dalla proprietà "as if clean", e i costi di riqualificazione R . Per rappresentare tutti gli altri flussi di cassa e costi sono state effettuate assunzioni di proporzionalità. Ciò significa che i rischi dei flussi di cassa e dei costi prima e dopo la bonifica e/o la riqualificazione dell'area rimangono gli stessi. Nella realtà i rischi a cui sono soggetti i flussi di cassa e i costi prima e dopo la bonifica/riqualifica sono diversi.

La diversificazione è svolta su più oggetti identici, ipotesi alquanto irrealistica soprattutto nel campo delle aree dismesse, data la specificità e le caratteristiche di ogni singola area. Perciò, sarebbe di grande interesse ed utilità effettuare un esercizio di questo tipo con dei dati di un oggetto reale e successivamente osservare gli effetti di una soluzione di portafoglio di oggetti differenti.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questo lavoro è quello di dimostrare i motivi per cui gli investimenti di riqualificazione urbana sono adatti all'utilizzo della Real Options Analysis, ed i motivi per cui richiedono un intervento promotore da parte della pubblica amministrazione.

Le incertezze e la irreversibilità che contraddistinguono questo tipo di progetti rendono i metodi tradizionali come il Discounted Cash Flows; inadeguati nel fornire una valutazione precisa del progetto. Le maggiori carenze dell'approccio dei DCF risiedono nel non riconoscere sia la natura stocastica dei flussi di cassa e dei costi che caratterizzano questi investimenti, che il valore aggiunto di poter cogliere opportunità favorevoli che si possono verificare nel tempo.

Nonostante siano potenzialmente positivi, gli investimenti di riqualificazione urbana hanno una rischiosità implicita elevata, motivo per il quale gli investitori privati sono restii ad intraprenderli. Ecco che la pubblica amministrazione, dovrebbe farsi promotrice di interventi, oltre che di agevolazione fiscale, amministrativa e di responsabilità legale, volti a coinvolgere più soggetti privati in modo da ripartire i rischi di questi investimenti attraverso delle soluzioni di portafoglio. L'attivismo dell'attore pubblico è indispensabile e cruciale per gli investimenti di riqualificazione urbana poiché ha una prospettiva differente dai soggetti privati: le aree dismesse generano delle esternalità negative sul territorio e sul mercato immobiliare (per esempio sui canoni di locazione e sui prezzi di vendita), e possono rappresentare un pericolo ambientale in caso di presenza di inquinanti. Il recupero e la riqualificazione di queste aree possono generare una serie di conseguenze positive per l'economia ed il benessere locale.

BIBLIOGRAFIA

- Adair, Alastair, et al. "Factors affecting the level and form of private investment in regeneration." *Report to Office of the Deputy Prime Minister, London* (2002).
- Amram, Martha, and Nalin Kulatilaka. "Real options: Managing strategic investment in an uncertain world." *OUP Catalogue* (1998).
- APAT, "Proposta di linee guida per il recupero ambientale e la valorizzazione economica dei brownfields", Roma, 2006.
- Black, Fischer, and Myron Scholes. "The pricing of options and corporate liabilities." *Journal of political economy* 81.3 (1973): 637-654.
- Borison, Adam. "Real options analysis: Where are the emperor's clothes?." *Journal of applied corporate finance* 17.2 (2005): 17-31.
- Bravi Marina, Stefano Rossi, and Antonio Talarico. "Valutare i rischi della riqualificazione urbanistica e ambientale delle aree industriali dismesse." *POSTFORDISMO E* (2016): 375.
- Brealey, Richard A., Stewart C. Myers, and Franklin Allen. *Corporate Finance: International Edition*. McGraw-Hill/Irwin, 2006.
- Bulan, Laarni, Christopher Mayer, and C. Tsurriel Somerville. "Irreversible investment, real options, and competition: Evidence from real estate development." *Journal of Urban Economics* 65.3 (2009): 237-251.
- Capozza, Dennis R., and Gordon Sick. *Risk and return in land markets*. No. 90. Mitsui Life Financial Research Center, School of Business Administration, University of Michigan, 1990.
- Carlsson, Christer, and Robert Fullér. "A fuzzy approach to real option valuation." *Fuzzy sets and systems* 139.2 (2003): 297-312.
- Collan, Mikael, Robert Fullér, and József Mezei. "A fuzzy pay-off method for real option valuation." *2009 International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering*. IEEE, 2009.
- Copeland, T., and V. Antikarov. "Real options: a practitioner's guide, new edition." (2003).

- Copeland, Tom, and Vladimir Antikarov. *Real options*. No. BOOK. New York: Texere, 2001.
- Copeland, Tom, Tim Koller and Jack Murrin, 2000, *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies: 3rd Edition* (New York: John Wiley and Sons).
- Cox, John C., Stephen A. Ross, and Mark Rubinstein. "Option pricing: A simplified approach." *Journal of financial Economics* 7.3 (1979): 229-263.
- De Sousa, C. "Overcoming barriers and facilitating brownfields redevelopment in the GTHA: A review of results from interviews with private sector stakeholders." *Center for Urban Research and Land Development, Toronto, ON* (2015): 30.
- De Sousa, Christopher. "Brownfield redevelopment versus greenfield development: A private sector perspective on the costs and risks associated with brownfield redevelopment in the Greater Toronto Area." *Journal of Environmental Planning and Management* 43.6 (2000): 831-853.
- Dixit, Avinash K., Robert K. Dixit, and Robert S. Pindyck. *Investment under uncertainty*. Princeton university press, 1994.
- Espinoza, R. D., and L. Luccioni. "Proper risk management: The key to successful brownfield development." *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 55 (2002).
- Foo Sing, Tien, and Kanak Patel. "Empirical evaluation of the value of waiting to invest." *Journal of Property Investment & Finance* 19.6 (2001): 535-553.
- Haran, Martin, et al. "The performance of UK regeneration property within a mixed asset portfolio." *Journal of Property Research* 28.1 (2011): 75-95.
- Higham, Desmond J. *An introduction to financial option valuation: mathematics, stochastics and computation*. Vol. 13. Cambridge University Press, 2004.
- Hull, John C. *Options futures and other derivatives*. Pearson Education India, 2003.
- Hull, John. "Opzioni, Futures e altri derivati ed." *Il Sole Ventiquattrore* (2003).
- Lentz, George H., and KS Maurice Tse. "An option pricing approach to the valuation of real estate contaminated with hazardous materials." *The Journal of Real Estate Finance and Economics* 10.2 (1995): 121-144.

- Luehrman, Timothy A. "What's it worth? A general manager's guide to valuation." *Harvard business review* 75.3 (1997): 132-142.
- Luehrman, Timothy A. *Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers*. Boston: Harvard Business Review, 1998.
- McCarthy, Linda. "The brownfield dual land-use policy challenge: reducing barriers to private redevelopment while connecting reuse to broader community goals." *Land use policy* 19.4 (2002): 287-296.
- Merton, Robert C. "Theory of rational option pricing." *Theory of Valuation* (1973): 229-288.
- Morano, Tajani, and Manganelli. "An application of Real Option Analysis for the assessment of operative flexibility in the urban redevelopment." *WSEAS Transactions on Business and Economics* 11.1 (2014): 476-487.
- Mun, Johnathan. *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. Vol. 137. John Wiley & Sons, 2002.
- Myers, Stewart C. "Finance theory and financial strategy." *Interfaces* 14.1 (1984): 126-137.
- Quigg, Laura. "Empirical testing of real option-pricing models." *The Journal of Finance* 48.2 (1993): 621-640.
- Sposito, Cesare. "Sul recupero delle aree industriali dismesse." *Tecnologie, materiali, impianti ecosostenibili e innovativi*, Maggioli Editore, Sant Arcangelo di Romagna (2012).
- Trigeorgis, Lenos. *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. MIT press, 1996.
- Trigeorgis, Lenos. "The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options." *Journal of Financial and quantitative Analysis* 28.1 (1993): 1-20.
- Wang, Qian. "Facilitating Brownfield Redevelopment Projects: Evaluation, Negotiation, and Policy." (2011).
- Smit, Han TJ, and Lenos Trigeorgis. *Strategic investment: Real options and games*. Princeton University Press, 2012.

- Smith, James E., and Robert F. Nau. "Valuing risky projects: Option pricing theory and decision analysis." *Management science* 41.5 (1995): 795-816.
- Trigeorgis, Lenos. "The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options." *Journal of Financial and quantitative Analysis* 28.1 (1993): 1-20.
- Wadson, Nigel. "Multi-dimensional search: choosing the right path." *International Journal of the Economics of Business* 11.3 (2004): 287-301.
- Wang, Qian, Keith W. Hipel, and D. Marc Kilgour. "Fuzzy real options in brownfield redevelopment evaluation." *Advances in Decision Sciences* 2009 (2009).