

La matematica come strumento d'impresa

Mauro Ugolini *Università Roma TRE*
Edward Smith *Wokingham U3A*

Il presente articolo intende illustrare come impiegare tecniche matematiche evolute per ottimizzare la strategia d'impresa e sviluppare una comprensione sistemica e profonda del mercato

Perché la matematica conta

Molte decisioni aziendali vengono tuttora assunte sulla base di analisi parziali delle implicazioni di mercato, frequentemente circoscritte alla redazione di un *business case* finanziario. Questo approccio, per quanto diffuso, comporta il rischio di ottenere valutazioni incomplete o, in alcuni casi, di giungere a interpretazioni distorte delle dinamiche competitive. L'introduzione di un impianto analitico a fondamento matematico consente di superare tali criticità, offrendo un supporto strutturato e predittivo al processo decisionale e contribuendo in modo significativo all'ottimizzazione delle performance aziendali.

In questo lavoro analizziamo i benefici di questo paradigma e proponiamo un percorso strutturato per una adozione estesa in ambito manageriale. L'obiettivo è fornire una panoramica di tecniche quantitative in grado di supportare un'interpretazione più accurata e sistemica dei fenomeni che governano i mercati e incidono in modo diretto sul successo delle iniziative imprenditoriali.

Inizieremo illustrando come specifici strumenti analitici possano essere impiegati per esaminare i fattori che influenzano le decisioni strategiche d'impresa, per poi approfondire - in modo puntuale - una selezione di metodologie quantitative

di provata efficacia. Sebbene non esista, ad oggi, un *framework* integrato universalmente riconosciuto per la modellazione degli esiti commerciali, verrà presentato un approccio articolato da noi sviluppato e testato nell'ambito dell'analisi del mercato delle *Smart Cities*. A partire dai risultati ottenuti, discuteremo infine le leve culturali e organizzative necessarie per favorire l'integrazione sistematica di questi strumenti nei processi di pianificazione e *governance* aziendale.

Dalla teoria all'impresa: il potenziale della matematica avanzata

La matematica è impiegata per costruire modelli di problemi complessi e rilevanti a livello sociale, come il cambiamento climatico o la diffusione delle malattie infettive. Tuttavia, si sostiene spesso che l'analisi delle problematiche aziendali non si presti a un esame scientifico rigoroso, a causa dell'elevato numero di variabili in gioco - circostanza che rende arduo stabilire relazioni causali chiare. Nella prassi, la valutazione degli scenari di *business* adotta frequentemente l'approccio basato sull'analisi di casi studio, ricercando analogie con la situazione in esame; al contrario, le valutazioni dei benefici derivanti da un investimento in nuovi ambiti commerciali vengono di norma effettuate tramite lo sviluppo di un *business case*, anche se tale strumento non contempla normalmente alcuni aspetti critici, come l'analisi di sensibilità dei prezzi o le reazioni della concorrenza.

Negli ultimi anni, si sono resi disponibili ulteriori strumenti matematici per analizzare le caratteristiche di un mercato, i quali permettono di affrontare aspetti centrali per la comprensione delle sue dinamiche. Tra questi si annoverano:

- le tecniche evolute di valutazione del rischio - *Risk Assessment*;
- analisi delle dinamiche competitive e dei sistemi di pricing derivanti dalla natura dinamica dei

mercati, effettuabile attraverso l'impiego della teoria dei giochi - *Game Theory*;

- l'acquisizione di conoscenze (*insight*) approfondite sulle dinamiche di mercato, spesso ottenute mediante l'utilizzo della modellazione ad agenti (*Agent-Based Modelling* - ABM);
- la valutazione di scenari in cui le imprese devono cooperare con partner strategici per distribuire i propri prodotti o per promuovere i propri obiettivi commerciali - contesti in cui la selezione dei partner risulta cruciale, e in cui l'applicazione della *Landscape Theory* può risultare determinante;
- il controllo dei costi aziendali e l'ottimizzazione dell'impiego delle risorse disponibili, ottenibile attraverso tecniche di ottimizzazione basata su vincoli - *Constraint-Based Optimisation*;
- la gestione della quota di mercato, frequentemente influenzata in modo negativo dall'insoddisfazione dei clienti, e causata da processi aziendali disallineati o inefficienti nella fase di erogazione del valore.

Sulla base della sintetica descrizione delle aree in cui l'applicazione di tecniche matematiche può apportare un valore significativo, passiamo ora ad analizzare la disciplina fondativa nelle valutazioni d'impresa: l'identificazione di un *business case*.

Business case: uno strumento da ripensare

Lo sviluppo di un *business case*, come illustrato nella figura 1, si fonda sull'impiego di metriche basate sul flusso di cassa e sul profitto, con il primo che rappresenta la misura di riferimento più significativa. In figura, gli *input* evidenziati in giallo,

che comprendono tutti i costi e i ricavi, devono essere identificati preliminarmente. Il flusso di cassa, ad esempio quello che si può determinare a partire da un conto corrente operativo, è rappresentato nei riquadri blu.

Evidentemente, il denaro possiede un valore temporale: ciò implica che una determinata somma di denaro disponibile alla fine di un progetto potrà avere un valore inferiore rispetto alla stessa somma disponibile all'inizio. Tale fenomeno viene valutato tramite l'analisi del flusso di cassa attualizzato (*Discounted Cash Flow* - DCF), basata su un tasso di sconto r , che riflette la perdita di valore del denaro nel tempo. Il calcolo avviene secondo la seguente equazione:

$$DCF = \frac{CF}{(1 + r)^n} \quad (1)$$

in cui DCF rappresenta il flusso di cassa attualizzato, CF il flusso di cassa nominale, r il tasso di sconto e n il numero di anni.

All'avvio del progetto, le valutazioni finanziarie vengono espresse in termini di valore attuale del denaro; tuttavia, i flussi di cassa generati al termine del progetto vengono calcolati applicando le tecniche del flusso di cassa attualizzato e rappresentati come Valore Attuale Netto (*Net Present Value* - NPV), che riflette il valore del denaro alla fine del progetto e in figura 1 è indicato in blu. Ciò consente di individuare il momento in cui l'investimento raggiunge il punto di pareggio (*payback*), tenuto conto del simultaneo calcolo del profitto, mostrato in figura nei riquadri rossi.

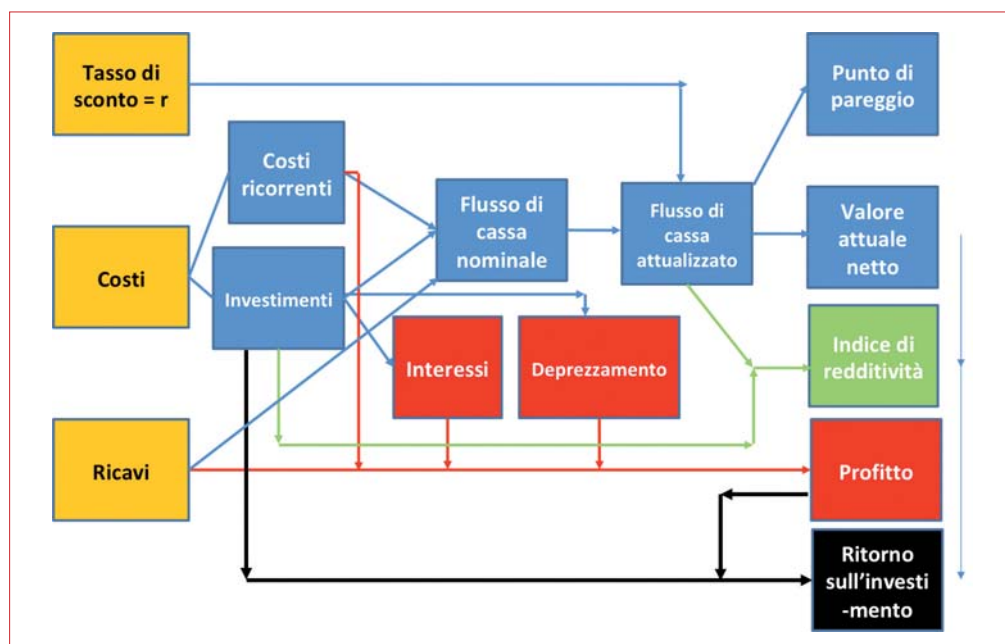


Figura 1
Anatomia
di un business case

Per confrontare progetti differenti, possono essere impiegati diversi indicatori basati su rapporti, tra cui:

- il tasso interno di rendimento (*Internal Rate of Return* - IRR), ossia il tasso di sconto che rende nullo il NPV;
- l'indice di redditività - *Profitability Index*, pari al rapporto tra il valore attualizzato dei flussi di cassa e l'investimento iniziale;
- il ritorno sull'investimento (*Return on Investment* - ROI), calcolato come il rendimento medio annuo diviso per il capitale medio impiegato.

Un'analisi di sensibilità consente infine di valutare l'impatto delle variazioni nei costi e nei ricavi, e può essere utilizzata per determinare i limiti entro cui un progetto rimane economicamente sostenibile. Tuttavia, tale approccio non fornisce indicazioni su quali strategie commerciali possano effettivamente supportare il *business case*, sull'efficacia del modello tariffario adottato, sulla determinazione del prezzo ottimale, sul ruolo delle *partnership* nella fase di *delivery*, o sull'impatto dei vincoli operativi.

Tutti questi aspetti verranno esaminati in dettaglio più avanti, poiché la prossima sezione approfondisce in via preventiva i concetti fondamentali dell'analisi del rischio.

Decisioni nell'incertezza: strumenti quantitativi

Affinché un prodotto sia in grado di soddisfare le aspettative delineate nel *business case*, è necessario identificare preventivamente i rischi che potrebbero comprometterne l'impatto commerciale e valutarne le conseguenze. Questa attività è formalmente nota come gestione del rischio (*Risk Management*) e viene generalmente inquadrata nell'ambito della disciplina del *Project Management*.

In forma semplificata, ciascun rischio associato al prodotto viene valutato attribuendogli un punteggio basato sul prodotto della probabilità che il rischio divenga reale con l'impatto atteso, entrambi espressi su una scala qualitativa (bassa-media-alta). I rischi con i punteggi più elevati vengono sottoposti a monitoraggio prioritario.

Approcci più evoluti prevedono l'espressione della probabilità in termini percentuali e quella dell'impatto in termini economici, inserendo il prodotto di tali valori nel *business case* sotto forma di costo di contingenza. Tale metodologia si fonda sull'assunzione che, su un portafoglio di progetti, solo una parte dei rischi identificati si con-

cretizzerà effettivamente, e che la somma delle riserve accantonate sarà sufficiente a coprire gli oneri derivanti.

Si consideri, ad esempio, un prodotto destinato a generare 10.000 unità, contenente una componente software innovativa per la quale è stata stimata una probabilità di guasto pari al 15%, con un costo di rimedio pari a 200 € per unità. La contingenza da prevedere nella base costi sarà pari a:

$$10.000 \times 0,15 \times 200 \text{ €} = 300.000 \text{ €}$$

Un'analisi più approfondita potrebbe tuttavia condurre all'individuazione di una strategia di mitigazione in grado di neutralizzare il rischio, con un costo complessivo, ad esempio, di 20.000 €, riducendo così in modo significativo l'incidenza della contingenza sul margine operativo del prodotto. Sebbene i responsabili di prodotto possano delegare ai *project manager* l'analisi dei rischi, è chiaramente nel loro interesse assicurarsi che tali rischi vengano quantificati in modo rigoroso e sistematico.

Esaminato il lato costi con le semplici considerazioni sopra descritte, passiamo ora ad analizzare la componente ricavi.

Prezzi e comportamento del mercato

La definizione di un prezzo realistico è influenzata dal principio microeconomico secondo cui il prezzo ottimale è quello in cui il valore percepito dal cliente coincide con il prezzo richiesto. I prezzi sono generalmente determinati dal costo marginale, ovvero dal costo di acquisizione di un cliente aggiuntivo. Tuttavia, la situazione si complica quando i costi non crescono in modo lineare con l'aumento della base clienti, ma seguono una "funzione a gradini": in tali casi, il costo per acquisire un singolo cliente può risultare trascurabile fino a quando non si raggiunge il limite di capacità, oltre il quale diventa necessario effettuare investimenti infrastrutturali aggiuntivi [1].

L'impatto della struttura tariffaria sui ricavi e sui tassi di adozione può essere analizzato attraverso un modello sviluppato da Mo *et al.* [2], applicato a un servizio Internet di base. Il modello introduce i concetti di "funzione di utilità", intesa come il valore del servizio per il singolo utente, e di "benessere sociale (*welfare*)", ovvero il valore complessivo del servizio per l'intera base utenti. Entrambe le grandezze vengono espresse in termini monetari, al fine di consentire un confronto diretto con

il prezzo pagato al fornitore del servizio. Una volta stimata l'utilità, è possibile prevedere il livello di adozione del servizio, da cui derivano i valori complessivi di ricavo e benessere sociale. Analizzando la variazione di ricavo e benessere al variare del prezzo, è possibile individuare il punto di prezzo che massimizza rispettivamente il ricavo e il valore sociale generato.

I risultati, riferiti a un modello di *pricing* basato su abbonamento anziché sull'uso effettivo, sono illustrati nella **figura 2**.

Il ricavo $R(p)$ si può calcolare mediante la relazione (2) che segue:

$$R(p) = Np \left(1 - \frac{p}{\sqrt{x}}\right) \quad (2)$$

dove N è il numero di utenti, x è il volume medio di traffico per utente, p è il prezzo unitario del servizio, $R(p)$ rappresenta il ricavo totale del fornitore in funzione del prezzo. Applicando le tecniche di derivazione standard, è possibile determinare il valore di prezzo p^* che massimizza il ricavo.

Il benessere sociale generato dal servizio, indicato dagli autori come $W(p)$, può essere calcolato attraverso quest'altra relazione:

$$W(p) = N \frac{\sqrt{x}}{2} \left(1 - \frac{p^2}{x}\right) \quad (3)$$

Il modello può essere esteso per includere anche schemi tariffari basati sull'uso effettivo, anziché

sull'abbonamento, introducendo un parametro aggiuntivo nella funzione di utilità. Ulteriori estensioni possono tenere conto di fattori quali la congestione di rete, che riduce l'utilità percepita e, di conseguenza, influenza sia l'uso del servizio, sia la disponibilità a pagare, da parte degli utenti. È inoltre possibile modellare l'introduzione di un servizio di base a costo inferiore, rivolto a clienti con minori esigenze.

Dopo aver esaminato uno scenario, come quello qui descritto, con un unico fornitore di servizi di rete (FSR), ci si propone ora di analizzare le implicazioni derivanti dall'inserimento, nel mercato di questi servizi, anche di un fornitore di contenuti informativi (FCI).

Strategie ottimali tra attori interdipendenti

Questa sezione illustra il lavoro condotto da un gruppo di ricerca che ha analizzato la relazione tra un fornitore di servizi di rete (FSR) e un fornitore di contenuti informativi (FCI), entrambi coinvolti nell'erogazione di un servizio all'utente finale [3]. L'interazione tra i due attori viene analizzata attraverso il concetto di equilibrio di Nash, derivato dalla teoria dei giochi, che identifica una configurazione strategica in cui nessun partecipante può migliorare il proprio risultato modificando unilateralmente la propria strategia. Tali strumenti consentono agli autori di considerare la definizione del prezzo, i meccanismi di compensazione reci-

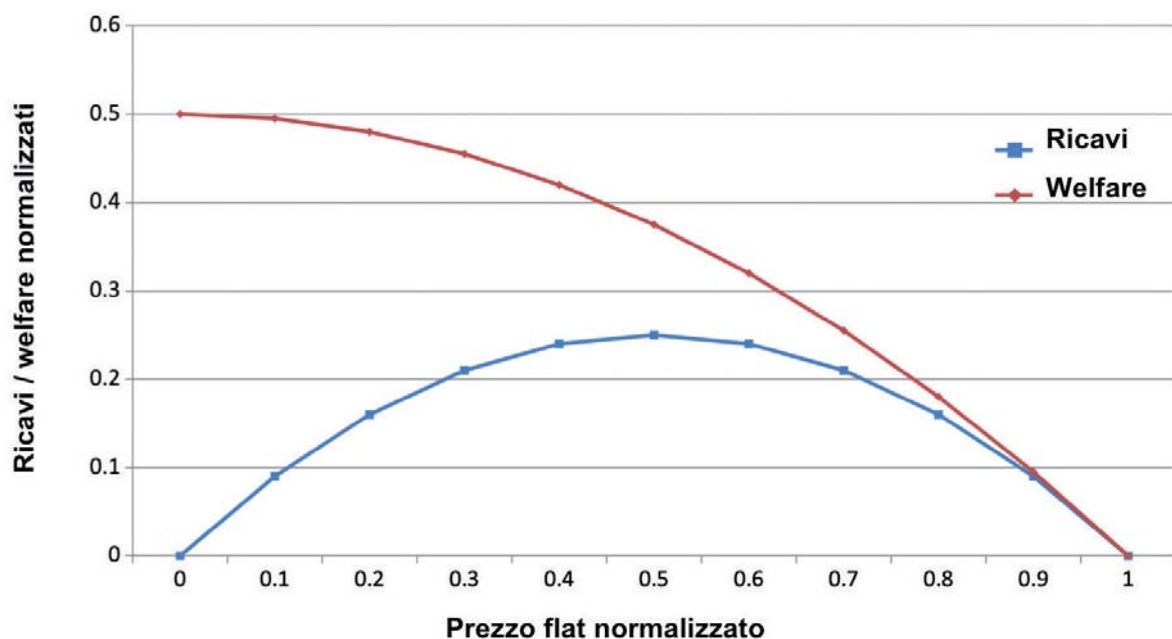


Figura 2

Ricavi e welfare in un modello di rete non congestionata, basato su servizi tariffati in abbonamento

proca (*cross-charging*) e i ricavi derivanti dalla pubblicità, come illustrato nella figura 3.

Altman *et al.* [3] identificano l'equilibrio di Nash massimizzando i ricavi sia per il fornitore di rete, sia per il fornitore di contenuti. La domanda di servizi è ricavata da un'equazione formulata per rappresentare una diminuzione lineare della domanda al crescere del prezzo. L'utilità (ovvero il ricavo) per ciascun partecipante è definita come il prodotto tra la domanda e il prezzo applicato. L'equilibrio di Nash si individua mediante derivazione dell'utilità di ciascun attore rispetto al prezzo da questi fissato per l'utente.

Il risultato più efficiente si ottiene quando il fornitore di servizi di rete (FSR) e quello di contenuti informativi (FCI) cooperano, presentando all'utente un prezzo definito congiuntamente. Come mostrato nella figura 4, qualora i due attori definiscano i prezzi in modo indipendente, si osserva un aumento complessivo dei prezzi, con conseguente riduzione sia della domanda, sia dei ricavi.

Tale approccio consente di modellare gli effetti economici derivanti dalla suddivisione dei ricavi tra i due attori, così come l'impatto finanziario legato alla presenza di inserzioni pubblicitarie.

Il modello può essere ulteriormente esteso mediante l'introduzione dell'equilibrio di Stackelberg, nel quale si assume che uno dei due soggetti o-

peri come *leader* commerciale, mentre l'altro agisca come *follower*. In questo scenario, si considera il fornitore di servizi di rete (FSR) come attore dominante, il quale ottiene i propri ricavi tramite trasferimenti economici dal fornitore di contenuti informativi (FCI). Il *leader* inizia analizzando la funzione di utilità dell'altro attore, che viene massimizzata derivandola rispetto al prezzo fissato per l'utente finale. In questo modo, si può esprimere il prezzo utente in funzione del pagamento al fornitore di rete e dei ricavi da introiti pubblicitari. Successivamente, il *leader* determina la propria risposta ottimale derivando la sua funzione di utilità rispetto ai propri ricavi e al pagamento ricevuto dal *follower*.

Un'ulteriore applicazione della teoria dei giochi è stata proposta da de' Grassi di Pianura [4], che ha analizzato l'impatto derivante dall'adozione di nuovi media sul mercato della carta stampata. I modelli sviluppati hanno consentito all'autore di indagare scenari in cui gli editori tradizionali entrano nell'ambiente digitale, tenendo conto di fattori quali gli effetti di rete, gli *early adopter* e gli innovatori. Il *focus* dell'indagine è posto sulla definizione di funzioni di utilità che riflettano il valore percepito dal cliente. Attraverso l'ottimizzazione del profitto dell'editore, si è dimostrato come i ricavi pubblicitari (nei formati cartaceo e digitale), unitamente ai costi e ai prezzi propri del mercato digitale, rappresentino le variabili chiave per la determinazione del prezzo della rivista cartacea.

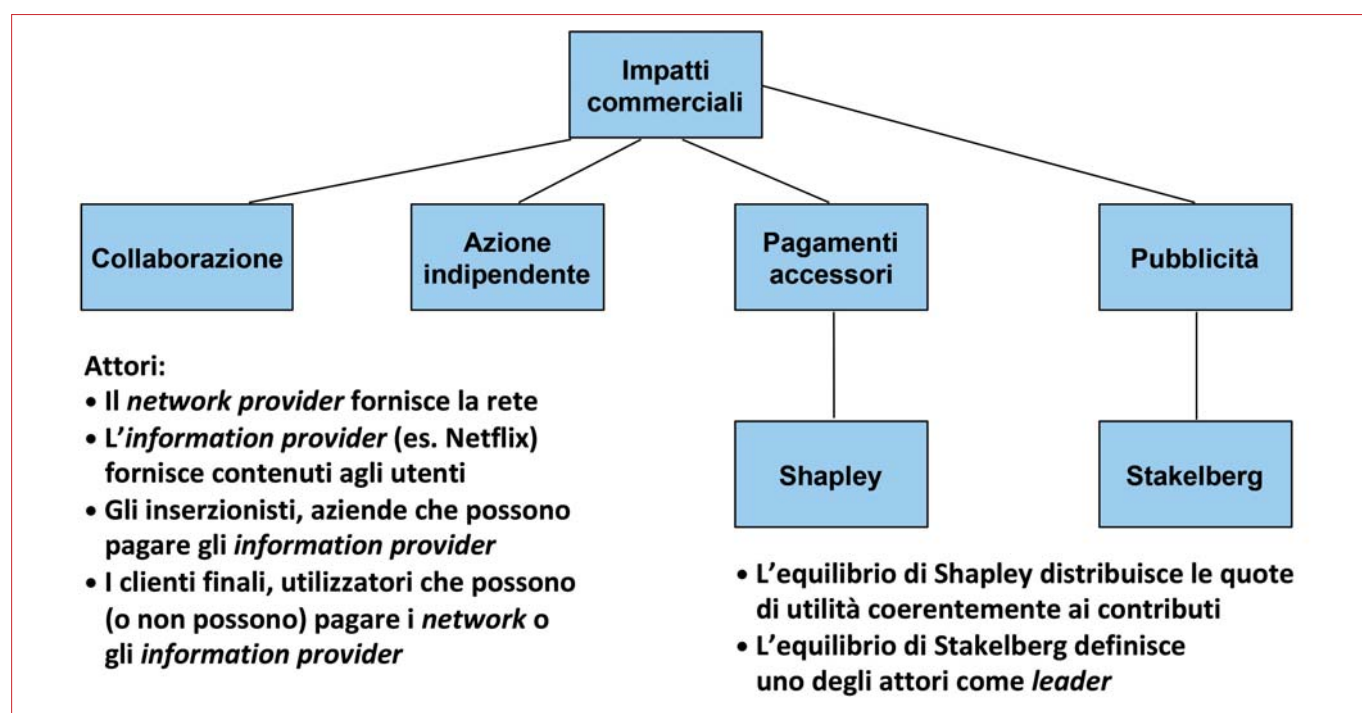


Figura 3
Lo spazio dei problemi analizzato da Altman *et al.* [3]

L'importanza della teoria dei giochi è ben nota anche nel contesto delle aste in Europa per le licenze d'uso dello spettro radiomobile 3G. L'obiettivo specifico di massimizzare, per i governi, i ricavi risultanti dalla vendita dello spettro, è stato raggiunto, ma al costo di una ridotta capacità di investimento da parte degli operatori di rete.

Esistono diverse tipologie di aste, che generalmente risultano più efficaci quando né il venditore, né gli altri partecipanti, conoscono con precisione il valore reale attribuito da ciascun acquirente all'oggetto dell'asta [5]. Un approccio prevede che le offerte siano presentate in più sessioni, rendendo pubblica, al termine di ciascuna, l'identità del miglior offerente e l'importo proposto. I tempi delle sessioni devono essere rigidamente regolamentati e ogni forma di comunicazione tra i partecipanti vietata.

Questo processo incoraggia comportamenti migliori da parte degli offerenti, ma l'evidenza mostra che le licenze sono state allocate in modo efficiente, con ricavi spesso superiori alle aspettative iniziali [6]. L'asta nel Regno Unito, ad esempio, ha visto la partecipazione di 13 offerenti per 5 licenze, suddivise in sessioni di mezz'ora, generando ricavi per 29 miliardi di sterline, rispetto a una previsione iniziale di 2-3 miliardi.

Esaminati i temi relativi alla definizione dei prezzi e alla competizione, affrontiamo ora i contesti in

cui è necessario stabilire *partnership* con terze parti. In tali scenari, risulta particolarmente utile l'impiego di una tecnica nota come *Landscape Theory*, creata per consentire una valutazione efficace delle diverse opzioni strategiche a disposizione di un'impresa.

Coalizioni strategiche e configurazioni stabili

La *Landscape Theory*, sviluppata da Axelrod e Bennett [10], è un approccio volto a identificare *partnership* o coalizioni stabili in contesti competitivi.

Il primo passo consiste nel calcolo di una cosiddetta "funzione di frustrazione", che determina la stabilità di una coalizione analizzando le interazioni binarie tra un determinato attore e tutti gli altri potenziali *partner* disponibili. L'intensità di tale funzione dipende dalla rilevanza dei *partner* potenziali, dalla propensione dei due attori ad allinearsi reciprocamente e dalla loro eventuale appartenenza alla medesima coalizione. La frustrazione risulta minimizzata quando un attore è in alleanza con coloro con cui ha una forte propensione all'allineamento e in una coalizione separata rispetto a quelli con cui tale allineamento risulta debole.

L'"energia di una configurazione" è definita come la somma pesata delle frustrazioni associate a ciascun partecipante, e nel modello si assume che gli

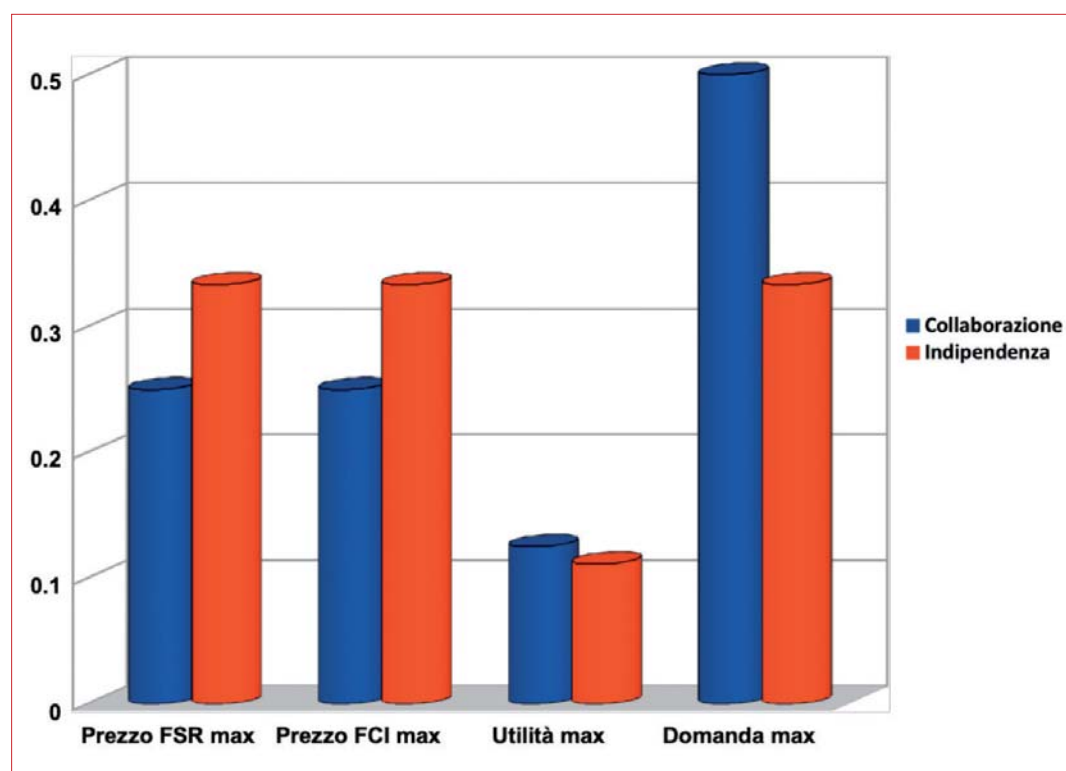


Figura 4
Confronto dei prezzi ottenuti in condizioni di collaborazione o indipendenza

attori si organizzino in due coalizioni contrapposte. Ciò consente di costruire un “paesaggio energetico” (*energy landscape*), come illustrato in figura 5.

Qui l'energia associata a ciascuna configurazione coalizionale è rappresentata in uno “spazio di coalizioni” generato attraverso lo spostamento, a ogni interazione, di un singolo partecipante da una coalizione all'altra. La configurazione più stabile corrisponde al minimo locale di energia. Tuttavia, la superficie energetica risultante può mostrare la presenza di stati metastabili, ovvero di configurazioni in cui l'energia non può essere ulteriormente ridotta attraverso lo spostamento di un solo attore, pur essendo teoricamente possibile ottenere una configurazione più stabile mediante una sequenza di movimenti multipli.

Axelrod e Bennet hanno applicato questo modello in due diverse situazioni: per analizzare l'allineamento degli attori durante le controversie sulla standardizzazione del sistema operativo UNIX, e per studiare le alleanze tra nazioni europee nel periodo antecedente la seconda guerra mondiale.

Smith [11] ha successivamente illustrato come questa tecnica possa essere adattata al contesto della selezione strategica dei partner d'impresa, con l'obiettivo di gestire e realizzare opportunità di mercato complesse.

A questo punto della nostra analisi, dopo una breve illustrazione di metodi e tecniche basati su algoritmi, inclusa nella sezione a seguire, la fase successiva dell'indagine riguarderà la valutazione del *delivery* dei prodotti destinati al mercato, con particolare attenzione alla natura di processo di tale attività.

Algoritmi, agenti e decisioni complesse

Una visione più ampia dell'area di mercato oggetto di studio può essere ottenuta attraverso l'impiego di tecniche algoritmiche, quali la *Agent-Based Modelling* - ABM, ovvero la modellizzazione basata su agenti, che utilizza aggregati interattivi di “agenti *software*” per simulare i comportamenti del mercato.

In questo approccio, i partecipanti al sistema sono rappresentati da agenti che operano in un ambiente virtuale, ai quali possono essere assegnate proprietà configurabili tramite linguaggi algoritmici. Gli agenti interagiscono tra loro e con l'ambiente circostante, le cui caratteristiche sono progettate per riflettere fedelmente le dinamiche del problema analizzato. Tale metodologia consente di incorporare i comportamenti individuali e le mutue interazio-

ni all'interno di un sistema chiuso, permettendo così di dedurre il comportamento emergente del sistema nel suo complesso. Le interazioni tra agenti possono avvenire secondo logiche di coordinamento, cooperazione o competizione. Sebbene i comportamenti siano generalmente codificati mediante linguaggi di alto livello, le strutture sottostanti si basano spesso su funzioni di utilità formalizzate matematicamente, derivate da tecniche quali la teoria dei giochi e la logica *fuzzy* [7].

Neri *et al.* [8] hanno applicato questa metodologia per valutare il bilanciamento tra i benefici derivanti dall'investimento nelle reti a banda larga, distinguendo tra ritorni finanziari e vantaggi di natura sociale. Il numero elevato di interazioni rende il problema troppo complesso per essere trattato con la matematica lineare tradizionale. Lo studio, focalizzato su città italiane con popolazione media, ha dimostrato che un risultato sostenibile si ottiene solo se il 20-30% dei benefici è attribuibile a contributi di tipo sociale, mentre il restante 70-80% proviene da misure di natura commerciale. I meccanismi di retroazione (*feedback*) presenti negli scenari simulati hanno permesso di adattare le strategie d'impresa alle fluttuazioni di mercato in modo rapido ed efficace.

L'integrazione dell'*Agent-Based Modelling* (ABM) nei processi decisionali consente dunque di superare le limitazioni dei modelli deterministici tradizionali, offrendo una rappresentazione dinamica e adattiva dei sistemi economici complessi, nella quale è possibile anticipare gli effetti sistemici delle strategie aziendali e supportare scelte orientate alla sostenibilità e alla resilienza.

Dal modello all'esecuzione: ottimizzare il *delivery*

Utilizzando strumenti matematici più convenzionali, si consideri un'impresa che produce beni, generando ricavi che si desidera massimizzare, espressi come funzione del costo delle materie prime e del lavoro impiegati nella produzione. Tali due variabili possono essere messe in relazione trattando sia la funzione di ricavo, sia il vincolo, come rappresentazioni vettoriali di una proprietà nota come il loro gradiente, collegate tramite un parametro detto moltiplicatore di Lagrange. Questo consente di determinare le quantità ottimali di lavoro e materie prime necessarie per massimizzare i ricavi. Un'applicazione concreta si riscontra nella configurazione delle *Smart Grid* e nei sistemi di *Smart Metering*, quando si persegue l'obiettivo di appiattire la domanda, ridurre i costi di generazione e incrementare la redditività.

Un modello matematico può essere considerato un analogo formale di una situazione commerciale complessa, impiegato per stimare un esito potenziale, ma inevitabilmente fondato su un insieme di assunzioni semplificative. Un approccio diffuso è l'ottimizzazione dei processi aziendali tramite strumenti di modellazione guidati da diagrammi, come nel caso della *Business Process Model and Notation* - BPMN. Si tratta di una notazione grafica derivata dal concetto di diagramma di flusso, che presenta una mappatura tra le sue componenti visive e linguaggi per l'esecuzione come il *Business Process Execution Language* - BPEL.

Un insieme eterogeneo di approcci, che colma il divario tra la pura modellazione qualitativa e la

precisione propria del metodo scientifico, è illustrato nella figura 6.

Gli strumenti di ottimizzazione basati su linguaggi di modellazione algebrica sono emersi tra la fine degli anni Settanta e l'inizio degli anni Ottanta. Tali modelli si fondano spesso su una tecnica di ottimizzazione nota come programmazione lineare, impiegata per massimizzare (o minimizzare) una funzione obiettivo lineare che incorpora le variabili di *input* del processo. L'obiettivo è individuare la soluzione ottimale, in un contesto in cui le variabili sono vincolate da relazioni lineari. A differenza dell'approccio basato sui moltiplicatori di Lagrange, centrato sull'ottimizzazione vincolata, la programmazione lineare presuppone vincoli e obiettivi rigorosamente lineari.

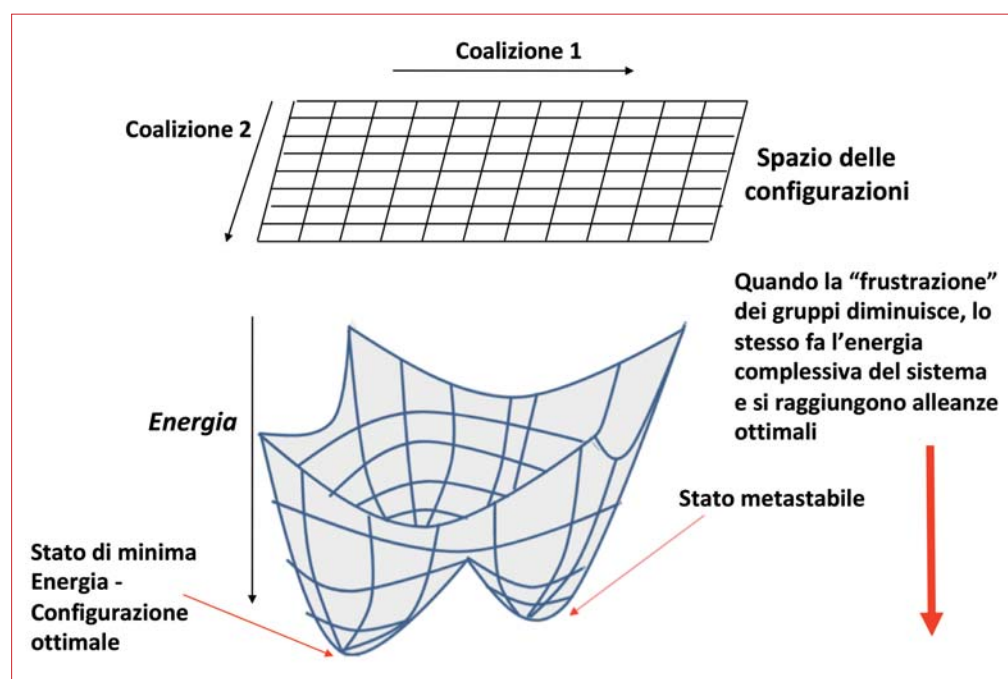


Figura 5

Selezione dei partner basata sulla elaborazione dell'energy landscape

Approccio	Descrizione
Verifica matematica	Costruzione rigorosa di un modello, con sviluppo della matematica per supportarlo, e verifica del modello sempre mediante analisi basate sulla matematica.
Proiezione matematica	Sviluppo di modelli quantitativi basati sul comportamento atteso e uso dei modelli così elaborati per fare previsioni. A differenza dell'approccio rigoroso, i modelli rappresentano approssimazioni. Esempi: equilibrio di Nash, landscape theory.
Analisi statistica	L'analisi dei dati esistenti per l'identificazione di andamenti e relazioni e per la previsione dei comportamenti.
Modelli qualitativi	Questi strumenti sono utilizzati per eseguire analisi attraverso classificazione e raggruppamento di idee e concetti qualitativi, così da elaborare analisi qualitative più strutturate. Esempi: matrici di Boston, balance score card.
Logica qualitativa	Valutazioni basate su ragionamento logico e analisi qualitative estese e approfondite.
Logica intuitiva	Valutazioni basate su esperienza e intuizione, spesso supportate da esempi specifici, che possono risultare, o non risultare, rappresentative.

Figura 6

Lo spettro dei metodi analitici

La modellazione è un processo iterativo, il cui esito deve essere verificato tramite dati provenienti dal mondo reale. Il ciclo di verifica, rappresentato in **figura 7**, viene reiterato fino al raggiungimento del risultato desiderato. È essenziale evitare un eccesso di dettagli superflui nei modelli, preservando però le condizioni significative e formulando il problema in termini standardizzati, al fine di identificare *pattern* di processo e ottimizzare l'applicazione del modello.

Un esempio emblematico di modellazione efficace è stato fornito da Robert May nello studio della diffusione dell'AIDS [9]. Per modellare la

diffusione dell'epidemia in Africa dovuta ai camionisti, sviluppò un modello estremamente semplice, che trascurava una grande quantità di dettagli demografici, assumendo tuttavia che ogni conducente, nell'arco di più viaggi, potesse entrare in contatto con molteplici *sex workers*. Al contrario, modelli più dettagliati ipotizzavano un solo contatto per conducente. Come risultato, il modello di May fornì previsioni più pessimistiche, ma significativamente più accurate rispetto ai dati osservati.

Dopo questa ampia descrizione dei metodi e delle tecniche utilizzati per indirizzare aspetti

Figura 7 
Il ciclo di modellazione

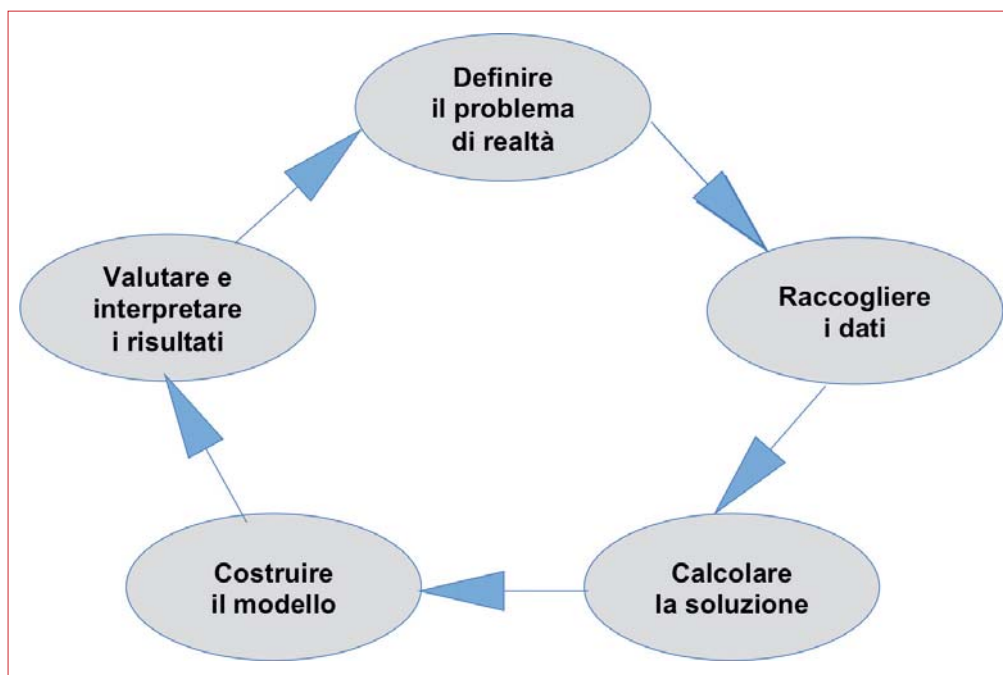

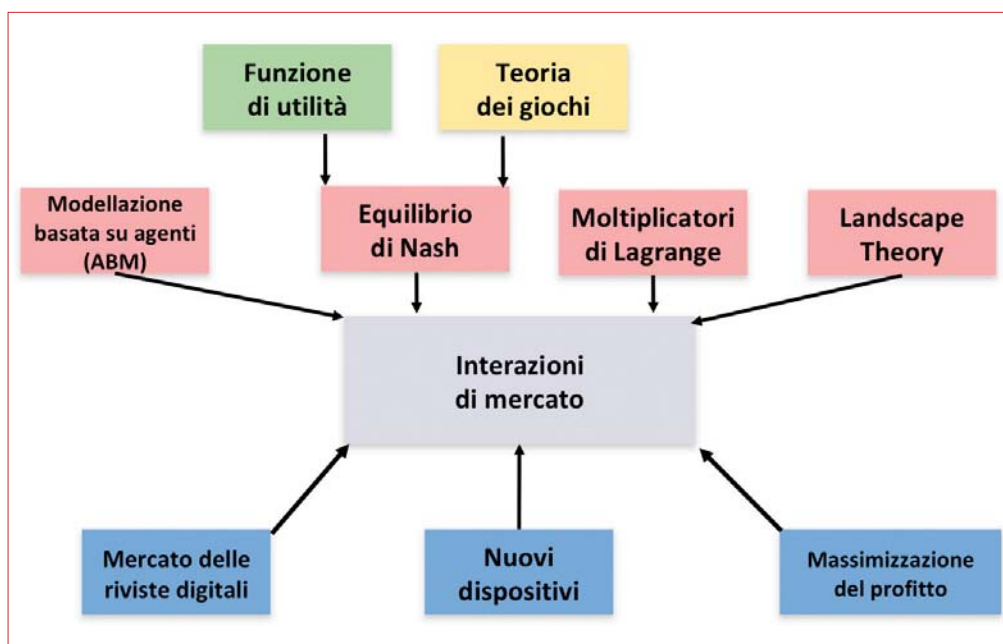


Figura 8 
La modellazione delle interazioni di mercato



specifici dell'analisi di mercato, passiamo ora a un passaggio cruciale del processo, ovvero il modo in cui una combinazione di queste tecniche possa essere impiegata in modo integrato ed efficace.

Sintesi modellistica e visione sistemica

Le tecniche analitiche presentate nelle sezioni precedenti non devono essere considerate come strumenti autonomi e scollegati. Al contrario, il loro valore strategico si amplifica quando sono integrate in un *framework* sistemico e coerente. La figura 8 - ispirata e ampliata a partire dalle proposte metodologiche di de' Grassi di Pianura [4] - illustra come differenti approcci quantitativi possano confluire in una visione d'insieme, capace di rappresentare in modo più realistico e multidimensionale le dinamiche di mercato.

Una naturale evoluzione di questo paradigma consiste nell'applicazione di tali metodologie a contesti di elevata complessità, come lo sviluppo delle *Smart Cities*, che richiedono forme avanzate di coordinamento tra attori della domanda e dell'offerta, all'interno di ecosistemi commerciali caratterizzati da forti interdipendenze.

In questi scenari, l'analisi potrebbe iniziare dalla formulazione di una "funzione di utilità" che rifletta obiettivi multipli e criteri di sostenibilità, per poi proseguire con la costruzione di un modello quantitativo capace di stimare i benefici economici, sociali e ambientali associati alla proposta progettuale. Tali modelli potrebbero essere raffinati per includere l'effetto dell'incertezza nella valutazione dei benefici, in relazione ai costi complessivi e alle metriche di performance.

Le logiche decisionali lato domanda potrebbero essere modellizzate tramite *Fuzzy Logic*, che consente di formalizzare preferenze vaghe o non ben definite, mentre le decisioni di *pricing* possono beneficiare di estensioni analoghe, in grado di cogliere la natura adattiva e dinamica delle strategie di prezzo. L'individuazione del *mix* ottimale tra funzionalità dedicate e componenti standardizzate potrebbe essere affrontata attraverso modelli di equilibrio strategico di tipo Nash, integrati con tecniche di ottimizzazione vincolata basate sui moltiplicatori di Lagrange.

Infine, la *Landscape Theory* si presterebbe bene all'analisi delle configurazioni cooperative e delle alleanze strategiche che emergono in tali contesti, offrendo una chiave di lettura utile a comprendere l'evoluzione della struttura competitiva del mercato.

In effetti, abbiamo già sperimentato con successo l'applicazione preliminare di questo *framework* metodologico integrato proprio in progetti orientati alla progettazione e implementazione di *Smart Cities*, evidenziandone le potenzialità sia in fase di pianificazione che nella *governance* dei processi di innovazione sistemica.

Promuovere la cultura quantitativa in azienda

L'integrazione della matematica nelle analisi di mercato introduce un livello di rigore metodologico che né i soli strumenti qualitativi, né l'intuizione manageriale, per quanto esperta, sono in grado di garantire sistematicamente. Eppure, nella pratica corrente, l'impiego di approcci quantitativi resta marginale. I percorsi formativi in ambito aziendale, inclusi i programmi MBA di maggior prestigio, richiedono ai partecipanti competenze matematiche piuttosto elementari, circoscritte a contenuti quali aritmetica commerciale, algebra di base, calcolo differenziale per l'economia, statistica descrittiva e probabilità. Sebbene alcuni *curricula* prevedano moduli su contabilità, finanza, analisi quantitativa, economia e teoria dei giochi, la trattazione risulta spesso superficiale e discontinua.

Di contro, le discipline economiche appaiono più propense a impiegare strumenti matematici avanzati e tecniche di ottimizzazione nella costruzione di modelli analitici a supporto delle decisioni.

Questa asimmetria formativa contribuisce a limitare la diffusione di una cultura quantitativa all'interno delle imprese, ostacolando l'adozione di strumenti più sofisticati nella pianificazione strategica. La questione cruciale, dunque, è come favorire una transizione verso un pensiero analitico più strutturato, capace di integrare solide fondamenta matematiche nei processi decisionali aziendali. Una possibile risposta risiede nella combinazione di due azioni sinergiche: da un lato, la sensibilizzazione della comunità imprenditoriale sull'importanza di un approccio *data-driven* e rigoroso; dall'altro, la formazione e valorizzazione di competenze specialistiche in grado di guidare l'adozione su larga scala di tali strumenti.

A nostro avviso, per innescare un cambiamento sistemico, è auspicabile intraprendere le seguenti iniziative:

- consolidare le principali linee di ricerca in un'area disciplinare ben definita, dedicata ai fondamenti matematici della pianificazione e dell'analisi aziendale;
- dimostrare, attraverso evidenze empiriche, il va-

- lore aggiunto derivante dall'utilizzo di modelli quantitativi, promuovendo la loro integrazione nei curricula delle *business school* di riferimento;
- trasferire queste conoscenze al settore della consulenza strategica, accelerando la penetrazione degli approcci quantitativi nei contesti operativi;
 - incoraggiare le istituzioni accademiche a rafforzare l'offerta formativa su competenze analitiche avanzate, generando una massa critica di esperti in grado di alimentare strutture specializzate nella fornitura di capacità modellistiche su scala;
 - rafforzare il contenuto matematico dei percorsi formativi in ambito manageriale, sensibilizzando le future classi dirigenti rispetto al potenziale trasformativo di tali strumenti.

Promuovere una cultura quantitativa in azienda non è solo una questione di aggiornamento formativo, ma rappresenta un passo strategico verso un nuovo paradigma decisionale, dove rigore analitico e visione strategica convergono per generare valore sostenibile e misurabile.

Chiudere il cerchio: verso un nuovo paradigma decisionale

In questo lavoro abbiamo messo in luce come, nella prassi aziendale, l'analisi matematica delle opportunità commerciali sia spesso confinata alla

costruzione di *business case* di natura esclusivamente finanziaria. Tale limitazione metodologica riduce significativamente la profondità analitica, compromettendo l'accuratezza delle valutazioni e, nei casi più critici, inducendo interpretazioni distorte delle dinamiche di mercato.

Abbiamo quindi illustrato un insieme articolato di strumenti quantitativi e modelli matematici - fra cui teoria dei giochi, logica *fuzzy*, programmazione lineare, modelli *agent-based* e *Landscape Theory* - capaci di restituire una rappresentazione più strutturata e realistica dei fenomeni economico-competitivi. Tali strumenti, pur non esaurendo lo spettro delle metodologie possibili, si sono dimostrati particolarmente efficaci nell'analisi di scenari complessi, come quello della transizione verso le *Smart Cities*, e nell'ottimizzazione delle decisioni strategiche.

Resta tuttavia evidente una distanza tra il potenziale applicativo di queste tecniche e la loro effettiva adozione nei contesti aziendali. La nostra analisi suggerisce che una delle cause principali risieda nella persistente marginalità della formazione matematica avanzata all'interno dei percorsi accademici e professionali destinati al *management*. Colmare tale divario rappresenta una sfida chiave per favorire l'adozione di approcci più rigorosi ed effettivamente basati sui dati nella pianificazione strategica e nell'innovazione d'impresa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. McCarthy-Ward, A. Valdar, S. Newstead, S. Revell: 5G - New Business Opportunities, *The Journal of the Institute of Telecommunications Professionals*, 13(4), 2019, pp. 19-25.
- [2] J. Mo, W. Kim, D. Lee: Impacts of Universal Service Regulation for Broadband Internet Services, Conferenza: *Economics of Converged, Internet-Based Networks - 7th International Workshop on Internet Charging and QoS Technologies*, pp. 14-25, DOI: 10.1007/978-3-642-24547-3_3.
- [3] E. Altman, P. Bernhard, G. Kesidis, J. Rojas-Mora, S. Wong: *A study of non-neutral networks*, INRIA-00481702, v2, 27 maggio 2010, n° 00481702.
- [4] M. de' Grassi di Pianura: *Essays on the Effects of Digitization on Media Economics. Economics and Finances*, PhD Dissertation, LUISS Guido Carli University, 2013 - <https://eprints.luiss.it/1248/3/20130603-de-grassi-di-pianura-definitiva.pdf>
- [5] D. Easley, J. Kleinberg: *Networks, Crowds and Markets - Reasoning about a Highly Connected World*, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.
- [6] P. Maillé, B. Tuffin: *Telecommunication Network - From Theory to Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, 2014.
- [7] T. Salamon: *Design of agent-based models: developing computer simulations for a better understanding of social processes*, Tomas Bruckner, Repin, 2011.
- [8] A. Neri, M. Ugolini, M. Allegretti: Agent-Based Modelling as a Tool to Investigate the Viability of Next-Generation Networks, *Proceedings of the 50th FITCE International Congress*, Palermo, Italia, Settembre 2011, pp. 103-109.
- [9] S. Gupta, R. Anderson, R. May: Network of sexual contacts: implications for the pattern of spread of HIV, *AIDS*, 1989, 3:807-817.
- [10] R. Axelrod, D.S. Bennett: A Landscape Theory of Aggregation, *British Journal of Political Science*, vol. 23, n. 2, aprile 1993, pp. 211-233.
- [11] E. Smith: The Application of Landscape theory to the problem of partner selection, 2021, DOI: 10.13140/RG.2.2.31794.94405 - www.researchgate.net/publication/350343739_The_Application_of_Landscape_theory_to_the_problem_of_partner_selection?channel=doi&linkId=605aff38a6fdccbf00ae86&showFulltext=true#fullTextFileContent